



NNGYK
NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI
ÉS GYÓGYSZERÉSZETI KÖZPONT

Környezet-egészségtan jegyzet

Környezet-egészségtan jegyzet

Budapest
2024

NEMZETI NÉPEGÉSZSÉGÜGYI ÉS GYÓGYSZERÉSZETI KÖZPONT
LABORATÓRIUMI ÉS MÓDSZERTANI IGAZGATÓSÁG
KÖZEGÉSZSÉGÜGYI LABORATÓRIUMI ÉS MÓDSZERTANI FŐOSZTÁLY
Igazgató: Dr. Pándics Tamás PhD

1097 Budapest, Albert Flórián út 2-6.
Levelezési cím: 1437 Pf. 839.
Telefon: +36/1/ 476-1100
kozeqlab@nngyk.gov.hu

Impresszum

Kiadja a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ
ISBN 978-615-81600-9-4

Felelős kiadó:

Dr. Pándics Tamás igazgató

Szerkesztette: Dr. Pándics Tamás, Hofer Ádám, Középesy Szilvia, Mayer Réka

Szerzők:

Dr. Barna Szilvia

Dr. Beregszászi Tímea

Besenyi Krisztina

Dr. Biró Anna

Bufa-Dórr Zsuzsanna

Demeter Zoltán

Dr. Dura Gyula

Dr. Gere Dóra

Hofer Ádám

Izsák Bálint

Kajtor-Apatini Dóra

Dr. Kakucs Réka

Dr. Khayer Bernadett

Középesy Szilvia

Dr. Magyar Donát

Mayer Réka

Mácsik Annamária

Málnási Tibor

Dr. Páldy Anna

Dr. Pándics Tamás

Dr. Róka Eszter

Dr. Rudnai Péter

Sebestyén Ágnes

Dr. Stefán Dávid

Dr. Szabó Zoltán

Dr. Szigeti Tamás

Törő Károly

Dr. Vargha Béla

Dr. Vargha Márta

A kiadvány technikai szerkesztését végezte:

Ispán Matild

Ezen kiadvány a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ szellemi tulajdona, bárki által elérhető, ingyenes.
A kiadványt vagy annak részeit árusítani, vagy hivatkozás nélkül felhasználni tilos.

BEVEZETÉS	1
KÖRNYEZET ÉS EGÉSZSÉG – ÁLTALÁNOS ÖSSZEFÜGGÉSEK	2
GLOBALIS KÖRNYEZETI PROBLÉMÁK	6
A KLÍMAVÁLTOZÁS EGÉSZSÉGHATÁSAI	22
A klímaváltozás és az egészség	25
A klímaváltozás globális egészséghatásai	26
Szabályozás	28
Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia	29
LEVEGŐHIGIÉNE	52
A LÉGKÖR ÖSSZETÉTELE, SZERKEZETE	53
A légkör elszennyeződése	54
A levegőszennyező anyagok forrásai	55
A légszennyező anyagok viselkedése a légkörben	59
A légszennyező anyagok csoportosítása	61
A leggyakoribb külső téri légszennyező anyagok	61
A LEVEGŐ BIOLÓGIAI EREDETŰ SZENNYEZŐI	67
A kültéri levegő biológiai eredetű szennyezői	69
Pollenek	73
Allergén pollenadó növények ismerete	74
Polleninformáció	82
Pollenjelentés	84
Pollennaptár	86
Gombaspórák	90
A LÉGSZENNYEZETTSÉG HATÁSA A KÖRNYEZETRE	94
A légszennyezettség hatása a klimatikus viszonyokra	94
A légszennyezettség hatása a növény- és állatvilágra	94
A légszennyezettség hatása a művi környezetre	95
A légszennyezettség hatása az emberi egészségre	95
A légszennyező anyagok expozíciója	96
A BELTÉRI LEVEGŐMINŐSÉG	98
A beltéri levegőminőség meghatározói	98
A beltéri levegőminőség jellemző problémái	99
A beltéri levegőminőség fizikai paraméterei	99
A beltéri levegő kémiai szennyezői	107
A BELTÉRI LEVEGŐ BIOLÓGIAI EREDETŰ SZENNYEZŐI	115
Penészgombák	116
Háziporatkák	122
Jelenlegi helyzet Magyarországon	125
HARMONIZÁLT SZABÁLYOZÁS A LEVEGŐMINŐSÉG TERÜLETÉN	127
Hazai jogszabályok	130

A LÉGSZENNYEZETTSÉG ELLENŐRZÉSE	132
Magyarország levegőminőségének jellemzése.....	133
A légszennyezettség méréssel történő ellenőrzése	134
A légszennyezettség értékelése	136
A NÉPEGÉSZSÉGÜGYI SZERVEK SZEREPE A LEVEGŐHIGIÉNE TERÜLETÉN	138
 VÍZHIGIÉNE	 140
BEVEZETÉS - A VÍZ SZEREPE AZ EMBERI EGÉSZSÉGBEN	141
A VÍZ ÁLTAL OKOZOTT MEGBETEGEDÉSEK	145
A vízzel terjedő fertőző megbetegedések	145
Vízzel terjedő kórokozók	146
A vízjárványok	148
A kémiai vízszennyezők	150
A VÍZBIZTONSÁG KOCKÁZAT ALAPÚ MEGKÖZELÍTÉSE	154
Ivóvízbiztonság kockázat alapú megközelítése Magyarországon	155
Ivóvízbiztonsági tervrendszer (VBT)	158
Környezet-egészségügyi surveillance	163
AZ IVÓVÍZ MINŐSÉGI KÖVETELMÉNYEI	166
A közüzemi ivóvízellátás helyzete	172
Főbb vízminőségi paraméterek és előfordulásuk	174
A nem közműves ivóvízellátás problémái	177
Az ivóvízminőség speciális szempontjai	179
Vízzel érintkező anyagok	181
Az ivóvízkezelő technológiák rövid bemutatása	182
ÁSVÁNY- ÉS GYÓGYVIZEK MINŐSÉGE.....	187
Az ásvány- és gyógyvízzé minősítés feltételei	187
A TERMÉSZETES FÜRDŐVIZEK MINŐSÉGE.....	191
A természetes fürdők szabályozása	191
A hazai természetes fürdővizek vízminősége.....	193
A természetes fürdővizek kockázati tényezői	194
MEDENCÉS FÜRDŐK	200
A medencés fürdők higiénéje	200
A medencés fürdők szabályozása	201
A fürdési célú létesítmények típusai.....	202
A közegészségügyi szempontból megfelelő üzemeltetés követelményei.....	203
Vízminőségi követelmények	207
Gyógyvízes medencék üzemeltetése	209
Hazai medencés fürdők vízminősége	210
Fürdőtavak.....	213
A VÍZHIGIÉNE HATÓSÁGI FELADATAI	215
KÖRNYEZETANALITIKA.....	219
Kémiai analitikai módszerek	219
Immunológiai módszerek	232
Ökotoxikológiai módszerek	233
Mikrobiológiai vizsgálati módszerek	238
Mikroszkópos vízbiológiai vizsgálati módszerek.....	249

ÖKOTOXIKOLÓGIAI VIZSGÁLATOK A KÖRNYEZETI KOCKÁZATBECSLÉSBEN	252
Az ökotoxikológia helye a környezeti kockázatbecslésben.....	252
Az ökotoxikológiai vizsgálatok jellemzői	253
A környezeti kockázat becslése	256
 TALAJHIGIÉNE, HULLADÉKGAZDÁLKODÁS	257
TALAJSZENNYEZÉS.....	258
Szennyező források	259
A TALAJ- ÉS TALAJVÍZSZENNYEZÉSEK KÁRMENTESÍTÉSE, A KÁRMENTESÍTÉSI PROGRAM, HATÁRÉRTÉKEK	263
Szennyezett területek tisztításának programja.....	263
Gyakran előforduló káros szennyező anyagok.....	264
Talajtisztítási eljárások	265
Határértékek	266
Cselekvési irányok	266
A HULLADÉKOK TÖRVÉNYI SZABÁLYOZÁSA	267
2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról	268
TELEPÜLÉSI HULLADÉKOK	280
Fő feladatok és intézkedések	282
BIOHULLADÉKOK.....	283
Komposztálás, biogáz előállítás és stabilizálás	283
AZ EU HULLADÉKLERAKÁSI DIREKTÍVÁJA, AZ EBBŐL ADÓDÓ FELADATOK.....	293
A VESZÉLYES HULLADÉKOKKAL KAPCSOLATOS JOGSZABÁLY ÉS A HULLADÉKJEGYZÉK.....	298
A hulladék veszélyességének megállapítása	298
A veszélyes hulladék gyűjtése.....	298
A veszélyes hulladék szállítása	298
A veszélyes hulladék tárolása és kezelése.....	301
A hulladék minősítése	301
Veszélyességi jellemzők	303
EGÉSZSÉGÜGYI INTÉZMÉNYEKBE KELETKEZŐ HULLADÉKOK TÍPUSAI, OSZTÁLYOZÁSA ÉS KEZELÉSE.....	305
Az egészségügyi hulladékok típusai, osztályozása.....	305
Különleges kezelést igénylő (fertőző) hulladékok	308
Az egészségügyi hulladékok kezelése, a veszélyes hulladékok gyűjtése	309
A veszélyes hulladékok szállítása	309
A veszélyes hulladékok ártalmatlanítása	310
SZENNYVIZEK ÉS SZENYVÍZISZAPOK MEZŐGAZDASÁGI FELHASZNÁLÁSÁNAK FELTÉTELEI	313
 KÖRNYEZET-EGÉSZSÉGÜGYI KOCKÁZATBECSLÉS	317
KÖRNYEZETI VEGYI ANYAGOK KOCKÁZATBECSLÉSE.....	318
A kockázat eredete	318
A vegyi kockázatok jelentőségének megítélése	319
A kockázat definíciója.....	321
A kockázatbecslés elvei	322

A kockázatbecslés főbb összetevői	323
A veszélyesség azonosítása	323
A környezeti expozíció.....	324
Az expozíció közvetlen mérése	326
Az expozíció közvetett meghatározása	326
Expozícióbecslési modellek	327
A dózis-válasz összefüggés elemzése, a kísérletes toxikológiai adatok kivetítése az emberi egészség szempontjából elviselhető dózisokra	330
A kockázat jellemzése	331
KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIA	337
DEMOGRÁFIAI ELEMZŐ MÓDSZEREK: VISZONYSZÁMOK, INDEXEK (DIREKT ÉS INDIREKT STANDARDIZÁLÁS), A HALANDÓSÁG VIZSGÁLATA	338
Demográfiai megfigyelés, adatforrások	338
Demográfiai elemző módszerek	339
Viszonyszámok	341
Indexek	342
ADATFORRÁSOK A KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIÁBAN	346
Hazai adatforrások.....	346
Nemzetközi adatbázisok	347
A KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIAI VIZSGÁLATOK	349
A környezet-epidemiológiai vizsgálatok célja, típusai.....	349
A környezet-epidemiológiai vizsgálatok fázisai (az expozíció becslése, az egészségkárosodás megállapítása és ezek összefüggéseinek értékelése)	350
KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIAI SURVEILLANCE	358
A környezet-epidemiológiai surveillance feladatai	359
Környezetepidemiológiai surveillance típusok	360
KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIAI VIZSGÁLATOK TERVEZÉSE	364
KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIAI VIZSGÁLATOK ÉRTÉKELÉSI, ETIKAI ÉS MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI SZEMPONTJAI	368
Értékelési szempontok.....	368
Etikai szempontok	374
Minőségbiztosítási szempontok	374
A HUMÁN BIOMONITORING SZEREPE A KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIAI VIZSGÁLATOKBAN	375
A TESTIDEGEN VEGYÜLETEK METABOLIKUS AKTIVÁCIÓJA ÉS INAKTIVÁCIÓJA AZ EMBERI SZERVEZETBEN; FÁZIS I ÉS FÁZIS II VEGYÜLET-ÁTALAKÍTÁSI REAKCIÓK	380
Néhány kiemelkedően fontos enzimrendszer	381
Módosító tényezők a testidegen vegyületek metabolizmusában	383
GENOTOXIKUS KÖRNYEZETI ÁRTALMAK BIOLÓGIAI MONITOROZÁSA HUMÁN POPULÁCIÓBAN	384
A biomarkerek fogalma és kategóriái.....	384
Humán populációmonitorozás	385
Genetikai hajlamosító tényezők jelentősége.....	385
Fontos géncsoportok a genotoxikus vegyületek hatásmechanizmusában	386
A génpolimorfizmusok összefüggése betegségekkel	386
GENOTOXIKOLÓGIA, A GENOTOXIKOLÓGIAI MONITOR	388

Daganatok kialakulása, mutációk	388
A genotoxikológiai vizsgálatok szerepe a daganatok megelőzésében.....	389
Kromoszóma aberrációk vizsgálata.....	392
A kromoszóma aberráció fogalma.....	392
A kromoszóma aberrációk kialakulása és típusai	392
DNS repair kapacitás vizsgálata.....	395
A vizsgálat menete	395
A genotoxikológiai vizsgálatok jogszabályi alapjai	397
NEM FERTŐZŐ BETEGSÉGEK JÁRVÁNYTANA	398
MAGYARORSZÁG KÖRNYEZET-EGÉSZSÉGÜGYI HELYZETE	399
NEM FERTŐZŐ BETEGSÉGEK EPIDEMIOLÓGIÁJA	407
Főbb halálokok az Európai Unióban és hazánkban.....	408
Magyarország demográfiai helyzete.....	410
Vezető halálokok Magyarországon	413
Cardiovascularis halálozás és betegségek előfordulása Magyarországon, kockázati tényezők	418
Az egészségügy feladatai a szív- és érrendszeri betegségek csökkentése érdekében	424
A daganatos betegségek járványtana	424
A KRÓNIKUS ASPECIFIKUS LÉGZŐSZERVI BETEGSÉGEK KÖRNYEZET-EPIDEMIOLÓGIAI VONATKOZÁSAI AZ OKK-OKI GYERMEKEK KÖRÉBEN VÉGZETT FELMÉRÉSEI ALAPJÁN.....	438
KÖRNYEZET-EGÉSZSÉGÜGYI HATÁSVIZSGÁLATOK	442
A KÖRNYEZET-EGÉSZSÉGÜGYI HATÁSVIZSGÁLATOK LÉNYEGE ÉS JOGSZABÁLYI VONATKOZÁSAI.....	443
A LÉGSZENNYEZÉS EGÉSZSÉGGÁROSÍTÓ HATÁSÁNAK BECSLÉSE	448
A légszennyezés egészségi hatásainak vizsgálata – történeti áttekintés.....	449
A légszennyezettség környezet-egészségügyi hatásbecslésének módszertana	452
Az egészséghatás számszerűsítése	453
Legfontosabb, hazánkra is vonatkozó hatásbecslések	456
A levegőszennyezés egészségi kockázatának vizsgálata – módszertani segédlet	459
TÉRINFORMATIKAI VIZSGÁLÓ MÓDSZEREK FELHASZNÁLÁSA A KÖRNYEZET-EGÉSZSÉGÜGYI HATÁSBECSLÉSBEN	463
IRODALOMJEGYZÉK	464

BEVEZETÉS

KÖRNYEZET ÉS EGÉSZSÉG – ÁLTALÁNOS ÖSSZEFÜGGÉSEK

Dr. Pándics Tamás, Dr. Dura Gyula

A környezet-egészségügy a kihívások kereszttüzében áll, gyorsan változó társadalmi (termelési, fogyasztási, kommunikációs) elvárások mellett kell teljesítenie helyzetéből eredő feladatait. Ezt kívánjuk elősegíteni a környezet-egészségügyi jegyzettel annak érdekében, hogy emeljük közegészségügyi feladataink ellátásának szintjét a környezeti tényezők egészségre gyakorolt hatásának korai kimutatásában, a környezet szennyezettségére visszavezethető nem fertőző megbetegedések megelőzésében és kezelésében, összehangoljuk lehetőségeinket a közegészségügyi szabályozás követelményeivel, erősítsük a WHO környezet-egészségügyről szóló definíciójában rögzített elvárásoknak való megfelelést.

A WHO 1993-ban a környezet-egészségügyet a következőképpen határozta meg:

„Környezet-egészségügy alatt az emberi egészséget, beleértve az élet minőségét érintő azon tényezőket értjük, amelyeket a fizikai, biológiai, szociális és pszicho-szociális környezet határoz meg. A környezet-egészségügy azon elméleti és gyakorlati kérdésekkel foglalkozik, amelyek a jelen és a jövő társadalom egészségi állapotának felmérését, javítását, a károsító okok kontrollját, illetve kiküszöbölését jelentik.” (WHO, 1993; Londoni Környezet és Egészség Európai Konferencia, 1999)

A fenti meghatározásból következik, hogy a környezet-egészségügy alapfeladata az ember egészségét károsító környezeti tényezők felderítése, biológiai hatásuk megismerése és a lakosság egészének, vagy egyes csoportjainak a jövő generáció egészségi állapotára gyakorolt hatásának elemzése, majd ezt követően javaslatok kidolgozása az egészségkárosító hatások kialakulásának megelőzésére, vagy legalább a környezeti ártalmak okozta kockázat minimálisra csökkentésére.

A környezet állapota, a társadalmi, gazdasági körülmények, a demográfiai változások és az ember egészsége közötti kapcsolat azonban nagyon összetett. A szennyezett környezet, az elégtelen/hiányos táplálkozás, a rossz lakáskörülmények, a zsúfoltság, a nem megfelelő higiénés körülmények, a fokozott fertőzésveszély egészséghatásai kézenfekvők, közismertek. Ennek ellenére nehéz a környezet és az egészség közötti kapcsolatot számszerűen meghatározni. A környezet-egészségügy definíciója is inkább csak érzékelteti, mit is kell a figyelem középpontjába állítani.

Az emberi egészséget meghatározó fizikai, társadalmi, és gazdasági környezeti tényezők mellett nem elhanyagolható szerepet játszanak az egyén genetikai, élettani adottságai, viselkedése, életmódja, valamint az egészségügyi ellátórendszer. Ebben a komplex kapcsolatrendszerben a rendelkezésre álló egészségügyi adatok nem mindig jelzik egyértelműen a környezetben lévő fizikai, kémiai és mikrobiális tényezők egészségre gyakorolt hatásait, az ok-okozati összefüggéseket. Mindazonáltal a különböző társadalmi rétegek közötti egészségi egyenlőtlenségek sokszor korrelálnak a környezeti feltételekkel és a szennyező anyagoknak való széleskörű

kitettség (expozíció) igazolja azt a feltételezést, hogy ezek növelik az egészségi állapotban megmutatkozó egyenlőtlenséget.

A környezet-egészségügy tehát átfogó fogalom, ami egyaránt magában foglalja az embert körülvevő természetes, az épített, a pszicho-szociális és a kulturális környezet tényezőit. Az emberi egészség nem csupán a betegség hiánya, hanem a testi-lelki jólét állapota, így az egészség értékelése is rendkívül összetett és sokféle bizonytalansági tényezőt hordoz. Ugyanis a környezeti hatások – kevés kivételtől eltekintve – viszonylag alacsony szintű expozíciót jelentenek, ugyanakkor ezek a hatások hosszú időn keresztül, sok esetben egész életen át tartanak. Az alacsony szintű hatások mindig összetettek, többnyire nehezen detektálhatók.

A környezet-egészségügy konkrét művelése tehát bizonyos korlátozásokat tesz szükségessé, és e jegyzetben az alábbi összefüggéseket tárgyaljuk:

- Környezet-egészségügy alatt a természetes és épített környezet hatásait értjük, a társadalmi/gazdasági/szociális és kulturális tényezőket részleteiben nem elemezzük.
- A lakosság egészségi állapotát erőteljesen befolyásoló tényezőkkel, nevezetesen a táplálkozással és az életmódbeli szokásokkal (pl. dohányzás) is csak érintőlegesen foglalkozunk.
- A környezeti hatások közül a legjelentősebb környezetszennyezők hatásaival foglalkozunk, azonban ez nem jelenti azt, hogy más tényezőket figyelmen kívül lehet hagyni.
- Az egészségi állapot jellemzésére a halálozás és a várható élettartam változásait alkalmazzuk. Ennek az oka, hogy az egészségi állapot jellemzésére a legmegbízhatóbb adatok a halálozási mutatók. Mindazonáltal a halálozást évtizedekkel korábban kezdődő hatások befolyásolhatják, így a következtetések levonása során ezt feltétlen figyelembe kell venni. Az egészségi állapot értékelésében az egészségügyi ellátás is nagy szerepet játszik, az idejében felderített és megfelelő módon kezelt megbetegedéseket követően a halálozás ideje lényegesen eltérő lehet.
- A környezeti hatások a megbetegedés szintjén elsősorban a fokozottan érzékeny populációkban, nevezetesen a gyerekeknél, időseknél jelentkeznek.

Ismeretes, hogy a magyar lakosság egészségi állapota rendkívül kedvezőtlen és jelentős mértékben elmarad attól, amit társadalmi, gazdasági fejlettségünk szintje lehetővé tenne.

Az utóbbi években az életkilátások tekintetében némi javulás tapasztalható: a születéskor várható élettartam lassú emelkedése indult meg. A magyar lakosság kedvezőtlen egészségi állapota azonban továbbra is hatékony *cselekvést kíván* a társadalom szereplőitől.

Ennek egyik legfőbb iránya ***az egészséget támogató környezet kialakítása.***

A környezet és az egészség kapcsolatának vizsgálatát több tényező segíti, azonban vannak nehezítő körülmények is. Az előbbihez tartozik, hogy a környezetvédelmi és az egészségügyi tevékenységet azonos elvek vezérlik, hasonló eszközöket használnak, és ezek összevethetők a gyakorlati megvalósítás szintjén. Mindkét ágazat szem előtt tartja a megelőzést, a szubszidiaritást, a tiszta környezethez és az egészséghez való egyenlő jogot, az elővigyázatosság elvét és nem utolsósorban azt a mozzanatot, hogy a tiszta környezet és az egészség megőrzése a társadalmi szereplők széleskörű partnerségében érhető el.

A környezetvédelem és a környezet-egészségügy hasonló felügyeleti és szabályozási rendszert (pl. határértékek, monitorozás) működtet, amely megfigyelő és jelentési rendszereken, értékelési és elemzési mechanizmuson nyugszik.

Az országos szakmai felügyelet pedig feltételezi a minőség-ellenőrzött laboratóriumi munkát, a tudományos kutatást, a műszaki fejlesztést, valamint a preventív és/vagy szankcionáló hatósági tevékenységet.

A környezet és egészség kapcsolatát nehezítő körülmények között találjuk azt, hogy az egészségügytől bizonyítékokat várnak az olyan kérdésekre, mint például, hogy az adott környezeti tényező:

- kockázata tudományosan mennyire igazolt;
- az egészségre gyakorolt hatása miben nyilvánul meg;
- milyen számú megbetegedés tulajdonítható adott környezeti tényezőnek és a megbetegedés elkerülhető-e, ha igen, milyen prevenciós stratégiával, illetve milyen költséggel.

Nehéz választ adni a fenti kérdésekre a környezet-egészségügyi kockázati tényezők összetettsége miatt. A környezeti eredetű, vagy a környezeti elemek által közvetített, az ember egészségét vagy jólétét fenyegető veszélyek egyre nagyobb aggodalommal töltik el a szakembereket, a lakosságot, a kormányzatot. Mind több és több egészségünket fenyegető új veszélyforrást fedezünk fel vagy fedezünk fel újra.

A környezeti ártalmak előtérbe kerülése legalább három okkal magyarázható:

- Az új technológiák alkalmazása – a gazdasági fejlődés előre nem látható mellékhatásaként – sokszor teremt új (kémiai, fizikai, mikrobiológiai, baleseti) veszélyforrásokat.
- Az egyre precízebbé váló mérési lehetőségek és a megfigyelő hálózatok olyan környezeti veszélyforrásokat is felderítenek, amelyek ugyan már hosszabb-rövidebb ideje léteznek, csak a detektálásukhoz szükséges feltételek hiányoztak.
- A kedvezőtlen tapasztalatoknak és a tömegtájékoztatás ezekről szóló beszámolóinak hatására a társadalomban egyre jobban tudatosulnak a potenciális környezeti ártalmak.

Az egészségünket fenyegető veszélyforrások felismerése, az általuk képviselt veszélyeztetés mértékeinek becslése és más veszélyforrásokkal való összevetése a kockázatbecslés feladata. A közegészségtan, a környezet- és természettudományok között kapcsolatot teremtő környezet-egészségügyi kockázatbecslés tud választ adni arra, hogy

- a környezeti levegő, víz, talaj, élelmiszer szennyezettsége jelent-e reális egészségkockázatot;
- a vegyi expozíció megnöveli-e a káros távolhatások (utódkárosodás, hormonális zavarok, daganatok) gyakoriságát.

Az ilyen kérdések megválaszolása során felmerülő problémák egyben rávilágítanak azokra a nehézségekre, amelyekkel a környezet-egészségügyi kockázatbecslés során szembe kell nézni. Ilyen például:

- a toxikus anyagok környezeti expozíciós szintjeit és a szervezetbe jutó mennyiségüket bizonytalanságokkal és magas költséggel tudjuk mérni;
- esetenként nem maga a környezetszennyező anyag toxikus, hanem annak metabolitja.

A toxikus anyagok dózis-hatás viszonyai sokszor vitathatók, hiszen az összefüggést tükröző változókat nem mindig ismerjük, vagy nem tudjuk mérni. Különösen igaz ez a hosszú időn át ható, alacsony dózisú környezeti expozíciók esetében. Annak ellenére, hogy jogosan feltételezhetjük azt, hogy az ilyen expozíciók valódi egészségi problémákat idéznek elő, nem könnyű ezek klinikai vagy élettani hatásait populációs szinten megragadni.

Mivel gyakran nagyon hosszú idő telik el az első expozíció és a betegség megjelenése között, előfordulhat, hogy az exponáltak vizsgálata során alacsony incidenciát találunk. Ily módon, különösen akkor, ha a populációnak csak kis részét érte az adott ágens, az egészségi állapot változása akár évekig felfedezetlen maradhat. Ráadásul az emberek nagy részét komplex expozíció éri, ezért nagyon nehéz – szinte lehetetlen – egy adott egészségállapot-romlást egyetlen meghatározott környezeti expozícióval magyarázni.

A képet tovább bonyolítja, hogy számos toxikus anyag nem okoz specifikus szervezeti reakciókat, és az ember több, azonos hatást kiváltó toxikus anyaggal exponálódhat. Így például egyes daganatok egyaránt összefügghetnek bizonyos munkahelyi karcinogén expozícióval vagy az egyén életmódbeli vagy viselkedési szokásaival (pl. dohányzással, alkoholfogyasztással). Az ilyen és egyéb hasonló zavaró hatások kiküszöbölése roppant nehéz. A széleskörű, holisztikus szemlélet ad lehetőséget a kedvezőtlen környezet-, gazdaság- és társadalompolitikai folyamatoknak a lakosság, a sérülékeny csoportok egészségi állapotára, a hátrányos helyzetben lévőkre gyakorolt hatásának mérséklésére.

Hatékony, megfelelően támogatott környezet-egészségügyi munkával reálisan elérhető, hogy

- csökkenjen a környezeti eredetű betegségteher, a krónikus nem fertőző megbetegedések előfordulása;
- bővüljön a környezetben előforduló egészségkárosító hatások feltérképezése;
- humán biomonitring révén pontosabb ismeretekhez jussunk a lakossági expozíciót illetően;
- részletesebben megismerjük az egészségkárosító mechanizmusokat;
- több információval rendelkezünk a települési- és lakókörnyezetben a levegő-, víz- és talaj vegyi és mikrobiológiai szennyezettségi viszonyairól, valamint a lakások, az extrém időjárás helyzetek egészséget befolyásoló jellemzőiről;
- a lakosság széles köre számára hozzáférhetővé váljon a saját környezetével és egészségével kapcsolatos információ;
- erősödjenek a fenntartható fejlődés, a fenntartható egészség irányába mutató tevékenységek.

A környezet-egészségügy jelentősen hozzájárulhat a széleskörű prevenciós szakpolitika fejlesztéséhez azáltal, hogy olyan környezet kialakítása válik lehetővé az egészségügyi ágazat számára, amely elősegíti, hogy a társadalmi, gazdasági, környezeti és fejlesztési programokban az egészségvédelem és egészségmegőrzés megjelenjen és érvényesüljön.

GLOBALIS KÖRNYEZETI PROBLÉMÁK

Dr. Páldy Anna, Középesy Szilvia

Manapság egyre több, úgynevezett globális problémával kell szembenéznünk. Ilyen problémaként értelmezhetjük mindazokat a társadalmi, gazdasági, környezeti jelenségeket és folyamatokat, amelyek hatása nem szűkíthető le országos, regionális vagy kistérségi szintre, hanem a Föld egészére kiterjednek és amelyek az emberiség jövőjét akár katasztrófák sorával fenyegethetik. Ezek elhárítása vagy kezelése is csak globális méretekben, a Föld egész népességének összhangolt, együttes cselekvési programjával valósítható meg. A globális problémák nem csupán térben észlelhetők, hanem időben is: káros hatásai évszázadokon, több nemzedéken keresztül veszélyeztetik az ökológiai egyensúlyt (pl. a kemény freonok, klórozott-fluorozott szénhidrogének légköri tartózkodási ideje változó, de több száz év is lehet).

A globális problémák előtérbe kerülését két fő okkal lehet magyarázni:

- Mennyiségi okok: elsősorban a túlnépesedés és az ehhez kapcsolódó hatalmas méretű, növekvő gazdasági termelés a bioszférához képest.
- Minőségi okok: a termelési, informatikai, közlekedési és hírközlési technika gyors fejlődésével, a nemzetközi munkamegosztás nagyarányú kiszélesedésével a világ országai egymástól kölcsönösen függővé váltak (a folyamatot globalizációnak nevezzük), ami azt jelenti, hogy a világ országai gazdasági-, társadalmi- és kulturális vonatkozásban is összefonódtak. Ebből adódóan bármilyen nagyobb jelentőségű gazdasági vagy természeti változás egy adott térségben a világ egészen távoli területein is igen erőteljesen érezhető hatást vált ki mind a gazdaságra, mind az élővilágra. A technikai fejlődés nemcsak előnyökkel jár, hanem negatív hatásokat is hordoz, ezek a kedvezőtlen környezeti hatások nemcsak lokálisan, hanem regionálisan és globálisan is megjelennek.

Az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (EEA) 2015-ben a Környezet Állapota című jelentésében 11 globális megatrendet nevezett meg, melyek a jövőben alapvetően meghatározzák az emberi egészséget¹:

- 1 — *Eltérő népesedési folyamatok a világban*

A világ lakossága elérte a 8 milliárd főt; az ENSZ 2022. november 15-ét nyilvánította ennek a napjává. Bár a növekedés üteme lassul, az ENSZ legújabb előrejelzései szerint a világ népessége 2030-ra kb. 8,5 milliárd, 2050-re pedig 9,7 milliárd főre nőhet (*I. táblázat, 1. ábra*).

A népesség gyors növekedése a magas mortalitási és termékenységi szintről az alacsony szintre történő demográfiai átmenetnek közös jellemzője. Amíg sok országban ez az átmenet már véget ért, és a népesség lassan növekszik (ha egyáltalán nő); addig máshol a demográfiai átmenet még korai vagy köztes stádiumban van, a népesség pedig igen gyorsan nő. A globális termékenységi ráta 2021-ben 2,3 volt; ez 2050-re várhatóan 2,1-re fog csökkenni. A továbbra is magas termékenységi szinttel rendelkező országok esetében a fenntartható fejlődési célok – különösen az egészséggel, az oktatással és a nemek közötti egyenlőséggel kapcsolatos célok – elérése valószínűleg a termékenység gyorsabb csökkenésének irányába hat, ezáltal a lassabb

¹ <https://www.eea.europa.eu/soer/2015/global>

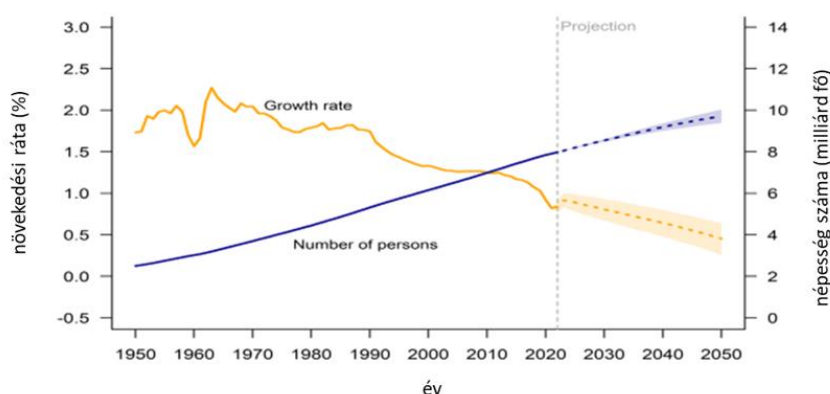
népességnövekedés felé. A csökkenő halálozási arányok a születéskor várható élettartam növekedésében tükröződnek. Az átlagos várható élettartam a világon 2019-ben elérte a 72,8 évet, ami 1990 óta csaknem 9 év növekedést jelent. Becslések szerint 2050-re a halandóság további csökkenése 77,2 év körüli átlagos élettartamot eredményez majd (2. ábra). Jelenleg Kína és India adja – egyenként több mint 1,4 milliárd fővel – a világ két legnépesebb régióját. Az ENSZ adatai szerint India lakossága 2023 áprilisában elérte Kína lakosságszámát, majd várhatóan hamarosan meghaladja azt. Ezzel az írott történelem során először fog előfordulni, hogy nem Kína lesz a világ legnépesebb országa. A 2050-ig várható globális népességnövekedés több mint fele mindössze nyolc országra: a Kongói Demokratikus Köztársaságra, Egyiptomra, Etiópiára, Indiára, Nigériára, Pakisztánra, a Fülöp-szigetekre és a Tanzániai Egyesült Köztársaságra koncentrálódik (United Nations, 2022).

I. táblázat A népesség alakulása az ENSZ előrejelzései szerint, régióként/millió fő

Régió	2022	2030	2050
Globálisan	7,942	8,512	9,687
Szubszaharai Afrika	1,152	1,401	2,094
Észak-Afrika és Nyugat-Ázsia	549	617	771
Közép- és Dél-Ázsia	2,075	2,248	2,575
Kelet- és Délkelet-Ázsia	2,342	2,372	2,317
Latin-Amerika és a Karib-térség	658	695	749
Ausztrália/Új-Zéland	31	34	38
Óceánia*	14	15	20
Európa és Észak-Amerika	1,121	1,129	1,125
Legkevésbé fejlett országok	1,112	1,328	1,914
Tengerparttal nem rendelkező fejlődő országok	557	664	947
Fejlődő kis szigetállamok	74	79	87

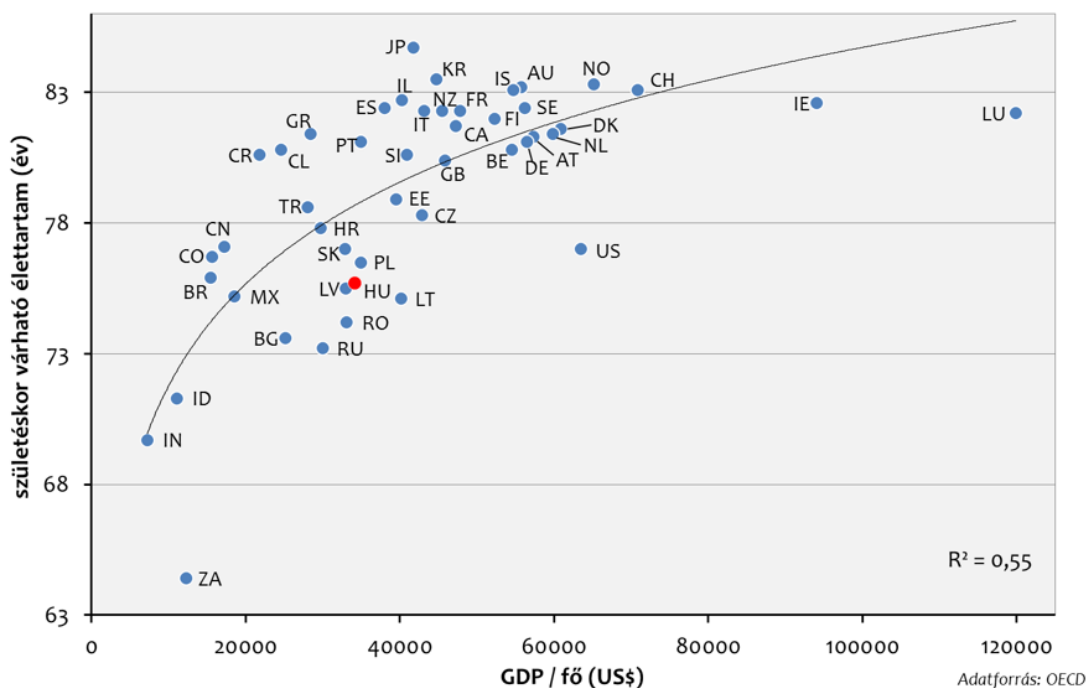
* kivéve Ausztrália és Új-Zéland

(forrás: United Nations, 2022)



1. ábra A világ népességszámának és a termékenységi ráta várható alakulása

(forrás: United Nations, 2022)



2. ábra A születéskor várható élettartam és az egy főre jutó GDP az OECD országokban, 2020.
(forrás: United Nations, 2022)

- 2 — *Városiasodó világ*

Az urbanizáció összetett társadalmi-gazdasági folyamat, amely átalakítja az épített környezetet. Folyamata során a korábban vidéki települések városi településekké alakulnak át, miközben a lakosság térbeli eloszlása is megváltozik. A gazdasági tevékenységek és az innováció egyre nagyobb hányada koncentrálódik a városokban, emellett a városok a közlekedés, a kereskedelem és az információáramlás csomópontjaivá válnak. Bár az urbanizáció folyamata már a 20. század elején megindult Európában és Észak Amerikában, és azóta is töretlen, mostanra új jellegzetességeket mutat. 2050-re a világ több, mint kétharmada (68%-a) városokban fog élni, a többség azonban kis- (1 millió alatti lakosú) és közepes méretű (1-5 millió lakosú) városokban, amelyek kétszer olyan gyorsan növekszenek, mint az ún. megavárosok, amelyek lakosságszáma a 10 milliót is meghaladja.

Ahogy a világ tovább urbanizálódik, a fenntartható fejlődés egyre inkább a városok növekedésének sikeres kezelésétől függ, különösen az alacsony és alsóközép jövedelmű országokban, ahol az urbanizáció sebessége várhatóan a leggyorsabb lesz (United Nations, 2019).

- 3 — *A betegségterhek és a pandémiák kockázatának változása*

A nem fertőző betegségekből eredő globális betegségterhek ma már meghaladja a fertőző betegségekből eredő terhet. A világméretű járványok veszélye azonban továbbra is fennáll, részben a növekvő mobilitás miatt. Ehhez kapcsolható az antimikrobiális rezisztencia (AMR) kialakulása, ami globálisan egyre nagyobb fenyegetést jelent².

² <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/antimicrobial-resistance>

A betegségek és halálesetek mintegy 25%-a környezeti okokra vezethető vissza. A városi légszennyezés 2050-re várhatóan világszerte a korai halálozás fő környezeti okává válik.

Bár Európa jelentős javulást ért el a közegészségügy terén, a népesség előregedése és az éghajlatváltozás hatásai – beleértve az új, vektorok által terjesztett betegségeket – további közegészségügyi beavatkozásokat és kiigazított környezetvédelmi politikákat tesznek szükségessé.

- 4 — *Gyorsuló technológiai változások*

A technológiai változások üteme példátlan, különösen az információs-, kommunikációs-, nano- és biotechnológiák területén. Ez lehetőséget kínál arra, hogy az életminőség javítása mellett csökkentsük az emberiség környezetre gyakorolt hatását és a nem megújuló természeti erőforrásoktól való függőségét, ösztönözzük az innovációt és a zöld növekedést. A technológiai innovációval kapcsolatos kockázatok és bizonytalanságok a megfelelő szabályozási keretek megalkotásával, és az elővigyázatosság elvének segítségével kezelhetők.

- 5 — *Folyamatos gazdasági növekedés*

Az ENSZ által kitűzött, 2030-ig elérendő 17 fenntartható fejlődési célok egyike az „inkluzív és fenntartható gazdasági növekedés, a foglalkoztatás és a tisztességes munka előmozdítása mindenki számára”.

Az előrejelzések szerint a világ gazdaság teljesítménye 2010 és 2050 között meg-háromszorozódik, bár a növekedés várhatóan számos országban lassulni fog. Az elmúlt évtizedek gyors gazdasági növekedése csökkentette a globális szegénységet és növelte a jólétet, de növekvő egyenlőtlenséggel és fokozódó környezeti nyomással is járt. Európában a lassuló növekedés megnehezíti a környezetvédelem közfinanszírozását és növeli a társadalmi egyenlőtlenségeket. Jelenleg a bruttó hazai termék (GDP) az emberi jólét és a növekedés mérőszáma, azonban ennek használatának megvannak a korlátai, ezért nemzetközi szinten szükségessé vált a társadalmi fejlődés jobb mutatóinak meghatározása.

- 6 — *A világ növekvő multipolaritása*

A strukturális változások, a munkaerő gyorsan növekvő száma és a kereskedelem liberalizációja által hajtva a fejlődő régiók gyorsan növelik részesedésüket a globális gazdasági teljesítményben, a kereskedelemben és a beruházásokban. Ez az egyensúlyváltás a verseny szempontjából Európa számára fenyegetést jelenthet, de egyben, a gyorsan növekvő globális középosztály igényeinek kielégítésén keresztül gazdasági lehetőségeket is rejt. A feltörekvő gazdaságok növekvő száma és sokfélesége azonban valószínűleg megnehezíti az irányítás összehangolására irányuló globális erőfeszítéseket nemcsak a gazdasági stabilitás, hanem a környezetvédelem területén is.

- 7 — *Fokozódó verseny az erőforrásokért*

Az anyagi erőforrások globális felhasználása a 20. század kezdete óta folyamatosan nő – mára megtízszereződött – és várhatóan 2030-ra ismét megduplázódik. A gazdasági növekedés

lehetősége azonban nem korlátlan, a gazdaság méretét meghatározza a Föld eltartó- és tűrőképessége. Ezek a korlátok rövid távon átléphetők, mivel meghaladásuk következménye időben késleltetve jelentkezik. A növekvő kereslet veszélyeztetheti az egyes alapvető erőforrásokhoz való hozzáférést és egyben környezeti károkat okoz. Egyes erőforrások egyenlőtlen földrajzi eloszlása tovább növelheti az áringadozást, ami negatívan hathat az életszínvonalra, és akár geopolitikai konfliktusokhoz is vezethet. Európa számára ez komoly aggodalomra ad okot, mivel gazdasága szerkezetileg importfüggő. Bár a nyersanyaghiány és az emelkedő árak ösztönözhetik az ellátási kockázatokat mérséklő technológiákba történő beruházásokat, az ilyen innovációk nem feltétlenül csökkentik a környezet terhelését.

- 8 — *Növekvő nyomás az ökoszisztémákon*

A növekvő létszámú emberiség – a gyorsan változó étel- és energiafogyasztási szokásaiból eredő igényeivel – egyre nagyobb nyomást gyakorol a Föld ökoszisztémáira és azok életfenntartó szolgáltatásaira. Ezek a növekvő igények, mint például a húsból gazdag étrend, a növekvő vízhasználat, vagy a bioüzemanyag-termelés – az éghajlatváltozással együtt járva – aggodalomra adnak okot.

Az éghajlatváltozás és a folyamatos környezetszennyezés hatására a globális élőhelypusztulás és a biológiai sokféleség csökkenése az előrejelzések szerint egyre fokozódik, többek között Európában is. A globális ökoszisztémák és szolgáltatásaik folyamatos romlása hatással lesz a szegénységre és az egyenlőtlenségre, ami a migráció növekedéséhez vezethet.

- 9 — *A klímaváltozás egyre súlyosabb hatásai*

Az elmúlt időszakban tapasztalt változások a globális éghajlatban – évezredek távlatában is – példa nélküliek, és várhatóan csak fokozódni fognak. Az éghajlatváltozás egyre inkább veszélyezteti a természetes ökoszisztémákat és a biológiai sokféleséget, lassítja a gazdasági növekedést, aláássa a globális élelmiszerbiztonságot, veszélyezteti az emberi egészséget és növeli az egyenlőtlenségeket.

A mélyreható és visszafordíthatatlan változások nagysága – az okozott káros hatások – csökkenthetők a megfelelő, az európai és nemzetközi szinten már meghozott intézkedésekre épülő további kibocsátáscsökkentő és alkalmazkodási intézkedések megvalósításával. A fő hajtóerők az üvegházhatású gázok emissziója, a helytelen mezőgazdasági gyakorlat és az erdőirtások. Az Európát is érintő fő kockázatok közé tartozik a hőmérséklet tartós emelkedése, a szélsőséges időjárási jelenségek, mint az árvizek, az aszályok, hőhullámok, a jégtakaró és a gleccserek olvadása, a tengerszintek emelkedése, elsivatagosodás, stb.

- 10 — *A környezet növekvő szennyezése*

Az ipari forradalom 19. századi kezdete óta a környezetszennyezés globális, határokon átnyúló problémává nőtte ki magát, amely egyaránt érinti a levegőt, a vizet, a talajt és az ökoszisztémákat, ezáltal közvetlenül kapcsolódik az emberi egészséghöz és jóléthez. Ennek egyik fő mozgatórugója a világ népességének növekedése, ami a gyors, bár egyenlőtlen gazdasági

fejlődéssel párosulva a globális termelés, fogyasztás és mobilitás hatalmas növekedéséhez, valamint az élelmiszer- és energiaigény növekedéséhez vezetett.

A szennyezés három fő emberi tevékenységhez kapcsolódik: a fosszilis tüzelőanyagok elégetése, a szintetikus műtrágyák és növényvédő szerek alkalmazása a mezőgazdaságban, valamint a vegyi anyagok növekvő használata és többszörös expozíciója.

Az előrejelzések szerint az elkövetkező évtizedekben az általános szennyezési szintek szerint erőteljesen növekedni fognak, különösen Ázsiában.

- 11 — *A kormányzás egyre többféle megközelítése*

A globális klíma- és környezeti válság kezelése globális kormányzati megközelítést igényel, ami azonban számos ok miatt nehézkes. A gyors globalizációval összefüggésben a kormányok nem találják a megfelelő egyensúlyt a társadalom előtt álló, egyre inkább hosszú távú, globális, rendszerszintű kihívások, valamint az inkább nemzeti és rövid távon megoldást igénylő problémák és saját hatáskörük között.

Az új kihívások és lehetőségek újfajta megközelítést igényelnek, amelyek kiegészítik az eddigi hierarchikus és piac dominálta kormányzást. Például a globális piacok integrációja azt jelenti, hogy az erőforrás-felhasználás számos hatása a termékek fogyasztási helyétől távol érezhető, míg más kihívások a globális természeti tőkével való gazdálkodással kapcsolatosak. Az üvegház-hatású gázok kibocsátása például a légkör egészét érintik, és az ezzel kapcsolatos hatások valószínűleg a jövő generációit terhelik a legnagyobb mértékben. Mivel az éghajlatváltozás mérséklése világszerte összehangolt fellépést igényel, az egyes kormányok nem feltétlenül motiváltak arra, hogy egyoldalú lépéseket tegyenek a kibocsátás csökkentésére. Például, az olyan globális közjavak esetében, mint az esőerdők, a bolygó egészére nézve hosszú távon olyan szolgáltatások köthetőek, mint a szén-dioxid tárolása és a biológiai sokféleség, rövid távon azonban ezzel szemben áll az eltérő földhasználatból származó pénzügyi haszon. Általános tendencia, hogy a rövid politikai ciklusok következtében a döntések meghozatalakor figyelmen kívül hagyják a hosszú távú szempontokat. Ugyanakkor a társadalmi- és technológiai változások elősegíthetik a kormányzás innovációit. Az egyes kormányok közti megállapodások megkötésén túl egyre inkább szükségessé válik a kormányok feletti kormányzási hálózat kiépítése.

A környezeti egyensúly felborulása és a globális kockázatok

A környezeti problémák lényege, hogy felborul a kölcsönhatások korábbi, normális egyensúlya. A környezeti problémák természetükből fakadóan általában komplexek, a kölcsönhatások végtelensége érvényesül például az atmoszféra és a bioszféra között. Az ipar által előállított üvegházhatású gázokról, savasító, szennyező anyagokról például kiderült, hogy az ózonréteg elvékonyodását a kölcsönhatás révén tovább súlyosbítják.

Üvegházhatás

A Föld éghajlatát a napenergia folyamatos áramlása biztosítja. A Földet ért energia egy részének vissza kell kerülnie a világűrbe infravörös sugárzás formájában. Az „üvegházhatású gázok” a légkörben blokkolják, meggátolják, hogy a hő a Föld felszínéről közvetlenül a világűrbe kerüljön. Ennek hiányában a Föld éves átlaghőmérséklete több tíz fokkal hűvösebb lenne (15°C helyett kb. -18°C).

A fő üvegházhatású gázok a következők: vízpára, CO₂, O₃, CH₄, NO, CFC – a vízpára kivételével valamennyi üvegházhatású gáz koncentrációja növekszik^{3,4}.*

Az éghajlati rendszernek alkalmazkodnia kell a növekvő üvegházhatású gáz koncentrációhoz, hogy fenntarthassa a globális „energia felhasználás” egyensúlyát. Hosszútávon a Földnek ugyanolyan arányban kell megszabadulnia az energiától, ahogyan a Napból jön az energia. Mivel egy vastagabb üvegházhatású gázréteg csökkenti az energia veszteséget a világűr irányába, az

éghajlatnak olyan irányban kell változnia, hogy megmaradjon a bejövő és távozó energia egyensúlya. Az alkalmazkodás a Föld felszínének és a légkör alacsonyabb rétegeinek általános melegedését eredményezi.

A felmelegedés azonban egyéb következményekkel is jár: például megváltozik a felhőzettség, illetve a légmozgások. Ezek a változások elősegítik vagy éppen csökkentik a melegedést.

Üvegházhatású gázok és aeroszolok

Az üvegházhatású gázok (ÜHG) szabályozzák az atmoszférában az energiaáramlást az infravörös sugárzás elnyelése révén. Ezek a gázok a légköri gázok 1%-át teszik ki. A természetes üvegházhatás fenntartásához legnagyobb mértékben a vízpára járul hozzá. Az emberi tevékenység azonban fokozott üvegházhatást eredményez.

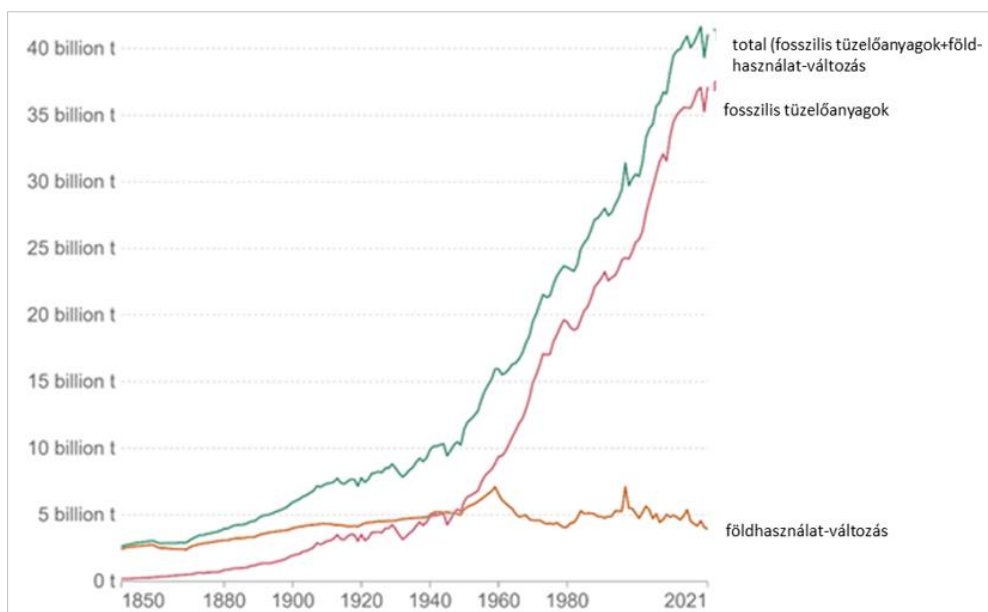
Az üvegházhatású gázok kibocsátásának indikátora hét üvegházhatású gáz (CO₂, CH₄, N₂O – dinitrogén-oxid, HFC – fluorozott szénhidrogén, PFC – perfluor-karbon, SF₆ – kén-hexafluorid, NF₃ – nitrogén-trifluorid) kibocsátását mutatja, CO₂-egyenértékre átszámolva.

A CO₂ több mint 70%-ban felelős a fokozott üvegházhatásért. 1950-ben a világ 6 milliárd tonna CO₂-t bocsátott ki, ez 1990-re csaknem megkétszereződött, és meghaladta a 22 milliárd tonnát. A kibocsátás továbbra is gyorsan növekedett; ma már évente több mint 35 milliárd tonnát bocsátunk ki (3. ábra). Az emberi tevékenység által termelt CO₂ belép a természetes szén ciklusba. Az elmúlt 10 000 év alatt alig változott 10%-kal a CO₂ szint, de 1800 óta, 280 ppm-ről 50%-kal, 421 ppm-re (2022 május) emelkedett. Annak ellenére, hogy az emberi tevékenység által kibocsátott CO₂ mennyiség felét abszorbeálja a növényi vegetáció és az óceánok, és a kibocsátás korlátozására nemzetközi egyezmény született, folyamatos növekedés tapasztalható, ami egyértelműen az emberi tevékenységnek köszönhető.

**CFC (chlorofluorocarbon): olyan halogénezett szénhidrogén, amely a szén mellett csak fluort és/vagy klórt tartalmaz*

³ <https://css.umich.edu/publications/factsheets/climate-change/greenhouse-gases-factsheet>

⁴ <https://public.wmo.int/en/greenhouse-gas-bulletin>



3. ábra A fosszilis tüzelőanyagokból és a földhasználat változásából származó globális CO₂-kibocsátás, 2021.
(forrás: Our World in Data, 2023)

A CO₂ vízzel való reakciója során szénssav keletkezik, ami csökkenti az óceánok pH-értékét. Az ipari forradalom kezdete óta az óceánok felszíni vizeinek pH-értéke 8,21-ről 8,10-re esett. Ez a pH-értékcsökkenés az óceánok elsavasodását jelenti.

A **metán (CH₄)** szintén fontos üvegházhatású gáz, szintje már megkétszereződött. A metán elsődleges forrásai a mezőgazdaság (különösen a szarvasmarha tenyésztés és rizstermesztés), a szénbányászati tevékenységek, és mivel a földgáz fő összetevője; a hulladéklerakókból, a földgáz- és kőolajiparból is szabadul fel. A metán koncentráció gyorsabban nőtt az utóbbi időben, mint a CO₂, de a metán életideje a légkörben csak 12 év. Az üvegházhatást okozó gázok összes kibocsátásának körülbelül 16%-át adja.

A klímaváltozás hatására jelentősen felgyorsult az olvadás az örök fagy, a permafroszt területein is. Permafrosztnak nevezzük azt a földet, amely legalább két évig folyamatosan fagyott állapotú. A 20. században 6 fokkal nőtt az éves átlaghőmérséklet ezekben a zónákban.

Az örökké fagyott talaj hatalmas mennyiségű üvegházhatású gázt rejt, továbbá veszélyes vegyi anyagokat, mikrobákat és vírusokat. Ezek felszabadulása katasztrofális következményekkel járhat. Az űrfelvételek tanulsága szerint millió helyszínen áramlik a metángáz az olvadó talajon át. A metán kráterek megjelenése rendkívüli veszélyt jelent. Szibéria fölött a metángáz mennyisége az utóbbi évtizedekben kb. 5-10%-kal nőtt a légkörben.

A jelenlegi modellek azt jósolják, hogy a következő száz évben, de lehet, hogy hamarabb is, a permafrosztból a légkörbe kerülő szén impulzusszerű felszabadulását fogjuk látni. Ezek az impulzusszerű kitörések hatalmas mennyiségű szenet pumpálhatnak majd a légkörbe.

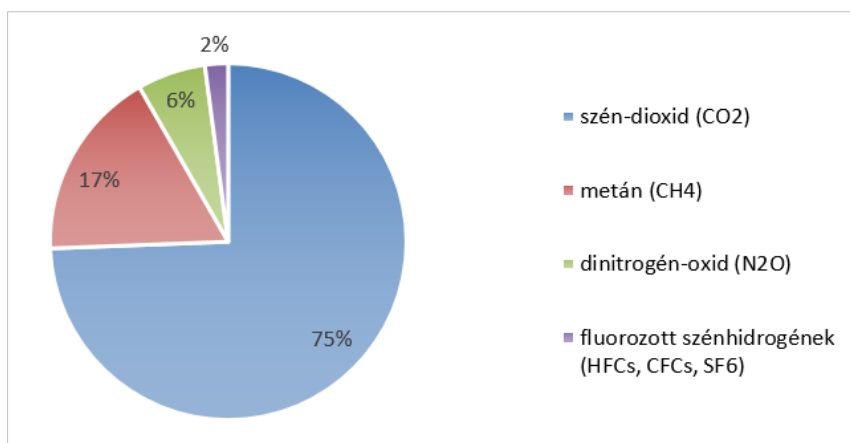
Becslések szerint csak a sarkvidéki permafroszt 1700 milliárd tonna szenet tartalmaz, beleértve a szén-dioxidot és a metánt is. Összehasonlításképp, ez a mennyiség nagyjából 51-szer annyi, mint amennyit a világ 2019-ben a fosszilis tüzelőanyagok égetésével kibocsátott.

A NASA tanulmánya⁵ szerint a leginkább borúlátó forgatókönyvek azzal számolnak, hogy az összes eltárolt szén-dioxid és metán nagyon rövid idő, akár néhány év alatt szabadul fel. Az optimistább elképzelések szerint inkább egy elnyúló, fokozatos folyamatra lehet számítani.

A **dinitrogén-oxid (N₂O)** viszonylag kis részét – mintegy 6%-át – teszi ki az üvegházhatást okozó gázok globális kibocsátásának (6,2%, 2016), azonban a légkörben töltött élettartama meghaladja az egy évszázadot. A dinitrogén-oxid-kibocsátás legjelentősebb forrása a mezőgazdaság és az állattenyésztés, beleértve a műtrágya, a szerves trágya, a mezőgazdasági maradványok, valamint az üzemanyagok elégetését.

A **nitrogén-monoxid (NO)** koncentráció 15%-kal nőtt, elsősorban mezőgazdasági tevékenység következtében.

Az olyan ipari gázok, mint, például a **fluorozott szénhidrogének**, a perfluor szénhidrogének (HFCs), a klórozott-fluorozott szénhidrogének (CFCs), a kén-hexafluorid (SF₆) és a nitrogén-trifluorid (NF₃) nagy felmelegedési potenciállal rendelkeznek (gyakran több ezerszer erősebb, mint a CO₂), és évszázadokig – évezredekig tartózkodnak a légkörben. A klór-fluorokarbonok (CFC), és az ózon felelős az üvegházhatás fennmaradó részéért (4. ábra).



4. ábra Üvegházhatású gázok éves globális emissziója
(forrás: Climate Watch, the World Resources Institute, 2020)

A CFC koncentráció a 90-es évek elejéig nőtt, majd az 1987-ben aláírt és 1989-ben hatályba lépett Montreali Jegyzőkönyv több lépcsőben szabályozta a CFC kibocsátást a sztratoszférikus ózonréteg védelmében. Sajnos a vizsgálatok azt jelzik, hogy bár a klórozott-fluorozott szénhidrogének (CFC-k) gyártását 2010-ben a Montreali Jegyzőkönyv értelmében világszerte betiltották, egyes CFC-k légköri mennyisége 2010 és 2020 között ismét nőtt, ellentétben a kivonás céljaival.

⁵ <https://www.nasa.gov/feature/jpl/thawing-permafrost-could-leach-microbes-chemicals-into-environment>

Ennek oka valószínűleg az, hogy a Montreali Jegyzőkönyv engedélyezi a CFC-k előállítását, amennyiben más vegyi anyagok előállítása során alapanyagként használják fel (Western et al., 2023).

A légköri aeroszolloknak szintén jelentős szerepük van az időjárás és az éghajlat alakulásában. A légkörben lebegő részecskék körülbelül 90%-a természetes eredetű, a maradék 10%-ot mi, emberek juttatjuk oda, ezért ezeket antropogén aeroszolloknak nevezzük. Jórészt a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből, a nem fenntartható mezőgazdasági gyakorlatból, valamint az erdők felégetéséből származnak.

Az ipar által generált kén-aeroszokok helyi hűtő hatásúak lehetnek. Ez egyrészt csökkenti a melegedést, másrészt a savas esők sok problémát jelentenek. Az aeroszokok azáltal hűtik a légkört, hogy visszaverik a napsugárzást. A felhősödés számára kondenzációs magokat képeznek, így elősegítik a csapadékképződést.

A környezeti problémák tudatosulása, a környezetvédelem megjelenése a politikában

Rachel Carson 1962-ben, a mezőgazdaság kemizációjának fénykorában írta meg a Néma Tavasz (Silent Spring) című korszakalkotó könyvét, amelyben felhívta a figyelmet az emberi tevékenység által okozott, immár globálissá váló káros környezeti hatásokra, kétségbe vonva az ember jogát a „természet leigázására”, és ezzel katalizálta a környezetvédő mozgalmak, az első törvények, állami ellenőrző szervek megszületését. Könyvében példák sorával bizonyította, hogy a növényvédő szerek esztelen használata visszafordíthatatlan pusztítást okoz a növény- és állatvilágban, és beláthatatlan következményei lehetnek az emberre nézve is.

Az 1968-ban magánkezdeményezésre létrejött Római Klub a kor vezető tudósait hívta össze, akik céljaikat a következőképpen foglalták össze: „Olyan módon kívánjuk feltárni az emberi események menetét, amely hatni képes a kormányokra és népekre, és befolyásolja az emelkedő népesség, a növekvő környezetszennyeződés, a nagyobb zsúfoltság és a növekvő társadalmi összeütközések trendjét”.

A Római Klub első jelentését, „A növekedés határai” (The Limits to Growth) címmel az MIT munkacsoportja készítette el 1972-ben, mely szintén korszakalkotó, számítógépes világmodell volt.

A program 1900-tól kezdve öt fő szektor – népesség, ipar, mezőgazdaság, nem megújuló erőforrások, környezetszennyezés – kölcsönhatását és jövőbeli alakulását kísérte figyelemmel több variációban 2100-ig. A különböző modellekben számos bizonytalanság, előre nem látható feltétel, tényező volt (pl. a társadalmi változásokat és a technológiai fejlődést nem vette figyelembe), azonban az összes modell végső következtetése ugyanaz volt, amit a következőkben foglalmaztak meg:

„Korlátozva lesz a világregndszer jövőbeli növekedése, és aztán összeomlik egy lehangoló, kimerült létbe.”

A jelentés heves ellenzést váltott ki a legtöbb kormányból, a növekedéspárti politikusokból. Többé azonban nem lehetett a szőnyeg alá söpörni a problémákat. Bár az 1972-ben Stockholmban tartott ENSZ Konferencia az Emberi Környezetről az ENSZ Környezeti programjának

(UNEP) megalakításával zárult, áttörést nem ért el a környezetvédelmi problémák kezelésében, ezért 1983-ban létrehozták az ENSZ Környezet és Fejlődés Világbizottságát – más néven Brundtland-bizottságot – amely 1987-ben tette közzé „Közös jövőnk” című, vagy másképpen Brundtland-jelentését.

A jelentés 1987-ben így fogalmazta meg: „A természeti források komplexitása és széles skálája iránti igényeink nagymértékben fokozódtak a népesség és a termelés növekedésével. A természet bőkezű, de ugyanakkor törékeny és finoman kiegyensúlyozott is. Vannak küszöbök, amelyeknek átlépése az egész rendszer épségét veszélyezteti.” A jelentésben jelent meg a fenntartható fejlődés fogalma, azonban nem mondta ki, hogy a növekedés lehetősége a környezet eltartóképességének függvénye. A jelentés nem vette figyelembe, hogy az emberiség már átlépte a környezeti rendszerek eltartóképességének határát, s ilyen körülmények között nem lehet sürgetni a növekedés még nagyobb ütemét. Emellett a szegénységet vádolja a rossz környezeti állapot kialakításával, noha mára egyértelmű, hogy a világ arányaiban jóval kisebb gazdag rétege nagyságrendekkel nagyobb környezeti terhelést jelent indokolatlan igényeinek kielégítése által.

Tíz évvel később az UNEP – az ENSZ környezeti intézménye a következőképpen aktualizálta a globális környezeti problémákat:

- a megújítható erőforrások (a föld, az erdő, az édesvíz, a part menti területek, a halászat és az urbanizálódó területek levegőminősége) felhasználása már meghaladta annak természetes önregeneráló képességét, ezért ebben az állapotban fenntarthatatlan;
- az üvegházhatású gázok kibocsátása még mindig magasabb szintű, mint amit az ENSZ éghajlatváltozásról szóló keretegyezményében stabilizációs célként nemzetközileg elfogadtak;
- a természetes területek és az azon tapasztalható diverzitás a mezőgazdasági művelésbe vont területek és az emberi települések terjeszkedése folytán folyamatosan csökken;
- a gazdasági fejlődés során alkalmazott vegyi anyagok felhasználása és terjesztése növekszik, mindenre kihat, ez pedig jelentős egészségügyi kockázatok megjelenését, a környezet szennyezését jelenti;
- az energiaszektorban tapasztalható globális fejlesztések fenntarthatatlanok;
- a gyors, tervezés nélküli urbanizáció, különösen a part menti területeken, jelentős nyomást gyakorol a szomszédos ökoszisztemekre;
- a globális bio-geokémiai ciklusok közötti komplex és gyakran csak kevésbé értett kölcsönhatások széles körű elsavasodást, az éghajlat változékonyságát, a hidrológiai ciklusok megváltozását, a biodiverzitás, a biotömeg és a biotermelékenység elvesztését jelenti;
- bizonyos társadalmi tendenciák is negatív hatással vannak a környezetre, nevezetesen a nemzetek közötti és a nemzeteken belüli egyenlőtlenség növekedése, az éhezés és a szegénység további fennmaradása annak ellenére, hogy globálisan elegendő élelmiszer áll rendelkezésre;
- az erőforrások folytatódó pusztulása és a vegyi szennyezés következményeként az emberi egészség továbbra is nagy veszélyben van.

A mind sokoldalúbb környezeti megfigyelések és tudományos elemzések nyomán a globális éghajlati rendszer állapotának megváltozása, az ezt kiváltó természeti és társadalmi okok, a lehetséges hatások az 1970-es évektől kezdődően kerültek a nemzetközi politikai együttműködés napirendjére. Az 1972. évi környezetvédelmi ENSZ-konferencián (UNCHE, 1972), majd az 1979. évi Éghajlati Világkonferencián arról határoztak, hogy elő kell segíteni e rendkívül összetett környezeti rendszer folyamatainak megfigyelését, kutatását, mert nagyobb tudományos bizonyosságra van szükség a hajtóerőket, ok-okozati kapcsolatokat, a veszélyes hatásokat illetően.

Ennek érdekében 1979-ben elindították az Éghajlati Világprogramot, majd 1988-ban létrehozták az Éghajlatváltozási Kormányközi Testületet (IPCC), amelynek jelentései nagymértékben hatottak a nemzetközi klímapolitikai tárgyalásokra, megállapodásokra. Az ENSZ égisze alatt megalakult Környezet és Fejlődés Világbizottság 1987. évi jelentése, majd az említett testület 1990. évi első értékelő jelentése (IPCC, 1990) is rámutatott arra, hogy a különféle emberi tevékenységek miatt a földi légkörbe kerülő üvegházhatású gázok előidézhetik az éghajlat viszonylag gyors és jelentős mértékű megváltozását. Emiatt a nemzetközi együttműködés sürgős megerősítését szorgalmazták mind a témakör tudományos vizsgálatával, mind a teendők – elsősorban a kibocsátás-szabályozás – egyeztetésével kapcsolatban.

Az ENSZ Közgyűlés 1990. évi határozata alapján készült el az ENSZ Éghajlatváltozási Keret-egyezménye (UNFCCC, 1992), és azt az 1992 júniusában megtartott ENSZ Környezet és Fejlődés Konferencián nyitották meg aláírásra. Az éghajlatváltozási egyezmény célkitűzése szerint – az elővigyázatosság figyelembevételével – el kell érni, hogy az üvegházhatású gázok légköri koncentrációja ne haladjon meg egy veszélyes szintet, illetve az éghajlatváltozás üteme már ne lépjen át egy olyan mértéket, amelyhez az ökológiai és a társadalmi-gazdasági rendszerek már nem tudnának alkalmazkodni.

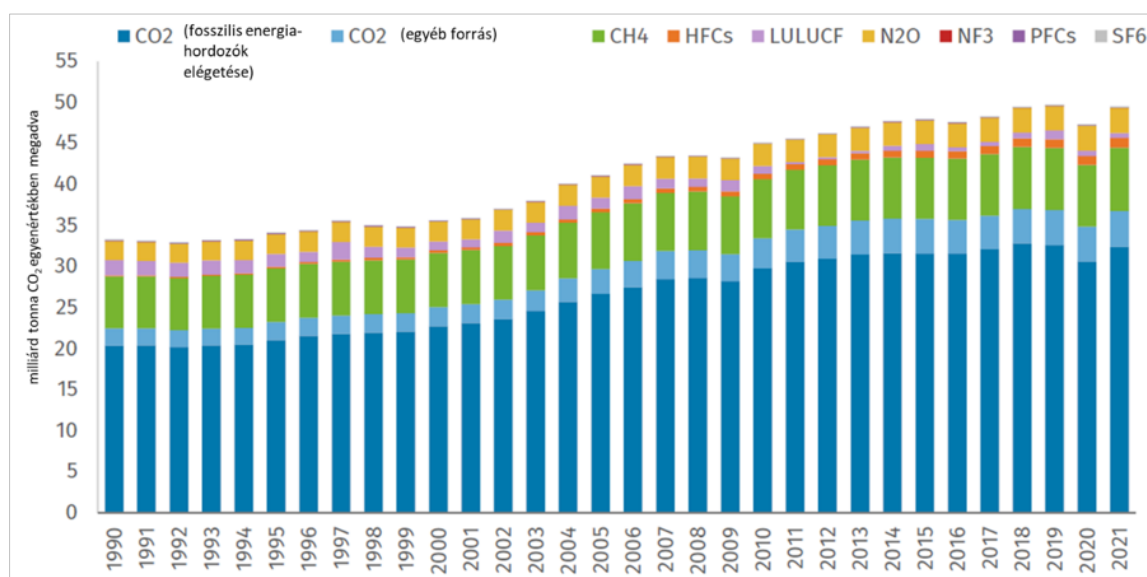
Ennek érdekében megfelelő időhatáron belül mindenekelőtt szabályozni, csökkenteni kell az érintett gázok emberi tevékenységekből származó kibocsátását, de egyúttal fel kell készülni a már elkerülhetetlennek látszó változásokhoz való alkalmazkodásra is. A célkitűzéshez kapcsolódóan a fejlett és átmeneti gazdaságú országok vállalták, hogy a gázok kibocsátása az ezredfordulón nem fogja meghaladni az 1990. évi szintet.

Az egyezmény végrehajtásának nyomon követésére létrehozták a Részleges Felek Konferenciájának intézményét. Az egyezmény 1994-ben lépett hatályba, és napjainkra ahhoz minden ENSZ-tagállam csatlakozott.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület második jelentése 1995-ben még komorabb képet festett az üvegházhatású gázok gyorsan növekvő légköri mennyiségének lehetséges következményeiről (5. ábra). Ezt figyelembe véve az 1997 decemberére elkészült **Kiotói Jegyzőkönyv**-ben a fejlett és az átmeneti gazdaságú országok kibocsátás-csökkentést vállaltak: átlagosan öt százalékos csökkentést az 1990. évi szinthez képest, amit a 2008-2012 közötti, első kötelezettségvállalási időszak éves átlagában kellett elérniük. A jegyzőkönyv 2005-ben lett hatályos, azóta évente megtartják a részleges felek találkozóját. Meg kell jegyezni, hogy a jegyzőkönyv alapján elérendő és elért kibocsátáscsökkentés sajnos messze elmaradt a szükségességtől, mivel az elfogadott kismértékű csökkentési cél csak az iparosodott országokra vonatkozott, a fejlődő országok csoportja pedig távlati kibocsátás-mérséklési célt sem vállalt.

2005-ben döntés született arról, hogy meg kell kezdeni a Jegyzőkönyv további szigorításának, időbeli kiterjesztésének előkészítését. E tárgyalások elsősorban a fejlett és átmeneti gazdaságú országok újabb kibocsátás-csökkentési kötelezettségeiről szóltak a 2012 utáni időszakra.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület 3. (IPCC, 2001) jelentéséből kiderült, hogy a felszíni átlaghőmérséklet két fokkal való emelkedése már súlyos változásokat idézhet elő bizonyos ökológiai rendszerek működésében, „szolgáltatásaiban” és ennek jelentős káros társadalmi hatásaival is számolni kell. Nyilvánvalóvá vált, hogy a globális hőmérséklet-emelkedés 2°C, majd 1,5°C-os küszöbértékének eléréséhez drasztikus és gyors intézkedésekre lenne szükség. A 2009 végén tartott Koppenhágai Konferencián akarták szigorítani a Kiotói Jegyzőkönyv vállalásait, de ez akkor nem történt meg.

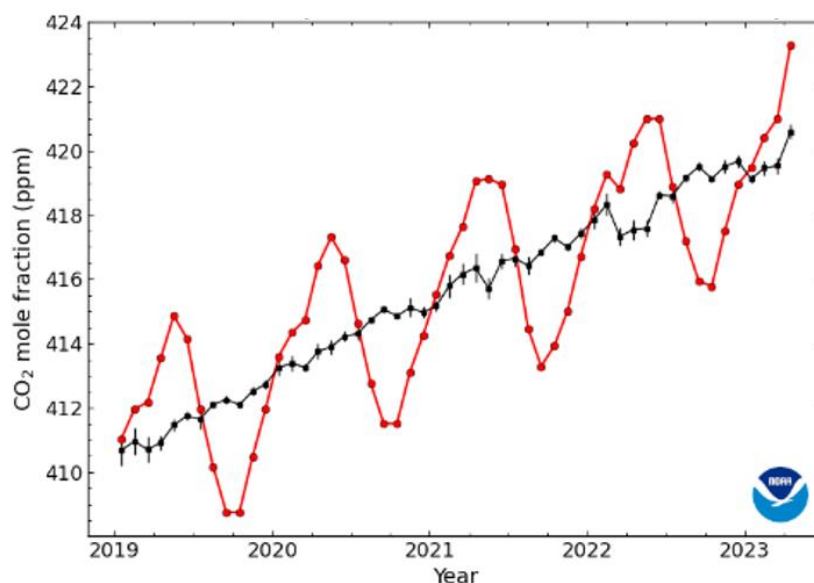


5. ábra Globális ÜHG kibocsátás becslése 1990 és 2021 között
(forrás: Rhodium Group)

A 2009-2012 között folytatódó egyeztetések eredményeképpen végül megtörtént a Kiotói Jegyzőkönyv módosítása, ami a fejlett és átmeneti gazdaságú országok 2020-ra elérendő új kibocsátás-csökkentési kötelezettségeit tartalmazza (Dohai Módosítás). Az EU-tagállamok együttesen 20%-os csökkentést vállaltak.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület 4. jelentése közzétette a jövőre vonatkozó legújabb éghajlati becsléseket, miszerint egyre veszélyesebb környezeti krízis tanúi vagyunk: a változás mértéke, sebessége és várható hatásai súlyosabbak a korábbi felmérésekhez, becslésekhez képest, és gyors, határozott cselekvésre van szükség.

Annak ellenére, hogy nemzetközi és sok országban nemzeti szinten is történtek különféle klímapolitikai intézkedések, mégis a probléma kialakulásáért felelőssé tett gázok kibocsátása összességében gyorsan növekedett. A légkör CO₂ tartalma 2013 márciusában elérte a 400 ppm-t, 2023 márciusában 420,8 ppm-t rögzítettek a Mauna Loa-i állomáson (6. ábra).



6. ábra **Az utóbbi évek átlagos havi légköri CO₂ koncentrációja Mauna Loán**
 (A piros vonal a havi átlagértékeket jelöli. A fekete vonal ugyanezeket az átlagos szezonális ciklusra.)
 (forrás: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends>)

Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményében Részes Felek 2015 decemberében megtartott 21. párizsi találkozóján egy új nemzetközi éghajlatvédelmi megállapodást fogadtak el.

A részes felek (COP) 25. párizsi értekezletének (2015.) főbb vállalásai:

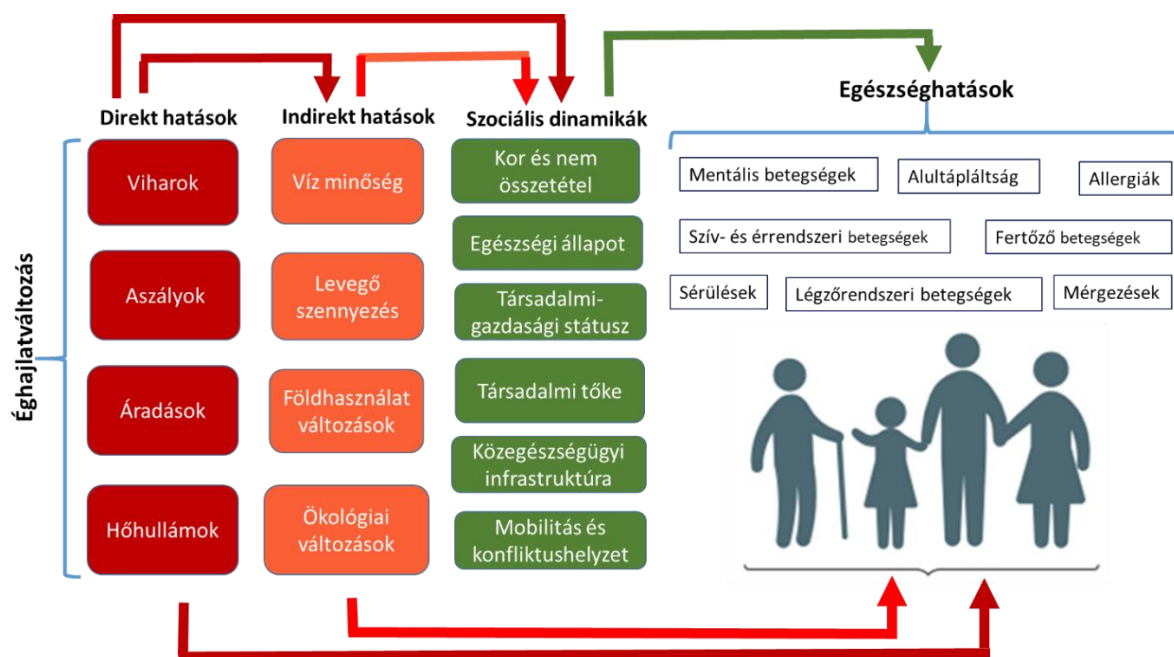
- Cél a globális felmelegedés 2 fok alatt tartása „a részes feleknek erőfeszítéseket kell tenni” a felmelegedés 1,5 fok alatt tartásához.
- A fosszilis tüzelőanyagokra vonatkozóan a globális kibocsátásoknak „mihamarabb” tetőzniük kell és a zero kibocsátást 2100-ra kell elérni.
- A megegyezés ösztönzi a nemzeti vállalásokat, de azok jogilag nem kötelezőek. A klíma-védelmi vállalások növelésének elősegítésére 2018-ban „facilitatív párbeszédre” fog sor kerülni, ami szintén nem lesz kötelező erejű.
- A teljesítés hivatalos, globális első értékelése 2023-ban lesz esedékes, és aztán minden 5. évben.
- A fejlett országoknak jelentést kell tenniük az általuk a klímaváltozás szempontjából nagyobb kockázatnak kitett országoknak nyújtott (nem kötelező) pénzügyi támogatásokról.
- Magyarország Európa 2020 stratégia keretében tett 3. nemzeti vállalása a megújuló energiaforrások részarányának 14,65 százalékra növelése, 10 százalékos teljes energia-megtakarítása, valamint az EU emisszió-kereskedelmi rendszerén kívül az üvegházhatású gázok kibocsátásának (2005-ös szinthez képest) legfeljebb 10 százalékos növekedése.

Meg kell említeni, hogy a megállapodás szövege csak igen szűk területen említi az emberi egészséget, „elismeri az önkéntes kibocsátás csökkentési akciók szociális, gazdasági és környezeti értékét, valamint az akciók előnyeit az adaptáció, **az egészség** és a fenntartható fejlődés szempontjából”. A Klímacsúcson elfogadott keretjellegű megállapodás alapján, a soron következő évek feladata lesz, hogy a nyitva hagyott, a végrehajtáshoz elengedhetetlen részletes szabályokról a következő néhány évben megegyezés szülessen.

Az éghajlatváltozás számtalan súlyos következményekkel jár, a teljesség igénye nélkül csak néhány fontosabbat emelünk ki:

- Bizonyos állat- és növényfajok kipusztulhatnak. A pusztulás táplálékláncokat bonthat meg, ami további pusztulásokhoz vezet.
- Az Északi-sark jegének olvadása lelassíthatja az egyik legnagyobb óceáni szállítórendszert, a Golf-áramlatot. A jég olvadásával az áramlat előterében csökken a só sűrűsége, ami az áramlat lelassulását okozza, mivel magát az áramlatot a só sűrűségkülönbsége (gradiense) hajtja.
- A hőmérséklet növekedésével emelkedik a világtenger hőmérséklete, és ezzel együtt csökken a szén-dioxid megkötő képessége, ami tovább gyorsítja a felmelegedést.
- A hőmérséklet növekedésével a permafroszt is olvad, aminek bizonyos százalékát metán-jég teszi ki. Ha ennek a metánmennyiségnek akár a kis része is kiszabadul, az komoly üvegházhatást idéz elő, mivel a metán üvegházhatása 23-szor nagyobb a szén-dioxid molekuláénál.
- A folyamatos aszályok következtében a Föld víz- és gabonataralékai csökkennek.

A klímaváltozás több szempontból veszélyezteti az egészséget (7. ábra). A fizikális környezetre, az ökoszisztémára, a gazdasági környezetre és a társadalomra kifejtett hatások révén befolyásolja az emberi egészséget és jólétet (McMichael, 1993). Kedvezőtlenül hat a vízforrásokra, a helyi szennyvíztisztítókra. Befolyásolja az élelmiszerbiztonságot, megváltoztatja a vektorok által terjesztett fertőző betegségek terjedését térben és időben. Kedvezőtlenül hat a biológiai allergének megjelenésére. A Föld éghajlatának változása fokozza az extrém időjárási helyzetek előfordulásának gyakoriságát. A városokban a hőhullámok és az ezzel kapcsolatos levegőszennyezés jelent közegészségügyi problémát.



7. ábra Az éghajlatváltozás közvetlen és közvetett hatásai az egészségre és a jólétre
(forrás: Watts et al., 2015)

A XX. század utolsó évtizedeiben egyre súlyosabb problémák léptek fel a globális környezet és az emberi egészség vonatkozásában. Ebbe az új problémakörbe tartozik:

- a sztratoszférikus ózonréteg csökkenése,
- a globális felmelegedés egészségkárosító hatása,
- a nitrogénterhelés növekedése,
- a biodiverzitás gyorsabb csökkenése,
- egyes invazív növényfajok elterjedése.

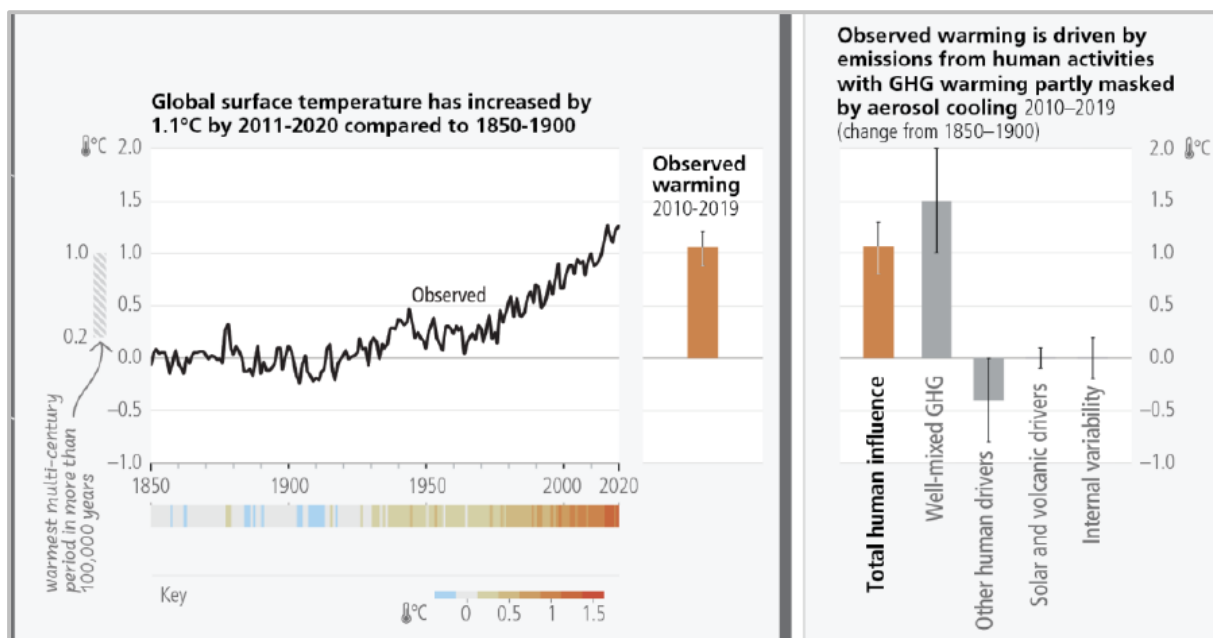
A KLÍMAVÁLTOZÁS EGÉSZSÉGHATÁSAI

Dr. Páldy Anna, Málnási Tibor, Középesy Szilvia

A klímaváltozás minden valószínűség szerint a legsúlyosabb környezeti és egészségügyi probléma a XXI. században. Tényét mind a kutatási eredmények, mind a megfigyelések egyre nagyobb valószínűséggel támasztják alá. Az 1850-es évek óta a globális átlaghőmérséklet 0,76°C-kal emelkedett.

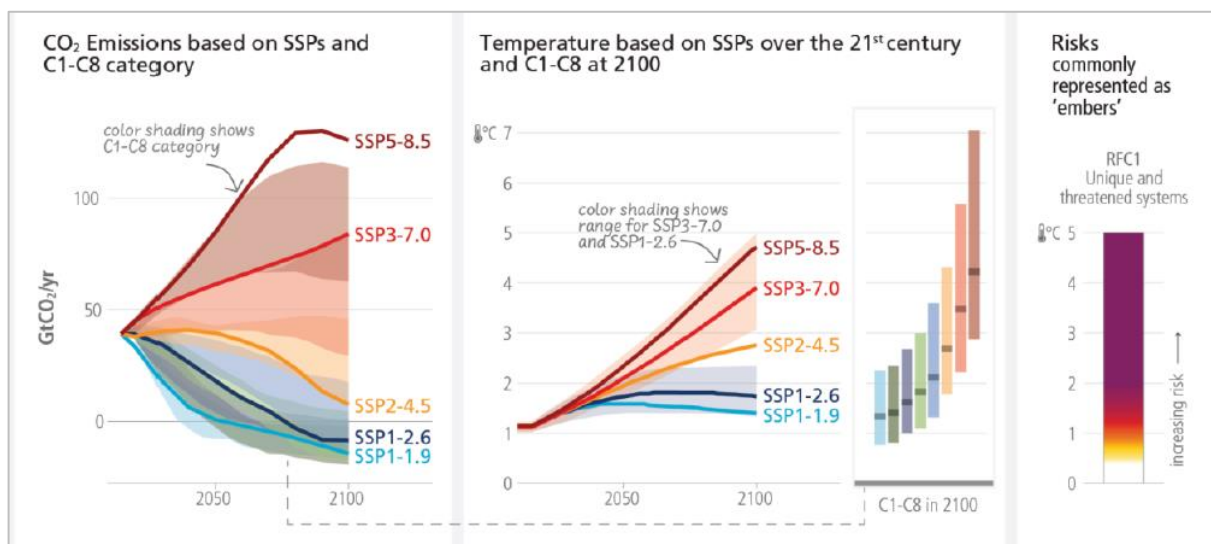
Az IPCC V. jelentése a klímaváltozást a sugárzási kényszer változásán alapuló új éghajlati scenáriók (RPC) szerint vizsgálta. Ezek alapján a földfelszín átlaghőmérsékletének változása az 1986-2005-ös időszakhoz viszonyítva 2016-2035 között 0,3-0,7°C-kal, míg ugyanahhoz a kiindulási időszakhoz viszonyítva 2081-2100 között 2,3-4,8°C-kal fog emelkedni. Hazánkban minden évszakra egyértelmű melegedés várható, amelynek mértéke nyáron a legnagyobb (4-5°C), tavasszal a legkisebb (3-3,5°C). Az esőzések, havazások változásának várható tendenciája nem minden évszakban azonos előjelű. Annyi azonban biztosnak tűnik, hogy mind nyáron, mind télen a csapadék mennyiségében bekövetkező változás mértéke meghaladhatja akár a 30-35%-ot.

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC, International Panel on Climate Change) legutóbbi (2023-ban kiadott) 6. jelentése szerint a globális felszíni hőmérséklet növekedése 2011-2020 között 1,09 [0,95-1,20]°C-kal haladja meg az 1850-1900-as szintet (8. ábra). A becsült globális felszíni hőmérsékletnek az előző, 5. Jelentés (AR5, 2014) utáni időszakban bekövetkezett növekedése elsősorban a 2003-2012 közötti időszakban tartó további felmelegedésnek köszönhető (+0,19 [0,16-0,22]°C).



8. ábra **Globális hőmérsékletváltozás**
(forrás: *Climate Change, 2023; Synthesis Report; IPCC*)

Az I. Munkacsoport által értékelt, mind az öt emissziós forgatókönyvet (2013-ban kialakított „közös társadalmi-gazdasági útvonalakat”, Shared Socio-economic Pathway, SSPS) figyelembe véve legalább 50%-kal nagyobb a valószínűsége annak, hogy a globális felmelegedés eléri 1,5°C-ot, vagy meghaladja azt rövid távon, még a nagyon alacsony üvegházhatású gázki-bocsátás forgatókönyve esetében is (9. ábra).



A kockázatokat meghatározó tényezők

Category in WGIII	Category description	GHG emissions scenarios (SSPx-y*) in WGI & WGII	RCPy** in WGI & WGII
C1	limit warming to 1.5°C (>50%) with no or limited overshoot	Very low (SSP1-1.9)	
C2	return warming to 1.5°C (>50%) after a high overshoot		
C3	limit warming to 2°C (>67%)	Low (SSP1-2.6)	RCP2.6
C4	limit warming to 2°C (>50%)		
C5	limit warming to 2.5°C (>50%)		
C6	limit warming to 3°C (>50%)	Intermediate (SSP2-4.5)	RCP 4.5
C7	limit warming to 4°C (>50%)	High (SSP3-7.0)	
C8	exceed warming of 4°C (>50%)	Very high (SSP5-8.5)	RCP 8.5



9. ábra A különböző forgatókönyvek az ÜHG emisszió, klímaváltozás és kockázatok ok-okozati láncolatán keresztül
(forrás: Climate Change 2023; Synthesis Report; IPCC)

Az ember okozta éghajlatváltozás, beleértve a gyakoribb és intenzívebb – a természetes éghajlati változékonyságon túlmutató – szélsőséges időjárási eseményeket, egyaránt okoz az emberi egészségben és a természetben kedvezőtlen hatásokat, veszteségeket és károkat. Egyes fejlesztések és alkalmazkodási intézkedések ugyan csökkentették a sebezhetőséget, azonban az időjárási és éghajlati szélsőségek növekedése visszafordíthatatlan hatásokhoz vezetett, így például a természeti és emberi rendszerek képességüket meghaladó mértékben kényszerülnek alkalmazkodni.

Az éghajlattal összefüggő, élelmiszer- és víz eredetű betegségek egyre nagyobb számban fordulnak elő, például a vektorok által terjesztett betegségek, a kórokozó hordozók elterjedési területének bővülése és/vagy fokozott szaporodásuk miatt. Az állati és emberi betegségek, beleértve a zoonózisokat is, új területeken jelennek meg. A víz és élelmiszer által terjesztett betegségek kockázata regionálisan megnőtt az éghajlatra érzékeny vízi kórokozók, köztük a

Vibrio spp., valamint a toxikus vízi kórokozók (káros édesvízi cianobaktériumokból származó toxikus anyagok) miatt. Bár a gasztrointesztinális megbetegedések globálisan csökkentek, a gyakoribbá váló esőzések és az áradások miatt egyes betegségek, köztük a kolera és más gyomor-bélrendszeri fertőzések egyre gyakrabban fordulnak elő. Egyes régiókban az emelkedő hőmérséklet hatására gyakoribbá válnak bizonyos mentális egészségproblémák, a szélsőséges időjárási és éghajlati események okozta traumák, a megélhetés - valamint a kultúra elvesztése miatt. Az erdőtüzek füstjének, a légköri kisméretű aeroszol részecskéknek és az aero-allergéneknek való fokozott kitettség is növeli a klímaváltozás hatásával összefüggő szív- és érrendszeri, valamint légzőszervi megbetegedések gyakoriságát.

Az éghajlatváltozás az elmúlt évtizedekben az egyik legfontosabb környezetvédelmi kérdéssé vált, ugyanakkor az emberek, az állatok és a növények egészségét veszélyeztető hatásai eddig kevesebb figyelmet kaptak. Számos nemzetközi tanulmány és kiadvány készült már, amelyek globális szinten értékelik a klímaváltozás egészségkockázatait. A magyarországi helyzetet a 2020-ban megjelent „Éghajlatváltozás és egészség” című, a nemzetközi és hazai tudományos eredményeket összefoglaló jelentés foglalja össze⁶.

Az EU Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz című Zöld Könyve (COM(2007) 354 final⁷) szerint Európa legsérülékenyebb területe Dél-Európa és a Földközi-tenger teljes medencéje, ahol a jelentős hőmérséklet-emelkedés és a csökkenő csapadékmennyiség együttes hatása olyan területeken jelentkezik, melyeken már most is vízhiánnyal küzdenek. Magyarország e régió határán van. Ezért igen fontos a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás, felkészülés. Az alkalmazkodás irányát, célkitűzéseit az IPCC IV. és V. jelentése fogalmazta meg. Ehhez kapcsolódik az Európai Közösség 2009-ben elfogadott Fehér könyve (COM(2009) 147 final), továbbá az EC 2013-ban kiadott „Adaptation to Climate change impacts on human, animal and plant health” (SWD(2013) 0136 final⁸). 2010-ben a WHO által szervezett V. Európai Környezetvédelmi és Egészségi Miniszterek konferenciája nyilatkozatában foglalta össze a legfontosabb teendőket, amelyeket „Az egészség védelme a klímaváltozás által veszélyeztetett környezetben: Európai regionális cselekvési keret”-ben fejtettek ki⁹. Mindezek alapján az egyes országoknak ki kell dolgozni a megfelelő szakmapolitikai intézkedéseket.

2017-ben a 6. Egészség- és Környezetvédelmi Miniszteri Konferencia (EURO/Ostrava2017/6) nyilatkozatában a WHO/Euro tagállamai kötelezettséget vállaltak a klímaváltozás egészségkockázatainak mérséklésére. A nyilatkozat szerint a tagállamok elkötelezték magukat az adaptív kapacitás megerősítésére a klímaváltozással kapcsolatos egészségkockázatokkal szemben, továbbá a mitigáció csökkentésére irányuló intézkedések támogatására a közös egészségnyereségek elérése érdekében a Párizsi Megegyezőségi Egyezmény értelmében¹⁰.

⁶ https://tk.hu/uploads/files/2020/eghajlatvaltozas_egeeszseg_jelentes.pdf

⁷ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TEXT/PDF/?uri=CELEX:52007DC0354&from=EN>

⁸ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TEXT/?uri=CELEX:52013SC0136v>

⁹ <https://iris.who.int/handle/10665/349974>

¹⁰ <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

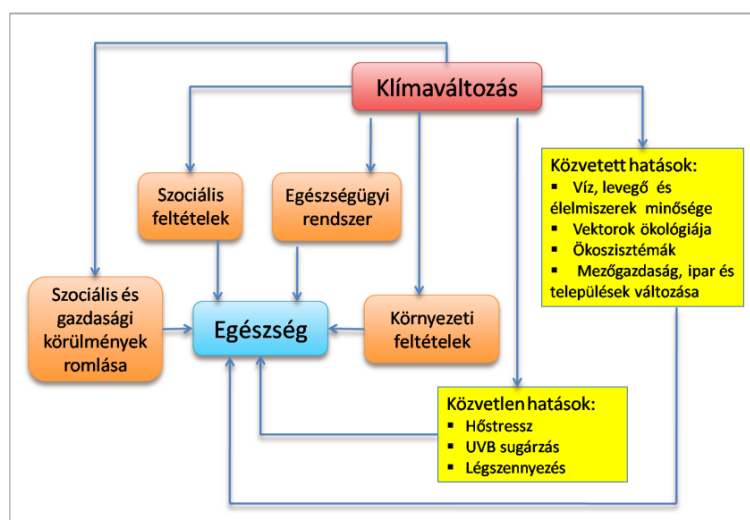
Az Ostravai Deklaráció mellékletében stratégiai célokat is megfogalmaz, amelyek szerint szükséges az:

- egészségügyi ellátórendszerek megerősítése, felkészítése a klímaváltozásból eredő veszélyekre: (i) az extrém időjárási helyzetekre; (ii) a megfelelő, gyors közegészségügyi válaszadásra;
- kiemelten fontos a vektorok kezelése, a környezetegészségügyi védelem és a betegségek felügyeleti rendszerének fejlesztése;
- fel kell készülni az eddig kevésbé fontosnak tartott trópusi betegségek kontrollálására, az egészség környezeti- és szociális elemeinek javítására, a tiszta ivóvíztől kiindulva a nők jobb egészségi állapotáig.

A felsorolt célokat fogalmazza meg a 2018-2030 közötti időszakra szóló második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia (NÉS2, 2018)¹¹. A stratégia egyik fontos eleme a Nemzeti Alkalmazkodási Stratégia, amely az emberi egészséget érintő és népegészségügyi kérdéseket is tárgyal, cselekvési irányokat és feladatokat határoz meg.

A klímaváltozás és az egészség

A klímaváltozás egészséggel kapcsolatos hatásainak két nagy csoportja különíthető el. A direkt hatásokat az időjárási helyzetek közvetlenül idézik elő: a legfontosabb közvetlen hatások a hőhullámok és az extrém időjárási események egészségi következményei. Az indirekt hatások közé soroljuk a vektorok (a gerinces gazdaszervezetek között a fertőző kórokozó átvitelre képes gerinctelen állat) által, valamint az ivóvíz és élelmiszerek által terjesztett betegségek és az aeroallergének által előidézett betegségek kialakulását, amelyeknél a klímaérzékeny környezeti rendszerek megváltozása járul hozzá a kórképek tér- és időbeli megjelenésének változásához (10. ábra).



10. ábra A klímaváltozás hatásai

¹¹ Melléklet a 23/2018. (X. 31.) OGY határozathoz a 2018-2030 közötti időszakra vonatkozó, 2050-ig tartó időszakra is kitekintést nyújtó második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia.

https://nakfo.mbfisz.gov.hu/sites/default/files/files/N%C3%89S_Ogy%20%C3%A1ltal%20elfogadott.PDF

A klímaváltozás globális egészséghatásai

Az emberi egészség szempontjából az éghajlat előre jelzett változásának fontos következményei lesznek. Egyre több bizonyíték támasztja alá, hogy a klímaváltozás befolyásolja az emberi egészséget, világszerte hozzájárul a globális betegségteherhez és az idő előtti halálozáshoz. A WHO becslése szerint 2030 és 2050 között az éghajlatváltozás várhatóan évente mintegy 250 000 többlet halálestet fog okozni alultápláltság, malária, hasmenés és hőstressz miatt¹². Európában ez utóbbi kockázat a legsúlyosabb.

A fő problémák az alábbiakban összegezhetők (*Confalonieri et al., 2007*):

- az alultápláltság és az abból következő, azzal összefüggő betegségek gyakoribbá válása, különösen fontos e szempontból a gyermekek növekedése és fejlődése;
- hőhullámok, árvizek, viharok, tüzesetek és aszályok miatti megnövekedett halandóság, betegségek és sérülések;
- a gastrointestinális megbetegedések száma növekszik, jelentőségük fokozódik;
- a malária kórokozójának és vektorának elterjedését érintő, ellentétes irányú hatások megjelenése Afrikában;
- a szív- és érrendszeri megbetegedések gyakoribbá válása az éghajlatváltozással összefüggő felszínközeli ózonkoncentráció növekedésének következtében;
- néhány fertőző betegség vektorainak megváltozott térbeli terjedése.

A várható egészséghatások Európában és hazánkban

Az Európai Bizottság a 2007-ben kiadott Zöld Könyvben elismeri, továbbá a 2009-ben kiadott Fehér Könyvben megerősíti, hogy a klímaváltozás káros hatásai gyorsan és veszélyes mértékben erősödnek. Az EB Európára vonatkozóan elsősorban az éghajlatváltozásból, különös tekintettel a hőhullámok következtében magas hőmérsékletből adódó halálestek és megbetegedések különböző vonatkozásait emeli ki. Jelentős kockázatnak tartja bizonyos – vektorok, ivóvíz és élelmiszerek által közvetített – emberi (és állati) fertőző betegségek terjedésében bekövetkező változásokat; illetve azt, hogy a légköri változások befolyásolják a levegőben előforduló biológiai allergének terjedését, továbbá az ultraibolya sugárzásból származó kockázatokat, mivel az éghajlatváltozás késlelteti a sztratoszférikus ózonréteg helyreállítását (11. ábra).

¹² https://www.who.int/health-topics/climate-change#tab=tab_1



11. ábra A klímaváltozás, a környezet, az egészség és jóllét összefüggése

Szabályozás

Európai szinten

A párizsi Miniszteri Konferencián 2010-ben elfogadott európai regionális keretegyezmény az egészség megőrzéséről a klímaváltozás kihívásai által érintett környezetben, valamint az Egészség 2020 szabályozási keret és stratégia jelöli ki azokat a területeket, amelyekre a beavatkozásokat összpontosítani kell az európai országokban.

Az éghajlatváltozás hatásaihoz való alkalmazkodásra vonatkozó uniós stratégia (COM(2013) 216 final) és a hozzá kapcsolódó dokumentumok célja „hozzájárulni az éghajlatváltozás hatásainak jobban ellenálló Európa megteremtéséhez”.

A 7. Környezetvédelmi Akcióprogram egyik prioritása az Unió hatékonyságának növelése a nemzetközi környezeti és klímaváltozással összefüggő kihívásokra adott válaszokkal kapcsolatban.

Az EU ambiciózus tervekkel és célkitűzésekkel készült a **2015-ös párizsi, az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményben Részes Felek 21. Konferenciájára**. A megállapodás azonban nem tartalmazott semmilyen konkrét, számszerűsített közös és az egyes országokra lebontott/lebontható kibocsátás-csökkentési, alkalmazkodással vagy finanszírozással kapcsolatos célt, intézkedést; ezek csak később kerültek nyilvánosságra az országok által kidolgozott „Nemzetileg Meghatározott Hozzájárulás” (NDC) elnevezésű dokumentumokban.

2016-ban aláírták és ratifikálták a Párizsi Megállapodást. A 2009-es Koppenhágai Megegyezés, valamint a 2015-ös Párizsi Megállapodás megerősítése nyomán az iparosodott országok vállalták, hogy évente 100 milliárd USD/év összegben járulnak hozzá a fejlődő országok klímacéljainak eléréséhez, amely összeg 2025-ben felülvizsgálatra kerül.

2018-ban ismételten megerősítették, hogy az Európai Unió vezető szerepet kíván betölteni a klímaváltozás elleni globális küzdelemben. Kiemelendő – a 2018-ban az Európai Bizottság által elfogadott – Tiszta bolygót mindenkinek c. közleménye, amely megvizsgálta az Európai Unió beavatkozási lehetőségeit. Az EU számára a következő fontos mérföldkő 2019. december 11., amikor az Európai Bizottság előterjesztette az Európai zöld megállapodást (European Green Deal), amely több évtizedre előretekintő intézkedéscsomag. A 2050-es céldátumig a főbb vállalatok közé tartozik **az Európai Unió klímasemlegességének megteremtése, az európai éghajlat-változási rendelet, és az Európai Unió 2030-ig vállalt éghajlatvédelmi törekvéseinek fokozása**. Az Európai Tanács 2020 decemberi ülésén határoztak a kötelező uniós cél jóváhagyásáról, amely értelmében 2030-ra az 1990-es évhez képest 55 százalékos csökkenést szükséges elérni az üvegházhatást okozó gázok kibocsátásában.

Magyarországon

A **Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia** (2008-2025) Magyarország középtávú klímapolitikájának fő cselekvési irányait jelöli ki: „kiemelten ágazatközi és össztársadalmi keretrendszer, minden gazdasági ágazatot és társadalmi csoportot érint, ezért a vonatkozó stratégiai célokat, feladatokat minden szektor (és tárca) tevékenységébe integrálni kell”.

2018-ban a Parlament elfogadta a **2. Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiát** (23/2018. (X. 31.) OGY határozat), majd 2020-ban elfogadták az első **Éghajlatváltozási Cselekvési Tervet**, amely konkrét intézkedéseket tartalmaz a második Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia közép- és hosszú távú célkitűzéseinek megvalósítására. Megszületett a 2030-ig szóló **Nemzeti Energia- és Klímaterv**, illetve az új **Nemzeti Energiastratégia** is, amelyek középtávon elrendő célokat határoznak meg. Ezen dokumentumokban vállalta az ország többek között, hogy 2030-ra a hazai villamosenergia-termelést 90%-ban karbonmentessé alakítja. A 2020. évi XLIV. törvény a klímavédelemről rögzíti is a klímasemlegesség 2050-re történő elérését, illetve a **Nemzeti Tiszta Fejlődési Stratégia** 2020-2050 határozza meg a 2050-es klímasemlegesség elérésének útvonalát.

A NÉS2 a következő cselekvési irányokat jelöli ki:

Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia

IV.7.1. Emberi egészség

A klímaváltozás hatásainak eredményeként számos új kockázat jelentkezik életünkben, melyekre célszerű felkészülni. *A klímaváltozás humán-egészségügyi hatásainak bemutatásával* a IV.4.1. c. fejezet foglalkozik. Az éghajlati alkalmazkodás emberi egészséggel kapcsolatos feladatait a Nemzeti Környezetvédelmi Program tartalmazza. Az NKP végrehajtása során célszerű a következő cselekvési irányok figyelembevétele:

RÖVID TÁVÚ CSELEKVÉSI IRÁNYOK

- A nagyobb létszámú csoportokat ellátó (szociális, oktatási) intézmények kötelezése a hőhullámok kezelésére irányuló „intézkedési terv” összeállítására, ahhoz központi szempontrendszer kidolgozása. A beltéri és kültéri munkahelyeken a munkafeltételeket hatékonyan szabályozó előírások bevezetése annak érdekében, hogy a növekvő hőmérséklet ne veszélyeztesse az egészséget. Kiemelten fontos a kullancsok, lepkeszúnyogok és más állati hordozók (ún. vektorok) esetében az elterjedtség kontrollálása, a fertőzöttség monitorozása, vírushordozás arányának nyomon követése, felügyeleti rendszer kiépítése.
- Környezet-egészségügyi védelem és a betegségek felügyeleti rendszerének fejlesztése, klíma-egészségügyi hálózat (tovább) fejlesztése a „minimál-szerkezetek” elve alapján, azaz a meglévő rendszeren a minimálisan szükséges és elégséges módosítások végrehajtásával történjen. Célszerű a fővárosban már működő Klíma-egészségügyi Hálózatot országosan kiterjeszteni.
- Fel kell készülni a klímaváltozással és változékonysággal kapcsolatos vészhelyzetekre és a gyors közegészségügyi válaszadásra. Standardizált korai figyelmeztető rendszereket

kell kialakítani, javítani kell a sürgősségi betegellátás feltételeit, különös tekintettel a katasztrófahelyzetekre

- A tudatosság növelése, oktatás és figyelemfelkeltés keretén belül szükséges az egészségügyi- és szociális személyzet szakirányú képzése, a klíma-egészségügyi ismeretek oktatása a különböző szintű oktatási intézményekben. Javasolt a lakosság klíma-egészségügyi tudatosságának növelése a média bevonásával, oktatási segédanyagok elkészítésével. A lehetséges veszélyekről a lakosságot rendszeresen tájékoztatni kell átfogó kampányok szervezése révén, a civil szervezetek, az egyházak és az önkormányzatok bevonásával.
- Az egészségügy szereplőivel meg kell osztani a „legjobb gyakorlatokat”, kutatási eredményeket, adatokat, információkat, technológiákat és eszközöket az éghajlatváltozással, a környezettel és az egészséggel kapcsolatosan. Szükséges az egészségügyi szektor ellátása információval, eszközökkel és tanácsokkal, a WHO oktatóanyagai és a hazai tapasztalatok alapján.

KÖZÉPTÁVÚ CSELEKVÉSI IRÁNYOK

- Az élelmiszerbiztonsági intézkedéseket ki kell terjeszteni a klímaváltozás közvetett hatásainak kivédésére. Biztosítani kell a környezeti, szociális és gazdasági szempontból fenntartható élelmiszertermelést és kereskedelmet, az élelmiszerbiztonságot. Ennek érdekében rendszeresen felül kell vizsgálni a vonatkozó jogszabályokat, szigorúan ellenőrizve ezek betartását, biztosítva ehhez a megfelelő intézményi háttérrel.
- Egészségügyi ellátórendszerek megerősítése abból a célból, hogy fel tudjanak készülni a klímaváltozásból eredő veszélyekre, különös tekintettel az extrém időjárási helyzetekre. A közegészségügy belső szervezeti és működési rendszerének felülvizsgálata szükséges az éghajlati alkalmazkodás követelményeinek átfogó integrálása érdekében. Az épületek hőszigetelésének, hűtésének modernizálásával az egészségügyi intézmények átalakítása a sikeres adaptáció érdekében. A védekezésben a megelőzés (megelőző felkészülés) szerepének fokozatos növelése, majd túlsúlyra juttatása a beavatkozás (mentés, betegellátás, rehabilitáció) tevékenységéhez képest.
- Felül kell vizsgálni a kiegészítő oltások bevezetésének lehetőségét és az oltási gyakorlatot, az oltóanyaggyártás gyors alkalmazkodóképességének új, molekuláris genetikai módszerekkel való fejlesztési opcióját.
- A klímaváltozásból fakadó valamennyi, már ma és a jövőben hazánkban fellépő emberi megbetegedés számbavétele, jellemzőik feltárása, valamint sérülékenységük folytán az érintettek teljes – várhatóan bővülő – körének elérése a megelőző intézkedésekkel.
- A kórokozók terjesztésében szerepet játszó állatfajok elterjedtségének felmérése; a terjedés lassítására, a hordozók létszámának lehetséges gyérítésére és a járványok helyhez kötésére irányuló módszerek kidolgozása.

HOSSZÚ TÁVÚ CSELEKVÉSI IRÁNYOK

A ténylegesen bekövetkező klímamódosulások figyelembevételével az éghajlatváltozás, mint peremfeltétel teljeskörű integrálása az emberi és társadalmi erőforrásokkal kapcsolatos szakpolitikákba.

Számos konkrét intézkedés is megvalósult hazánkban az utóbbi években:

- hőségriadó,
- UV-riasztás,
- pollen-információs rendszer és előrejelzés,
- épületek energiahatékonyságának javítására hozott közösségi szabályozás hazai megvalósítása (auditálás),
- országos programok az épületek energiahatékonyságának javítására,
- helyi intézkedések a jelzőrendszeres házi segítségnyújtás kiépítésére idős emberek részére.

Hazánk a klímavédelemről szóló a 2020. évi XLIV. törvényben kötelezte el magát a környezet védelme és az éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásai elleni védekezés érdekében.

Megszületett a **Nemzeti Tiszta Fejlődési Stratégia (NTFS)**¹³ a következő célkitűzésekkel:

- Az ÜHG kibocsátását legalább 40%-kal csökkenti 2030-ig az 1990. évhez képest.
- 2030-at követően a végső energiafelhasználás 2005. évi szintet meghaladó növekedése esetén a növekményt kizárólag karbonsemleges energiaforrásból biztosítja.
- A bruttó végső energiafogyasztásban legalább 21%-os megújuló energiaforrás részarányt ér el a 2030. évig.
- A 2050. évre eléri a teljes klímaseglegességet, azaz az ÜHG-ok még fennmaradó hazai kibocsátása, valamint elnyelése a 2050. évre egyensúlyba kerül.

Az NTFS a törvényben vállaltak eléréséhez szükséges irányvonalakat jelöl ki, feladatokat határoz meg:

- Három forgatókönyv alapján vizsgálja (Ölbe Tett Kéz, Halasztott Cselekvés és Korai Cselekvés) a „net zero” cél 2050-es elérését öt kiemelt szektor esetében (mezőgazdaság, ipar, lakosság, közlekedés és szolgáltatás).
- A NÉS-2, a Nemzeti Energia- és Klímaterv (NEKT), valamint a Nemzeti Energiastratégia (NES) középtávú céljait egységesíti.
- Az alkalmazkodás során a klímaváltozás emberi egészséget károsító hatásainak kivédése érdekében szükséges:
 - mind az intézményrendszer és az abban dolgozók, mind pedig a lakosság felkészítése az éghajlatváltozás következtében felerősödő hatásokra és a védekezés lehetőségeire;
 - intézményi és települési szinten is szükséges intézkedési tervek összeállítása, továbbá a veszélyeztetett csoportokat ellátó intézményekben (pl. kórházak, szociális intézmények) a hűtés lehetőségének megteremtése;
 - fontos az állati hordozók elterjedtségének kontrollálása, a fertőzőtlenség monitorozása;
 - fel kell készülni a klímaváltozással kapcsolatos vészhelyzetekre és a gyors közegészségügyi válaszadásra.

¹³ <https://kormany.hu/dokumentumtar/nemzeti-tiszta-fejlodesi-strategia>

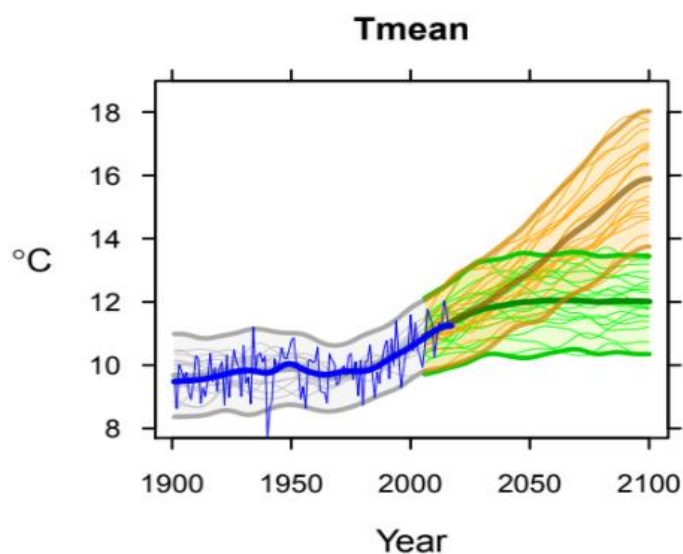
Az NTFS végrehajtásának legfőbb eszközei rövid- és középtávú részcélok elérését szolgáló, konkrét cselekvéseket, programokat előíró dokumentumok, így különösen: az Éghajlatváltozási Cselekvési Tervek (ÉCsT-k) és a Nemzeti Energia- és Klímaterv (NEKT).

JELENLEGI ÉS JÖVŐBELI ÉGHAJLATI VESZÉLYEK

A Magyarországra vonatkozó éghajlati veszély-előrejelzések

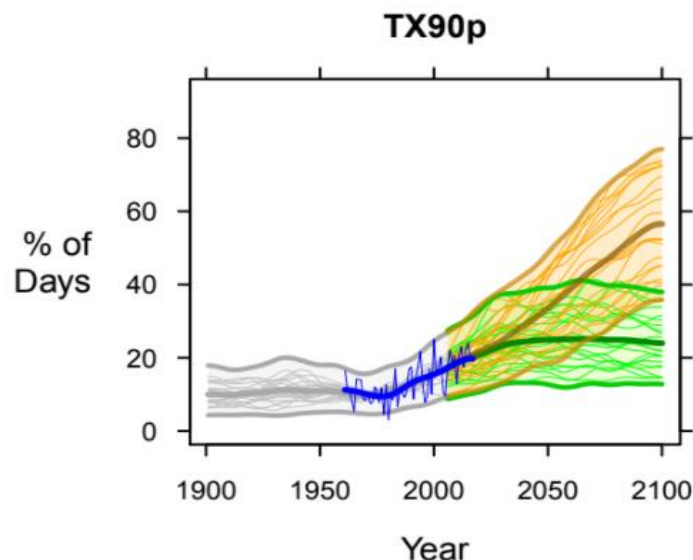
Az országspecifikus előrejelzések a 2100-ig terjedő időszakra vonatkozóan felvázolják az éghajlati veszélyeket a „szokásos üzletmenet” (azaz változtatás nélküli), magas kibocsátási forgatókönyv mellett, összehasonlítva a gyorsan csökkenő globális kibocsátást feltételező forgatókönyv szerinti előrejelzésekkel. Az ábrák a mintegy 20 globális klímamodell átlagában előre jelzett változásokat mutatják be (vastag vonalakkal jelölve). A további ábrák az egyes modelleket külön-külön is mutatják: a bizonytalanság jelzésére szolgáló 90%-os modell-tartományt (árnyékolva jelölve), valamint az éves és simított megfigyelt adatokat (kézzel jelölve).

A magas kibocsátási forgatókönyv szerint az évszázad végére (azaz 2071-2100 között az 1981-2010-es időszakhoz képest) az átlagos éves hőmérséklet átlagosan mintegy 4,8°C-kal emelkedik. Abban az esetben, ha a kibocsátás gyorsan csökken, a hőmérséklet-emelkedés körülbelül 1,5°C-ra korlátozódik (12. ábra).



12. ábra Éves átlaghőmérséklet 1900-tól 2100-ig
(forrás: WHO, Health and climate change country profiles)

Az előrejelzések szerint a forró napok aránya az 1981-2010 közötti időszakban az összes nap 15%-ára (1961-1990 között 10%) növekedni fog. A magas kibocsátási forgatókönyv szerint az évszázad végére az átlagos napok mintegy 50%-a minősül „forrónak”. Ha a kibocsátás gyorsan csökken, akkor a napok átlagosan 25%-a lesz „forró”. Hasonló növekedés tapasztalható a forró éjszakák esetében (13. ábra).

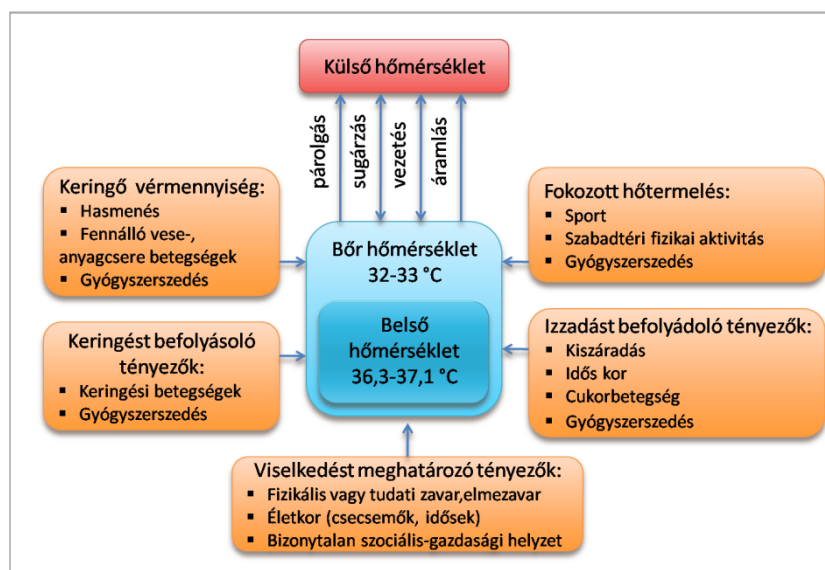


13. ábra **A forró napok („hőstressz”) százalékos aránya, 1900-tól 2100-ig**
(forrás: WHO, *Health and climate change country profiles*)

A hőstressz hatása

A környezeti tényezők közül a hőmérséklet igen jelentősen befolyásolja az egészségi állapotot, a növekvő hőmérséklet hatására bőrkiütés, fáradtság, görcs, hirtelen ájulás, kimerülés, hóguta alakulhat ki (14. ábra). A legtöbb, hőséggel összefüggő megbetegedés a hőszabályozó rendszer különböző súlyosságú zavarára vezethető vissza. Szervezetünk rövidtávon, általában 3-12 nap alatt képes alkalmazkodni a nagy meleghez, a szokatlan hőviszonyokhoz történő hosszú távú alkalmazkodás azonban akár évekig is eltarthat. Az egyén elsősorban párologtatással, izzadással védekezik a magas külső hőmérséklet ellen, feltéve, ha a víz- és nátriumveszteség pótlódik.

A rövid távú alkalmazkodás során a bőr felszíne verejtékezni kezd, mely megnöveli a maximálisan kiizzadható víz mennyiségét és csökkenti a sókoncentrációt. A hosszútávon bekövetkező változások az előbbivel ellentétben stabilak és tartósan fennmaradnak. A hosszú távú alkalmazkodás eredménye során kevesebb az izzadás, alacsonyabb a sóbevitel, kevésbé növekszik a test maghőmérséklete és kevésbé emelkedik a pulzus adott hőterhelés esetén. A meleghez való alkalmazkodást több tényező gátolhatja (WHO, 2008).



14. ábra Az emberi szervezet hőszabályozását kedvezőtlenül befolyásoló tényezők
(forrás: WHO, 2008)

A hőmérséklet okozta kóros elváltozások alapja a fokozódó szimpatikus reaktivitás, amit a szimpatikus idegrendszer és a renin-angiotensin rendszer aktiválódása követ, továbbá a kiszáradás és szisztémás gyulladásos válaszadás (Liu et al., 2015). Ezért a magas hőmérséklet által előidézett kórképek kezelésénél elsődleges szempont a test hűtése, folyadék és elektrolit pótlás. A terápia kialakításánál figyelembe kell venni azt, hogy a hőmérséklet befolyásolja egyes kórképek lefolyását, illetve a gyógyszerek hatásait, mellékhatásait és a tárolási körülményeket. Számos gyógyszer befolyásolja a testhőmérsékletet, egyes vegyületek gátolják a hőleadást a bőr ereinek szűkítésével, valamint az izzadtság elválasztásának közvetett/közvetlen gátlásával. Más vegyületek növelik a hőtermelést. A vízhajtó hatású gyógyszerek növelik a napi vizeletmennyiséget, ami, ha nem pótolják az elvesztett mennyiséget, súlyos kiszáradáshoz vezethet. Egyes gyógyszerek, mérgek rendelkeznek testhőmérsékletet növelő hatással. Az idős, krónikus betegek és általában az időskorúak egyszerre több gyógyszert is szedhetnek. Ezek a gyógyszerek egyenként is negatív hatással lehetnek a hőregulációra, együttesen azonban különösen óvatosságra intenek. Külön figyelmet érdemelne, hogy melegfronti hatás, valamint a hőhullámok idején a szervezet paraszimpatikus tónusa a szimpatikus terhére fokozódik, amit figyelembe kellene venni a gyógyszerek dózisának kiszámolásakor (Trájer és Páldy, 2008a; Trájer és Páldy, 2008b; Layton et al., 2020).

A hőhullámok gyakorisága és intenzitása is nagy terhet ró Európa lakosságára (Hajat et al., 2006; Kovats and Kristie 2006; Weinhhammer et al., 2021). A legnagyobb hatású a 2003-ban bekövetkezett Nyugat-Európát sújtó hőhullám volt, aminek következtében Franciaországban több mint 14 000 ember vesztette életét (Pirard et al., 2005). Szintén nagyon sok ember halálát okozták az extrém meleg időjárási események Olaszországban is, ahol 3 134 fő többelhalálózást regisztráltak 2003. június 1. és augusztus 15. között (Centro Nazionale de Epidemiologia., 2003). Az összes európai áldozat számát 70 000 esetre becsülik (Robine et al., 2008).

A 2003 évi nagy, főként Nyugat-Európát sújtó hőhullám után több országban vezettek be megelőző intézkedéseket, amelyek több helyen eredményesnek bizonyultak. Egy nemzetközi munkacsoport (*de' Donato et al., 2015*) vizsgálta a hőhullámok miatti többlethalálozást 9 európai nagyvárosban – többek között Budapesten is – két időszakra vonatkozóan: 1996-2002 és 2004-2010 között. Az eredmények szerint a 2003-as hőhullámot követő intézkedések kedvező hatását lehetett kimutatni Athénban, Párizsban és Rómában, elsősorban a 75 év felettiek többlethalálozása csökkent, míg a többi városban ellentétes hatást figyeltek meg. Budapesten is nőtt az összes halálok miatti többlethalálozás (1996-200: $R2R=1,29$ 95% $CI=1,22-1,37$; 2004-2010 $RR=1,33$ 95% $CI=1,27-1,40$), amit az is magyaráz, hogy nálunk 2007-ben volt a leghosszabb, legmelegebb hőhullám a vizsgált időszak alatt.

Az EU Copernicus éghajlat-változási szolgálata szerint 2022 nyara volt a legmelegebb az eddigi rekordok közül. Az országok jelentései szerint több mint 20 000 ember halt meg a nyugat-európai hőhullámok alatt¹⁴. Angliában és Walesben 3300, Franciaországban 10 400, Spanyolországban 4 600, Portugáliában több mint 1 000; Németországban pedig mintegy 4 500 halálesetet jelentettek az egészségügyi hatóságok a nyár 3 hónapja alatt. Magyarországon 1 200 többletesetet regisztráltak.

Európában az elsődleges veszély a jövőre nézve is az extrém hőmérsékleti helyzetek gyakoribbá válása, a hőmérséklettel kapcsolatos halálozás és megbetegedések számának növekedése, bár a hatást módosítja a populáció várható változása. Az EU országokban $1^{\circ}C$ hőmérséklet-növekedés 4%-kal növeli a halálozást, ami azt jelenti, hogy a hőmérséklettel kapcsolatos halálozás a 2030-as évekre évi 30 000 többlethalálesetet okozhat. Ez a szám 2080-ra 50 000-100 000 többlethalálesetet jelenthet évente (*PESETA report*). A Climate-Trap project¹⁵ becslése szerint 2035-re az éves halálozás 1,25%, illetve 1,45%-kal fog nőni az alkalmazott scenárió szerint. A légzőszervi megbetegedések miatti kórházi betegfelvétel 2035-re 0,08% és 0,76% között fog emelkedni a vizsgált országokban.

A hőhullámokkal szemben a legsérülékenyebbek a gyermekek és az alábbi krónikus betegségekben szenvedők:

- diabetes mellitus és egyéb anyagcsere betegségek,
- organikus mentális betegségek, dementia, Alzheimer kór,
- mentális és viselkedési zavarok, psychoaktív gyógyszereket szedők, alkoholisták,
- schizophrenia és hasonló kórképek,
- extrapyramidális és egyéb mozgási zavarok (Parkinson kór stb.),
- szív-érrendszeri betegségek, magas vérnyomás, ritmuszavarok,
- légzőszervi betegségek (COPD, bronchitis),
- vesebetegségek, veseelégtelenség, vesekövesség.

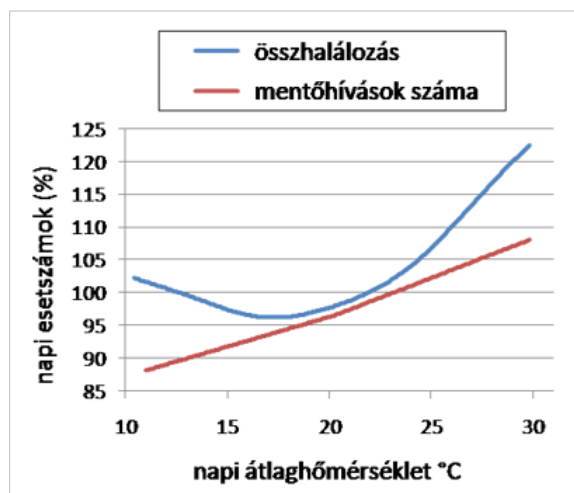
¹⁴ <https://www.theguardian.com/environment/2022/nov/24/over-20000-died-western-europe-heatwaves-figures-climate-crisis>

¹⁵ <http://www.climatetrapp.eu>

Az idősebb korcsoportok hőhullámok alatti sérülékenysége jól ismert és magyarázható a csökkent hőszabályzó képességgel, valamint a krónikus betegségekkel, csökkent mobilitással és az egyéni gondoskodó képesség csökkenésével (Kenny et al., 2010).

A legfiatalabbak (0-14 évesek) szintén kockázatnak vannak kitéve, a legnagyobb mértékben a fejlődő országokban. Különösen nagy a kockázat az újszülöttek számára, tekintettel a nem megfelelő hőregulációs képességükre és a fokozott folyadékigényre (Gouveia et al., 2003; Hajat et al., 2005; O'Neill et al., 2005). A Lancet Bizottság jelentésére hivatkozva egy norvég tanulmány kiemeli, hogy a várandós anyákra is kiemelt kockázati csoportként kell tekinteni a magas hőmérséklet szempontjából (Rylander et al., 2013). A várandós anyák a terhesség során bekövetkező hormonális változások miatt könnyen „túlmelegedhetnek”, ami mind az anya, mind a magzat számára kockázatot jelent. A közlemény felhívja a figyelmet, hogy táplálkozási hiányosságok, a terhesség során fellépő fertőző és nemfertőző betegségek és a nem megfelelő terhesgondozás további szignifikáns kockázat a koraszülés szempontjából.

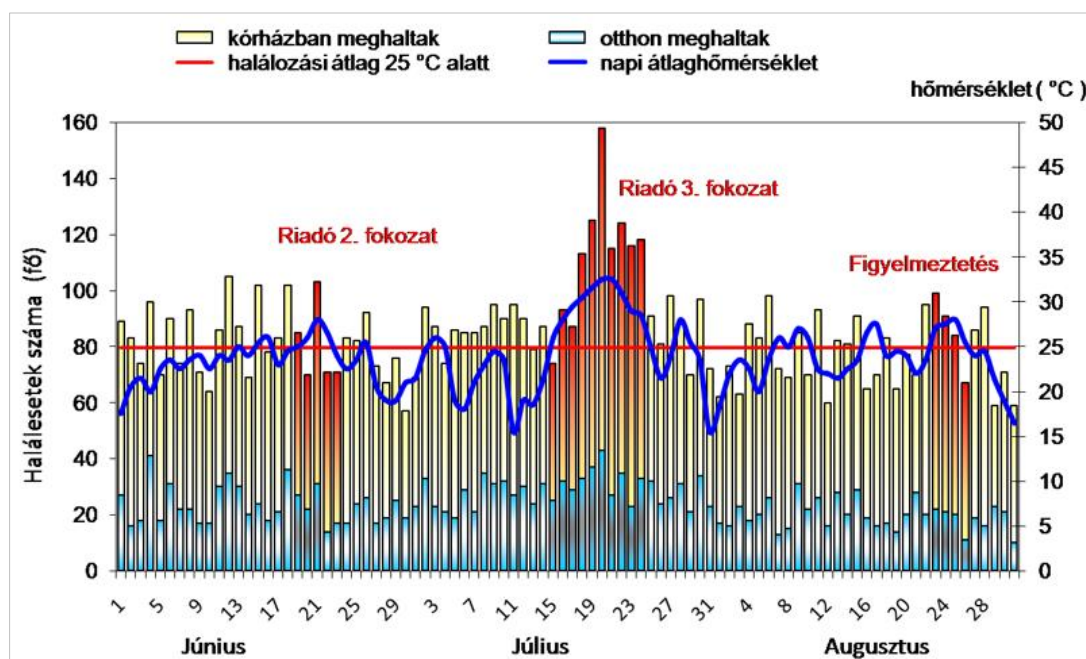
A hazánkban 2000 óta végzett klímaegészségügyi vizsgálatok során megállapították, hogy a Kárpát-medencében jelenleg a hőmérséklet hatása és az extrém meteorológiai események tekinthetők a legjelentősebb egészségi kockázatnak. A 25°C feletti napi átlaghőmérséklet jelentősen növeli a napi halálozás kockázatát, növeli a szívpanaszok és az „általános rosszullét” miatti sürgősségi mentőhívások számát (15. ábra). 27,5°C átlaghőmérséklet felett még erősebb a hőmérséklet hatása (Páldy, Bobvos, Vámos et al., 2005; 2007).



15. ábra A napi átlaghőmérséklet hatása a napi halálozásra és a sürgősségi mentőhívások gyakoriságára
(forrás: Páldy, Bobvos, Vámos et al., 2005)

A hőhullámok az 1990-es évek óta egyre gyakrabban fordulnak elő: 1992-2000 között hat hőhullám esemény következett be, amelyek alatt a többlethalálozás 12% és 52% között változott. 2001 és 2009 között 20 hőhullám érte el hazánkat, a többlethalálozás 2001-2006 között történt hőhullámok esetében 17% és 32% között változott. 2010-2015 között szintén 20 hőhullámot regisztráltak, míg 2016-2022 között 18 alkalommal volt hőségriasztás. Csupán 2020-ban nem volt hőségriasztás. Az elmúlt években a hőhullámok során átlagosan mintegy 16% volt a többlethalálozás, Budapesten 22%-ban fordult elő.

2007-ben regisztrálták az első, 10 napig tartó, igen intenzív hőhullámot. A 2007. év időjárása már az év elejétől, illetve a megelőző év decemberétől rendkívülinek bizonyult. Az enyhe tél és tavasz után júniusban egy enyhébb, majd július 16-24. között egy igen intenzív hőhullám érintette az országot. A hőhullám hatását valós idejű, „real-time” halálozási adatok alapján becsülték. A júliusi, rekordokat döntő hőhullám idején tartósan és jelentősen megemelkedett a napi halálozási esetszám, tíz nap alatt 278 többlethalálosetet regisztráltak a közép-magyarországi régióban, ami a napi halálozásban 33%-os emelkedést jelentett (16. ábra). Az összefüggések alapján a becsült országos többlethalálozás 800-1 000 fő lehetett (Páldy és Bobvos, 2008). Összességében vizsgálva, 2007-től a hőhullámos napok alatt a napi halálozás országos átlagban kb. 15%-kal emelkedett. Három év során regisztráltak a nyári hónapokban (június-augusztus) bekövetkezett hőhullámos napokon (15-26 nap/szezon) jelentős többlethalálozást: 1 000 fölötti többlethalálozás fordult elő 2012-ben (1 666 fő), 2013-ban 1 144 eset, míg a legnagyobb mértékű többlethalálozást 2015-ben regisztrálták - 1 741 fővel. 2022-ben 4 alkalommal került sor harmadfokú hőségriasztásra (összesen 21 nap). 18%-kal emelkedett meg az országos napi halálosetek száma, az idény alatt a hőségnek tulajdonítható többlethalálozás 1 200 eset volt.



16. ábra Az otthoni és a kórházi halálosetek naponkénti száma és a napi átlaghőmérséklet a közép-magyarországi régió területén, 2007.

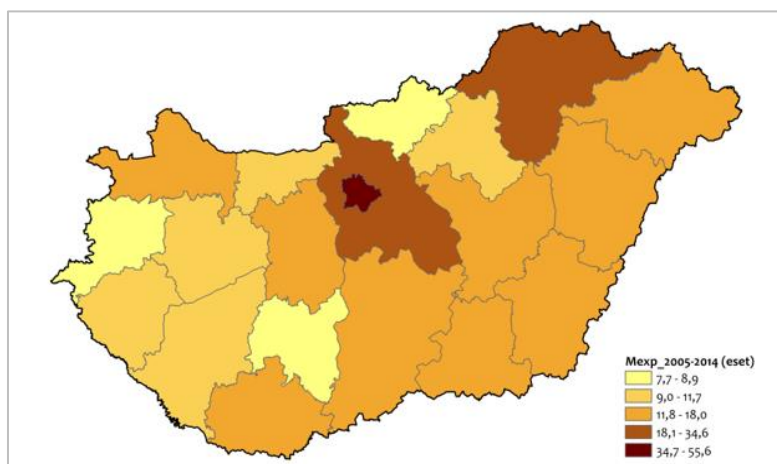
2005-től kezdődően egyre változékonyabbá vált időjárásunk, ami megnyilvánul az extrém hőingadozásokban is. A jövőben még a mérsékelt éghajlatú országokban, így hazánkban is fel kell készülni a rendkívüli időjárás hatásainak megelőzésére. A korábbi nemzetközi és hazai tapasztalatokat hasznosítva az NNGYK jogelőd intézménye, az OKK munkatársai a mért napi hőmérsékleti adatok és a lakosság napi halálozási adatainak felhasználásával meghatározták az extrém meleg hőmérsékletnek tulajdonítható relatív többlethalálozást hazánkban a jelen (2005-2014.) és a prognosztizált jövő (2021-2050., 2071-2100.) időszakokra vonatkozóan a

Nemzeti Adaptációs Térinformatikai Rendszer (NATÉR, 2013) számára a KRITÉR projekt támogatásával (KRITÉR, 2015).

A különböző térbeli felbontásban (kistérség, megye stb.) végzett elemzések során a hőhullámok halálózásra gyakorolt hatását a területre vonatkozó napi átlaghőmérsékletek gyakorisági eloszlásának 90%-os percentilis értéket meghaladó, hőhullámos napok alapján modellezték.

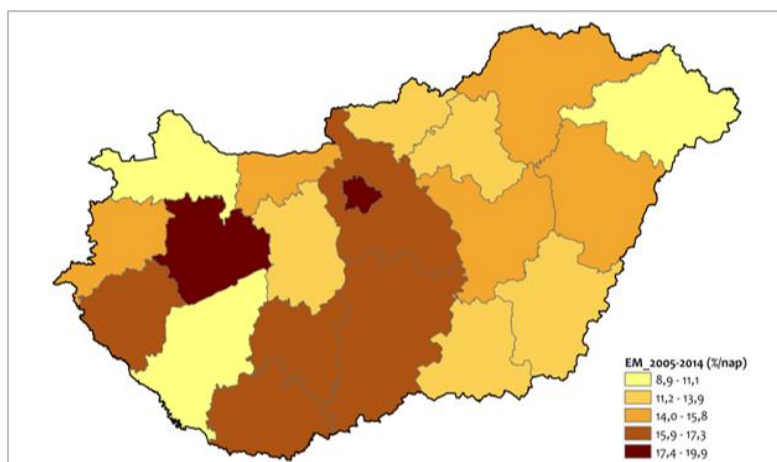
A hőhullámos napok alatti többlethalálózást a hőhullámos napok alatt történt átlaghalálozás és a hűvösebb napok alatt történt átlaghalálozás különbségeként definiálták.

A küszöbhőmérsékletnél hűvösebb napokon történt átlagos napi halálozás 7,7 és 55,6 esetszám között változott a megyékben (17. ábra). A magasabb halálozási értékek Budapesten, Pest és Borsod-Abaúj-Zemplén megyében tapasztalhatók.



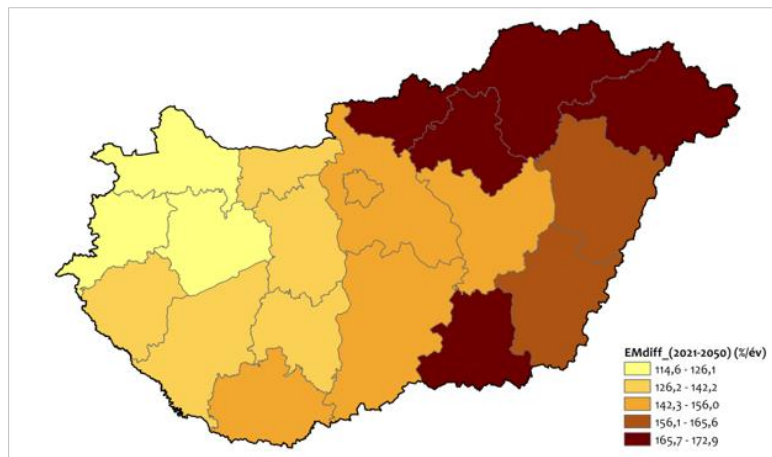
17. ábra A küszöbhőmérsékletnél hűvösebb napokon történt átlagos napi halálozás, megyénként 2005-2014 között a nyári időszakban (május 1. - szeptember 30.)
(forrás: KRITÉR, 2015)

A hőhullámos napok alatt a napi halálozás országos átlagban kb. 15%-kal emelkedik meg. Megyei szinten 9 és 20% között változnak, Budapesten és Veszprém megyében, illetve a közép-magyarországi régióban tapasztalhatók a legmagasabb értékek (18. ábra).



18. ábra A hőhullámos napok többlethalálózása (%) megyénként 2005-2014 között a nyári időszakban (május 1. - szeptember 30.)
(forrás: KRITÉR, 2015)

Az előrejelzések szerint várható, hogy a jövőben egyrészt megnő a hőhullámos napok száma, másrészt a hőhullámos napok melegebbek lesznek a klímaváltozásnak tulajdoníthatóan. Az éves átlagos többlethalálozás 110-180%-kal emelkedik meg a vármegyék esetében, átlagosan mintegy 150%-kal növelve a hőség rovására írható többlethalálozást (19. ábra). 2021-2050 között pedig, a mai demográfiai és szocio-ökonómiai státuszt alapul véve, a klímaváltozás a jelenlegi többlethalálozást hat-hétszeresére fogja növelni.



19. ábra **A 2021-2050. időszakra prognosztizált többlethalálozás növekedés (%) a jelen időszakhoz viszonyítva vármegyei bontásban**
(forrás: NATÉR, 2013)

A vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a hőhullámok okozta többlethalálozás nagy terhet ró a társadalomra. A negatív hatások csökkentése érdekében világszerte korai figyelmeztető rendszereket vezettek be a népegészségügyi hatóságok. Ezek a rendszerek rövid távú meteorológiai előrejelzéseken alapulnak, és különböző intézkedéseket tartalmaznak a riasztások idejére vonatkozóan. Kovats and Kristie (2006) elemezte a hőhullámok népegészségügyi vonzatait és értékelte a válaszadások relatív hatékonyságát. Kovats and Hajat (2008) hangsúlyozta a populációk között fennálló nagy sérülékenységi különbségeket, amik több tényezőtől függenek: például a klímától, kultúrától, infrastruktúrától (lakáskörülmények) stb.

A háromfokozatú **magyar hőségriasztási rendszert** az Országos Meteorológiai Szolgálat előrejelzésére építve 2005-ben vezették be. A riasztási küszöbhőmérséklet a napi átlag 25°C, ami a nyári időszak alatt kb. a 90%-os gyakorisági értéknek felel meg (Bobvos et al., 2015). A hazai definíció szerint hőhullámnak tekinthető az az időszak, amikor legalább három egymást követő napon a napi átlaghőmérséklet meghaladja az említett küszöbhőmérsékletet. A hőhullámok alatt az egészségügyi és szociális intézmények, helyi hatóságok életbe léptetik az előzetesen elkészített hőségtervekben nevesített intézkedéseket.

A hőségriasztást, annak fokozatát, valamint az érvénybe lépés időpontját - illetve amennyiben az előreláthatóan prognosztizálható-, annak várható időtartamát az országos tisztifőorvos határozza meg és hirdeti ki, és erről a vármegyei kormányhivatalok, valamint rajtuk keresztül az illetékességi területükön működő egészségügyi szolgáltatók vezetői értesítést kapnak.

A hőségriasztás megjelenik a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ honlapján és a médiában. 2023 óta a BM Katasztrófavédelmi Főigazgatóság által fenntartott „Vész” applikáción keresztül is megjelenik.

A riasztási fokozatok elrendelése az alábbiak szerint történik:

- I. fokozat: meteorológiai előrejelzés szerint a középhőmérséklet várhatóan egy napig éri el/haladja meg a napi 25°C-ot – belső figyelmeztetés.
- II. fokozat: a meteorológiai előrejelzés szerint a középhőmérséklet várhatóan legalább három egymást követő napon eléri (vagy meghaladja) a napi 25°C-ot.
- III. fokozat: az előrejelzés szerint a középhőmérséklet várhatóan legalább három egymást követő napon eléri (vagy meghaladja) a napi 27°C-ot.

Az éghajlatváltozás hatása a légszennyezőkre

A gyakoribbá váló hőhullámokhoz kapcsolódóan számolni kell az úgynevezett „nyári típusú szmog”-helyzetek alatt megnövekedő légszennyezés hatásával is (*de Gruijl et al., 2003*). Az a meteorológiai helyzet, ami a hőhullámot előidézi, hozzájárul a levegő minőségromlásához, növeli a földközeli ózon és a szálló por mennyiségét, nyári típusú szmoghelyzet alakulhat ki (részletesen a „*Levegőhigiéne*” c. fejezetben). Az ózon egyik évről a másikra történő ingadozása nagymértékben függ attól, hogy mennyire meleg és száraz a nyár; az intenzív hőhullámok az ózon csúcértékeit eredményezhetik. A hazai mérések is igazolják a nemzetközi tapasztalatot, hogy a hőhullámok alatt jelentősen növekedhet a légszennyezettség, elsősorban az ózonkoncentráció emelkedésére lehet számítani, általában nem a nagyvárosok központjában, hanem a városok szélén, esetleg még távolabb. 2015 és 2020 között az éves átlagkoncentráció 108,8 µg/m³ volt, a legmagasabb értéket 2015-ben mérték, 125,2 µg/m³. Az ózon expozíció rovására írható rövid távú, idő előtti halálozás hazánkban az adott évek átlagában évente 650 fő (8 órás mozgóátlag napi >70 cg/m³).

A nyári, rövid ideig tartó magas ózon és szálló por koncentráció megnöveli az összes halálok, valamint a szív-érrendszeri betegségek miatti halálozás kockázatát (*Katsouyanni et al., 2001; Samoli et al., 2009; Analitis et al., 2014*). Továbbá több kórházi felvételhez, iskolai és munkahelyi hiányzáshoz, gyógyszerhasználatához vezet.

Hazánkban a 2007. évi júliusi hőhullám alatt jelentősen megemelkedett az ózon koncentráció. Az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat által mért adatok alapján az ország területén Sopronban (250 µg/m³) ózon-riasztást, Győrben (200 µg/m³), Dorogon (184 µg/m³) és Tatabányán (180 µg/m³) pedig rendkívüli ózontájékoztatót rendelt el a helyi önkormányzat. A későbbi évek hőhullámai idején is többször alakult ki hasonló helyzet. A későbbi években is megfigyelték az O₃ koncentráció növekedését a hőhullámok idején mind Budapesten, mind a vidéki nagyvárosokban.

Számos elemzés hívja fel a figyelmet arra, hogy a légszennyezés és a klímaváltozás szorosan összefügg. Elsősorban az ózon koncentráció fog növekedni a nyári hónapokban, de a szálló por koncentráció növekedésével is számolni kell (*Monteiro et al., 2013*). Az ózonkoncentráció előrejelzett növekedése az évszázad közepére nem haladja meg az 5 µg/m³ napi maximumot, és az emelkedést valószínűleg ellensúlyozni fogja az ózon prekursorok kibocsátásának tervezett

jövőbeli csökkentése. Az évszázad végére vonatkozó előrejelzések azonban az ózonkoncentráció akár $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es növekedését valószínűsítik. Az akut ózonterheléssel kapcsolatos halálozás 2050-ig várhatóan növekedni fog az éghajlatváltozás miatt, különösen Közép- és Dél-Európában. Becslések alapján az RCP 4.5 éghajlati forgatókönyv szerint az éghajlatváltozás önmagában az ózonnal kapcsolatos akut korai halálozásokat 15%-kal fogja növelni Európában a 2080-as évekre.

Az UV sugárzás és az egészség

A Napból származó ibolyántúli sugárzás számos kedvező és kedvezőtlen hatást fejt ki az emberi szervezetre, javítja hangulatunkat, erősíti szervezetünk betegségekkel szembeni ellenálló képességét, erősíti csontjainkat a kalcium anyagcsere befolyásolásán keresztül, mivel a 280-315 nanométer hullámhosszú UV-B sugárzás elősegíti a D-vitamin képződést.

A D-vitamin az immunrendszer számára is nagyon fontos: hatékony védelmet jelent több daganatos megbetegedés kialakulásával szemben, elsősorban a vastagbél- és az emlőrák esetében ismert ez a kedvező hatás.

A túl kevés UV sugárzás következtében világszerte igen jelentős betegségteherrel kell számolnunk (3,3 milliárd év/DALY) elsősorban a vázizom rendszeri betegségek, különböző autoimmun betegségek és több, gyakori rosszindulatú daganatos betegség miatt, melyeknek közös kockázati tényezője az alacsony 25-hydroxyvitamin-D (calcidiol) szint (Mead, 2008).

Ezért a D-vitamin hiányt fontos népegészségügyi problémának kell tekinteni és fontos a megelőzés elveinek ismerete. A mi égővünkön a napsugárzás expozíciója nem elégséges ahhoz, hogy egész éven át megfelelő D-vitamin ellátottságot biztosítson. A hazai átlagos táplálkozási szokások mindössze napi 80 NE D-vitamin bevitelét biztosítják, ami elhanyagolható, így a konszenzus kimondja (Takács és mtsai., 2022): a megfelelő D-vitamin-ellátottság nem csupán étrendi dietetikai kérdés. A napi D-vitamin igény változó, függ az életkortól, testsúlytól, élethelyzettől, például a várandósságtól is. A D-vitamin hatásaival foglalkozó Tudományos Testület frissítette 2012-es ajánlásait (Negyedik magyarországi továbbképzés és konszenzus konferencia a D-vitamin szerepéről a betegségek megelőzésében és kezelésében – 2021.02.20, Takács és mtsai., 2022).

A konszenzus fő megállapításai:

- A D-vitamin elsődleges forrása a bőrt érő napsugárzás, annak is az UV-B spektruma.
- A bőr D₃-vitamin képző kapacitása nagy, de bizonyos fénymennyiség felett már nem nő tovább.
- Magyarországon márciustól októberig naponta 15 perces, az arcot és a fedetlen végtagokat érintő 10-15 óra közötti direkt napsugárzás szükséges a megfelelő D₃-vitamin képzéshez.
- A késő ősztől kora tavaszig terjedő időszakban a napsugárzás nem elegendő a szükséges mennyiségű D₃-vitamin termeléséhez.
- D-vitamin-szintézishez szükséges, az UV-B sugárzás erősségétől függően, napi 10-30 perces, a testfelszín 15%-át (arc, karok, vállak) érintő napsugárzás nem növeli a bőrrák kockázatát.

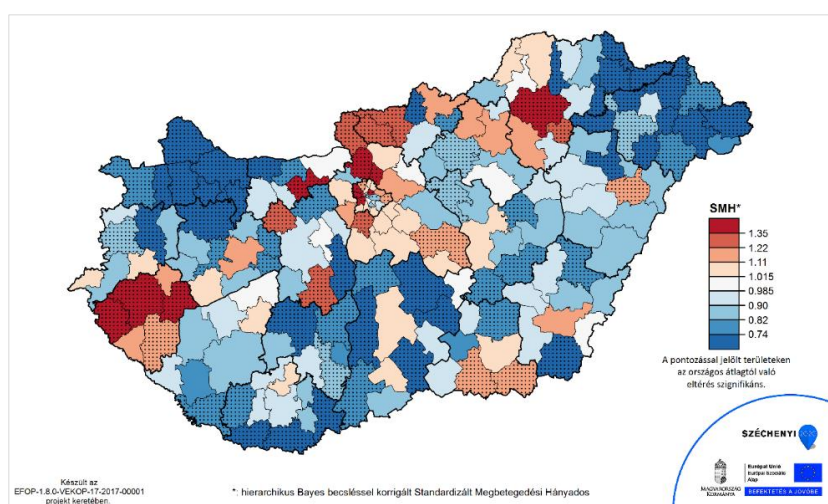
- Az ennél hosszabb idejű, védelem nélküli, főleg a bőr leégéséhez vezető napozás nem ajánlható.
- A szoláriumok UV-A sugárzása nem alkalmas a D₃-vitamin képzésre.

A táplálék kis D-vitamin tartalma miatt a D-vitamin ellátottság nem dietetikai kérdés.

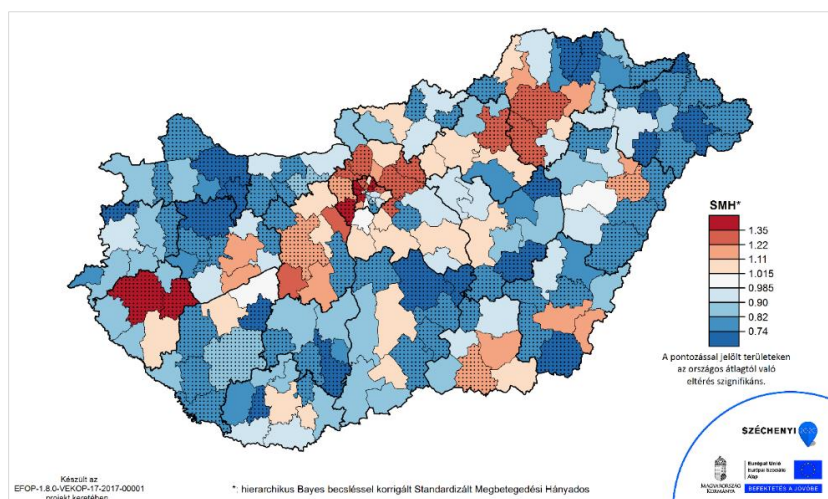
D-vitamin pótlás szakmai ajánlása: csecsemőknek és kisgyermeknek 400, kisiskolásoknak 1 000, kamaszoknak és egészséges felnőtteknek 2 000 nemzetközi egység (NE) gyógyszergyári körülmények között gyártott D-vitamin szedése javasolt naponta az októbertől-márciusig tartó időszakban.

Másrészt az UV sugárzás egészségkárosító hatású is, melyek közül a legfontosabbak a bőr leégése (fotodermatosis), valamint a szemlencse széli részének homályosodása (szürkehályog), továbbá a rákkeltő hatás. Elsősorban két nem festékes bőrdaganat (basalioma és elszarusodó laphámsejtes daganat) kialakulásának kockázatát növeli a 280-320 nanométer hullámhosszú UV-B sugárzás, az UV-A pedig a festékes bőrdaganatok, a melanomák kialakulását idézi elő.

A klímaváltozás többféle módon változtatja meg az UV-sugárzásnak való kitettséget, ami függ a földrajzi elhelyezkedéstől és a jelenlegi UV-expozíciótól. Megváltoztatja a felhők eloszlását, ami befolyásolja a Föld felszínére érkező UV-sugárzás mennyiségét. A magasabb külső hőmérséklet befolyásolja öltözködési szokásainkat és a szabadban töltött időt, mindez növelheti az UV-sugárzás kockázatát. Az IPCC IV. jelentése megállapítja, hogy a klímaváltozás egészségkárosító hatásaival kapcsolatban kockázati tényezőként kell kezelni a változó UV sugárzást. A sztratoszférikus ózonréteg stabilizálódása az átlagos UV sugárzás csökkenéséhez vezet. Ennek ellenére a sztratoszféra emelkedett hőmérséklete gyorsítja a kémiai reakciók idejét, ami a gyakoribb extrém időjárási helyzetekkel együtt „ózon mini-lyukakat” idéz elő, következésképpen az UV sugárzás növekedéséhez vezet. A túlzott UV sugárzás összefügg a bőrdaganatok gyakoribbá válásával, beleértve a melanomát (20. ábra) - melynek területi eloszlása részint függ a sugárzás erősségétől (21. ábra)-, továbbá a cataractát. Az Európai Daganat Megelőzési Kódex (*Cancercode*) javaslata szerint, összhangban az EU daganat megelőző programjával, kerülni kell a túlzott napfény expozíciót.



20. ábra **Magyarország női lakosságának rosszindulatú melanómája (BNO: C43) miatti megbetegedése, járási szinten, 2014-2018.**
(forrás: NNGYK)



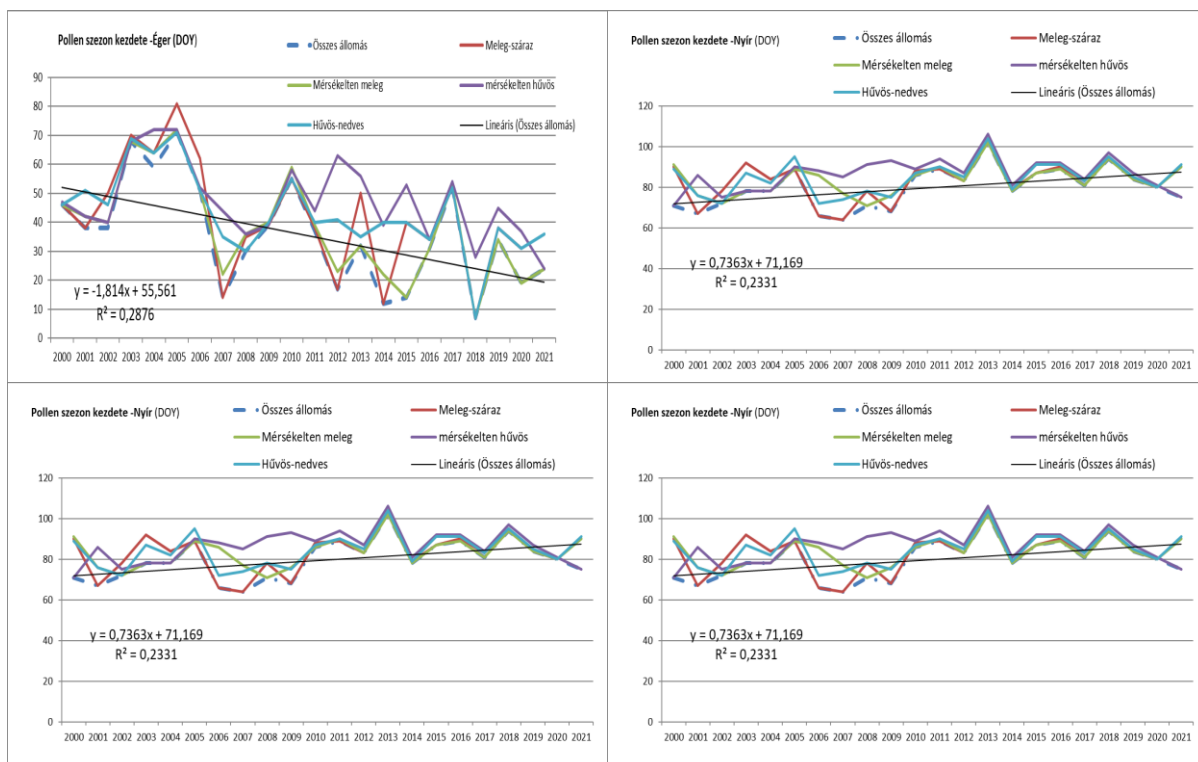
21. ábra **Magyarország férfi lakosságának rosszindulatú melanómája (BNO: C43) miatti megbetegedése, járási szinten, 2014-2018.**
(forrás: NNGYK)

Allergén növények virágzási idejének megváltozása

A klímaváltozás hatásaként számolni kell az allergén növények elterjedésének térbeli és időbeli megváltozásával is (Burr *et al.*, 2003; Emberlin *et al.*, 2002). Vizsgálatok igazolták, hogy a tavaszi pollenszezon korábban kezdődik Európában és Észak-Amerikában. Hazánkban ezt a jelenséget már megfigyelhettük az elmúlt tíz évben: 2007-ben négy héttel előbb kezdtek virágozni a tavaszi fák (Páldy, Bobvos, Apatini és mtsai., 2008).

Megalapozottan feltételezhető, hogy a pollenszórás által okozott allergiás betegségek (mint például szénanátha) gyakorisága növekedni fog. Új, erős allergenitású, invazív növényfajok megjelenése, mint például a parlagfű, jelentős egészségi kockázatot képvisel majd Európa sok országa számára, hiszen számolni kell e növény északra terjedésével. A megnövekedett légköri CO₂ koncentráció kedvezően fog hatni a növény vegetációjára (Singer *et al.*, 2005).

A klímaspecifikus pollenindikátorokon alapuló elemzések azt mutatták, hogy a kora tavasszal virágzó fák virágzási szezonja korábban indul. A szezonkezdet (amikor a pollentermelés az éves összpollenszám 1%-át eléri) egyre korábbi eltolódása mutatható ki az éger esetében a 2000-2021 közötti időszakban (22. ábra).



22. ábra Négy indikátor növényfaj szezonkezdetek klímaregiónk szerint, 2000-2021.
(forrás: NNGYK)

Az 1980-as, '90-es években a hazai időjárás fokozatos felmelegedése és a gyakori enyhe telek hatására egyre több melegkedvelő (termofil) növényfaj jelent meg és terjedt el intenzíven országunk területén. Ezek az adventív növények (behurcolt, illetve jövevényfajok) szubmediterrán, mediterrán, szubtrópusi és trópusi területekről származnak. A mediterrán vidékeken a falgyom (23. ábra), a ciprus, az olajfa és a platán a legfontosabb pollenallergének. Amennyiben Magyarország éghajlata is melegedni fog az elkövetkező 50-100 évben, várható, hogy a jelenleg mediterrán allergén növények megjelennek a Kárpát-medencében is, ezzel újabb problémákat okozva. Fontos tehát, hogy ezek behozatalát, ültetését, elszaporodását időben megakadályozzuk, melyhez a növények potenciális allergénitását kell figyelembe vennünk. E feladatot a kertészek, növénynevelők szakértői támogatásával kell végeznünk, mivel számos növényfajnak előállíthatóak nem allergén változatai, melyek révén a növényzet alacsony allergénitása mellett a megfelelő biodiverzitás is megőrizhető.



23. ábra Ágas falgyom
(*Parietaria judaica*)

Klíímaváltozás és fertőző betegségek

A klímaváltozás nagy valószínűséggel meg fogja változtatni egyes fertőző betegségek térbeli és időbeli megjelenését. Elsősorban az ízeltlábúak (szúnyogok, kullancsok stb.) és a rágcsálók által terjesztett megbetegedések, valamint az élelmiszerek és ivóvíz által közvetített fertőzések válnak gyakoribbá. Európára vonatkozóan a következő fertőzések várhatók (*Lindgren et al., 2012*), II. táblázat):

II. táblázat Vektorok által terjesztett fertőző betegségek előfordulása és a klímaváltozás összefüggése

A klímaváltozással való összefüggés erőssége	Magas			Vibrio spp. (kivéve V. cholerae O1 és O139), viscerális leishmaniasis		Lyme borreliosis
	Közepes	Krími-kongói haemorrhagiás láz Hepatitis A Leptospirosis	Tularaemia Sárgaláz Yersiniosis	Campylobacteriosis Chikungunya láz Cryptosporidiosis Giardiasis Hantavirus	Rift völgyi láz Salmonellosis Shigellosis VTEC* Nyugat-Nílusí láz	Dengue láz Kullancs encephalitis
	Alacsony	Anthrax Botulismus Listeriosis Malária	Q láz Tetanus Toxoplasmosis	Cholera (O1, O139) Legionellosis Meningococcus fertőzés		
		Alacsony		Közepes		Magas
	A társadalmi következmény súlyossága					

* VTEC: verotoxin termelő *E. coli*

(forrás: Lindgren et al., 2012)

Ízeltlábú vektorok által terjesztett fertőző betegségek

A szúnyogok egyrészt számos fertőző betegség átvivői, terjesztői (vektorai), másrészt a környezet, az éghajlat érzékeny indikátorai. Az egyes szúnyogfajokban eltérő kórokozók élnek. Egyes nemzetségeik az egész világon, a trópusoktól a magashegységekig, valamint a tundráig megtalálhatók, míg mások a trópusok, szubtrópusok lakói. Az általános felmelegedés a szúnyogokra hasonlóan hat, mint más ízeltlábúakra: lerövidül a szúnyogok életének nyugalmi időszaka, nő az évenkénti generációk száma, gyorsul az egyedek anyagcseréje, így rövidül az életciklusa, nő a szúnyogok csípési indexe. Amennyiben az egyes kórokozók terjesztéséért felelős vektorok számára a hazai klíma megfelelővé válik, és szaporodni is képesek lesznek, akkor megnő annak az esélye, hogy az általuk terjesztett betegségek megjelenjenek itthon is. Ez akkor különösen jelentős veszély, ha a jelenlegi előfordulási terület és Magyarország között nincsen olyan természetes határ (pl. hegység, tenger), ami megakadályozhatná a vektor idesorodását. Ebből a szempontból különösen fontos a Balkánon előforduló betegségek figyelemmel kísérése mint például a **krími-kongói vérzések láz** és terjesztőjének, a *Hyalomma marginatum* kullancsnak a megjelenése hazánkban (*Román, 2022*).

Az agyvelő- és agyhártyagyulladás okozó, szúnyogok által közvetített „**Nyugat-nílusi láz**” Afrikában, Euráziában, Észak-Amerikában, valamint Ausztráliában okoz jelentős járványokat. Közép- és Kelet-Európában évtizedek alatt jut el a vírus egyik országból a másikba. Viszonylag érintetlen, nagy kiterjedésű mocsaras területekről terjed a kórokozó.

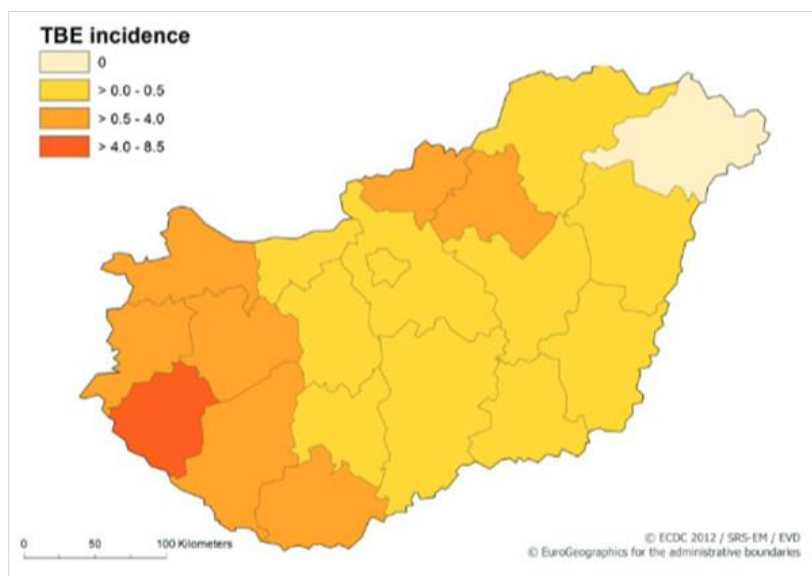
Magyarországon 2003-ban azonosítottak először hazai eredetű nyugat-nílusi vírusfertőzést háziállatok, valamint emberek központi idegrendszeri megbetegedéseiben. 2003-2007 között évente 1-3 eset fordult elő, azonban 2008-ban augusztus és október között 19 humán esetet azonosítottak (Ferenczi és mtsai., 2006; Ferenczi és mtsai., 2008). A 2010-es évek elején kisebb járvány alakult ki Görögországban és a Balkán-félszigeten, hazánkban is több esetet jelentettek be, 2013-ban 31 esetet regisztráltak. A betegség előfordulásának növekedése várható a 21. század során a Kárpát-medencében, mind a kontinentalitás fokozódása, mind a melegedés következtében. Csak 2018-ban Európában 2 083 emberi fertőzést regisztráltak, amiből Magyarországon 215 esetet észleltek.

2007-ben Olaszországban - első alkalommal Európában - **Chikungunya lázjárvány** alakult ki. A vírusfertőzés tünetei hasonlóak az influenzához. Az idős, legyengült betegekben igen súlyos, halálos megbetegedést idézett elő. Egyértelműen bebizonyosodott, hogy szúnyogok terjesztették a betegséget. A vírus egyik vektora, az ázsiai tigrisszúnyog (*Aedes albopictus*) Európa tizenkét országában van jelen. A klímaváltozás jelenlegi trendjei szerint a század közepére, de legkésőbb a végére a felmelegedés eléri az állandó szúnyogpopulációkhoz szükséges átlaghőmérsékleti küszöböt. Figyelmeztető jel, hogy a tigrisszúnyog a szomszédos Horvátország, Szlovénia és a közeli Bosznia-Hercegovina területén már önfenntartó populációkat hozott létre. Hosszabb távon a szintén szúnyogok által terjesztett, a trópusokon és a mediterrán övezetben súlyos járványügyi problémát okozó malária hazánkba behurcolt eseteinek száma növekedhet (Trájer és Páldy 2021).

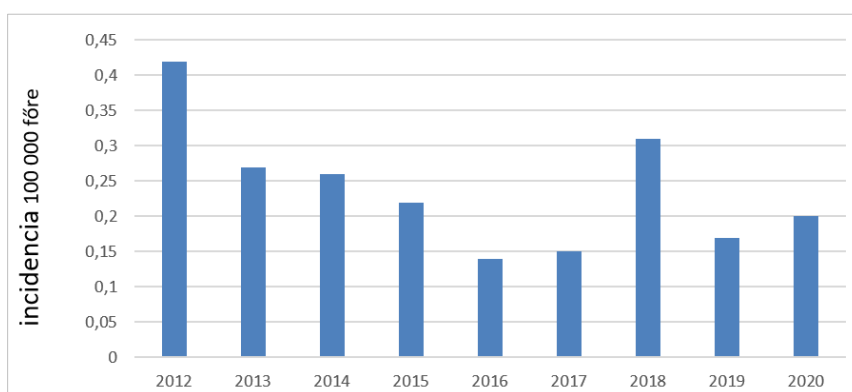
2015-ben újabb kórokozó által okozott világjárvány jelent meg: a **Zika- vírus fertőzés** (a vírust Ugandában fedezték fel 1947-ben egy Zika nevű területen) Dél-Amerikában (ahol 2015-2016-ban a legtöbb eset fordult elő). Valószínűleg a 2014-es futball-világbajnokságra érkezők hurcolták be repülőgépeken megbúvó (*Aedes aegypti*) szúnyogokkal. Ez a szúnyogfaj terjeszti a **sárgalázat és a Dengue-láz** különböző változatait is, e két betegség évente több millió ember halálát okozza világszerte. A Dengue-láz Európában is terjed, elsősorban a mediterrán területeken. A Zika vírus a flavivírusok családjába tartozik, hasonlóan a sárgaláz, Chikungunya és Deunge-lázhoz. A Zika vírus elsősorban a várandós anyákra jelent nagy veszélyt, mert az újszülöttek mikrocefáliával születhetnek, illetve a szintén igen súlyos idegrendszeri eltérést okozó Guillain-Barré-szindrómával, azonban az összefüggés még nem teljesen bizonyított (WHO, 2016).

A klímaváltozással is összefüggő, vektorok által terjesztett betegségek következő csoportját a **kullancsok** terjesztik. Ismereteink szerint a hazai kullancsok kilencféle betegséget terjeszthetnek. Egyért (agyhártya- és agyvelőgyulladás) a Flavivírusok családjába tartozó vírus a felelős, a többi baktérium okozza.

A kullancsok az utóbbi évtizedben északibb területeken is megjelentek, például Svédországban és Kanadában; Csehországban a tengerszint feletti magassági megjelenésben találtak eltérést, ezzel együtt a kullancsok által terjesztett vírusos agyhártya- és agyvelőgyulladás (tick-borne encephalitis, TBE) földrajzi előfordulása is megváltozott (Lindgren and Talleklint, 2000; Randolph, 2001; Randolph, 2004). Magyarországon a laboratóriumi diagnózissal megerősített kullancsencephalitis-eseteket 1958-tól folyamatosan regisztrálják. Az erdős területeken gyakoribb a fertőzés, a '90-es évek végétől azonban fertőzött góccok jelentek meg a régebben fertőzésmentes Alföldön is (Rácz, Bán, Ferenczi et al., 2006) (24-25. ábra).



24. ábra **A TBE átlagos éves előfordulási aránya 100 000 lakosra vetítve NUTS3 régió szerint Magyarországon, 2000-2010. (n=686)**
(forrás: ECDC, 2012)

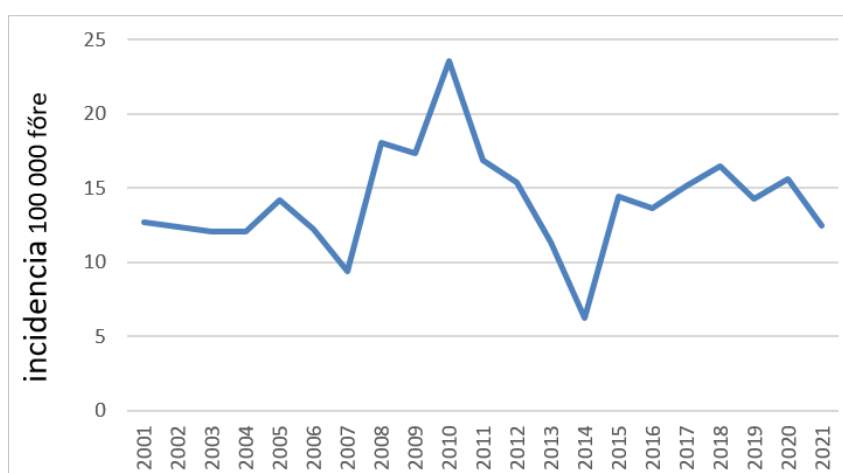


25. ábra **A kullancsencephalitis éves gyakorisága 100 000 főre Magyarországon, 2012-2020.**
(forrás: <http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/TBE-in-EU-EFTA.pdf>)

A megbetegedések a jövőben gyakoribbá válhatnak az enyhe telek és az ország várhatóan növekvő erdőborítottsága következtében (Nah et al., 2020). A kullancs által terjesztett agyhártya- és agyvelőgyulladás ellen létezik védőoltás, amit megfelelő időben, télen vagy kora tavasszal kell beadni.

Jelenleg a *Borrelia burgdorferi* baktérium okozta Lyme-kór fordul elő legnagyobb esetszámmal (26. ábra). A kullancspopuláció növekedése várható a jövőben, mivel a vegetációs szezonhossz meghosszabbodása tágítja az éves aktivitási periódusuk időtartamát, ugyanakkor kétséges, hogy ez a változás egyben a kullancsok által terjesztett megbetegedések növekedését is fogja-e okozni a jövőben Magyarországon, ahogy erre egy Lyme borreliosissal kapcsolatos tanulmány figyelmeztet (Bede-Fazekas és Trájer, 2019).

A betegség várhatóan kutyákban is gyakoribbá válik. Gyakoriság szerint a Lyme-kór megelőzi az encephalitist, kórokozója ellen nincs védőoltás, de megfelelő kezeléssel jól gyógyítható. A betegség kezdeti stádiumában az egyetlen tünet a különböző testfelületeken megjelenő, körkörös terjedő bőrpír, a Lyme-folt, amelyet égő, viszkető érzés is kísérhet. A korán felfedezett megbetegedés sikerrel gyógyítható, a későbbi fázisban idegrendszeri panaszok, ízületi gyulladások jelentkezhettek.



26. ábra **Bejelentett Lyme-kór megbetegedések Magyarországon, 2001-2021.**
(forrás: NNGYK)

Az éves átlaghőmérséklet emelkedésével számolnunk kell a leishmaniasis megjelenésével (27. ábra). A betegséget a három fő csoportba sorolható *Leishmania* faj (egysejtű protozoon) okozza, amit a nőstény *Phlebotomus* (lepkeszúnyog) visz át az emberre. A protozoon gazdái emlősállatok, főként kutyák és rágcsálók. A bőrtünetekkel, illetve súlyos belső szervi elváltozásokkal járó betegség a Föld 88 országában előfordul, mintegy 350 millió ember van kitéve a fertőzésnek (Lindgren and Naucke, 2006).



27. ábra **A bőrtüneteket okozó Leishmaniasis elterjedése Európában**
(forrás: Menne and Ebi, 2006)

A kórokozó számára a legalább 5-10°C-os januári, valamint a 20-30°C-os júliusi maximum hőmérséklet szükséges, ami Európában jelenleg a 45° északi szélességig, valamint 400-600 m tengerszint feletti magasságig jellemző. Magának a lepkeszúnyognak (28. ábra) a túlélése elsősorban a hőmérséklettől és a levegő páratartalmától függ. A melegebbé és szárazabbá váló éghajlat elősegíti, hogy mind a betegség terjesztője, mind a betegség kórokozója igen nagy valószínűséggel megjelenjen hazánkban is az elkövetkező ötven év során (Koch et al., 2017; Trájer, 2021).



28. ábra **Lepkeszúnyog**
(*Phlebotomus pappataci*)

Rágcsálók által terjesztett fertőző betegségek

A rágcsálók is fontosak az egyes fertőzések terjesztése szempontjából, áttelelésüket megkönnyíti az enyhe tél, így a következő évben nő a fertőzések terjesztésének veszélye. Egyes rágcsálók által terjesztett betegségek az árvizek után válnak gyakoribbá. A hantavírus hordozói és terjesztői is rágcsálók. A vírus nagy mennyiségben főleg a vizeletben található, de a vírushordozó torkában is jelen van. Az ember az állati vizelettel szennyezett vízzel vagy talajjal érintkezve fertőződhet meg. Hazánkban 2004 és 2020 között 127 betegnél igazoltak hantavírus fertőzést, ez évente átlagosan 7-10 esetet jelent. A kórokozó legtöbbször a légutakon keresztül hatol be, a megszáradt vizeletből képződő porral együtt. A vírus a bőrön át is bejuthat, elsősorban felsértett bőrfelületen keresztül. A hantavírus Európában és Ázsiában előforduló törzsei vérzéses lázat okoznak, vesetünetekkel, az Amerikában előforduló törzsek pedig súlyos tüdőgyulladást idéznek elő (Plank et al., 1961). A klímaváltozás feltehetően befolyásolja a hantavírus-fertőzés terjedését, elsősorban azáltal, hogy az enyhébb időjárás és a csapadék kedvez a rágcsáló populáció elszaporodásának. Hazánkban az utóbbi időben évenként tíz alatti megbetegedési esetszám fordult elő.

Mind embereket, mind pedig állatokat képes megfertőzni és megbetegíteni több *Leptospira* baktérium faj is. A betegség hidegrázással, magas lázzal induló, agyhártyagyulladás tünetekkel, esetenként halálhoz vezető, máj- és veseelégtelenséggel járó fertőzés. Ennek a betegségnek a terjesztésében is kulcsfontosságú szerepet játszanak a rágcsálók. A klímaváltozással összefüggésben elsősorban a gyakoribbá váló árvizek kapcsán kell erre a megbetegedésre gondolni (Zitek and Benes, 2005).

Víz és élelmiszerek által közvetített fertőzések

Az Egészségügyi Világszervezet 2002. évi jelentésében a világban bekövetkezett hasmenéses esetek 2,4%-át írta a klímaváltozás terhére. A WHO Surveillance Programja azokat a fertőzőeseteket vagy mérgezőeseteket tekinti élelmiszerek útján terjedő megbetegedéseknek, amelyek fertőzött étel vagy víz fogyasztása révén alakultak ki.

A nyugat-európai népesség mintegy 20%-a évente legalább egyszer átesik egy hasmenéses megbetegedésen. Epidemiológiai vizsgálatok kimutatták, hogy a hasmenéses betegségek és a külső hőmérséklet között szoros a kapcsolat: minél melegebb van, annál többen kerülnek bélfertőzések miatt kórházba. Ennek alapján a globális klímaváltozás egyik várható jelentős hatása a gyomor- és bélfertőzések számának növekedése (Bentham and Langford, 2001).

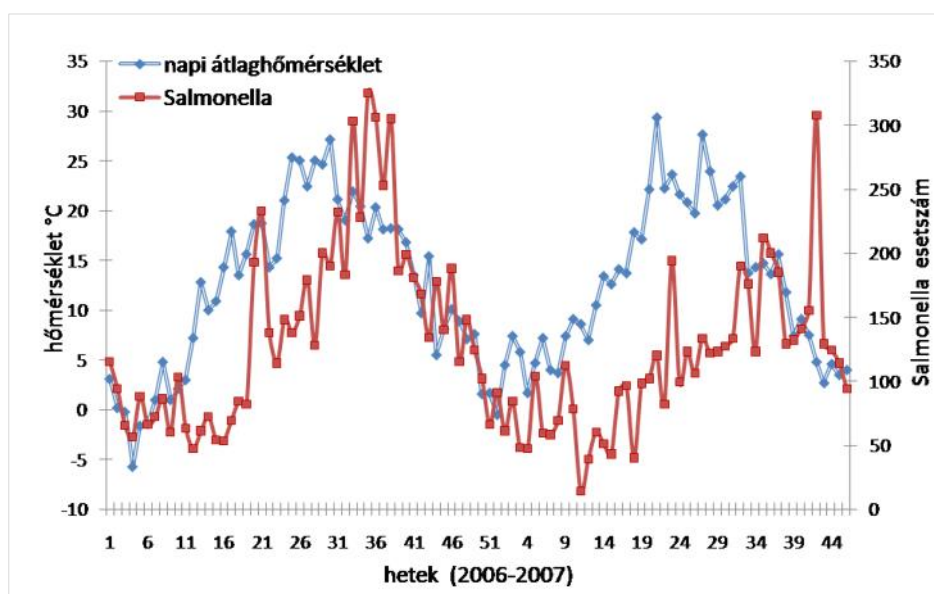
Világszerte, így Európában is komoly gondot okoznak azok a kórokozó egysejtű élősködők, amelyek természetes- és szennyvizekben fordulnak elő. Legismertebb fajaik: a *Cryptosporidium parvum* (ami egy sejten belül élősködő parazita, sok állatfaj gyomor-bélrendszerében és légutaiban él) és a *Giardia lamblia*. A kórokozók fertőzött emberi széklettel (kommunális szennyvizek) és állati ürülékkel (főként szarvasmarha, juh, vadállatok) kerülnek be a vizekbe.

Egyre több nemzetközi és hazai adat is alátámasztja, hogy az egyre gyakrabban előforduló extrém mennyiségű csapadékhullás következtében a jövőben egyre gyakrabban kell számolni ivóvíz-eredetű fertőzések lehetőségével is.

A fertőzések lehetséges kiindulási pontjai az élelmiszerláncban

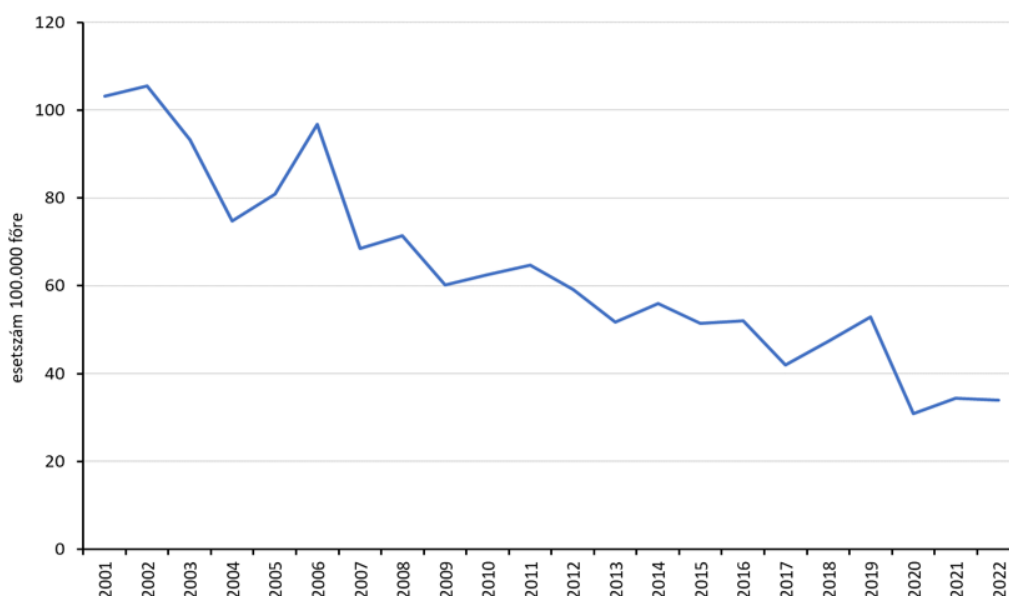
A klímahatásokkal összefüggésben nyilvánvalóan fontos, hogy a veszélyes léghőmérsékletű időszak az év során milyen hosszán áll fenn, hiszen a mikróbák szaporodási sebességének alapvető meghatározója a hőmérséklet. Az élelmiszer-előállítók számára a szigorú HACCP-rendszerek működtetése lehet a biztosíték arra, hogy a lehetséges veszélyeket a folyamataik kritikus szabályozási pontjain megelőzzék, illetve kiszűrjék. Például az élelmiszerek útján terjedő legfontosabb és legismertebb fertőzések, a Salmonellosis, illetve a Campylobacter fertőzések.

Ezen fertőzések kialakulásában az alapanyagként szolgáló baromfi, illetve tojás szalmonellás alapfertőzöttsége (kiinduló csíraszám) döntő, és klímától is függő kérdés. A fertőzések esetében évről évre egyértelműen követhető a megbetegedések eloszlásában egy ciklikusság. A téli, tavaszi hónapokban a Salmonellosisok száma viszonylag alacsony, majd az első meleg, tavaszvégi, nyári napokon emelkedni kezd, és csúcsát rendszerint július-augusztusban éri el (29. ábra). Az átlaghőmérséklet növekedéséhez kapcsolódó fertőzések számának emelkedésével növekszik a járványos megbetegedések kialakulásának kockázata is (Kovats et al., 2005; Semenza and Paz 2021).



29. ábra A bejelentett Salmonellosis fertőzések heti eloszlása és a heti átlaghőmérséklet alakulása Magyarországon, 2006-2007.
(forrás: Országos Epidemiológiai Központ)

Az élelmiszer-eredetű megbetegedési események és a megbetegedett személyek száma 2006-ot követően jelentősen csökkent, az utóbbi években kismértékben növekszik. A Salmonellosis nemzetközi összehasonlításban Magyarországon jelentős számban fordul elő, de időben fokozatosan csökken (2001-ben még 10 000 felett volt a bejelentett esetszám, de 2021-ben már csak 3 340 esetet jelentettek), azonban kimutatható, hogy a napi átlaghőmérséklet növekedésével nő az esetszám (30. ábra).



30. ábra Bejelentett Salmonella fertőzések 100 000 főre Magyarországon, 2001-2022.
(forrás: NNGYK)

A klímaváltozás a fizikai jellegű élelmiszerbiztonsági veszélyeket várhatóan nem fogja érdemben befolyásolni. A kémiai veszélyek közül azonban a növényi, állati, illetve mikrobiális eredetű mérgezések összefüggésben állhatnak a klímával. Fontos mikrobiális eredetű veszély például a gabona-, olajosmag-, szárazgyümölcs-termékek gombaeredetű mikotoxin-tartalma (pl. aflatoxinok, ochratoxinok, patulin, Fusarium-toxinok). A mikotoxinok a fonalas gombák által termelt másodlagos anyagcseretermékek. Humánegészségügyi szempontból a legnagyobb problémát a daganatképző, máj- vesekárosító és neurotoxikus hatásuk jelenti. Enterális károsító hatással is rendelkeznek (pl. dezoxinivalenol-DON), képesek átjutni a placentán, ezáltal akár a magzat elhalását is okozhatják. A fonalas gombák mikotoxintermelése genetikailag meghatározott, azonban a külső környezeti körülmények erősen befolyásolják. Általában valamilyen stresszfaktor hatására keletkeznek, amely lehet hő, vízhiány, pH eltolódás, valamint konkurens gombák megjelenése.

A **mikotoxinok** nagy része rendkívül stabil vegyület, így az élelmiszeriparban és a konyhai feldolgozás során alkalmazott hagyományos hőkezelési eljárásokkal szemben ellenállóak. Külön nehézséget okoz felismerésük, ugyanis érzékszervi elváltozást általában egyik mikotoxin sem okoz a szennyezett élelmiszeren. A kockázatok mérséklésének eszközei lehetnek – többek között – a növénytermesztés során alkalmazott gombaölőszeres (fungicid hatású) permetezések, amelyek viszont a szermaradvány eredetű élelmiszerbiztonsági kockázatok növekedését eredményezhetik.

LEVEGŐHIGIÉNE

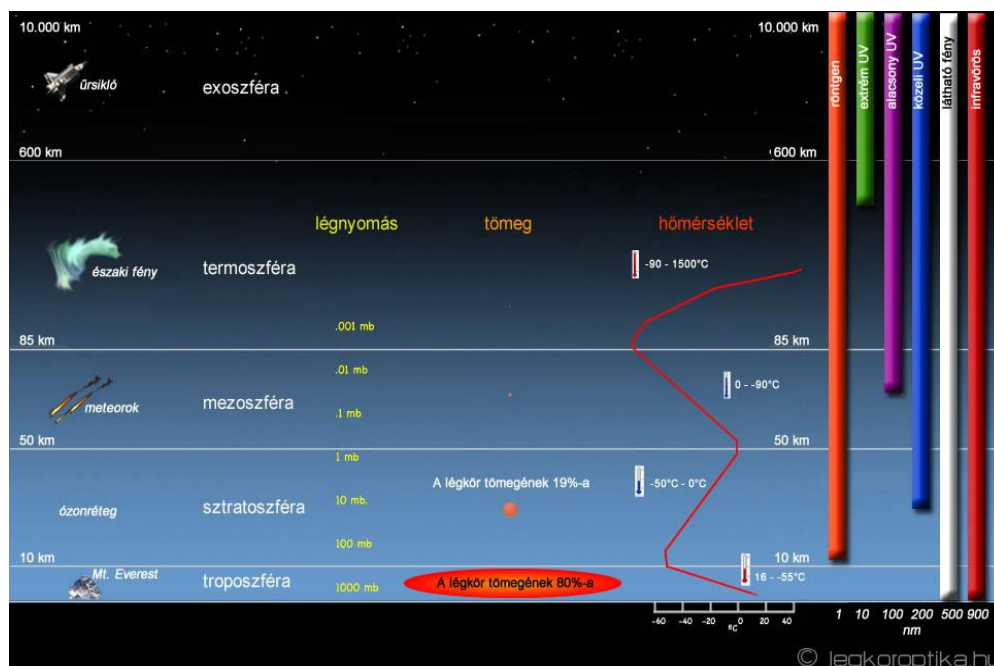
A LÉGKÖR ÖSSZETÉTELE, SZERKEZETE

Dr. Beregszászi Tímea, Középesy Szilvia

A légköri levegő – amennyiben a benne lévő vízgőzzel nem számolunk – természetes állapotában 21 tf% oxigénből, 78 tf% nitrogénből, 0,03 tf% szén-dioxidból, 0,97 tf% nemesgáz elegyből álló keverék, amelynek összetétele az állandó légköri mozgások következtében 80 km magasságig nem változik. Ezt a réteget **homoszférának**, míg a fölötté lévő réteget **heteroszférának** nevezzük. A hőmérséklet vertikális változása jellegének megfelelően a homoszféra további rétegekre osztható. Ezek közül a felszínhez közeli legalsó, 10-15 km vastag réteg a **troposzféra**, amelyben a hőmérséklet 100 méterenként 0,65°C-t csökken. Ez a réteg határozza meg az időjárási viszonyokat és az éghajlatot. A 15-50 km közötti légréteg a **sztratoszféra**, amely nem befolyásolja az időjárást, mivel a két réteg közötti vertikális áramlás kismértékű. Tartományában a hőmérséklet jelentősen emelkedik. A sztratoszférában helyezkedik el az **ózonréteg**, amely megvédi a Földet az ultraibolya sugárzástól, biztosítva ezzel az élet feltételeit. A **mezoszféra** 50-80 km magasságban helyezkedik el, területén ismét csökken a hőmérséklet, felső határán található a légkör leghidegebb része (kb. -95°C). A 80 km feletti rész a **termoszféra**, szintén elnyeli az ibolyántúli sugárzásokat, ezért hőmérséklete emelkedik, a Nap ionizáló sugárzása hatására. Anyaga ionokból áll, ezért más néven ionoszférának is nevezik. Az **exoszféra** a légkör legfelső rétege. Felső határa 10 000 km körül található, de valójában ez a réteg már egy folyamatos átmenet a világűrbe.

A légszennyezettség szempontjából igen fontos a troposzféra felszín feletti rétege, az ún. **keveredési réteg**, amelyre a vertikális turbulencia jellemző. Ezért vastagsága a meteorológiai körülményektől függően változik, néhány száz métertől kb. 2 km-ig.

A légkör felépítésének jellemzőit az 31. ábra mutatja.



31. ábra A légkör felépítése

(forrás: <http://legkoroptika.hu/alegkorfelepitesi>)

A légkör elszennyeződése

A normális, tiszta levegő természetes állapotában nem tartalmaz járulékos komponenseket. Abszolút tiszta levegő azonban nincs. Ha a levegőben a járulékos anyagok csak igen kis mennyiségben fordulnak elő, akkor még tiszta levegőről beszélhetünk. Ha a járulékos anyagok felszaporodása nagymértékű, akkor már levegőszennyezettség áll fenn. A levegőszennyezettség (immisszió) keletkezhet **természetes úton**. A Föld felületének nagyobbik hányadát kitevő hidroszféra jelentős mennyiségű aeroszolt (Na, Ca és K tartalmú kloridok, szulfidok), valamint igen nagy mennyiségű gázhalmazállapotú anyagcsere terméket (CO_2) termel. Természetes források a vulkáni kitörések gázai, a kozmikus por és a talaj pora, az erdőtüzek égéstermékai, az élő és elhalt, bomló szervezetek gázhalmazállapotú termékei. Ezek az anyagok okozzák a légkör ún. globális háttérszennyezettségét.

A **mesterséges, azaz antropogén** források szennyezőanyag kibocsátása (emisszió) révén kialakult légszennyezettség helyileg és időben lehatároltabb, illetve abból később szintén kialakulhat regionális, vagy nagyon felhígulva, globális szennyezettség is. Antropogén források az ipar, a közlekedés, a mezőgazdaság és a háztartások (háztartási hulladékok és tüzelőanyagok elégetésének termékei).

A levegőszennyezettség definícióját az Egészségügyi Világszervezet (WHO) az alábbiak szerint adja meg:

„**Levegőszennyezettség** akkor áll fenn, ha egy, vagy több levegőt szennyező anyag olyan mennyiségben és olyan hosszú ideig található a környezeti levegőben, hogy az élőlényekre, az emberre, az állat- és növényvilágra, valamint az anyagi javakra káros hatást fejt ki, vagy hozzájárul a káros hatáshoz, illetve az élőlények jó közérzetét, cselekvőképességét hátrányosan befolyásolja, továbbá az anyagi javakat károsítja.”

A légszennyezés eredményeként a troposzféra alsó rétegének összetétele módosul. Gázok, gőzök, aeroszol részecskék és élőlények, vagy azok részei (baktériumok, spórák, pollenszemcsék) szennyezik a légkört. Bár ezen anyagok koncentrációja a levegőt alkotó gázokhoz képest csekély mértékű, mégis megzavarhatják a légkör természetes egyensúlyát. A megváltozott körülmények károsan befolyásolhatják a Föld klimatikus viszonyait, az ökoszisztémákat, az emberi egészséget és az épített környezetet.

Történetileg a légkör elszennyeződési folyamatának kezdete az ipari forradalom időszaka volt, amikor az új technológiák bevezetése együtt járt a szén – mint potenciális energiaforrás – felfedezésével, és széleskörű felhasználásával. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése során nagy mennyiségű szennyező anyag került a légterbe, elsősorban por, korom és kén-dioxid. A XIX. században alakultak ki a nagy ipari városok, ahol a gyárakból és a háztartások fűtéséből származó légszennyezettség veszélyes füstköd katasztrófák kialakulásához vezetett, már a század utolsó évtizedeiben. A krónikák szerint Londonban 1873-ban 500, 1880-ban 2 000 ember halálát okozta az erősen szennyezett levegő.

A XX. század közepén a gépjármű-közlekedés növekedésével újabb energiahordozó lépett előtérbe: a kőolaj és termékei, melynek következtében egyre nagyobb mennyiségű nitrogén-oxid, szén-monoxid, szénhidrogén és ólom szennyezte a környezeti levegőt.

Erre az időszakra esett a vegyipar ugrásszerű fejlődése, a biológiailag aktív anyagok tömeges előállítása is. 1940-50 körül, többször előforduló komoly szennyezettségi időszakok hívták fel a közvélemény és a politika figyelmét a levegőszennyezés jelentőségére, melyek közül a legsúlyosabb az 1952-ben Londonban bekövetkezett füstköd katasztrófa volt, amely 4 000 ember halálát okozta. Ez vezetett 1956-ban a Tiszta Levegő törvényének megalkotásához, amely modellként szolgált a többi ország számára is.

A nagyarányú gazdasági fejlődés következtében a múlt század második felében az emittált szennyező anyagok mennyisége olyan mértékben nőtt, hogy a szennyezés túllépett a városok szűkebb környezetén; kialakultak a szennyezett régiók (pl. a Ruhr-vidék, angliai, lengyel és cseh iparvidék, Amerika keleti és nyugati partvidéke).

Hazánkban ugyan kisebb kiterjedésű, de szintén a nagy ipari kibocsátó források emissziója által exponált területek (borsodi iparvidék, Tatabánya, Oroszlány környéke stb.) jöttek létre az ÉK-DNY tengely mentén.

Az 1990-es években bekövetkezett ipari szerkezetváltás miatt, majd később az emisszió szabályozása révén, megváltozott a helyzet. A korábbi, ipari emisszió által szennyezett régiók területe és a terhelés mértéke csökkent, a közlekedés okozta légszennyezettség – különösen a nagyobb városokban – viszont előtérbe került.

A levegőszennyező anyagok forrásai

A levegőszennyező anyagok forrásai olyan sokfélék, szerteágazók, hogy a jobb áttekinthetőség céljából többféle csoportosításuk szükséges.

A légszennyező anyagok forrása lehet:

- a) *természetes*: vulkáni tevékenység, erdő-, avar- és pampatüzek, növény és állatvilág,
- b) *antropogén*: emberi tevékenységhez kapcsolódó kibocsátás.

A levegőszennyező anyagok forrásai lehetnek:

- a) *elsődleges vagy direkt* források, mely esetben adott szennyező forrás (emittáló) közvetlen emissziót okoz;
- b) *másodlagos vagy szekundér források*, azaz a már meglévő szennyezettség, amelyből különböző hatásokra (pl. egymásközi fotokémiai reakció, fizikai-kémiai átalakulás, oxidáció-redukció, abszorpció-adszorpció, oldódás-kicsapódás stb.) újabb, kémiaiilag más összetételű, vagy más fizikai tulajdonságú anyagok képződnek.

A szennyező források csoportosítása a kibocsátás helye szerint is történhet¹⁶

- a) A helyhez kötött légszennyező forrás:
 - *pontforrás*: az a levegőterhelést okozó forrás, amelynél a légszennyező anyag kibocsátási jellemzői (térfogatáram, kibocsátási koncentráció, hőmérséklet, nyomás) méréssel vagy műszaki számítással egyértelműen meghatározhatók például erőmű kéménye;

¹⁶ 306/2010. (XII.23.) Korm. rendelet

- *diffúz forrás*: olyan levegőterhelést okozó tevékenység vagy kibocsátó felület, amelynél a légszennyező anyag kibocsátási jellemzői méréssel vagy műszaki számítással egyértelműen nem határozhatók meg;
- *vonalforrás*: a nyomvonalas közlekedési létesítmény (közút, vasút) vagy annak vizsgált szakasza, amelynél az elhaladó járművek jellemzői határozzák meg az egységnyi szakaszból származó légszennyező anyag kibocsátott mennyiségét.

b) Mozgó légszennyező forrás:

- a levegőterhelést okozó közúti, vasúti, vízi és légi jármű, továbbá a nem közúti mozgó gép.

A szennyező források csoportosítása az emittáló típusa szerint:

- tűzelés,*
- ipari termelés,*
- közlekedés,*
- mezőgazdaság,*
- egyéb (pl. elemi kár, havária).*

Az egyes források hatásában átfedések vannak, szerepük, részvételi arányuk időben és helyileg változó. Településeken belül nem lehet mereven elkülöníteni a szennyező forrásokat hatásuk és a hatás erőssége szerint. Az immisszióban részvételi arányukat csak megbecsülhetjük, esetleg azt számításos módszerrel megközelíthetjük.

A tűzelés levegőszennyező hatása

A tűzelés különböző energiahordozók elégetési folyamata energianyerés céljából. Az energiahordozók elégetése erőművekben, központi fűtések kazánjaiban és háztartási tűzelőberendezésekben történik. A keletkezett emisszió összetétele és nagysága függ a felhasznált energiahordozó típusától, összetételétől, az elégetés módjától, a tűzelőberendezés korszerűségétől.

A tűzeléskor lejátszódó oxidációs folyamatok tökéletes égésekor végtermékként főleg CO₂ és víz, kis mennyiségben szulfát és nitrát-vegyületek képződnek. A gyakorlatban azonban az égés sohasem zajlik le ilyen tökéletes módon. Az égés legtöbbször „tökéletlen”, a felhasznált éghető anyagok nem jutnak el a végső oxidációs formájukba. E folyamat eredményeképpen nagy százalékban keletkeznek közti termékek, közbenső oxidációs fokú vegyületek. A levegőhigiénés problémákat elsősorban a tökéletlen égéstermékek okozzák (szén-monoxid, kén-dioxid, nyíltláncú, telített és telítetlen szénhidrogének, policiklusos aromás szénhidrogének (PAH), nitrogén-oxidok stb.).

Az égés tökéletességét, vagyis az emisszió nagyságát és összetételét erősen befolyásolja az energiahordozó típusa. Levegőszennyeződést okoznak az alap energiahordozók, amelyek lehetnek természetesek (pl. fa, lignit, szén, kőolaj, földgáz) mesterségesek (pl. faszén, brikett, koks, benzin, gázolaj, fűtőolaj, kohó-generátor). A másodlagos energiahordozók, mint például a villamos energia, gőz, forró víz felhasználásukkor levegőszennyeződést már nem okoznak.

Régebben a háztartási tüzelés emissziója jelentősen rontotta a környezeti levegő minőségét, majd a hazánkban megvalósuló gázprogram bevezetésével jelentősége csökkent. Az utóbbi két évtizedben viszont megfordult a trend, a lakossági tüzelésben lényeges változás következett be, ugyanis a vezetékes gáz ára 2000 és 2012 között több mint nyolcszorosára emelkedett, így a lakosság egy jelentős része visszatért a szilárd tüzelőanyag (primer szilárd biomassza: szén, fa, biomassza, egyéb) felhasználására. Ezek esetében a szilárd szennyező anyag kibocsátás jelentős, ezzel a levegő aeroszol terheltsége ismét számottevően nőtt. 2012 után a gáz ára a „rezsicsökkentés” következtében mérséklődött, így elkezdett növekedni a földgázzal történő fűtés, a biomassza (tűzifa) használata pedig csökkent (OLP¹⁷), azonban a 2022 júliusában bejelentett rezsicsökkentés-módosítás hatására a háztartások ismét tömegesen fordultak (vissza) a fatüzeléshez. Ugyanakkor, ezzel párhuzamosan nőtt az alternatív környezetkímélő technológiák (például a napelemmel működtetett hőszivattyús rendszerek, de a korszerű, biomassza-alapú fűtés is ide tartozik) használata (Feldmár és Bajomi, 2022).

Az ipari termelés levegőszennyező hatása

Az ipari források ágazati csoportosítása szerint az emisszió igen sokféle, minősége és mennyisége függ az üzem jellegétől, kapacitásától és korszerűségétől.

A legszennyezőbb ipari ágazatok egyike az energiatermelés. Az olajfinomítók, a fémfeldolgozó üzemek, cementipar, a vegyipari létesítmények, szintén jelentős szennyezőforrásoknak tekinthetők. Ezen iparágakon belül sem okoz egyformán levegőszennyezettséget minden egyes munkafolyamat.

Az Európai Unióban összehangolt, közösségi irányelvekben meghatározott emisszió szabályozás révén, a kibocsátási normák szigorításával, új technológiák alkalmazásával az ipari termelés levegőszennyező hatása csökkenő tendenciát mutat.

A közlekedés levegőszennyező hatása

A közlekedési emisszió szintén „energiatermelő” üzemből származik, azoktól mégis elkülönítjük, alábbi jellegzetes tulajdonságaik miatt:

- mozgó források okozzák;
- a talajszinthez közeli légrétegben történik az emisszió;
- az emisszió összetétele jellemző, alig változik az azonos típusú járműveknél;
- az emisszió mértéke nemcsak a technikai feltételektől, hanem a forgalmi tényezőktől is függ.

A közlekedésben is megtalálhatjuk ezen kívül az álló, stabil forrásokat is, mint például a vasútnál a pályaudvarokat, hajózásnál a kikötőket, a légi forgalomban a repülőtereket, a városi forgalomban a buszpályaudvarokat. Helyhez kötött, de vonalas forrásnak számíthatók a nagy forgalmú főutvonalak is, amelyek a települések szerkezetébe beépültek, levegőszennyezettséggel állandóan terheltek.

¹⁷ Országos Levegőterhelés-csökkentési Program:

<https://kormany.hu/dokumentumtar/orszag-os-levegoterheles-csokkentesi-program>

Az Otto- és dízelmotorok kipufogógázaiban ugyanazok a főbb károsanyag összetevők mutatnak ki (szén-monoxid, nitrogén-oxidok, szén-hidrogének, aldehidek, korom, poliaromás szénhidrogének). Az Otto-motorok – az utóbbi évtizedekben bekövetkezett ólommentes benzinnel elterjedése miatt – ólom szennyezést már nem emittálnak a levegőbe.

A dízelmotor esetében régebben a gázolaj magasabb kéntartalma miatt kén-oxidok is megtalálhatók voltak a kipufogógázban. A dízelmotor kipufogógázának jellegzetes komponense a jelentős mennyiségben előforduló korom, amelyhez kötődnek az el nem égett policiklusos szén-hidrogének (pl. a 3,4-benzpirén), ezért ezek nehezebben keverednek a levegővel, később alakulnak át és így növekszik ezek rákkeltő hatása.

A gépjárművek szén-dioxid (CO_2) emissziója is környezetszennyező hatású. A CO_2 hozzájárul az üvegházhatás kialakulásának elősegítésével a Föld globális felmelegedéséhez.

A belső égésű motorok levegőszennyező hatásának mérséklése érdekében az Európai Unióban ún. európai kibocsátási normák határozzák meg az új gépjárművek károsanyag kibocsátásának elfogadható szintjét. A kibocsátási normákat uniós irányelvekben határozzák meg, egyre szigorúbb határértékeket megállapítva. Jelenleg a nitrogén-oxidok (NO_x), szénhidrogének (HC), szén-monoxid (CO) és részecske (PM) határértékeit szabályozzák a legtöbb gépjármű esetében.

Bár a gépjárművek károsanyag-kibocsátása az új technológiák térnyerésével és a kibocsátási normák szigorításával csökkenő tendenciát mutat, viszont a korszerűtlen, idős, magasabb szennyezőanyag kibocsátású személygépkocsik magas aránya továbbra is terheli a városok levegőjét.

A közlekedésből származó levegőszennyezettség mértéke településeken belül igen erősen befolyásolható városrendezési, közlekedés-szervezési eszközökkel, például a gépjárművek kitiltása a városok belterületeiről, - a forgalom optimalizálása, a tömegközlekedés, az aktív közlekedés (kerékpár, roller, E-roller), a gépkocsimegosztók és az elektromos, illetve alternatív energiát alkalmazó közlekedés támogatása, parkosítás, aeroszol légszennyezőket kiszűrő sövények telepítése.

A mezőgazdaság levegőszennyező hatása

A mezőgazdaság szintén jelentős forrása a légszennyezettségnek. Az ammónia (NH_3)- és metán (CH_4)-kibocsátások legnagyobb részéhez, valamint a benzo[a]pyrene (BaP), az illékony (nem metán) szerves vegyületek (NMVOC)- és elsődleges PM_{10} -kibocsátások jelentős részéhez a mezőgazdasági ágazat járul hozzá. Európában az antropogén $\text{PM}_{2,5}$ 55%-áért a műtrágyákból és az állattenyésztésből származó prekursorok felelősek (EEA, 2019). A mezőgazdasági eredetű NH_3 gáz halmazállapotban a levegőbe kerülve reakcióba lép a közlekedésből és az iparból származó nitrogén-oxidokkal (NO_x) és kénvegyületekkel (SO_2), ami úgynevezett másodlagos részecskék kialakulásához vezet (Maione et al., 2021).

A mezőgazdaság számos módon hozzájárulhat a levegőszennyezéshez, többek között a műtrágyák (ammónia) és rovarirtó szerek alkalmazásával, földhasználat-változtatással, az állattenyésztéssel (ammónia, metán), a nehézgépek használatával és a növényi származadványok elégetésével. Ezek a gyakorlatok nemcsak rossz minőségű levegőt eredményeznek, hanem hozzájárulhatnak az éghajlatváltozáshoz és a globális felmelegedéshez is.

A falvakban – elsősorban a burkolatlan utak miatt – a porszennyezés okoz gondot. Helyileg jelentős lehet a műtrágyaszórás, permetezés hatása az elsodródás miatt. Az agrártermékek nagy távolságra való szállítása jelentősen növeli a közlekedési kibocsátást is, ezért a helyi, szezonális, rövid ellátási láncból származó élelmiszerek fogyasztásának támogatása szükséges.

A közös agrárpolitikán (KAP) keresztül az Európai Bizottság arra törekszik, hogy a mezőgazdaság összhangban maradjon az EU tiszta levegővel kapcsolatos politikáival, beleértve a Tiszta levegőt Európának program (Clean Air Programme for Europe) céljait és a nemzeti légszennyezés-ellenőrzési programokban (NAPCP) meghatározott kötelezettségvállalásokat.

A légszennyező anyagok viselkedése a légkörben

A különböző forrásokból, időegység alatt a környezeti levegőbe bocsátott szennyező anyag mennyisége az **emisszió**. A legtöbb szennyező anyag emissziója a légkör legalacsonyabb rétegében, az ún. keveredési rétegben történik, a forrás közvetlen közelében.

Az emittált szennyező anyagok a transzportfolyamatok (**transzmisszió**) során, a légkörben különböző változásokon mehetnek keresztül: diszperzió, keveredés, hígulás, kémiai és fizikai reakciók a koncentráció változását és az anyag átalakulását eredményezik. A légszennyező anyagok különböző ideig tartózkodnak a légkörben. A tartózkodási időt a kiülepedési és az átalakulási folyamatok, valamint a levegő mozgása határozza meg. A légmozgások kialakulásában fontos szerepe van a hőmérséklet és a szélmező függőleges irányú változásának. Azt az állapotot, amikor a hőmérséklet emelkedik a magassággal – azaz a hőmérsékleti gradiens negatív – inverciónak nevezzük. Az a légréteg, amelyen belül ez az állapot fennáll, az **inverziós réteg**, melynek vastagsága változik.

A légmozgás kétirányú lehet. A légszennyező anyagok mozgását leginkább a szélirányra merőleges diffúzió (turbulencia) határozza meg, amelyet termikus és mechanikus hatások hoznak létre. A kétféle turbulencia általában egyszerre fordul elő; a dinamikus örvényesség szeles éjszakákon jelentős, a termikus örvények a meleg nyári napokon uralkodnak. A vízszintes irányú légáramlás sebessége és iránya is meghatározó a transzportfolyamatokban. A légszennyező anyagok szállítását és keveredését a felszín egyenetlensége is befolyásolja. A városok beépítettsége, a felszín anyagi minősége, a domborzat és a növényzet megváltoztatja a terjedés körülményeit.

A légköri tartózkodás alatt a szennyező anyagok koncentrációja térben és időben változik. Az elsődleges szennyező anyagok legnagyobb koncentrációja az emisszió forrás közvetlen közelében alakul ki. A helyi időjárási viszonyok a legfontosabb tényezők a rövid idejű szennyezettségi szintek kialakulásában. A rendszerint néhány napig tartó kontinentális méretű időjárás változások (ciklonok, anticiklonok) azonban regionális léptékben megnövelhetik a terhelést, amely szennyezettség epizódok kialakulásához vezethet.

Kedvezőtlen meteorológiai körülmények között, amikor az emittált szennyező anyagok felhalmozódnak a forrás közelében, a folyamat kritikus légszennyezettségi helyzet (**szmog**) kialakulásához vezethet. Ilyen állapot következhet be abban az esetben, ha a keveredési rétegben a turbulens áramlások mérséklődnek, vagy szélségszél van, és ez az állapot tartósan, esetleg több napig fennáll.

A füstköd kialakulását elősegíti még a hőmérsékleti inverzió, amikor a felszín hőmérséklete alacsonyabb, mint a fölötte lévő légrétegé.

Szmog epizódok télen és nyáron egyaránt előfordulhatnak.

A **téli szmog (London-típusú)** magas páratartalom esetén, szélcsendes időben, fagypont körüli hőmérsékleten alakul ki, amikor a kén-dioxid, a por és korom szennyezettség ugrásszerűen megnő.

A **nyári szmog (Los Angeles-típusú, vagy fotokémiai szmog)** idején az ún. fotokémiai oxidánsok és az ózon szennyezettség szintje emelkedik meg. Kialakulásához elsődleges szennyezőanyag kibocsátás (nitrogén-monoxid, szerves gyökök, szén-monoxid, illékony szerves vegyületek) és napsütésben gazdag nyári periódus (magas napi hőmérséklet, gyenge szél, alacsony légnedvesség) szükséges.

A szennyező anyagok különböző folyamatok révén távoznak a légkörből, ez a folyamat a légkör **öntisztulása**.

A tisztulási folyamatokat három csoportba sorolhatjuk:

- A szennyező anyag a légkörből eltávozik (kiülepedés, ütközés, kicsapódás, ad- és abszorpció, kondenzáció vagy kimosódás).
- A szennyező anyag más anyaggá, kémiai reakciók következtében közömbös vegyületté alakul át.
- A szennyező anyag koncentrációja csökken, tehát felhígul (diffúzió, szelek és turbulens légmozgások hatása).

Az első csoportba tartozó tisztulási folyamatokat nem lehet egymástól élesen elhatárolni.

A szennyező anyagok **kiülepedése** (szedimentáció) a légkörből kétféle módon történhet. A légkör hatékony, de időszakos tisztulási mechanizmusa a csapadék segítségével történő nedves kiülepedés. A légköri részecskék a csapadékcseppel találkozva kondenzáció, vagy ütközés útján kimosódnak. A száraz kiülepedés egy olyan folytonos folyamat, amely függ a kiülepedő anyag és a felszín tulajdonságaitól.

Az **impakció** vagy **precipitáció** felületekhez történő ütközés vagy tapadás útján választja ki a szennyeződést. Az **ad- és abszorpció** gáznemű szennyezőknél jelentős, a tengerek nagy felülete, de a talaj és az élővilág gázmegkötő képessége is tekintélyes.

Jelentős folyamatok a **kondenzálódás és a kimosódás** is. Felhőképződéskor a szennyező anyagok kondenzációs magvaként szolgálhatnak, és a csapadékkal ők maguk is kikerülhetnek a légkörből. Emellett a csapadék hullása során tekintélyes légrétegeket mos át.

A légkör öntisztulásának legkevésbé hatékony formája a hígulás, azaz a légszennyező anyag koncentrációjának csökkenése.

A hígulás, kiülepedés stb. után a szennyező anyagok eljutnak a talajközeli zónába, az ott kialakult koncentrációjukat nevezzük **immisszió**nak, mértékegysége $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

A légszennyező anyagok csoportosítása

A légszennyező anyagok minden **halmazállapotban** előfordulnak, attól függően, hogy a kérdéses anyag a levegő természetes hőmérsékletén milyen fizikai tulajdonságokkal rendelkezik.

A gázhalmazállapotú szennyező anyagok közé sorolhatók a kén vegyületek (SO_2 , SO_3), a nitrogén vegyületek (NO_2 , N_2O , NO , NO_x , NH_3), szén-monoxid, ózon, szerves halogén vegyületek (HCl , HF), szerves anyagok (szénhidrogének, illékony szerves vegyületek, policiklusos aromás szénhidrogének, halogén származékok, aldehidek stb.), és a szaganyagok.

A légköri aeroszolok a szilárd, vagy cseppfolyós halmazállapotú anyagok, amelyek alatt nemcsak a teljes szemcseméret tartományú (TSP) részecskék értendők, hanem a $10\text{ }\mu\text{m}$ (PM_{10}) és a $2,5\text{ }\mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$) aerodinamikai átmérőnél kisebb méretű, valamint a finom és ultra finom részecskék, a dízel kipufogógáz, az ásványi eredetű és fémporok stb. is ide tartoznak.

A légszennyező anyagok **kémiai összetételüket** tekintve lehetnek szerves (kén, nitrogén, halogén vegyületek, fémek) és szerves (nyíltláncú, policiklusos szénhidrogének stb.) anyagok.

Kémiai viselkedésük alapján csoportosítva megkülönböztetjük a redukáló (SO_2), az oxidáló (O_3), valamint a reaktív (szénhidrogének) légszennyező anyagokat.

Azokat a légszennyező anyagokat, amelyek az emisszió forrásból kikerülve változatlan formában vannak jelen a légkörben, elsődleges szennyező anyagoknak nevezzük. Ilyen például a kén-dioxid és a szén-monoxid stb. A légkörben zajló termikus, kémiai és fotokémiai reakciók eredményeként újabb, a kiindulási anyagoktól eltérő kémiai összetételű, illetve más fizikai tulajdonságokkal rendelkező, ún. másodlagos szennyező anyagok is képződnek, mint például az ózon és a peroxi-acetil-nitrát.

A leggyakoribb külső téri légszennyező anyagok

Kén-dioxid (SO_2)

Tulajdonsága:

Színtelen, jellegzetesen szúrós szagú, köhögésre ingerlő gáz. Vízen oldódva kénessavvá alakul. Katalizátorok jelenlétében az oxigénnel kén-trioxid, majd kénsav képződése közben reagál. A légköri kémiai folyamatok során a kén-dioxidból szulfát részecskék keletkeznek, amelyek fontos összetevői a levegőben jelenlévő finom aeroszoloknak. A kén-dioxid igen erőteljes redukálószer.

Forrása:

A légkörben jelenlévő kén-dioxid teljes mennyiségének megközelítőleg a fele természetes eredetű. Vulkáni működések révén éppúgy, mint a mikroszkopikus szervezetek emissziója útján van jelen a légkörben. A tengerek felszíne ugyancsak forrásként tekinthető. A legtöbb kén-dioxid a fosszilis tüzelőanyagok elégetéséből származik, bár az utóbbi húsz évben jelentős javulás figyelhető meg a városok kén-dioxid terhelésében. A kén-dioxid szennyezettség csökkenésében a fő szerepet az energiatermelés átalakulása játszotta. Az általános széntüzelést először az olaj, majd a földgáz felhasználása helyettesítette, és elterjedt a távfűtés is. A fémfeldolgozó ipar, kénsavgyártás, cement- és mészipar, szilikátipar, papíripar is hozzájárul a kibocsátásához.

Egészséghatása:

Az élő szervezetekre nézve mérgező hatású. Tisztán belélegezve fulladásos halált, kis mennyiségben légzési nehézséggel járó mérgezési tüneteket okoz. Az expozíció során a légzőszervi, szív- és érrendszeri betegek állapota rosszabbodhat. Kitétség esetén az asztmás, a krónikus tüdő- és szívbetegségeknél sokkal érzékenyebben reagálnak a SO_2 okozta légszennyezettségre.

A kén-dioxid a növényzetet és a művi környezetet is károsíthatja, hiszen egyik összetevője a savas esőnek. A kén-dioxidból képződött szulfát részecskék csökkentik a légkör átlátszóságát, és erős fényszóró tulajdonságuk miatt hozzájárulnak a klímaváltozáshoz is.

Nitrogén-oxidok (NO_x)

Tulajdonsága:

A nitrogén-monoxid (NO) színtelen, szagtalan, a vízben kevésbé oldódó gáz. Nehezebb a levegőnél. Igen reakcióképes, a levegő oxigénjével nitrogén-dioxiddá alakul.

A nitrogén-dioxid (NO_2) kellemetlen, irritáló szagú, vörösbarna színű gáz, amely a levegőben gázhalmazállapotú salétromsavvá és szerves nitrátokká alakul át. A légköri folyamatokban fontos szerepet játszik, hozzájárulva a talaj közeli ózon képződéséhez, és a nyári szmog kialakulásához. Mint a légkörben jelenlévő nitrát vegyületek prekursor anyaga, közvetetten hozzájárul a finom részecske szennyezettség szintjének növekedéséhez.

Forrása:

Az atmoszférában jelenlévő a nitrogén-dioxid és a nitrogén-monoxid arányát, amely térben és időben változik, kémiai és fizikai feltételek összessége határozza meg. A legfontosabb természetes forrása a vulkanikus tevékenység, az erdőtüzek, a villámlás és a talajban végbe-menő mikrobiológiai folyamatok. Az antropogén eredetű nitrogén-oxidok elsősorban a járművek üzemanyagának égéstermékeiből származnak, valamint az energia-termelésből és a fűtésből (gáztüzelés esetén). Elsősorban NO formájában kerül a levegőbe, mely gyorsan átalakul nitrogén-dioxiddá, a légkörben jelenlévő oxidáló anyagok hatására. További antropogén forrásai a vegyi- és cementgyárak, mezőgazdasági silók, koksizolók és az élelmiszeripar. Azokban az országokban, ahol nagyobb mennyiségű műtrágyát használnak fel, a mezőgazdaság is jelentős forrásként tekinthető.

Egészséghatása:

A nitrogén-dioxid irritáló hatású gáz. A nitrogén-dioxid és a többi légszennyező (aeroszolok és ózon) közötti összefüggés összetett, emiatt nagyon nehéz értékelni az NO_2 elkülönített hatását az epidemiológiai vizsgálatokban. Emiatt az NO_2 egészségi hatásait elsősorban állatkísérletek eredményei alapján határozták meg. A nitrogén-dioxid és reakciótermékei csökkent tüdőfunkciót, és különféle légzőszervi tünetek kockázatának növekedését okozzák. Rendkívül magas koncentráció esetén a légutak összeszűkülnek mind az asztmás, mind a nem asztmás egyéneknél, ugyanakkor az asztmások érzékenyebbek a nitrogén-dioxidra, mint az egészségesek. Kimutatták, hogy a forgalmas utak mentén élők között többen válnak asztmásokká.

A nitrogén-oxidok magas koncentrációja valószínűleg hozzájárul a szív- és tüdőbetegségekhez, továbbá csökkenti a szervezet ellenállóképességét a légúti fertőzésekkel szemben. A NO_2 átalakulásával keletkezett salétromsav károkat okozhat a természetes és művi környezetben egyaránt, hozzájárulva a tavak vizének elsavasodásához, a fák lombotának és a termésnek a károsodásához, gumiból készült műtárgyak roncsolódásához, és a fémeket tartalmazó elemek korróziójához.

Ózon (O₃)

Tulajdonsága:

Az ózon három oxigénatomból álló molekula. A közvélemény elsősorban a sztratoszférikus ózont ismeri (ózonpajzs), melynek hatása kifejezetten pozitív, hiszen kiszűri a napból érkező káros UV sugárzás jelentős részét. Az ózon azonban megtalálható a földfelszín közelében, ahol hatása egyértelműen negatív. Káros a növényzetre és az emberi egészségre is.

Forrása:

A talajközeli ózon másodlagos szennyező, mely elsődleges szennyező anyagokból fotokémiai úton képződik. Képződéséhez az ózonképző előanyagok (nitrogén-oxidok, szén-monoxid, illékony szerves vegyületek) jelenléte, valamint a fotokémiai folyamatokhoz elengedhetetlen, megfelelő intenzitású napsugárzás, és magas napi átlaghőmérséklet szükséges. A nitrogén-oxidokból napsugárzás hatására ózon képződik, ami a fotokémiai szmog egyik indikátor paramétere. Kialakulása és terjedése erősen függ az időjárási körülményektől.

Egészséghatása:

A troposzférában előforduló ózon erős oxidatív hatása miatt károsítja a növényzetet, és hatással van az ember egészségére is. Izgatja a légutakat és a szemet. Az érzékeny embereket (gyermek, asztmában valamint a krónikus obstruktív tüdőbetegségben szenvedők) ért expozíció légszomjat, nehézlégzést, köhögést indukálhat. A nagyobb ózonterhelés miatt a kitettség nagyobb a nyári, napsütéses napokon. Epizód időszakban növekszik a kórházi sürgősségi betegfelvételek és az idejekorán bekövetkezett halálesetek száma. Egészséges embereknél is csökkenti a tüdőfunkciót, ami a napon végzett hosszabb ideig tartó fizikai munka esetén légszomjat, mellkasi fájdalmat, köhögést indukál, amit émelygés, hányinger kísérhet.

Nagy ózonterhelés esetén mezőgazdasági károk is keletkezhetnek, ami a terméseszközesben és a levelek károsodásában nyilvánul meg.

Szén-monoxid (CO)

Tulajdonsága:

Színtelen, szagtalan, a levegőnél könnyebb, erősen mérgező gáz. A szén-monoxid sűrűsége csak 3-4%-kal kisebb, mint az ugyanolyan hőmérsékletű levegőé, a tévhitekkel ellentétben – a melegebb levegőhöz hasonlóan – a zárt terekben a magasabb részekben fog először felgyülemelni.

Forrása:

Elsősorban a fosszilis tüzelőanyagok tökéletlen elégetése révén kerül a levegőbe. Az antropogén eredetű szén-monoxid legnagyobb része a közlekedésből származik, továbbá forrásai a hőerőművek, olajfinomítók, vasöntödék, kohászat, gázgyárak, fűtés és a szilárd hulladék elégetése.

Egészséghatása:

A szén-monoxid gyengíti a vér oxigénszállító képességét, oxigénhiányos állapot kialakulását okozhatja. A szén-monoxid mérgezés tünetei a fejfájás, hányás, súlyos esetekben eszméletvesztés és halál, bár a rövid ideig tartó expozíció hatása visszafordítható. Az idült hatások tünetei a fejfájás, szédülés, álmatlanság, szívtáji fájdalmak, idegrendszeri tünetek, a szívinfarktus gyakoriságának növekedése.

Aeroszolok

Tulajdonsága:

A légköri aeroszol egy diszperz kolloid rendszer, levegőben (mint diszpergáló közegben) elosztatott finomszemcsés ($10\text{ }\mu\text{m}$ alatti részecske átmérőjű) szilárd vagy folyékony halmazállapotú anyagok gyűjtőneve. Néhány óra időtartamtól legfeljebb két hétig tartózkodnak a légkörben. Az aeroszolok különböző szemcseméretű és változó kémiai összetételű komplex keveréknek tekinthetők.

A légköri aeroszolókat szemcseméretük alapján három csoportba sorolhatjuk:

- *A legkisebb részecskék* a rövid élettartamú (alig 1 óra), Aitken-féle részecskék, melyeknek átmérője kisebb, mint $0,08\text{ }\mu\text{m}$. Brown mozgás következtében befogás útján kerülnek ki a légkörből.
- *A második mérettartományra* az akkumuláció jellemző. Ebbe a tartományba tartoznak azok a részecskék, melyeknek átmérője $0,08\text{--}2\text{ }\mu\text{m}$ között van. Ezek a részecskék képződhetnek gázfázisból történő átalakulással, illetve az Aitken-féle részecskék koagulációjával. Amikor a részecskék ebben a mérettartományban elérik a $0,1\text{ }\mu\text{m}$ -t, diffúziós mozgásuk elhanyagolható. Koagulációval méretük tovább nő, amíg el nem éri a $2\text{ }\mu\text{m}$ -os méretet. Ekkor már az ütközés és a szedimentációs mozgás lesz rájuk jellemző. Ezek a részecskék néhány napig is jelen vannak a légkörben. Ez a folyamat megy végbe a felszín legnagyobb részén. Ebbe a mérettartományba tartozik a jellemző városi aeroszol teljes mennyiségének megközelítően a fele.
- *A durva részecskék tartományába* tartoznak azok az aeroszolok, amelyeknek átmérője meghaladja a $2,0\text{--}2,5\text{ }\mu\text{m}$ -t. A durva frakció részecskéi hamar, általában a források közelében kiülednek, ezért légköri élettartamuk néhány órára tehető. Ebbe a mérettartományba esnek a különböző szulfát vegyületek és a legnagyobb tömegű finom szilárd részecske, az ammónium-nitrát is. Mindkét szennyező anyag ún. szekunder részecske, hiszen gázhalmazállapotú légszennyező anyagokból (SO_2 és NO_2) a légkörben lejátszódó kémiai folyamatok eredményeként keletkeznek. Ide tartoznak a talaj porszemcséi is, amelyek a szél mozgása miatt időszakosan lebegő állapotban vannak.

A részecskék kémiai összetételét keletkezési körülményei determinálják. Városi aeroszolok esetén a szerves összetevők mennyiségének növekedésével kell számolni, míg az aeroszolok fő komponensei (NH_4HSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3) kisebb koncentrációban fordulnak elő.

Forrása:

Az aeroszolok származhatnak természetes vagy antropogén forrásból, közvetlenül is kikerülhetnek a levegőbe (elsődleges részecskék), valamint a kibocsátott gázfázisú elővegyületek fotokémiai reakcióját követő nukleációval, illetve kondenzációval a légkörben is képződhetnek (másodlagos részecskék). A természetes forrásokból származó részecskék óceáni és szárazföldi folyamatokból származhatnak (pl. tengeri só, vulkánok működése, a kőzetek erróziója).

Főbb antropogén szennyező forrásai a fosszilis energiahordozók égetése (háztartási fűtés, az olaj, szén erőművek, fűtőművek, égetőművek, ipari létesítmények), építkezések, épületek szélerróziója, a közlekedés kipufogó gázai, és a gumi-, fékpofa-kopás termékei.

Egészséghatása:

A részecskék mérete a légzés szempontjából nagyon fontos. A nagyobb részecskéket az emberi szervezet kiszűri, de a $10\text{ }\mu\text{m}$ -nél kisebbek az alsó légutakba kerülnek.

Az aeroszol-terhelés rövid távú emelkedése izgatja a nyálkahártyákat, könnyezést, orrvizkést, köhögést és nehézlégzést válthat ki. A tüdőben felszívódva helyi gyulladásos folyamatot indíthat el, továbbá a véráramba bekerülve elindítja a véralvadás folyamatát, aminek következtében vérrögösödés léphet fel. Ennek következménye a szív-érrendszeri betegségek számának növekedése a szennyezett napokon, a legsúlyosabb kimenetel az érelzáródás (embólia). Növekszik az asztma és a krónikus légcsőhurut fellángolások miatti orvoshoz fordulások száma is.

Hosszú távú egészség hatásai a várható élettartam jelentős csökkenése, a szív- és érrendszeri, a légzőszervi betegségek, valamint a tüdőrák kialakulása. Irodalmi adatok támasztják alá, hogy a közlekedés eredetű levegőszennyezés (magában foglalva az aeroszol terhelést is) a forgalmas utak mentén élő lakosság körében nagyobb mértékben fejti ki a káros hatásokat. A WHO szerint az aeroszokok jelenléte még a legalacsonyabb koncentrációban is káros.

Toxikus fémek (As, Pb, Cd, Ni, V, Cu, Cr, Mn, Zn, Be stb.)

Tulajdonsága:

A nehézfém egy általános gyűjtőfogalom, amely a 4 g/cm³-nél nagyobb atomsűrűségű fémek és metalloidok csoportjára vonatkozik. Az aeroszokok felületén oxidok és más fémvegyületek formájában adszorbeálódva a 0,08-2 µm mérettartományban fordulnak elő.

Forrásai:

A nehézfémek a földkéregben természetesen előforduló elemek, így természetes módon megtalálhatók a talajban és a kőzetekben, az üledékekben, a vizekben és az élő szervezetekben a természetes háttérkoncentrációk széles skálájával. A legfontosabb antropogén forrásuk az égéssel járó folyamatok, mint az energia- és fémfeldolgozó ipar, a széntüzelés, a hulladékégetés, valamint a közlekedés, amely – különösen az ólom esetében évtizedekig jelentős forrásnak számított. Mivel az 1920-as évektől kezdődően az ezredfordulóig ólmot adtak adalékanyagként a benzinhoz (ólom-tetraetil és tetrametil), az ólom jellemző szennyező anyaga volt a városok levegőjének. Az Európai Unió 2000. január 1-től, Magyarország 1999. április 1-től tiltja az ólmozott benzin forgalmazását. 2019-ben már csak Algériában lehetett ólmozott benzint forgalmazni az United Nations Environment Programme (UNEP, 2019) adatai szerint.

Az ólommentes üzemanyag bevezetésével szennyezettségi szintje a levegőben az egészségügyi határérték alá csökkent, azonban a régi szennyeződés talajba való lerakódása, és egyes egyéb források miatt – bár 2000-től fokozatosan csökkent – az emberek szervezetéből még nem tűnt el az ólom. Az európai fiataloktól és gyermekektől 2014-ig gyűjtött vérmintákban az ólom szintje nem csökkent olyan szint alá, aminél esetleges gyermekvállalásuk esetén a magzatok idegrendszeri fejlődésének bizonyos mértékű károsodása kizárható lenne.

Egészség hatásuk:

Humán egészségügyi hatásuk abban nyilvánul meg, hogy a különböző szervekben (agy, máj, csont, vese) hosszú ideig (évekig, évtizedekig) felhalmozódva fejtik ki káros hatásukat. Az arzént, berilliumot, kadmiumot, krómot és a nikkelt rákkeltő anyagként tartják számon.

Illékony szerves szénhidrogének (VOC)

Ezen légszennyező anyagok csoportjába számos jól ismert szerves szennyező anyag tartozik, mint például szerves savak, többszörösen klórozott vegyületek, aldehidek, ketonok, változatos nyíltláncú szénhidrogének és aromás vegyületek.

Ezek a vegyületek gázfázisban, vagy részecskékhez kötődve fordulhatnak elő a levegőben. Azok a vegyületek, amelyeknek nyomása megközelítően 10^{-6} és 10^{-2} Pa közötti tartományban van, szobahőmérsékleten megoszlanak a gáz- és részecskefázis között.

A légköri aeroszolokhoz kapcsolódó vegyületek aránya függ a vegyület gőznyomásától, a környezeti levegő hőmérsékletétől és relatív páratartalmától, a szorpciós felszínen történő adszorpció-deszorpció arányától.

A gáz- és részecskefázis közötti megoszlás szabályozza légköri mozgásukat és kiülepedésüket. Vegetációs időszakban a növények kibocsátásából származó, természetes eredetű illékony szerves vegyületek (elsősorban az izoprén és a monoterpének) részaránya, még nagyvárosokban is meghaladja az emberi tevékenységből származó vegyületekét. Emberi tevékenységként részben a gépjárművek kipufogógázaiából származnak, de más égési folyamatokból, szerves oldószerek ipari alkalmazásából, oldó-, tisztító-, és ragasztószerek háztartási használatából, az üzemanyagok forgalmazásából (benzinkutak) és felületkezelési (festési) technológiákból is kerülnek a levegőbe.

A VOC anyagok jellegzetes képviselői még a BTEX vegyületek, aceton, metanol, fenol, a tri- és tetraklór-etilén, vinil-klorid stb.

Policiklusos aromás szénhidrogének (PAH)

A 2-3 gyűrűt tartalmazó, kisebb molekulású vegyületek inkább a gőzfázisban fordulnak elő, különösen a melegebb, nyári hónapokban. A nagyobb molekulású vegyületek a légköri szilárd részecskék felületén kondenzálódnak és csak közepesen illékony vegyületeknek számítanak.

A szénhidrogént tartalmazó anyagok tökéletlen égése során keletkeznek természetes (erdőtüzek, vulkáni kitörések), vagy az emberi tevékenységgel (gépjárműforgalom, hő- és villamos energiatermelés, égetés, dohányzás) összefüggő módon. Városi környezetben a közlekedés PAH emissziója a legjelentősebb. A kétféle üzemanyagfajta égéstermékeiben jellemzően más-más PAH vegyületek találhatók meg, melyek igen eltérő mértékben oszlanak meg a részecskékhez kötődő (partikulált), illetve az illékony frakciók között.

A finom részecskék révén a tüdőbe kerülve károsítják a tüdő sejtjeit. A véráramba jutva kétféle hatást válthatnak ki. A jelenlévő enzimek hatására veszélytelen, vízoldható vegyületté alakulnak és a szervezetből kiválasztódnak, vagy metabolikus átalakulás után toxikus, akár a sejtek DNS-ét is károsító, rákkeltő vegyületeket képeznek.

Fotokémiai oxidánsok

A levegőt szennyező különféle szénhidrogénekből (ketonok, aromás szénhidrogének) nitrogén-oxidok jelenlétében napsugárzás hatására keletkeznek ún. fotokémiai oxidánsok, melyek közül a legismertebb az ózon és a peroxi-acetil-nitrát (PAN). Ide tartoznak a különböző aldehidek, a hidrogén-peroxid, valamint a szulfát és nitrát tartalmú aeroszolok is.

A LEVEGŐ BIOLÓGIAI EREDETŰ SZENNYEZŐI

Dr. Magyar Donát, Kajtor-Apatini Dóra, Dr. Páldy Anna

A légkör szilárd összetevőinek mintegy egynegyedét biológiai eredetű anyagok alkotják.

A levegőbiológia (aerobiológia), a légkörben található vírusok, baktériumok, gombák, virágporok, algák, növényi magvak, gyenge röpképességű rovarok és más biológiai eredetű részecskék vizsgálatával foglalkozó tudományág. A vizsgálatok célja e részecskék azonosítása, eredetük megállapítása, mennyiségük mérése, légköri terjedésük, térbeni és időbeni (éves, napszakos) eloszlásuk vizsgálata, ökológiai tulajdonságaik jellemzése és más (nem biológiai eredetű) légköri elemekkel való kölcsönhatásaik elemzése.

Az aerobiológia több tudományterület – a palinológia, a mikológia, az allergológia, a járványtan, az aerodinamika és a meteorológia – metszéspontjában foglalja el helyét. A biológiai eredetű részecskék vizsgálata mind közegészségügyi, mind mezőgazdasági szempontból napjaink egyik kiemelkedő kutatási területe.

A tudományterület két fő ága a kültéri (outdoor) és a beltéri (indoor) aerobiológia. A kültéri bioaeroszol koncentrációdinamikáját a szezonális jellemzi, amely elsősorban az időjárástól függ, míg a beltérben ezt elsősorban az épület adottságai és a lakáshasználati szokások befolyásolják, ezért az ezzel kapcsolatos tünetek is akár egész éven át fennálló, ún. perennális jelleggel jelentkezhetnek. A levegőbiológia ismertségét elsősorban korunk népbetegségének, az allergiának köszönheti. (Az allergia az immunrendszer téves és túlzott reakciója olyan anyagokkal szemben, melyek normális körülmények között semmilyen választ nem váltanak ki a szervezetből).

A bioaeroszlok jelentős egészségi hatásának felismerését követően megjelent az igény a rendszeres monitorozásra, hosszú távú vizsgálatokra, az aerobiológia önálló tudományággá fejlődött.

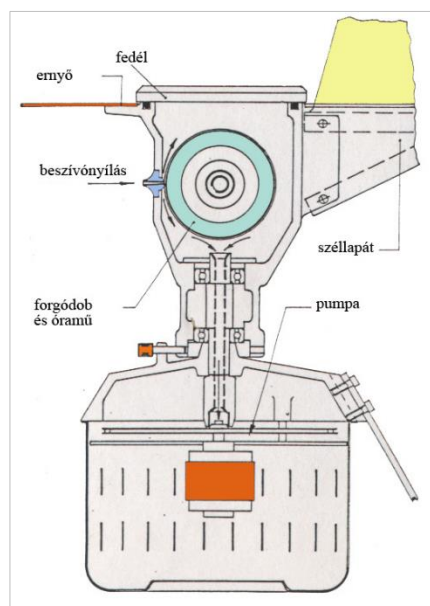
Az I. Nemzetközi Ökológiai Kongresszuson („1st International Congress of Ecology”, 1974) megalakult a Nemzetközi Aerobiológiai Társaság („International Association for Aerobiology”, IAA) amely a mai napig a tudományág fő képviselői szerveként működik. A III. Nemzetközi Aerobiológiai Konferencián (1986) megalakult European Aeroallergen Network (EAN, székhelye 1987-óta Bécs) adatbázisában valamennyi európai tagország pollenadatait rögzítik. Az adatbázisból származó adatok fontos forrásai a különféle közegészségügyi, gyógyszeripari, és klímaváltozással kapcsolatos kutatásoknak.

A pollenjelentésekben a pollent szóró növények mellett a jellemzően kültéri eredetű allergén gombák is helyet kaptak (leggyakrabban az *Alternaria*, *Cladosporium* és az *Epicoccum* nemzetség koncentrációját tüntetik fel). A rendelkezésre álló kiterjedt adatsorok elemzése, valamint a számítástechnika fejlődése napjainkra lehetővé tette az előrejelzési modellek felállítását, azonban beigazolódni látszik, hogy az egyenlet nem pótolja, csupán kiegészíti a műszeres mérést és a további folyamatos megfigyelést.

A számos aerobiológiai mintavételi módszer közül a két legelterjedtebbet, a Hirst- és az Andresen típusú eszközök működési elvét ismertetjük.

A Hirst-típusú térfogatos pollen- és spóracsapdát (Burkard csapda) világszerte szabványművelési eljárás szerint alkalmazzák a 0,5 és néhány száz mikron közötti mérettartományba eső biológiai eredetű részecskék kimutatására a légkörből.

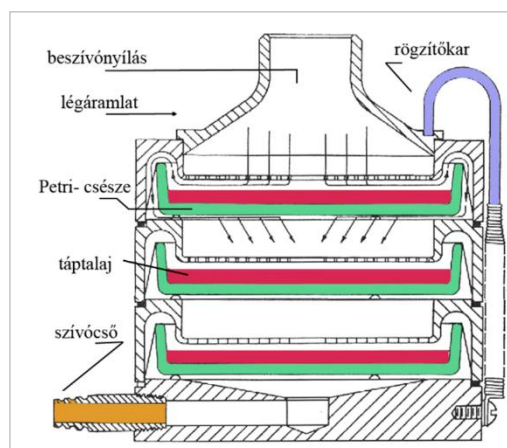
A készülék (32. ábra) egy nagy teljesítményű levegőszívóból és egy óraszerkezet által mozgatott forgódobból áll. A folyamatosan szélirányba forduló csapda belsejébe a 14 mm széles és 1,7 mm magas nyíláson át beszívott levegő az áramlás irányára merőleges felületnek csapódik, mely egy forgódob palástjára erősített, ragadós anyaggal (vazelin) előkezelt 2 cm széles műanyag (Melinex-szalag). Itt tapadnak meg a légkörben szálló pollenszemek, gombaspórák és más részecskék. Az átszívott levegőmennyiség percenként 10 liter, naponta 14,4 m³ levegő áramlik át a készüléken, amely megfelel az emberi légvétel térfogatának. A forgódob óraszerkezet segítségével 2 mm/óra sebességgel halad, azaz egy nap alatt 48 mm-t fordul, 7 nap alatt pedig egy teljes fordulatot tesz meg. Az átszívott levegőmennyiség részecsketartalma 14 x 48 mm-es területen tapad ki. Az egy napos mintavételt hordozó 48 mm-es méretre vágott szalagdarabokat tárgylemezre téve bázikus fukszinnal festjük.



32. ábra A Hirst-típusú készülék
(forrás: Hirst, 1952)

A levegőmintavevő készülékek elhelyezésének szempontjait nemzetközi irányelvek szabályozzák. A magas építmények a mintavételi kör kisebb-nagyobb részét leárnyékolják, ezért az egyik fő szempont az, hogy a pollencsapdának a környezetében lévő fáknál és épületeknél magasabban kell üzemelnie. Ellenkező esetben aránytalanul sok pollen kerülhet a csapdába a fák virágzásának idején.

Az Andersen-féle levegő mintavevő készülék (33. ábra) (Andersen Six Stage Viable Cascade Impactor, Lanzoni Co. Ltd., Bologna, Italy) többszintű szűrőrendszerrel rendelkezik, mely az átáramlott levegőt az egyre kisebb lyukátmérőjű szűrők alatt elhelyezett felületre, többnyire Petri-csészékbe öntött mesterséges táptalajra ütközteti. A készüléket eredetileg az emberi tüdő behatolási régióinak modellezésére használták, ahol a legnagyobb átmérőjű szűrők a felső légutakkal, míg a legkisebbek az alveolusokkal feleltethetők meg. Főbb alkalmazási területe a gombák, baktériumok, vírusok kimutatása levegőből. Napjainkban a három szűrő helyett egy szűrővel rendelkező készülékek terjedtek el (pl. MAS-100).



33. ábra Andersen féle mintavevő

A kültéri levegő biológiai eredetű szennyezői

A külső tér levegője rendszerint több pollent, de kevesebb baktériumot és vírust tartalmaz, mint az épületeké. Míg a kémiai légszennyezők magas koncentrációjára belvárosi, ipari vagy nagy forgalmú területeken számíthatunk, addig a biológiai eredetű szennyezőanyagok (pollen és spóra) akár a zöldövezetben, vagy vidéken is terhelhetik a légkört. A kültéri levegő biológiai minősége folyamatosan változik.

Összetétele akár térben, akár időben igen eltérő lehet, melyet az alábbi tényezők alakítanak ki: (a) évszak, (b) napszak, (c) időjárás, (d) földrajzi helyzet, (e) az élőhely és annak élő és élettelen hatásai végül (f) maga a pollent termelő növény belső folyamatai, például biológiai órája.

Gombáknál szintén vannak bizonyos élettani hatások, amelyek a spóráképzést (sporulációt) indukálják.

Fontos megjegyezni, hogy a gombák növekedéséhez, spórátermeléséhez szükséges környezeti feltételek (pl. magas nedvességtartalom) nem minden esetben azonos a spórák levegőbe szóródásához szükséges feltételekkel (pl. száraz, szeles idő).

A biológiai eredetű részecskék légköri terjedése négy fő szakaszra tagolható: kibocsátás (1), szállítódás (2), lerakódás (3), viaszszóródás (4). A légköri pálya bizonyos szakaszainak ismertetése azért szükséges, mert alapvetően meghatározzák a légkör fajösszetételét és a napszakos dinamikát.

A kibocsátás a légköri pálya első szakasza; két formáját, az aktív, illetve passzív kiszóródást annak alapján különböztetjük meg, hogy az élőlény belső, élettani folyamatai vagy ettől független külső környezeti hatások juttatják-e a részecskét a légkörbe.

A légkörbe szóródott részecskéket elsősorban a szél szállítja, kisebb mértékben egyéb hatások, például elektrosztatikus erők. A szélirány, a légörvények, súrlódási hatások és a légellenállás döntő szerepet játszik az elmozdulás irányának kialakításában.

Alacsony légmozgás esetén a kisebb méretű részecskék szuszpenziója hosszú ideig lebeghet („air plankton”). A részecske röppályája parabola alakú görbét ír le, melynek meredekségét szélcsendben az ülepedési sebesség határozza meg, légmozgás esetén ez az ív a szélerősség függvényében módosul. Annak ellenére, hogy a gravitáció folyamatosan süllyedő röppályát eredményez, a részecskék gyakran egyre magasabbra és magasabbra jutnak az egymást követő légörvények közvetítésével.

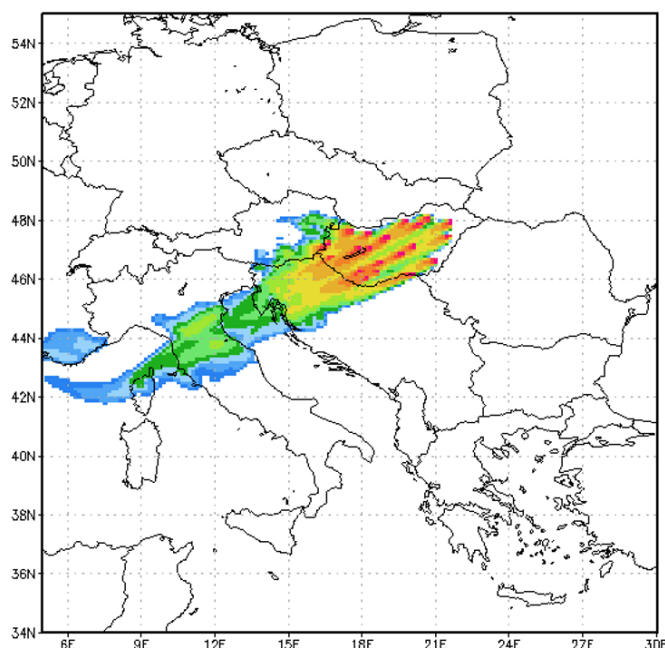
A függőleges szállítódás során a részecske különböző tulajdonságú légrétegek között jut egyre feljebb, mely a nagyobb távolságú terjedés szempontjából kulcsfontosságú.

Az 500-1 000 m-es magasság a légörvények által sodort spórák és pollenek előfordulásának felső határa.

Ennél nagyobb magasságba akkor kerülhet spóra, illetve pollen, amikor ún. buborék termikek (6-15 percenként, 1-2 km²-es területről felszálló magas hőmérsékletű légbuborékok) magukkal vonják a földfelszín közeléből az ott nagy koncentrációban lebegő részecskéket.

A pollen, illetve spórafelhő akár nagyobb távolságokra is eljuthat anélkül, hogy a felhő átmérője jelentősebb változást szenvedne, míg más esetben minden irányba szétterül, és gyorsan eloszlik.

Hazánkban a pollen nagy távolságú légköri szállítódására az olajfapollen hozhatjuk fel példának. A mediterrán eredetű, erősen allergén olajfapollen – megfelelő időjárási körülmények fennállásával (több napon át tartó száraz légállapot esetén, délnyugat felől érkező légáramlások révén) – hazánkba is eljuthat. Ez az esemény jellemzően május-június folyamán következik be. Ekkor hazánkban már a legtöbb tavasszal virágzó fa pollenszezonja véget ér, a pázsitfűfélék pollenszórása viszont ekkor tetőzik, és leginkább ezek okoznak allergiás panaszokat. Ugyanakkor a hirtelen jelentkező allergiás reakció hátterében így akár az olajfa távolról érkező pollenje is állhat (34. ábra).



34. ábra Hazánk légterébe nagy távolságból érkező allergén olajfapollen-felhők
(forrás: NNGYK)

A szél hatására a pollen vagy spórafelhő változatlan koncentrációban szállítható, hígulhat vagy töményedhet. A diffúzió a szélességtől, a talaj érdességtől és a légköri termikus rétegzettségtől függ. A forrás (vagyis a légkörbe jutó bioaeroszol eredési helye) lehet folyamatos vagy szakaszos kibocsátású pont-, vonal- vagy területi forrás. Pontforrásból származó pollen, illetve spóramennyiség logaritmikusan csökken a függőleges és vízszintes távolsággal.

Éjszaka a talajfelszín erős kisugárzása miatti lehülés (talaj közeli inverzió) erősen gátolja a függőleges légmozgást, ezáltal a légrétegződés stabilizálódik, a koncentráció feldúsul. Ha a keveredési réteg szűk, az azonos mennyiségű részecske kisebb térben oszlik el, a koncentráció nagyobb. E folyamat közegészségügyi jelentőségét az allergiás betegeknél az éjszakai szellőztetések során fellépő asztmás tünetek igazolják.

Nappal az erős besugárzás hő hatására bekövetkező feláramlást (konvekciót) hoz létre.

Ilyenkor a légkör átkeveredési mélysége 800-2600 m között változik, míg éjjel csupán néhány 100 métert ér el. Éjszaka többnyire városok és hőforrások felett alakulnak ki légörvények, melyet a nappalinnál kisebb mélységű, de bonyolultabb turbulens áramlatok jellemeznek.

A keveredési réteg vastagsága legnagyobb nyáron, és legkisebb télen. 24 órás maximuma 16 óra körül mérhető. Nappal, illetve nyáron tehát adott mennyiségű pollen és spóra nagyobb légtérben oszlik el, mint az éjszaka, illetve a tél folyamán. Hasonló jelenség tapasztalható a viharok során, anticiklonok hatására is.

Ez utóbbiak kapcsán megemlítendő a viharasztma jelensége. A súlyos, akár végzetes kimenetelű esemény előfordulására nyár elején számíthatunk amikor a pázsitfűfélék pollenkoncentrációja magas szintet ér el, és villámlással kísért, viharos időjárás alakul ki. A vihar hatására a levegőben található pollenszemek szétrobbannak, belőlük kisméretű, szubmikron részecskék szabadulnak fel, amelyek a tüdő mélyebb régeibe jutva asztmatikus rohamokat okozhatnak.

Magyarország, illetve a Kárpát-medence különleges aerobiológiai adottságokkal rendelkezik. Két nagy folyónk, a Duna és a Tisza – alsószakasz jellege miatt – nagy területeken öntéstalajt hozott létre. Az öntéstalaj áradás idején a medréből kilépő víz hordalékából ülepedik le, amely alkalmas a növényzet kialakulására, de a vegetáció rendszerint megtorpan az újabb, soron következő árvízzel, és az új talajrétegen újraindul. Az öntéstalajok (különösen a homoktalajok) kedvezőek a bolygatott talajokon megjelenő ún. pionír gyomnövények, ezek között is elsősorban az invazív, allergén parlagfű számára, amely hazánkban jelentősen elszaporodott.

A parlagfű pollenkibocsátásának csúcsidőszaka augusztus közepe-szeptember eleje, amely egyrészt az év legmelegebb időszaka, másrészt ekkor intenzív mezőgazdasági tevékenység folyik (pl. aratás, tarlóhántás), amelynek révén a parlagfű pollenszemei és a növényeken kifejlődött allergén gombák (*Alternaria*, *Cladosporium*, *Epicoccum*) spórái nagy mennyiségben jutnak a levegőbe. Ekkor, a hőség hatására általában megvastagszik a planetáris határréteg, hőfeláramlás, turbulens légmozgások jelentkeznek, melyek a magasba emelik, lebegtetik és dúsítják a légköri pollen és spóratömeget. A parlagfű pollen és a spórakoncentráció ebben az időszakban folyamatosan nagyon magas értéket mutat, melyet csak rövid ideig enyhítenek az átmeneti záporok. Ebben az időszakban a Kárpát-medence úgy képzelhető el, mint egy csordultig telt csésze (melyben a tea képviseli a szennyezett légtömeget). Amennyiben Európa légkörének nyomásviszonyai lehetővé teszik (azaz Nagy-Britannia felett alacsonyabb, ~990 hPa, Oroszország felett pedig magasabb, 1 024-1 028 hPa nyomás alakul ki), a Fekete-tenger felől a Vaskapun át érkező, ott felgyorsuló ún. Kosava-szél beáramlik a Kárpát medencébe, és felgyülemlett szennyezett légtömeget meglöki, amely a hegyláncok alacsonyabb pontjain (Sárosi-határhegység és Moráviai kapu) „túlsordul”. A magas pollen- és spóratartalmú légtömeg átáramlik Szilézia iparvidékein, ahol keveredik és reagál az ott kibocsátott kémiai légszennyezőkkel. Az áramlat a legmagasabb hőmérséklettel és pollenszinttel jellemezhető déli órákban indul, és a késő esti órákban jut el Lengyelország, Németország területeire, ahol az éjszaka, alvás során jelentkező asztmás, allergiás rohamokat vált ki („pollen nightmare”).

Bizonyos periodikus áramlatok levegőbiológiai szempontból a légtömegek napszakos cserélődésében játszanak kiemelkedő szerepet. A hegy-völgy cirkuláció során közel 10 km hosszú és 1 000 m szélességű áramlatok jönnek létre a hőmérséklet erős ingadozása révén; e légmozgások a pollenszemeket, illetve spórákat egyik völgyből a másikba juttathatják.

A légkör kitisztulása allergológiai szempontból is fontos esemény. A részecskék lerakódása (depozíció) éjszaka főleg kiülepedéssel (szedimentáció) megy végbe, amelyet elősegít a hideg levegő és a magas páratartalom. A felszínmenti lamináris légréteg éjjelente a több méteres vastagságot is elérheti, ezért ilyenkor a száraz kiülepedés válik jellemzővé, míg nappal, és főként szeles időben akár néhány milliméteresre is elvékonyodhat. Napközben a részecskék lerakódása elsősorban becsapódással (impakció) megy végbe, melyeket légköri folyamatok gyorsítanak (kimosó esőzés, besodródás a lamináris légrétegbe, turbulens becsapódás).

A Brown-féle mozgással, illetve elektrosztatikus vonzással csak a kisebb ($0,5\ \mu\text{m}$ alatti) részecskék rakódnak le. A száraz kiülepedés csapadékmentes körülmények között zajló, hosszan tartó folyamat, melyet gyakran megzavarnak a vízszintes, függőleges és turbulens légáramlatok, melyek lebegtetik a részecskéket.

Mozdulatlan (szélcsendes) közegben a partikulumok Stokes törvénye szerint ülepednek. Tömegük a légköri szállítódás során jelentősen megváltozhat; kiszáradás, anyagsere, darabolódás révén könnyebbé válhat. Magas páratartalom vagy köd esetén a pollenszemek és a spórák megduzzadnak, és ragadóssá vált felszínükre szennyezőanyagok tapadnak; az így megnövekedett tömegük felgyorsítja a kiülepedés ütemét. Az ún. „spórazápor” alkalmával nagy térségekre kiterjedő, nagy mennyiségű, akár $1\ 000\ \text{db}/\text{cm}^2$ feletti spóraülepedés is tapasztalható. Pollenszemek esetében is előfordulhat hasonló jelenség.

Nedves kiülepedés esetén az esőcseppek „átfésülik” a levegőt (kimosás, „wash-out”). A gombaspórák és baktériumok viszont a kiesőzés (felhőképződés, „rain-out”) révén is kiülepedhetnek a légkörből, ehhez ezek a részecskék alkotják a felhőelemek kondenzációs magját.

A vízmolekulák kristályosodásához ugyanis szükség van valamilyen szilárd magra, amelyre a vízmolekulák ráakódhatnak. Bizonyos baktériumok, például *Pseudomonas*-fajok külső membrán felszínükön fagyásgátló proteinek tartalmazznak, ezáltal az atmoszféra magasabb rétegeiben sem szenvednek fagyással járó mechanikai, ozmotikus és oxidatív károsodásokat, ugyanakkor elősegítik saját depozíciójukat.

Az $1\ \text{mm}$ -nél kisebb cseppméretű esőzések nem mossák ki a kisméretű spórákat (pl. *Penicillium*). A $2\ \text{mm}$ átmérőjű esőcseppek viszont eltávolítják az apró spórák 25%-át és a $20\text{--}40\ \mu\text{m}$ méretű, nagyobb spórák 80%-át.

A havazás az esőcseppekénél kisebb hatásokkal tisztítja a légkört.

Fontos kitérnünk a visszaszóródás jelenségére, mely alatt az egyszer már lerakódott részecskék másodlagos emissziója értendő. A turbulens légáramlatok újra- és újra felemelik és/vagy lebegtetik a leülepedett könnyű részecskéket – e folyamat nem tekinthető azonosnak a kiszóródással – amelynek, mint említettük, sokféle aktív és passzív formája van. A visszaszóródásnak csupán passzív típusai ismertek.

A korábban már lerakódott részecskék akár hónapokkal, évekkel később is visszatérhetnek a légkörbe. A visszaszóródott pollen és spóra felismerése levegőmintákban összetett feladat, melyre az elem fizikai állapotából, időjárási adatokból, a kísérő szennyeződések, és virágzási szezonon kívüli pollentípusok jelenlétéből lehet következtetni. Arizona sivatagos területein kimutatták, hogy a levegő pollentartalmának 11%-a visszaszóródásból származik.

Könnyű belátni, hogy e visszaszóródás nélkül a spóra- és pollenszezon jelentősen lerövidülne.

Pollenek

A különböző szélbeporzású növényfajok által termelt pollenszemek világszerte a legfontosabb légköri allergének közé tartoznak. A növényi pollen allergizáló képessége számos tényezőtől függ. E feltételek:

1. a pollen allergiás immunválasz kiváltására alkalmas anyagot tartalmazzon;
2. a pollen nagy mennyiségben termelődjön (ez a szélbeporzású növényekre jellemző);
3. a pollenszem kisméretű legyen és könnyen, valamint
4. nagy mennyiségben szálljon a levegőben;
5. a növény gyakori, tömegesen előforduló fajba tartozzon;
6. a pollenszezon pedig hosszú ideig, több hétig, vagy akár több hónapig tartson; illetve,
7. az adott allergia gyakori legyen a lakosság körében.

Az allergenitást két módon határozhatjuk meg. A növények potenciális allergenitása csak a növény genetikai adottságaiból adódó tényezőket veszi figyelembe (1-3), míg az epidemiológiai gyakoriság a helyi tényezőket (4-7) is számításba kell venni. E felosztást az teszi szükségessé, hogy hazánkban még nem jelenlévő növények esetében is rendelkezésre álljon egy szakmailag megalapozott hivatkozásaik alap, melynek révén visszatartható a magas potenciális allergenitású növények betelepítése, szaporítása, forgalmazása, és szorgalmazható az alacsony potenciális allergenitású új növényfajták nemesítése, továbbá értékelhető a zöldfelületek allergénkibocsátása. Másfelől, az epidemiológiai allergenitás nélkülözhetetlen eszköz a már jelenlévő allergén növényzet által képviselt kockázat kommunikációjában. A növények esetében az allergenitás mértékét több tényező együttes figyelembe vételével határozzák meg, így például, hogy az adott allergia mennyire gyakori a lakosság körében, s hogy a tünetek milyen súlyosak és mennyi ideig állnak fenn.

Az allergén növénycsoportokat azért is megkülönböztetett figyelem illeti, mert az érzékenysé válás (szenzitizáció) éppúgy érintheti a gyerekeket, mint az időseket. Ha az allergia megelőzőleg már kialakult egy allergénre, akkor könnyebben jelentkezhetsz egy más anyaggal szemben is (poliszenzitizáltság). Az allergiások életét az említettek mellett a keresztreakciók is nehezítik – ezek felől minden allergiásnak érdemes tudakozódnia.

A kültéri levegőminőség ismerete, a polleninformáció, valamint a környező allergén növények azonosítása az orvosok és a betegek részére elsősorban a megelőzés (primer prevenció) szempontjából nagy jelentőséggel bír. A kültéri eredetű allergénekkel szemben kialakult légzőszervi allergia tüneteinek enyhítésére vagy megszüntetésére ma is a leghatékonyabb módszer az allergén elkerülése. Az allergén elkerülés térbeli és időbeli módját lehet megkülönböztetni. Az allergének időbeli elkerülése a pollenszórás időszakában, a napi pollenszóc vagy szezonális pollenszóc időszakára eső távollétet jelenti.

Ez utóbbi hasznos eszköze a polleninformáció. A térbeli elkerülés feltétele, hogy a beteg felismerje az allergénforrást (pl. a pollenadó növényfajt) és az azzal való találkozás, érintkezés lehetőségét alacsony szintre szorítsa vissza.

Allergén pollenadó növények ismerete

A pollenexpozíció térbeli elkerülésének fontos eszköze az allergén növény ismeretével kapcsolatos betegtájékoztató. Számos, a parlagfű felismerését segítő anyag jelent meg plakátok, szórólapok, hirdetések formájában, ezek egyúttal a parlagfű-mentesítést is szolgálták. A fás szárú pollenadó növények ismerete szintén igen hasznos a betegek számára: a virágzó fák felismerésével és elkerülésével jelentősen csökken az expozíció. A zöldfelületek (sétautak, kerékpárutak, kertek, parkok, játszóterek, sportpályák stb.) tervezése során is fontos ezen szempontok figyelembe vétele. Még a gyalogos közlekedés során sem mindegy, hogy az allergiás beteg az allergén pollent ontó fasor alatt halad el, vagy pedig egy másik, „allergénmentes” növényekkel szegélyezett utcát választ útvonalnak.

A zöldfelületek tervezése, átalakítása, illetve gondozása során különös tekintettel kell lenni az egyes növényfajok allergenitására.

Általános érvénnyel elmondható például, hogy jelentős pollenszórásra képes növényzetet nem javasolt sűrűn lakott területekre, az ablakok elé ültetni. Mezőgazdasági területeken a tömeges megjelenésre képes gyomok elterjedésének megakadályozása, illetve visszaszorítása egészségünk védelme érdekében is fontos.

Széleskörű hasznukat figyelembe véve, a meglévő **fák kivágását nem javasoljuk.**

Itt érdemel említést a nyárfa, melynek pollenje ritkán okoz allergiát, ennek ellenére sokszor indokolatlanul kivágják, mert repítőszőrös terméseinek (nyárfaszösz) tévesen egészségkárosító hatást tulajdonítanak.

A *pázsitfűfélék* virágporszórását rendszeres fűnyírással lehet megakadályozni. A fűfélék mellett megjelenő allergén gyomok eltávolítására a legmegfelelőbb eredményt a nagyobb gyepterületek kezelése esetén a rendszeres kaszálás hozhatja.

A jellemzően a kapás kultúrákban, virágágyásokban és utak mentén is megjelenő *konyhakerti gyomnövények* jelentős része allergén, így ezek eltávolítása nem csupán gazdasági és esztétikai, hanem egészségvédelmi célból is ajánlott.

Allergológiai szempontból a legnagyobb problémát okozó gyomnövény hazánkban a parlagfű. A parlagfű-mentesítést még a virágzás megindulása előtt, teljeskörűen kell elvégezni, és a terület parlagfű-mentességét további kezelésekkal szükséges fenntartani – ezt a feladatot jogszabály írja elő. Kisebb és egyúttal kevésbé fertőzött területeknél a kézi eltávolítás hosszú távon sokkal hatékonyabb, nagyobb munkaigénye ellenére is. A töben levágott parlagfű gyökérben megerősödik, rövid idővel rá újra hajt és virágzik, akár többszöri kaszálás után is, ha pedig a kaszálás elmarad, úgy nagy mennyiségű magot is szór a következő évekre. Meg kell említeni, hogy kertekben, parkokban, s kaszálókon-legelőkön is, a legtöbb gyommal szemben a legjobb fegyvert a gyep megfelelő fenntartása jelenti, s egyúttal ez a leginkább környezetkímélő technológia is.

A nemzetközi szakirodalomban számos összefoglaló áll rendelkezésre az allergénmentes zöldfelületek telepítéséhez, melyben allergén pollent nem termelő fajok listáit közlik. Ezek közül számos növény elérhető a hazai kertészeti kínálatban, telepítésüket tehát szorgalmazni kell. A jól kialakított, allergénmentes zöldfelület légszűrő hatással is bír, számos más, kedvező környezet-egészségügyi hatása mellett, például oxigéntermelés, árnyékolás stb.

A megfelelő növényfaj összetételű (jó légszűrő képességű s egyben alacsony pollen kibocsátású) növényzet védősávként alkalmazható. A védősáv javasolt hossza: merőleges szélirány esetén a felső lombkoronaszint magasságának 24-szerese. Javasolt szélessége: min. 10 m.

Általában a kis levelű, szőrözött levélfelszínű, laza lombzatú, rovarmegporzású növények ajánlottak. A védősáv növényzete vegyesen ültetendő, a felső lombkorona magasság egyenletességének elkerülése érdekében. Javasolt fajösszetétele a cserjeszintben: vaskoslevelű madár-birs, gyepűrózsa, fagyal; a középső koronaszintben: madárbirsek, mezei juhar, zselnicemeggy, vadvadkörte; a felső lombkoronaszintben: ezüstjuhar, lepényfa, fenyőfélék, japánakác egyedei. Zöld falak, oszlopok, meghagyott fatörzsek befuttatására kiválóan alkalmas a borostyán, mely nem termel allergén pollent, viszont hűti az épületeket, télen is zöld (oxigént termel) és táplálja a beporzó rovarokat. Szintén nem allergizál a galagonya pollen, e növény kiválóan képes enyhíteni az intenzív nyári esőzések hatását.

Az allergén növények virágzása idején az allergiás számára javasolt a megfelelő maszk rendszeres használata, főként az allergén gyomnövények irtása esetén. Az erős illatú, nektártermelő virágok vonzzák a méheket, ez a méhcsípés allergiások részéről odafigyelést, óvatosságot igényel.

Az alábbiakban a leggyakrabban előforduló pollenadó növényeket ismertetjük. Az epidemiológiai allergénitás mértékét a szövegben számozással jelöltük. (0: panaszokat nem okoz, illetve allergénitásáról nincsenek adatok; 1: nem gyakori allergén, keveseket betegít meg; 2: közepesen gyakori allergén; 3: gyakori allergén; 4: nagyon gyakori allergén, igen sokan szenvednek tőle).

Ciprusfélék és tiszafafélék (Cupressaceae, Taxaceae) 1-3.

A nyitvatermők közé tartozó ciprusfélék és tiszafafélék családjába a legkorábban, már februártól virágzó, igen nagy mennyiségű pollenszemet termelő örökzöldek tartoznak. Díszcserjéit és alacsony fácskáit majd minden kertben és városi zöldterületen megtaláljuk. Őshonos képviselőik a tiszafa (*Taxus baccata*/Taxaceae/), mely március-áprilisban, illetve a közönséges boróka (*Juniperus communis*/Cupressaceae/), mely április-májusban szórja pollenjét. A ciprusfélékhez tartoznak még például a jól ismert tuják (*Thuja* spp.), életfák (*Biota* spp.), japánciprusok (*Cryptomeria* spp.), mamutfenyők (*Sequoia* spp., *Metasequoia* spp., *Sequoiadendron* spp.), illetve a hamisciprusok (*Chamaecyparis* spp.) is.

Az egyes fajok allergénitása változó (alacsony-/erős). A legerősebb allergén pollentermelő képviselőik a virginiai boróka (*Juniperus virginiana* porzós egyede) és a Leyland-ciprus (*Cupressocyparis leylandii*) 'Leighton Green' fajtája, melyek ültetését ajánlott kerülni. Több faj esetében a fűrészpor is allergizálhat. A kétlaki fajoknál a kertekbe elsősorban a termős példányok ültetése javasolt. A tiszafával körültekintően kell eljárunk, mivel a növény minden része (a piros magköpeny kivételével) erősen mérgező (főleg kisgyermekes esetében kell különösen vigyázni).

Csalánfélék (Urticaceae) 2.

A csalánfélék családjának csak néhány faja él Magyarországon, mivel a legtöbbjük trópusi növény. A trópusi fajok között liánok és fa termető képviselőik is előfordulnak, míg nálunk élő képviselőik lágyszárúak. A csalán (*Urtica* spp.) hazánkban elterjedt növény, üde erdőkben, kertekben, árkok mentén igen gyakori. Egyéves és évelő fajai is előfordulnak nálunk. Pollenje nagy mennyiségben szóródik a levegőben. Virágzási ideje: május-október.

A szintén a csalánfélékhez tartozó városi gyom, a falgyom (*Parietalia*) allergizáló hatására a mediterráneum térségében már régebben felfigyeltek. Romos falakon, sziklagörgeteges lejtőkön, (*P. judaica*) vagy szurdokerdőkben és városi kertek sövénye alatt, tömbház udvarok árnyas zugaiban üti fel fejét (*P. officinalis*), ahol irtásának elmaradása esetén évről-évre nagyobb állományokat képez. Virágzása június-szeptember közé tehető. Pollenje nem különböztethető meg a csalánétól.

Éger (*Alnus* spp.) 3.

Főként folyók mentén, ártereken előforduló állományalkotó őshonos, mészkerülő fák, a nyírfa-félék (Betulaceae) családjába tartoznak. Legismertebb képviselőjük hazánkban az enyves éger (*A. glutinosa*). Tél végétől, kora tavasszal (március-április) virágoznak. Virágaik egyivarú barkákban, lombfakadás előtt nyílnak, egylakiak, a porzósok sárga színűek, lecsüngők, a termősök pirosak, felállóak, terméséréskor tobozszerűen elfásodnak. Városi környezetben a lándzsáslevelű égerrel találkozhatunk (*A. × spaethii*); az északi égerfajok hibridjeként létrejött faj a karácsony körüli időszakban nagy mennyiségben ontja erősen allergizáló pollenszemeit.

Fészekvirágzatúak (Asteraceae) 1-2.

A parlagfű és üröm mellett – amelyek szintén ebbe a családba tartoznak, azonban kiemelt jelentőségük révén külön tárgyaljuk őket – feltétlenül említésre érdemes, hogy kertjeinkben több olyan fészekvirágzatú gyomnövényvel is találkozhatunk, amelyeket, ha hagyunk jelentős tömegben elszaporodni, akkor némi allergén hatással bírhatnak. Ilyen a seprence (*Stenactis annua*), amely elsősorban a szárazabb termőhelyeken jelenik meg előszeretettel, az aranyveszszők (*Solidago* spp.), amelyek inkább az üdebb helyeket részesítik előnyben, illetve a szerbtövis (*Xanthium* spp.), a parlagi rézgyom (*Iva xanthiifolia*) és a gyermekláncfű (*Taraxacum officinale*). Több esetben előfordul, hogy e növények, más agresszív terjedésre képes özöngyomokkal együtt még némi gondozást is élveznek a kertben (pl. öntözést kapnak), noha igen nehezen szoríthatók vissza, ha már elterjedtek. Vágott virágként is gyakoriak, itt azonban – különösen a telt virágzatú fajták esetén – az allergizáló hatás nem számottevő. Ennek ellenére, e növények gyakran szerepelnek allergiával kapcsolatos hirdetésekben, reklámokban, mely a betegek számára félrevezető.

Fűz (*Salix* spp.) 1.

A fűzfafélék (Salicaceae) családjába tartozó, sok őshonos fajt tartalmazó nemzetség, számos közkedvelt díszfa fajjal és változattal. Találkozhatunk vele vízfolyások menti zátonyokon és ligeterdőkben, láp- és mocsárvidékeken, de felhagyott külszíni fejtésekben is ráakadhatunk. Kertekbe előszeretettel ültetik gyors növekedése, igénytelensége és mutatósága miatt, jellemzően szoliterként. Újabban megújuló energiaforrásként is hasznosítják („energiafűz”).

Egyszerű virágaik barkavirágzatba tömörülnek, lombfakadáskor, március-május között nyílnak. A fűzek egyivarúak, kétlakiak, a szél- és rovarbeporzás egyaránt jellemző lehet rájuk. Allergénje keresztreakciót ad a nyárfával, ami azt jelenti, hogy a fűzfá pollen allergiásoknak a nyárfa virágporától is jelentkeznek a tüneteik. A húsvéti barka ezért nem ajánlott allergiások otthonába, csak ha még nem nyílt ki az ezüstösen szőrös virágrügy (a kinyílását megakadályozhatjuk, ha nem tesszük vízbe).

Juhar (*Acer* spp.) 0.

A szappanfafélék (*Sapindaceae*) családjába tartoznak. A hazánk minden táján előforduló és különböző klímaviszonyokhoz alkalmazkodott őshonos juhar fajok, így például a mezei juhar (*A. campestre*), kertjeink kedvelt árnyadói, de más földrészekről származó díszfa képviselőik is gyakoriak, mint például a vörös juhar (*A. rubrum*). A különböző fajok virágzása márciustól májusig is eltarthat.

Zöld juhar (*A. negundo*) 2.

A többi juharral szemben elsősorban szélbeporzású, nagy mennyiségű pollent szór és allergizál. Emellett agresszíven terjedni képes özöngyom, illetve gazdasági értelemben véve ún. „gyomfa”; nagy területeken őshonos társulásokat szorít ki, ahol allergén hatása is fokozott.

Kőris (*Fraxinus* spp.) 2.

Az olajfafélék (*Oleaceae*) közé tartoznak. Hazai képviselőik mellett, mint a magas kőris (*F. excelsior*), a virágos kőris (*F. ornus*), illetve a magyar vagy pannon kőris (*F. angustifolia* subsp. *pannonica*), igen sok észak-amerikai és ázsiai képviselőjét ültetjük. Korábban elsősorban parkfaként és fasorokban alkalmazták; a virágos kőris alacsonyabb növésű, dúsan virágzó változatai a parkok szárazabb térszíneinek közkedvelt színfoltjai voltak. Ma elsősorban az érdekesebb, illetve őszi színes fajokat keresik már kertekbe is. (pl. fehér kőris *F. americana*). Térségünkben a nemzetség „fekete báránya” az özöngyomként terjedő, intenzív sarjadzásra képes, nehezen megfékezhető amerikai kőris (*F. pennsylvanica*) – ez az ún. „elkőrisedés” jelensége, – ennek ültetését kertekben is javasolt kerülni. Virágzási idejük, beporzási stratégiájuk változó, a magas kőris például lombfakadás előtt (április-május) virágzik, a megtermékenyítést a szélre bízva, míg a virágos kőris ezt főként rovarokkal végezteti el és virágai később, már lombfakadás után (április-június) nyílnak. A kőrisek igen jelentős pollenszórásra képesek, virágporuk az erős allergének közé tartozik, így telepítésük feltétlenül körültekintést igényel.

Libatopfélék és disznóparéjfélék (*Chenopodiaceae*, *Amaranthaceae*) 1.

Korábban két külön család volt, újabban a libatopféléket a disznóparéjfélék közé sorolták. Pollenszemeik azonban hasonlóak, ezért a pollenjelentésekben még egy kategóriában szerepelnek. Mindkét csoport hazai őshonos képviselői főként gyomok, elhanyagolt területeken, városi útszegélyeken, romtalajokon találhatók. Haszonnövények is tartoznak ide, mint például a termesztett répa (*Beta vulgaris* subsp. *vulgaris*) és ennek változatai (cékla, cukorrépa, mángold), a spenót (*Spinacia oleracea*), illetve sok dísznövény, mint a bíbor disznóparéj (*Amaranthus cruentus*). Virágaik egyszerűek, szélbeporzásúak, a pollenszórás júniustól októberig történik.

Pollenszemeik allergének, így ha az allergológiai vizsgálat kimutatja, hogy allergiások vagyunk rá, kertünk tájékáról ajánlatos eltávolítanunk ezeket a növényeket, amelyet kézi gyomlálással is könnyedén megtehetünk.

Lórom (*Rumex* spp.) 1.

A lórom vagy vadsóska fajok a keserűfűfélék (*Polygonaceae*) családjába tartoznak. Áprilisban kezdenek virágozni és az arra érzékenyeknél szénanáthás tüneteket okozhatnak egészen szeptemberig. Szélbeporzású gyomnövények, amelyek nagy mennyiségű pollen termelésére képesek, így ahol nagyobb állományai jelennek meg (pl. rontott, kezeletlen gyepeken, parlagokon), ott allergiás panaszokat okozhatnak. Jellemző képviselőik a mezei (vagy kerti) sóska (*R. acetosa*), a juhsóska (*R. acetosella*), illetve a fodros lórom (*R. crispus*). Ide tartozik még számos, hasonló pollent adó nemzetség is, mint például a japánkeserűfű (*Fallopia* spp.), a keserűfű (*Polygonum* spp.), a hajdina (*Fagopyrum esculentum*), a rebarbara (*Rheum* spp.). A gyomok kézi eltávolítása jó hatékonysággal végezhető, így kertünk, utcafrontunk ápolása, gondozása esetén könnyen csökkenthetjük a közvetlen pollenforrást és enyhíthetjük az ebből adódó tüneteket.

Mogyoró (*Corylus* spp.) 2.

A legkorábban, gyakran már január végén virágzásnak induló fásszárú növényünk. A nyírfafélék (*Betulaceae*) családjába tartozik. Óriási mennyiségű pollent bocsát ki; egyetlen barkája akár négymillió virágporszemet is termelhet. Legjellemzőbb képviselői a hazánkban is őshonos közönséges mogyoró (*C. avellana*), és a fává növvő törökmogyoró (*C. colurna*).

A kert ház-közelébe nem javasoljuk ültetését, noha ízletes makktermése miatt értékes fajokról van szó.

Nyír (*Betula* spp.) 3.

A nyírfafélék (*Betulaceae*) családjának névadó nemzetsége. Hazánkban a közönséges nyíren (*B. pendula*) és a bibircses nyíren (*B. pubescens*) kívül, amelyek savanyú talajú (mészkerülő) erdők és homoki erdőtársulások elegyfajai, a nemzetségnek nincs más őshonos képviselője. Dekoratív megjelenése miatt sokfelé ültetik. Az Északnyugat-Európában erdőalkotó nyír az ott élők számára a legjelentősebb allergén forrást jelenti. Egyetlen barkája hatmillió virágporszemet is termelhet. Márciustól májusig virágzik. A növény egylaki, így sajnálatos módon nem lehetséges a hímnemű egyedek elhagyása a női ivarúak telepítése javára. Lakott területeken, így saját kertjeinkben is, ültetése nem javasolt, a meglévő egyedeket érdemes csak színező elemként meghagyni, s szorosan körültelepítve más, nem allergén fafajokkal.

Parlagfű (*Ambrosia* spp.) 4.

A fészekvirágotúak (*Asteraceae*) családjába tartozó ürömlevelű parlagfű (*A. artemisiifolia*, 35. ábra) közel egy évszázada került Észak-Amerikából Európába, de intenzív terjedése csak az elmúlt 20-30 évben indult meg. Magyarország első számú allergén növénye (a becslések szerint a lakosságnak kb. 20%-a érzékeny rá). A parlagfű pollen tartalmazta allergén fehérjék a nyálkahártyára jutva szinte azonnal allergiás válaszreakciót váltanak ki az erre allergiásoknál, amely jól mutatja az allergén hatás kiemelt erősségét (a nyír pollen hatására ugyanez a válasz például 1-10 óra múlva jelentkezik).

A parlagfűre allergiások könnyebben válhatnak allergiássá más növényekkel szemben is, illetve ezáltal az asztma kialakulásának kockázata is jelentős mértékben nő. A parlagfű allergia bármely életszakaszban kialakulhat, a gyerekek különösen veszélyeztetettek.

Hazánk jelenleg Európa parlagfűvel leginkább szennyezett területeinek egyike. A növényt az ország egész területén megtaláljuk, elsősorban is a mezőgazdasági földterületeken; ezeken belül is leginkább a napraforgósokban és azok szegélyén, kukoricásokban, de például tök- és dinya-földeken, cukorrépa ültetvényeken is igen jellemző. A tarlókon és a művelésből kivont fiatal parlagokon is gyakori, de a művelés teljes felhagyása esetén a többi gyom kiszorítja évek alatt. Az ember, vagy árvizek által bolygatott területeken azonnal megtelepszik és még ugyanazon évben virágba borul utak mentén, építési területek, telkek gyomtársulásaiban, kertekben. Kisebb területek esetén a kéz általi kihúzása, nagyobb területek esetén a kaszálás javasolt, még a virágzás megkezdése előtt. A nyár folyamán azonban sajnálatos módon vissza kell térni a területre, hogy a kaszálást újra elvégezzük, mert máskülönben újra hajt, s virágzik.

A virágzási időben való kaszálása és ilyenkor a parlagfüves területeken való átjárás komoly egészségi kockázattal jár; ezt soha ne tegyük megfelelő maszk (FFP3) és egyéb védőfelszerelés használata nélkül (szemünk, ruhánk, bőrünk védelme is fontos ilyenkor)!



35. ábra **Az ürömlevelű parlagfű.**
Abonyi Zsuzsa festménye

A növény szára többszörösen is elágazhat, mindegyik oldalhajtás csúcsán több fészekvirágzat található, amelyek füzért alkotnak. A füzéren belül a porzós fészkek rendszerint felül helyezkednek el. Ezek mindegyike 10-15 virágot tartalmaz, rövid kocsányon ülnek, sárga színűek, alattuk – a felső levelek hónaljában – ülnek egy-ettesével a termős virágok. Egyetlen növény akár 8 milliárd pollenszemet is képes termelni. A pollenszemek viszonylag kicsik és könnyűek, így a széllel több száz kilométer távolságra is könnyedén eljuthatnak. Az elterjedést szintén segíti, hogy egy növényen akár több tízezer mag is beérhet, amelyek aztán a talajban 30-40 évig is megőrizhetik csírázókéességüket. Virágzási periódusuk is hosszú: kb. július végétől október végéig tart. A parlagfű virágzás csúcsa jellemzően augusztus végére, szeptember elejére esik.

Kertünket, földjeinket, útjaink szélét tartsuk rendben, ez mindannyiunk közös érdeke!

A növény felismerése nem minden esetben egyszerű. Fiatalon könnyen beleolvad a környezetébe, s van arra is példa, hogy kezdetben bűdöskének (*Tagetes*) hiszik és nevelik.

Pázsitfűfélék (Poaceae) 2.

A szénanátha kifejezés a pázsitfűfélékhez köthető (régebben a tünetek elsősorban a fűfélék, a széna kaszálásakor jelentkeztek). A család tagjai az egész Földön elterjedtek és mindenféle éghajlati és termőhelyi viszonyok között megtalálhatók. Jellemző képviselőik például a perje- (*Poa* spp.), a csenkesz- (*Festuca* spp.), és a rozsnok- (*Bromus* spp.) fajok, jól ismert a tarackbúza (*Agropyron* spp.), a csillagpázsit (*Cynodon* spp.), a nád (*Phragmites* spp.) vagy a komócsin (*Phleum* spp.).

Fontos haszonnövényeink legtöbbje is ebbe a családba tartozik, mint például a búza (*Triticum* spp.), az árpa (*Hordeum* spp.), a rozs (*Secale* spp.), a zab (*Avena* spp.), a köles (*Panicum* spp.), a rizs (*Oryza* spp.), a kukorica (*Zea* spp.). Ezek közül elsősorban a rozs pollen jut nagyobb mennyiségben a levegőbe; a kukorica pollen, nagy méreténél fogva nem jut messzire, hamar kiülepszik, míg egyes fajok egyáltalán nem szórnak pollent a levegőbe (az ún. kelisztogámia jelensége miatt, vagyis az önbeporzó virágzat nem nyílik fel, például az árpa, búza, zab esetében). A pázsitfűfélék családja több száz hazai fajjal rendelkezik, amelyek időben egymást érve virágznak, így elnyújtott, hosszan tartó pollenszezont eredményezve. Aszályos időszakban pollentermelésük általában ideiglenesen csökken. A nyári időszakot tekintve a parlagfű után a pollenallergia egyik legfontosabb kiváltó tényezőjeként tartjuk számon, pollenszemeikre sokan érzékenyek.

Platán (*Platanus* spp.) 2.

A platánfák kertészetileg fenntartott, idegen származású dísznövényeink, a platánfafélék (Platanaceae) családjába tartoznak. Gyakran ültetik parkokba, utcai sorfának. A legelterjedtebb a juharlevelű platán (*P. acerifolia* vagy *P. × hybrida*), mely egyes nézetek szerint a keleti platán (*P. orientalis*) és a nyugati platán (*P. occidentalis*) kereszteződéséből létrejött állandósult faj, mások szerint az előbbinek kultúrváltozata. Egyivarú virágai gömb alakú virágcsoportokban, április-májusban fejlődnek, hosszú száron, a porzós virágzat sárgás, a termős vöröses. Nagyon kevés betegnek van kifejezetten platánpollen allergiája, a virágzási szezon is aránylag rövid. A termésekről, levelekről pergő barnás szőrök irritációt okoznak.

Tölgy (*Quercus* spp.) 1.

A bükkfafélék (Fagaceae) családba tartozó nemzetség. Az őshonos fajok, mint például a kocsányos tölgy (*Q. robur*), a kocsánytalan tölgy (*Q. petraea*), a molyhos tölgy (*Q. pubescens*), vagy a csertölgy (*Q. cerris*), jelentős erdőalkotó növényeink, fájuk bútorfaként keresett iparcikk. Az amerikai fajták kedvelt díszfák, mint amilyen a vörös tölgy (*Q. rubra*), vagy az amerikai mocsártölgy (*Q. palustris*). Bár pollenjük allergén, pollenszezonjuk viszonylag rövid (április-május) és virágporuk koncentrációja többnyire mérsékelt marad.

Útifű (*Plantago* spp.) 1.

Az útifűfélék (Plantaginaceae) családjába tartozó, allergén pollent termelő nemzetség. Több faja májustól októberig egymást folyamatosan váltva virágzik. Szélbeporzású, ruderalis gyomnövények, amelyek kisebb számban termelnek pollent; legelterjedtebb és leghosszabb virágzó képviselőjük a lándzsás útifű (*P. lanceolata*). Környezetünk gondos kezelése esetén visszaszorítható.

Üröm (*Artemisia* spp.) 1.

A parlagfűhöz hasonlóan a fészekvirágzatúak (Asteraceae) családjához tartozó üröm hazánkban őshonos. Több faja közül megemlíthetjük a fűszernövényként termesztett tárkonyt (*A. dracunculus*), illetve leginkább kiemelendő a fekete üröm (*A. vulgaris*), amelynek jelenléte igen általános a gyomtársulásokban, utak mentén, városokban egyaránt, valamint a kertek elhanyagoltabb részein is gyakorta megjelenik, akár a parlagfűvel együtt is. Embermagasságúra is képes megnőni.

A parlagfűvel ellentétben jól irtható, mert a kaszálásra érzékeny, azt követően nem hajt, nem virágzik újra. Kisebb területeken a kaszálás helyett azonban inkább javasolt még a virágzás előtt kézzel kihúzni. Júliustól októberig ontja pollenjét, mely erősen allergén. Észak-Európában a nyírfát követően a pollinózis második legfontosabb kiváltó tényezőjeként tartják számon. Hazánkban a 30 éves adatsorok elemzése alapján pollenszáma fokozatosan csökkenő tendenciát mutat.

Egyéb pollenadó növények allergenitása a fentiekhez képest csekély mértékű vagy nem ismert. Azonban e fajok pollenkoncentrációja is érhet el esetenként magas szintet, ilyenkor nem kizárt, hogy allergiás tüneteket okoznak. Hazánkban, a fent említetteken kívül, az alábbi növények pollenszemeit lehet kimutatni a levegőmintákból:

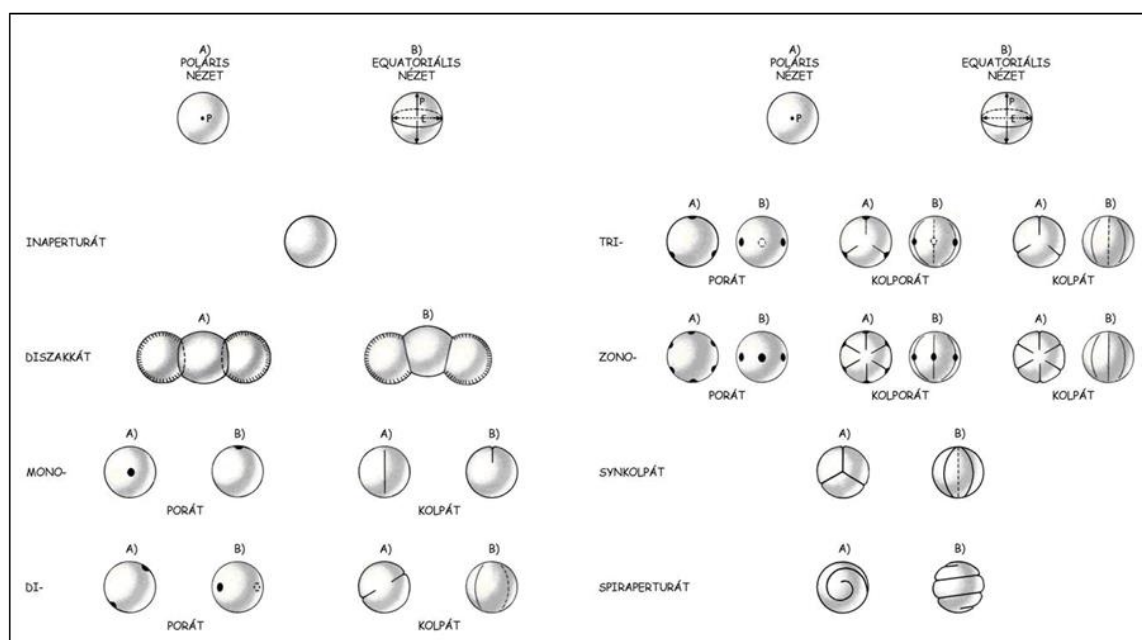
ga **bálványfa** (*Ailanthus altissima*), a **bodza** (*Sambucus* spp.), a **bükk** (*Fagus sylvatica*), a **dió** (*Juglans* spp.), az **eperfafélék** (Moraceae) – mint az eperfa (*Morus* spp.), a papíreperfa (*Broussonetia papyrifera*) vagy a narancseperfa (*Maclura pomifera*) –, az **ernyősvirágzatúak** (Umbelliferae/Apiaceae) – mint a bürök (*Conium maculatum*), a vadmurok (*Daucus carota*), melynek termesztett alfaja a sárgarépa (*D. carota* subsp. *sativa*), a zeller (*Apium graveolens*), a petrezselyem (*Petroselinum crispum*) vagy a kapor (*Antethum graveolens*) –, a **fenyőfélék** (Pinaceae) – mint a fenyő (*Pinus* spp.), a lucfenyő (*Picea* spp.), a jegenyefenyő (*Abies* spp.), a vörösfenyő (*Larix* spp.) –, a **gyékény** (*Typha* spp.), a **gyertyán** (*Carpinus* spp.), a **komlógyertyán** (*Ostrya carpinifolia*), a **hárs** (*Tilia* spp.), a **kenderfélék** (Cannabinaceae) – mint a komló (*Humulus* spp.), a kender (*Cannabis* spp.) vagy az ostorfa (*Celtis* spp.) –, a **nyár** (*Polpulus* spp.), az **olajfafélék** (Oleaceae) – mint az aranyfa (*Forsythia* spp.), az orgona (*Syringa* spp.), a fagyal (*Ligustrum* spp.), a jázmin (*Jasminum* spp.), illetve a már részletesebben is tárgyalt kőris (*Fraxinus* spp.) –, a **pillangósvirágúak** (Fabaceae/Leguminosae) – mint a lucerna (*Medicago* spp.), a here (*Trifolium* spp.), a borsó (*Pisum* spp.), a rekettye (*Genista* spp.), a fehérakác (*Robinia pseudoacacia*), a japánakác vagy közönséges pagodafa (*Sophora japonica*), illetve az aranyeső (*Laburnum* spp.) –, a **sásfélék** (Cyperaceae) – mint a palka (*Cyperus* spp.) vagy a sás (*Carex* spp.) –, a **szelídgesztenye** (*Castanea sativa*), a **szil** (*Ulmus* spp.), a **vadgesztenye** (*Aesculus* spp.), illetve a **ginkgó** (*Ginkgo biloba*) vagy a **szélfű** (*Mercurialis* spp.).

Polleninformáció

A polleninformáció a pollensapdák által gyűjtött levegőminták kiértékelésével készül. A lakosságot érintő biológiai eredetű légszennyezettségi paraméterek folyamatos monitorozását az ÁNTSZ (NNGYK jogelődje) 1992-ben kezdte meg. Erre a szolgáltatásra nagy igény volt, mivel az allergiás megbetegedések száma világszerte, így hazánkban is exponenciálisan növekszik, ennél fogva a betegek tájékoztatása nagyon fontos mind a terápia hatékonysága, mind az allergén elkerülő magatartás kialakítása érdekében. Az Aerobiológiai Hálózat 20 állomás segítségével az ország légtéréről reprezentatív képet ad (egy pollensapda 60 km sugarú körben monitorozza a levegő összetételét). A mintavétel az Európában is egységesen alkalmazott, Hirst-típusú térfogati mintavevővel történik (Burkard csapda, (Hirst, 1952)).

A csapdát a fák lombkoronája feletti magasságban, legalább 15 m-rel a talajszint felett kell elhelyezni. A monitorozás során 32 növény és 3 gomba légköri pollen-, illetve spóra koncentrációját méri.

A pollenszemek külső morfológiai jegyeik alapján különböző csoportokba sorolhatóak. Ennek egyik módja a virágporszem külső falán lévő csírányílás (apertura) megléte vagy hiánya (a csírányílás nélküli pollenszem inaperturált pollen). Az apertura alakja lehet hosszúkas, ez a hasíték (kolpusz), vagy kerek, ez a pórus. A csak pórussal rendelkező pollenszemekre használt kifejezések végződése „-porát”, a csak hasítékkal rendelkezőké „-korpát”, illetve ha mindkettővel rendelkeznek, akkor „-kolporát” végződést kapnak. A csírányílások száma előtagként szerepel („mono-”, ha egy, „di-”, ha kettő, „tri-”, ha három). A nyílások elhelyezkedésére is utalhat a név – például az egyenlítői síkban körben elhelyezkedő csírányílásokkal rendelkező pollenszemek „zono-” előtagot kapnak, ha pedig a csírányílások összeérnek, akkor „syn-” előtagot. Lehetnek a pollenszemeknek függelékeik – például a légzsákkal rendelkezők „-szakkát” végződést kapnak. A különböző típusokat a 36. ábra szemlélteti.



36. ábra A különböző pollentípusok morfológiai jellemzői
(forrás: Feliziani, 1986)

A pollenmonitorozás eredményét 24 órás átlagban db pollenszem/m³ egységre kifejezett értékben adják meg. A különböző egészségi határértéket jelző kategóriákat az alábbi, *III. táblázat* mutatja be.

III. táblázat Légeköri allergén kategóriák

koncentráció (db pollenszem/m ³)		alacsony	közepes	magas	nagyon magas
		+	++	+++	++++
fák, bokrok		≤10	11-100	101-500	501<
csalán (<i>Urticaceae</i>)					
pázsitfűfélék (<i>Poaceae</i>)		≤10	11-30	31-100	101<
útifű (<i>Plantago</i>)					
lórom, sóska (<i>Polygonaceae</i>)					
libatopfélék (<i>Chenopodiaceae</i>)					
parlagfű (<i>Ambrosia</i>)					
gombák	<i>Alternaria</i>	≤90	91-200	201-400	401<
	<i>Cladosporium</i>	≤2 500	2 501-5 000	5 001-10 000	10 001<

(forrás: az ÁNTSZ Aerobiológiai Hálózatának 2015. éves jelentéséből)

A kategóriák meghatározása során figyelembe veszik azt, hogy az adott növény pollenjével szemben milyen gyakran mutatnak tüneteket az allergiás betegek, valamint a virágzási periódus hosszát, a pollenszemek méretét (milyen távolságra képesek terjedni a levegőben), illetve azt is, hogy milyen mennyiségben termeli a növény a pollenjét. Alacsony szint esetében a betegeknél még nem jelentkeznek tünetek, a közepes szintet viszont már érzékelik azok, akik az adott növény pollenjével szemben különösen érzékenyek. A magas szintnél minden, az adott pollentípusra allergiás betegnél jelentkeznek a tünetek, nagyon magas szintnél pedig minden érintett allergiás esetben erős tünetek jelentkeznek.

Magas pollenszám esetén a betegeknél az alábbi tanácsokat érdemes betartani:

- A pollenszórás csúcsidőszakában minél kevesebb időt töltsenek a szabadban.
- Mossanak haját naponta lefekvés előtt, hiszen a pollenszemcsék ezrei tapadhatnak meg rajta.
- Minél gyakrabban és alaposabban porszívózzák a lakást, amilyen gyakran csak lehet nedves portörölést, felmosást is alkalmazzanak.
- A cipőket naponta tisztítsák nedves ruhával, töröljék át.
- Naponta cseréljék és mossák ruháikat, mert a pollen könnyen rátapad.
- Gyakran cseréljék az ágyneműt is, elsősorban a párnahuzatot.
- Kerüljék a ruhák szabadban történő szárítását magas pollenkoncentráció esetén.
- Késő este, vagy kora hajnalban szellőztessenek, mivel a pollenkoncentráció általában éjjel alacsonyabb.
- Magas pollenszórás idején ne nyissák ki a gépkocsik ablakát menet közben.

Nagyon magas parlagfű pollenszám esetén ajánlott a légzésvédő maszkok viselése elsősorban parlagfűvel fertőzött területek közelében, mezőgazdasági munkák végzése, szabadtéri sportolás esetén.

Az alábbiakban a polleninformációs szolgáltatás főbb típusait vesszük sorra, melyek az alábbiak: **pollenjelentés, pollennaptár, pollenkoncentráció-előrejelzés és pollennapló.**

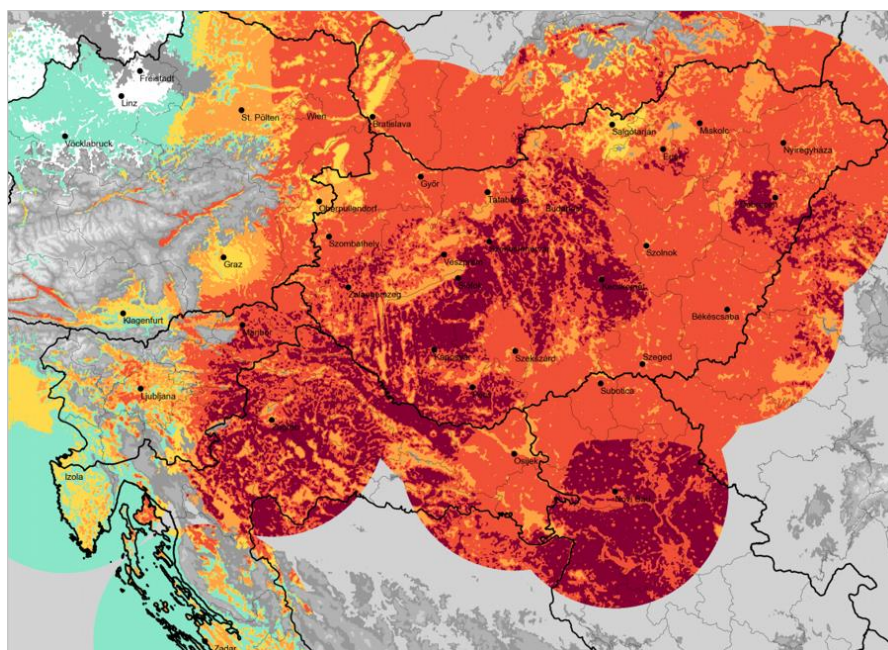
Ezeket az alábbi fejezetben részletesen ismertetjük.

Pollenjelentés

A pollenjelentések a pollenszórás kezdetéről, jellegzetességeiről, mértékéről adnak tájékoztatást hosszabb-rövidebb időszakra vonatkozóan (napi, heti, éves jelentések). A jelentésben közétett mért adatok az előrejelzés alapját képezik, nyers formában csak szakember közreműködésével vagy magyarázószöveggel kiegészítve értelmezhetők.

A korábbi évtizedekben a pollenjelentés volt a polleninformáció egyetlen formája, mely főként táblázatos formában, szöveges elemzéssel, majd grafikonokkal kiegészítve, naponta, hetente illetve évente készült el. A pollenjelentés korszerű eszköze a térképes tájékoztatás, amelyen a pollenkoncentráció országos eloszlása közérthető módon szemléltethető. A térképeken először az egyes pollenszámok által mért adatok pontszerűen kerültek bemutatásra.

Később a térkép leképezésének alapja az interpolációs térinformatikai modellek által létrehozott izokoncentrációs vonal, illetve felület lett. A pollentérképek a pollenadó források becsült területi eloszlásáról is információt szolgálhatnak (37. ábra).



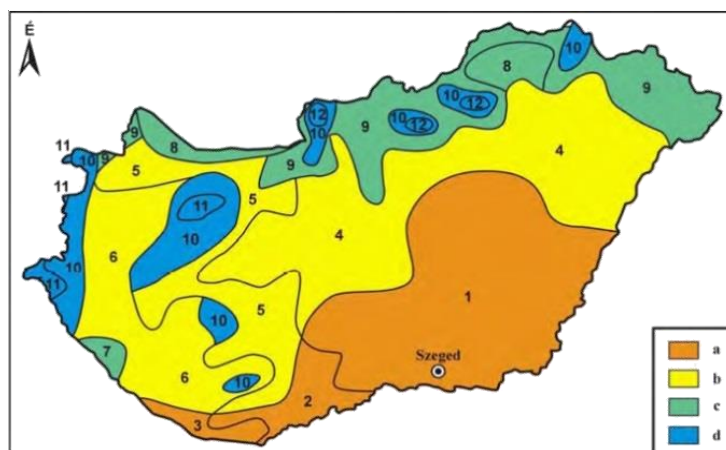
37. ábra A parlagfűszezon csúcsidőszakában készült pollenelőrejelzés térképes megjelenítése a Kárpát-medencében
(forrás: Parlagfű Pollen Riasztási Rendszer)

A hagyományos pollenjelentés a pollenexpozíció nagyságát leíró paraméterekkel dolgozik: a pollenszezon kezdete, vége és hossza, illetve az éves maximális pollenkoncentráció és az összpollenszám értéke, valamint országos átlag, heti átlag, heti maximum és a tünetet okozó napok száma.

Az Egészségügyi Világszervezet kezdeményezésére a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ jogelődje, az Országos Környezetegészségügyi Intézet a pollenszezon és a lakossági expozíció jellemzésére az éghajlattal kapcsolatos mutatókat dolgozott ki. A mutatókhoz négy allergén növényt választottak ki: (a) éger/*Alnus*; b) nyír/*Betula*; c) fűfélék/*Poaceae*; és d) parlagfű/*Ambrosia*.

Az indikátorkészlet a levegőben szálló pollenek napi immissziójának standard módszerekkel történő mérésén alapul, az ország különböző éghajlati régióit képviselő monitorállomások adatainak felhasználásával.

A klímaregiókat Péczely György határozta meg 1979-ben. A 38. ábra szemlélteti az egyes területeket.

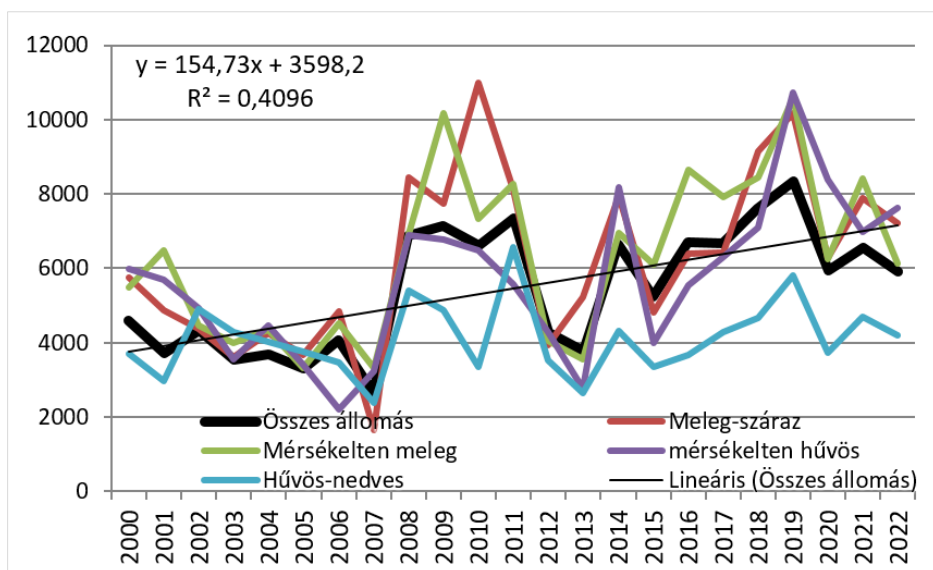


38. ábra Magyarország klímaregiói Péczely szerint

(barna: meleg-száraz; sárga: mérsékeltlen meleg; zöld: mérsékeltlen hűvös; kék: hűvös-nedves)

A mutatók kiszámítására egy speciális szoftver eszközt dolgoztak ki: a pollenidőszak kezdete és vége (az év napja, DOY), a pollenszezon hossza (napok), a pollenidőszak súlyossága (éves összpollen szám) és a pollenszemek napi maximuma (szem/m³). A lakossági expozíciót a lakossággal súlyozott mutatókkal jellemzik: (i) az allergén pollenkoncentrációjú napok aránya; (ii) átlagos pollenexpozíció; (iii) a pollenszezon időtartama.

Az ország 19 mérőállomása 2000-2022 közötti adatainak felhasználásával a négy indikátor növény adatai alapján értékelhetők a 23 év szezonjainak jellegzetességei (39. ábra). Az ábra bemutatja az éves parlagfű pollenterhelést az összpollenszám alapján. Szembetűnő a ciklikus változékonyság, az évről évre növekvő terhelés. Ugyanakkor megfigyelhetjük a klímaregióknkénti nagy különbségeket is. 2007-ben igen jelentős hőhullám érte hazánkat, ami országsszerte csökkentette a pollenterhelést, ellentétben a 2010-es évvel, ami a legcsapadékosabb év volt, igen jelentős terheléssel. Az utolsó öt évben egyre melegebbek voltak a nyarak, csupán a hűvös-nedves régiókban volt alacsonyabb a terhelés. 2022-ben a rendkívüli aszály miatt csökkent a terhelés.



39. ábra A parlagfű éves összpollenszám (pollen/m³) változása
2000 és 2022 között hazánk különböző klimatikus régióiban
(forrás: NNGYK)

Pollennaptár

A pollennaptárak általában a főbb allergén virágporaszemek napi koncentrációgörbéjét ábrázolják egy adott évre vagy több év átlagára vonatkoztatva. Az allergiás betegek gyógyszeres kezelése szempontjából fontos, hogy egy allergén növényfaj pollenszórása hány napig tart, és hogy mekkora a légköri pollenkoncentráció, vagyis az allergénterheltség. A pollennaptár a betegek számára is könnyen értelmezhető, akár egy oldalnyi felületen (szórólap, plakát) jól tájékoztatható vele a lakosság. Az ábrázolás révén az allergiában szenvedő betegeknek lehetősége nyílik a pollenexpozíció időbeli elkerülésére, így csökkenthető a lakosság allergén terhelése és az allergiás megbetegedések száma.

Egy adott növényfaj pollenszemei elsősorban annak virágzása során vannak jelen számottevő mennyiségben a levegőben. A növény szezonkezdeté alatt azt a napot értjük, amelyen az addig mért összpollenszám már elérte, vagy meghaladta a szezonra számított összpollenszám 1%-át, a szezonvég pedig azon napra esik, amelyen az éves összpollenszám már elérte a 99%-ot.

Hazánkban a pollenszezon három fő szakaszra különíthető el:

- Faszézon: február eleje – május vége. Kora tavasszal a mogyoró virágzásával kezdődik, a vége (platán, eperfafélék, fenyőfélék pollenszórása) átfedésben van a fű-szezonnal.
- Fűszezon: április közepe – július vége. A pázsitfűfélék fő pollenszórási időszaka, mellettük azonban még néhány fa, illetve már a kora nyári gyomnövények is okozhatnak allergiás tüneteket.
- Gyomszezon: június eleje – október közepe. A parlagfű, az üröm, a csalánfélék, a libatopfélék és más lágyszárúak pollenszórása jellemzi, az eleje átfedésben van a fű-szezonnal.

A pollennaptár ábrázolása vonal- vagy területdiagramon történik (40. ábra).

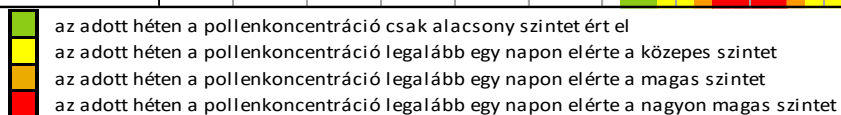
A pollenszezonok évről-évre ismétlődnek az évszakok, vegetációs periódusok szerint, ezért hosszútávú megfigyelésekkel viszonylag megbízható pollennaptár készíthető.

Egyes növények, például a parlagfű esetében a pollenszezon harang alakú görbét ír le, mely alapján elnagyolt előrejelzés is adható például a csúcsidőszakra vonatkozóan.

Azonban a pollennaptár mellett szükség van folyamatos pollenmonitorozásra is, ennek okai:

- az időjárás rövidtávú változása miatt a pollenszezon éves lefutásában, jellegében változások figyelhetők meg (pl. esőzések)
- a klímaváltozás (pl. korábbra tolódó szezonkezdés, egyes növények virágzása enyhételeken);
- számos új, invazív allergén növény, illetve kertészeti hibrid jelent meg, illetve jelenhet meg hazánk területén (pl. lándzsáslevelű éger);
- a pollenszemek nagy távolságú légköri szállítódása (pl. olajfapollen);
- a pollen allergenitását növelő hatások (pl. légszennyezés, viharasztma);
- mérni kell a lakosságot érő pollenterhelés változását és a beavatkozások hatékonyságát;
- a pollen előrejelzés friss adatokat és folyamatos validálást igényel.

magyar név	latin név	JAN.	FEBR.	MÁRC.	ÁPR.	MÁJ.	JÚN.	JÚL.	AUG.	SZEPT.	OKT.	NOV.	DEC.
mogyoró	<i>Corylus</i>												
éger	<i>Alnus</i>												
ciprusfélék/ tiszafafélék	<i>Cupressaceae / Taxaceae</i>												
kőris	<i>Fraxinus</i>												
nyár	<i>Populus</i>												
szil	<i>Ulmus</i>												
juhar	<i>Acer</i>												
fűz	<i>Salix</i>												
nyír	<i>Betula</i>												
gyertyán	<i>Carpinus</i>												
platán	<i>Platanus</i>												
tölgy	<i>Quercus</i>												
bükk	<i>Fagus</i>												
dió	<i>Juglans</i>												
eperfélék	<i>Moraceae</i>												
fenyőfélék	<i>Pinaceae</i>												
pázsitfűfélék	<i>Poaceae</i>												
csalánfélék	<i>Urticaceae</i>												
hárs	<i>Tilia</i>												
útifű	<i>Plantago</i>												
lórom	<i>Rumex</i>												
kenderfélék	<i>Cannabaceae</i>												
libatopfélék	<i>Chenopodiaceae</i>												
üröm	<i>Artemisia</i>												
parlagfű	<i>Ambrosia</i>												



40. ábra **Általános pollennaptár: a magyarországi Aerobiológiai Hálózat által monitorozott növények pollenszórásának időbeli megjelenése**

A pollenkoncentráció előrejelzése

A hosszútávú pollenmonitorozás eredményeként létrejövő adatbázisok lehetőséget adnak arra, hogy pollenelőrejelzést végezzünk. A pollenelőrejelzés különböző típusai: a napi pollenszint előrejelzés a következő 1-2, max. 7 napra vonatkozóan, illetve a szezonkezdet, a szezoncsúcs és a szezonvég előrejelzése.

A pollenkoncentráció előrejelzések szakmai döntés és statisztikai modellszámítások alapján készülnek. A szakmai döntések során az aerobiológusok figyelembe veszik az időjárás és a pollenkoncentráció között fennálló kapcsolatot, a korábbi évek megfigyeléseit, tapasztalatait és a szakirodalmat.

A statisztikai modellszámításokra vonatkozóan több megközelítéssel is találkozhatunk.

Vannak olyan módszerek, amelyek többváltozós statisztikai eljárásokat alkalmaznak, míg mások a neurális hálók alapjain készítenek előrejelzési algoritmusokat. Ezen algoritmusok mindig az időjárási elemeknek a pollenkoncentrációra gyakorolt hatásán alapulnak. Az előrejelzési algoritmusokat általában a nyír, a fűfélék és a parlagfű pollenkoncentrációjának meghatározására szokták elkészíteni, mivel e fajok okozzák a legtöbb pollenallergiás megbetegedést, és ezeknek a legmagasabb az évi összpollenszáma. A többváltozós statisztikai módszereket több város pollenadataira is alkalmazták már.

Például a fűfélék pollenszámának előrejelzésénél hatékonyan alkalmazták a lineáris regressziót. A regressziós modellben (a magyarázó változók például a hőmérséklet, a globálsugárzás, a relatív légnedvesség, a légnyomás, a szélsébség valamint az előző napi pollenkoncentráció; a célváltozó pedig az aktuális napi pollen koncentráció).

A terjedési modelleken akár órás bontásban is láthatjuk a pollenkoncentráció térbeli változását. E terjedési modellek az ún. forrásalapú előrejelzéssel készülnek. Ehhez a pollenadó források térbeli elhelyezkedését kell ismernünk, amelyet kétféle módon állapíthatunk meg. Egyrészt részletes, kellő térbeli sűrűséggel végzett pollenmonitorozási adatokból indulhatunk ki. Másfelől, a pollenadó források térbeli helyzetére következtethetünk bizonyos térinformatikai adatokból, például területhasználat (építkezések, bolygatott területek gyakran élőhelyei a parlagfűnek); növények elterjedése, gyomfelvételezési, vegetációs térképek adatai; környezeti igények (pl. talajadottságok, hőmérséklet, térképes megjelenítés), lakossági parlagfű bejelentések térképes ábrázolása stb. E térképek kombinációja, egymásra vetítése viszonylag pontos képet adhat a lehetséges pollenadó források elhelyezkedéséről.

A többváltozós statisztikai eljárások mellett széleskörűen elterjedtek a kor kívánalmainak megfelelően a neurális hálók, valamint a fuzzy logikán alapuló előrejelzési algoritmusok is. A neurális hálók több változata is igen jó eredményekkel képes előre jelezni a fűfélék pollenkoncentrációját. A „co-evolutive” és „multi-layer perceptron” valamint a „support vector regression” módszerek 80-90% felett teljesítenek szemben a hagyományos módszerek 70% körüli hatékonyságával. A pollenkoncentráció-előrejelzés kialakítása során fontos elem az időjárás rövid és hosszú távú előrejelzése, lényegében ezen nyugszik a pollenkoncentráció-előrejelzés.

A személyre szabott polleninformáció

Korunk elvárásai között szerepel a személyre szabott orvoslás, amelyhez az aerobiológia is csatlakozott: létrejött a személyre szabott polleninformáció, amely a betegek által vezetett tüneti naplón, az ún. pollennaplón alapul. A pollennaplóban a különböző erősségű tünetekhez a rendszer pollenadatokat rendel.

A felhasználó így információhoz juthat a tünetei és a pollenkoncentráció összefüggéséről, azaz követheti, hogy allergiás tünetei hogyan függnék össze a tartózkodási helyének közelében az elmúlt napokban mért légköri pollenkoncentrációval. A pollennapló jelentős lépést jelent az új generációs betegtájékoztatásban, mivel személyre szabott, ezáltal figyelembe veszi a helyi és egyéni eltéréseket is.

Az adatbázis egész Európára érvényes, a felhasználó mindig az aktuális tartózkodási helyére vonatkozó polleninformációt rendelheti a tüneteihez.

A tüneteket az érintett testrészekre vonatkoztatva (szem, orr stb.), illetve a tünetek súlyossága szerint, több fokozatban lehet megadni.

A pollennapló azt is számításba veszi, hogy a felhasználó szed-e valamilyen gyógyszert tünetei enyhítésére. A rendszert évtizedek óta hagyományos formában gyűjtött betegnapló adatok és statisztikai modellek alapozták meg. Mindezen tartalmak, az interaktív modulok és szolgáltatások célja azonban nem az orvosi tanácsadás helyettesítése, és nem alkalmasak egyéni diagnózis felállítására vagy bármiféle kezelés megalapozására.

Gombaspórák

Az aerobiológia egyik leggyakrabban kutatott területe a levegőmikológia (aeromikológia), melynek főbb vizsgálati köre a levegőben található gomba eredetű részecskék, az ún. gombaelemek (spórák, konídiumok, micéliumdarabok).

A gombák jelentős része (pl. *Alternaria*-, *Botrytis*-, *Fusarium*-fajok) asztmás tüneteket, mikózisokat és mikotoxikózisokat is okoz. A gombák okozta allergia elterjedésére egyelőre még kevés adat van, de a közép-európai országokban az asztmás népesség 15-25%-a egyben valamilyen gomba által termelt allergénre is érzékeny.

Bizonyos gombák (pl. *Cladosporium*-fajok) több mint 30 különböző allergént tartalmaznak. Az *Alternaria*-konídiumok belélegzése asztmás jellegű, súlyos allergiát okozhat, az erre a nemzetségre érzékeny betegek száma hazánkban megtízszereződött az utóbbi években.

A Kárpát-medence földrajzi adottságai révén légkörünkben nagy mennyiségű spóra dúsulhat fel, mely hosszú ideig a levegőben maradhat, mivel a tengeri légtömegek frissítő, és a nagy vízfelszínnek tisztító hatása itt kevésbé érvényesül. A légkörben nagy mennyiségben lebegő gombaelemek folyamatos terhelést jelentenek az allergiás beteg szervezete számára.

Különösen nyár közepétől emelkedik meg az olyan gombaelemek (mint például a *Dematiaceae* családba tartozó *Alternaria*-, *Cladosporium*-, *Epicoccum*-fajok) légköri koncentrációja, amelyek külső térben is allergiát okoznak, vagyis nemcsak a beltéri vagy foglalkozási eredetű gombaallergiáért felelősek.

Jelen fejezet a külső térben gyakori gombák (Dematiaceae, Ascomycetes, Basidiomycetes) környezet-egészségügyi vonatkozásait tárgyalja, mivel ezek jellegükben jelentősen eltérnek a belső térben uralkodó fajoktól (*Aspergillus*-, *Penicillium*-fajok). (A belső téri levegőben található ún. penészgombák ismertetése, „A beltéri levegő biológiai eredetű szennyezői” c. fejezetben szerepel).

A gombák terjedése a légkörben

A gombák esetében a spóra kiszóródásának számos típusa ismert, melyek ismertetése e jegyzet terjedelmén messze túlmutat. Említést érdemel viszont a kiszóródás leggyakoribb, passzív formája, a kifújás (defláció, blow-off, wind-off). Ez esetben a spóratermő telepet érő szél a spórák nagy mennyiségét választja le egyszerre. A spórák leszakításához szükséges légáramlat sebessége átlagosan 0,4-2,0 m/s, melyben a fellépő turbulencia is részt vesz.

Egészségügyi szempontból fontos megemlíteni a száraz bolygatást is, ekkor a spóratermő teleppel közölt erőhatás (rázás, mozgatás, mezőgazdasági munkák, aratás, favágás, közvetett széllelés) vált ki hirtelen, nagy mértékű spórakiszóródást. Aratásakor nagyobb spórafelhők felemelkedése figyelhető meg, ilyenkor a spóraszám csak csillagászati mennyiségben fejezhető ki ($2,0 \times 10^8$ db/m³). A légkörben található baktériumok és sugárgombák nagy része is főként ilyen események során szóródik ki talajszemcsékre és más részecskékre tapadva.

A spórák életképessége a szállítódás során jelentősen csökken; nagy részük a sugárzás, a kiszáradás, a fizikai sérülések, a fagyás, a napszakos ingadozások és egyéb tényezők hatására elveszti csírázóképességét. A légkörben szálló *Alternaria* konídiumok 80%-a életképes, míg a *Cladosporium* konídiumok csupán 42%-a. A hialin (pigmenteket nem tartalmazó) spórák igen érzékenyek a kiszáradásra, a vastag falú sötét színű spórák azonban mind a vízvesztéssel, mind az UV sugárzással szemben ellenállóbbak. Az összes légköri gombaelem mintegy 40%-a tekinthető életképesnek.

A légköri gombaelemek koncentrációját befolyásoló környezeti tényezők nagy része meteorológiai hatás. A nedves és a száraz légkör spóraösszetétele jelentősen eltér egymástól.

A **száraz időjárásra** jellemző, nappali levegőmintákat a *Cladosporium*-fajok túlsúlya jellemzi, elérve akár az összes gombaelem szám 93%-át is. A *Cladosporium*-fajok átlagos koncentrációja 5 000 db/m³, de elérheti a 240 000 db/m³-t is. A levegőben az *Alternaria*-fajok a második leggyakrabban előforduló gombák, melyeknek mennyisége azonban jelentősen alacsonyabb (50-150 db/m³), míg a harmadik és negyedik helyen a *Penicillium*- és *Aspergillus*-fajokat találhatjuk. A kevésbé gyakori, nem tömegesen szálló gombaelemek mennyisége általában 1-50 db/m³.

Nedves időjárás esetén a szakirodalom számos gombaspóra esetében koncentráció növekedésről számol be. A csapadékos időjárás számos egyéb aktív és passzív kiszóródási típusnak kedvez, ilyenkor szintén nagy mennyiségű spóra juthat a levegőbe, melyek asztmás rohamokat okozhatnak. A tömlősgombák (így az allergén *Didymella* spp.) és egyes anamorf gombák (*Fusarium*, *Phoma* spp.) valamint élesztők (*Sporobolomyces*-fajok) esőzések alkalmával gyakran igen nagy mennyiségben szóródnak ki a légkörbe. A nedves időjárásra jellemző gombaspórák csapadékmentes időszakban éjszaka is megjelenhetnek.

Az **évszakos** (szezónális) **spóraösszetétel** változhat az azonos időben spórát termelő és kibocsátó gombafajok szerint, mely függ a gomba és a gazdanövény fenológiájától, valamint az évszakra jellemző időjárástól. A mérsékelt éghajlati övben a vegetációs időszak közepére illetve végére (június-augusztus) tehető a külső térben mérhető legmagasabb spórakoncentráció. A szaprotróf gombák spóraszezónját elnyújtott-elmosódó, míg a növénykórokozó gombák spóraszezónját élesebben elhatárolódó görbék rajzolják ki.

A spóraösszetétel földrajzi megoszlásáról igen kevés értékelhető eredmény áll a rendelkezésünkre. A **hideg éghajlaton** nagyobb mennyiségben találhatók a levegőmintákban a tömlős- és kalaposgomba spórák (Boletaceae, Russulaceae), itt a rájuk jellemző spórák a teljes gombaelem koncentráció 70%-át teszik ki.

A **mérsékelt éghajlaton** a *Cladosporium* spp. túlsúlya igen kifejezett a meleg nyárral rendelkező kontinentális területeken. A melegebb égővi sztyeppék légterében viszont a *Cladosporium* spp. részaránya csökken, helyette az alternáriák térnyerése figyelhető meg, mellette az *Aspergillus*, *Curvularia*, *Fusarium*, *Helminthosporium* és a *Nigrospora* nemzetségek konídiumai fordulnak elő jelentősebb mennyiségben.

A száraz kontinentális éghajlaton a nagy konídiummal rendelkező Dematiaceae-nemzetségek és az *Aspergillus niger* fokozottabb előfordulását figyelték meg.

A mediterrán térségekben az *Alternaria* és *Pithomyces* konídiumok, valamint az üszöggomba spórák nagy számát érdemes megemlíteni.

A szubtrópusi éghajlat alatt az *Alternaria*, az *Epicoccum*, a *Fusarium* és a *Stemphylium* spp. koncentrációja kiemelkedő.

A **trópusi éghajlaton** az esőerdők levegőjében a Basidiomycetes, valamint a *Deightoniella*, *Memnoniella*, *Monilia*, *Periconia*, *Pithomyces* és a *Zygosporium* nemzetségek gyakoriak. A csapadékosabb trópusi szavannák légkörét a *Curvularia*- és a *Nigrospora*-fajok népesítik be. A sivatagokban az alacsony spóraszám jellemző (Kuvait: 400-700 db/m³), azonban igen hangsúlyos az *Aspergillus*/*Penicillium* konídiumok, valamint a *Cladosporium* spp. magas aránya.

A **magashegységek** légköri gombaelemszáma nem jelentős, itt a levegő sokszor csíramentesnek tekinthető. Ennek oka a fagy és az ultraibolya sugárzás, illetve a szárazság, és a vegetáció hiányán túl a szél erős kifúvó, hígító hatása.

A **völgyekben** átlagosan 2,6-szor magasabb a levegő spóraszám; ez a szélvédett, kedvező mikroklímájú környezetnek, valamint a növényzet, a patakok, illetve vizek jelenlétének köszönhető. Itt az aszkospórák száma 5-ször, a bazidiospórák száma 3-szor, a konídiumok száma 1,4-szer több, mint a hegység magasan fekvő részein vett levegőmintákban.

A **tengerparti** levegő 25%-al kevesebb spórát tartalmaz, mint a kontinentális, viszont a szürkepenész (*Botrytis* spp.) és a Basidiomycetes-spórák légköri koncentrációja a tengerparti területeken némiképp magasabb. A **városi** légkör átlagosan 50%-al kevesebb spórát tartalmaz, mint a vidéki.

A legmagasabb gombaelem koncentráció a füves sztyeppék és mezőgazdasági területek felett mérhető.

A kertekben gyakori a *Cladosporium* spp., amely nyáron a növények levelét borító ragacsos mézharmaton szaporodik el és feketés bevonatot képez rajtuk. Ősszel, több más allergén gombával (*Alternaria*, *Epicoccum* spp.), az avarban és elhalt növényeken képez telepeket.

A szürkepenész (*Botrytis* spp.) és a fuzárium (*Fusarium* spp.) beteg növényeken, elsősorban zöldségeken és gyümölcsökön, befülledt gyepben található. Egyes *Aspergillus*-fajok legfőbb kültéri forrása a komposzt.

A LÉGSZENNYEZETTSÉG HATÁSA A KÖRNYEZETRE

Dr. Beregszászi Tímea

A légszennyező anyagok károsan befolyásolhatják a Föld klimatikus viszonyait, az ökoszisztémát és az emberi egészséget.

A légszennyezettség hatása a klimatikus viszonyokra

A légszennyező anyagok nemcsak közvetlen környezetüket szennyezik, hanem a légkör közvetítésével nagy távolságra is eljutnak országhatárokat nem ismerve, veszélyt jelentve az egész világ környezeti állapotára. A szén-dioxid növekvő mennyisége és a fosszilis tüzelőanyagok elégetésével keletkező egyéb szennyező anyagok jelenléte a légkör globális felmelegedéséhez vezet, amely hosszú távon kedvezőtlenül befolyásolja a klimatikus állapotokat. A hőmérséklet emelkedése a sarki jéghegyek egy részének olvadását eredményezheti, melynek következtében emelkedhet a tengerek szintje, veszélyeztetve az alacsonyabban fekvő tengerparti területeket (pl. Hollandiában a tengertől elhódított területek, az ún. poldereket).

Az ózonréteg módosulásának állandó nyomon követése különösen fontos, mivel az ózon a káros ultraibolya sugárzás elnyelésével nagy szerepet játszik a bioszféra védelmében. Az ózon fotokémiai folyamatait károsan befolyásolják az antropogén eredetű klór és fluor tartalmú szénhidrogének. A repülés által emittált nitrogén-oxidok, és a nem elhanyagolható mennyiségű vízgőz jelenléte is módosíthatja az ózonképződést.

A légszennyezettség hatása a növény- és állatvilágra

A levegőszennyezésre a **növények** sokszor jóval érzékenyebbek, mint az állatok, vagy az ember. A gázhalmazállapotú légszennyező anyagok a növény felszínén adszorbeálódnak és/vagy a levélzet légcsere nyílásain át bejutnak a sejtközi térbe. A sejtek felületén megkötődhetnek, vagy beléphetnek az anyagcserébe. A kén-dioxid például kénsavvá, vagy kénessavvá alakulva roncsolja a szöveteket, továbbá a klorofillal reakcióba lépve gátolja a fotoszintézist.

A szilárd részecskék a levél felületére kiülepedve csökkentik a növény hasznos felületét, ezáltal gátolják az asszimilációs folyamatokat. A kis szemcseméretű részecskék (pl. cementpor) eltömítik a pórusokat, aminek következtében a növény elpusztulhat. A részecskékhez kötődött vegyületeket a növény felszíne visszatarthatja, illetve a kisméretű szemcsék közvetítésével bejutnak a növénybe. A légszennyezettség káros hatása különböző mértékben érvényesül a növény egyes fejlődési szakaszaiban. A fiatal, osztódó szövetek, bár érzékenyebbek, de hamarabb regenerálódhatnak, ha a káros hatás nem hosszantartó. Az idős szövetekben bekövetkezett károsodás azonban maradandó.

A növényzet ugyanakkor visszahat a levegőszennyeződés alakulására, szűri, tisztítja a levegőt. Ismeretes és bizonyított a védőerdősávok, erdők kedvező hatása a levegőszennyezés terjedésének meggátolásában. Így a növényzet károsodásával csökken annak légtisztító, szűrő hatása, hozzájárulva a levegőminőség romlásához.

A légszennyezettség káros hatása hatványozott, hiszen a növényzet szennyeződése és pusztulása visszahat az **állatvilágra** is. A légszennyező anyagok elsősorban a légutakon át jutnak a szervezetükbe, és fejtik ki hatásukat. Súlyosbító körülmény, hogy amíg az állatok az ivóvíz és táplálék minőségét bizonyos mértékig megválogathatják, a levegő megválogatására nincs lehetőségük. A szennyezett levegőnek a természetben élő állatvilágra gyakorolt hatásáról keveset tudunk. Ismeretes, hogy a szennyezett levegőjű városból számos madárfaj elvándorol. Különösen a mezőgazdaságban felhasznált növényvédő szerek levegőbe jutva veszélyeztetik az arra érzékeny fajokat.

A növényekben és az állati szervezetekben felhalmozódott légszennyező anyagok további szennyeződések forrásai lehetnek, mivel beépülve a táplálékláncba más élőlényeket is károsíthatnak.

A légszennyezettség hatása a művi környezetre

A városokban és az ipari területeken a légszennyezettség okozta korróziós folyamatok következtében fokozottan romlik az épületek, köztéri szobrok, közlekedési eszközök és létesítmények (utak, hidak), műszaki berendezések (pl. távvezetékek) és egyéb vasból, cinkből, rézből és alumíniumból készült szerkezeti elemek állapota.

A korróziós folyamatokban elsődleges szerepe van a savképző szennyeződéseknek (kén-dioxid, kloridok, nitrátok stb.), amelyek a fémfelületeken elektrokémiai folyamatokat indukálnak, illetve reakcióba lépnek az épületek és műemlékek márvány és egyéb mészkő tartalmú építőanyagaival. Több híres történelmi műemlék szenvedett komoly károkat pl. Athénban, Rómában vagy Velencében a levegőszennyeződés miatt.

A gazdasági károk mellett a légszennyezettség okozta esztétikai károk is jelentősek.

A légszennyezettség hatása az emberi egészségre

A levegő tisztasága igen fontos az ember egészségének megóvása szempontjából. A szennyezett levegő gyengíti a szervezetet, betegségeket idézhet elő, a meglévőket súlyosbíthatja, késleltetheti a gyógyulást. A hirtelen fellépő, rövid ideig tartó magas terhelés akut megbetegedéseket okoz. Az ilyen szennyezés „szelektál”, az érzékeny populációt támadja. Hosszú távon a levegőszennyezés megváltoztathatja az élettani folyamatokat, krónikus betegségeket hozhat létre, sőt genetikai károsodásokat is okozhat.

A légszennyeződés irritálhatja a nyálkahártyákat és a szemet, kellemetlen szaga lehet, csökkentheti a napfény- és ultraibolya sugárzását, zavarhatja a jó közérzetet. A szilárd halmazállapotú légszennyező anyagok felületi szennyeződést okozhatnak, amellyel bőr irritációt válthatnak ki. Elsősorban mégis a légzőszerveken át bejutó szennyeződés károsítja leginkább az egészséget. A durva részecskék a felső légutakhoz tapadhatnak, irritációs tüneteket okozva (tüsszentés, köhögés, szárazság- illetve diszkomfort érzés a torokban). A belélegzett aeroszolok finom frakciói, és a gáznemű anyagok azonban eljutnak az alsó légutakig. Az aktív légcsera a tüdő-lég'hólyagocskák légzőhámával bélelt felületén megy végbe, ahol a szennyező anyagok egy része lerakódik és akkumulálódik, más része feloldódik a testnedvekben, majd felszívódva bekerül a vérkeringésbe.

A tartós kitettség, krónikus irritáció okozta oxidatív stressz, illetve a proinflammatorikus faktorok megnövekedett szintje révén a tüdőben krónikus gyulladásos folyamatok indulhatnak el. E faktorok a vérkeringés révén más szervekben is elindíthatnak gyulladásos folyamatokat, mely krónikus betegségek kialakulásához vezethet például az erekben, szívben, vesében. Az agyban e krónikus gyulladásos folyamatok a magzatok és kisdedek idegrendszeri fejlődését is megzavarhatják, így hozzájárulhatnak tanulási nehézségek, egyes viselkedési zavarok kialakulásához, időseknél pedig gyorsíthatják a degeneratív idegrendszeri folyamatokat (*Beregszászi, 2014*).

A légszennyező anyagok expozíciója

Az **expozíció** úgy értelmezhető, mint az ember és a környezeti ágens(ek) közötti kapcsolat. Az **expozíció értékelése** azt jelenti, hogy azonosítják és meghatározzák az adott időben történő expozíciót, vagy becsléssel állapítják meg a várható expozíciót.

Az expozíció meghatározásának minimum követelménye ismerni a ható ágensek koncentrációját, és a hatás időtartamát. A pontosabb vizsgálat feltételezi a szennyező források, a közvetítő közeg, valamint az expozíció útjának és gyakoriságának ismeretét. A légszennyező anyagok toxicitása, szinergista, vagy antagonistá hatása, és a környezeti paraméterek (páratartalom, hőmérséklet), mint külső tényezők szintén fontos szerepet játszanak az expozícióban. Az exponált szervezet általános állapota és a ható anyagokkal szembeni öröklött vagy szerzett érzékenysége, mint belső tényező szintén tekintetbe veendő.

Ezek eredőjeképpen a következő hatások jöhetnek létre az egyén esetében: akut tünetek és megbetegedések, krónikus betegség, fontos élettani folyamatok megváltozásai, káros és kellemetlen hatások, halál.

Lényeges megkülönböztetnünk a **rövid időn belül bekövetkező (short term) hatásokat** és a **hosszabb idő után bekövetkező (long term) hatásokat**.

A szennyezett levegő egészségkárosító hatását élettani és epidemiológiai módszerekkel vizsgálják.

Az **élettani kísérleteket** túlnyomórészt laboratóriumi állatokon végzik, de számos in vitro módszer is rendelkezésre áll a vizsgálatokhoz. A kísérleti eredmények alapján határozzák meg a megengedhető maximális koncentrációkat, az ún. élettani határértékeket. Az élettani határértékek alapot adnak a lakosság egészségi állapotának megóvásához.

Az **epidemiológiai vizsgálatok** képezik a légszennyeződés hatásainak kimutatására szolgáló módszerek másik csoportját. A vizsgálatok célja, hogy összefüggést állapítson meg a morbiditási-mortalitási viszonyok és a légszennyezettség között. Az egyértelmű következtetések levonását számos zavaró tényező megnehezíti. Számolni kell azzal, hogy a légszennyezettség hatásait más körülmények, mint például a dohányzás, munkahelyi expozíció, külső hőmérsékleti változások elfedik. A vizsgálandó populáció az expozíció szempontjából nem homogén. Nehézséget jelent, ha a szennyezett és a kontroll területen élő lakosság egyéb, például szociális körülményeket tekintve is különbözik.

A **növényvilágot és az épített környezetet**, mint helyhez kötött tényezőket ért expozíció megállapításánál összefüggést kell keresni a légszennyező anyagok, és az érzékeny vegetáció, valamint az épített környezet földrajzi eloszlása között.

Ezzel szemben az **embereket** ért expozíció meghatározása sokkal bonyolultabb, ha figyelembe vesszük mobilitásukat, másrészt azt, hogy az emberek idejük nagy részét belső terekben töltik, tehát a környezeti expozíció meghatározása mellett az itt ért expozíciót is meg kell állapítani.

Az egyéni és a teljes populáció expozíciójának megállapítására különböző módszerek állnak rendelkezésre. Személyi monitorozással mérhető az egyén aktuális expozíciója. A lakosság hosszú idejű expozíciója megállapításához szükséges ismerni a légszennyező anyagoknak az adott időszakra vonatkozó átlagkoncentrációját, a szennyezettség területi eloszlásának figyelembevételével, és a lakosság életmódjával kapcsolatos információkat. A számításokhoz szükséges légszennyezettségi adatok, mérések, vagy diszperziós modellszámítások segítségével biztosíthatók. A lakosság életmódjára vonatkozó adatok a legkönnyebben kérdőívek kitöltésével nyerhetők.

A lakosság környezeti szennyező anyagoknak, így a légszennyezőknek való kitettségét humán biomonitoring vizsgálatokkal is megismerhetjük. A humán biomonitoring vizsgálatok célja a különböző forrásokból származó, környezeti expozíciót jelző anyagok koncentrációjának mérése vizeletben, vérben vagy anyatejben, és egyéb szövetmintákban. E vizsgálatokkal közvetlenül, a szennyezőanyagok okozta tünetek és betegségek kialakulása előtt megállapíthatjuk a kitettséget, mely prevencióra ad lehetőséget. Mérhetjük a mintában a légszennyezőt, illetve annak metabolitját. A vízben oldódó metabolitok hamar kiürülnek a vizelettel, ezeknek a magasabb szintje akut expozícióra utal. Vannak zsírban oldódó, illetve szervezetben akkumulálódó szennyezők (pl. nehézfémek, PCB-k, dioxinok), melyek évekig megmaradnak a szervezetben, ezek magas szintje krónikus expozícióra utal (részletesebben: „*A humán biomonitoring szerepe a környezet-epidemiológiai vizsgálatokban*” c. fejezetben).

A BELTÉRI LEVEGŐMINŐSÉG

Dr. Rudnai Péter, Dr. Kakucs Réka

Az emberek idejük jelentős részét (85-90%-át) töltik zárt terekben, ezért fontos azok levegőminőségének ismerete. Ide tartoznak a lakások, gyermek- és oktatási intézmények, sport- és kulturális létesítmények, egészségügyi intézmények, munkahelyi előírásokkal nem szabályozott munkahelyek (pl. irodák), vendéglátó ipari, kereskedelmi, közszolgálati és szolgáltató létesítmények, illetve a közlekedési eszközök utasforgalmi területei. Ezek levegőminőségére előírások nincsenek, pedig a belső terek légszennyezettsége komoly probléma. A légtér rossz minősége csökkenti a komfortérzetet, esetleg rosszullétet, általános- és légúti irritációs tüneteket eredményezhet, hosszabb távon légúti megbetegedések, allergia, asztma, illetve egyéb krónikus és daganatos megbetegedések kialakulásához is hozzájárulhat. A beltérek levegőminőségére vonatkozó előírások egy része építészeti, épületgépészeti szabványokban és jogszabályokban található (pl. belső terekre vonatkozó ajánlott légcsereszám, illetve egy főre jutó friss levegő ellátottság). A belső terek egyes légszennyezőire – különböző egészségügyi szervezetek által – javasolt irányértékek mutatják az egészségkárosodást még nem okozó beltéri koncentrációkat (elővigyázatossági irányérték) illetve a beavatkozást igénylő koncentrációkat (egészségügyi kockázati irányérték). Magyarországon a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ által javasolt, más nemzetközi szervek irányértékeivel összhangban lévő értékek az irányadóak, melyek elérhetőek az intézet honlapján¹⁸.

A beltéri levegőminőség meghatározói

A beltéri levegő minőségét fizikai, biológiai és kémiai tényezők együttesen határozzák meg. A **fizikai paraméterek** közé tartozik a páratartalom, a hőmérséklet, a világítás, a zaj, a rezgés és az elektromágneses mező. A **kémiai tényezők** közé sorolható a dohányfüst, a nitrogén-dioxid, a formaldehid, a szén-monoxid, a radon, az azbeszt, aeroszolok, a különböző illékony szerves vegyületek, poliaromás szénhidrogének és szaganyagok.

A **biológiai eredetű** légszennyező anyagok, így a baktériumok, vírusok, gombák, szintén befolyásolják a beltéri környezet minőségét.

Szintén egészséghatással bíró, nem elhanyagolható tényező a funkció és a struktúra közötti összhang hiányából eredő káros hatások, például a zsúfoltság, melyek közvetve szintén hozzájárulhatnak a levegő minőségéhez is.

A jelenlévő légszennyezők koncentrációit a kültéri (környezeti) levegő minősége, a beltéri szennyezőforrások jelenléte, illetve a beltérben végzett tevékenységek határozzák meg. Az ezekből eredő beltéri levegőminőséget alapvetően befolyásolja a légcseré (szellőztetés) mértéke. A légcserének az egészség szempontjából alapvető, megfelelő mértékű friss levegő ellátottságot kell biztosítania.

¹⁸ <https://www.nnk.gov.hu/index.php/kozegessegugyi-laboratoriumi-foosztaly/kornyezetegessegugyi-laboratoriumi-osztaly/levegohigienes-laboratorium>

A légcseres módjától, mértékétől függ a beltéri forrásokból származó légszennyezők, illetve a beltéri levegőbe kilélegzett kórokozók felhígulásának mértéke, továbbá az emberek által kilélegzett szén-dioxid- és páradús levegő frissülése, de egyben a kültéri légszennyezők bejutásának mértéke is. Befolyásolhatják még a beltéri levegőminőséget egyes levegőkémiai folyamatok, illetve az esetlegesen alkalmazott szűrés vagy légtisztítás hatékonysága is.

A belső terek levegőjében találhatóak gáz, szilárd és folyadék halmazállapotú kémiai és biológiai légszennyezők. Mindezek eredhetnek tehát a kültéri levegőből vagy beltéri forrásokból, illetve jónéhány közülük mindkét forrásból származhat. A beltéri és kültéri koncentrációk aránya az adott beltérben utal a forrás helyére. A belső terekben előforduló szennyező forrásokból felszabaduló légszennyezők koncentrációja a belső (indoor) terekben magasabb lesz, mint a külső (outdoor) környezetben ($C_i/C_o > 1$), és fordítva.

A beltéri levegőminőség jellemző problémái

A beltéri levegőminőséggel kapcsolatos egyik alapvető probléma, hogy az épületeknek nem megfelelően tervezett vagy kivitelezett hőszigetelése, az új energetikai követelményeknek való megfelelés sokszor a beltéri légcseres csökkentéséhez vezetnek, amely jellemzően a belső terek fokozott légszennyezettségét okozza. Ezért nagy figyelmet kell fordítani az energetikai korszerűsítésekkel egyidejűleg kivitelezett szellőzés-korszerűsítésre is.

További probléma, hogy egyre több műanyagot használtak fel az utóbbi években az épületek építésénél és berendezésénél, amelyek erősen illékony adalékanyagokat tartalmazhatnak. Ezek az anyagok nagyon sok új, korábban nem tapasztalt expozíció forrásai. Emiatt fontos az alacsony emissziójú építő-, burkoló- és bevonóanyagok, valamint berendezések választása építésnél vagy felújításnál.

Harmadszor, a belmagasság – és általában a belső légtér – csökkentésével, a belső légtérben felszabaduló szennyező anyagok igen gyorsan olyan koncentrációt érhetnek el, amely már káros lehet az egészségre.

Egyes beltérekben (pl. oktatási- és nevelési intézményekben, várótermekben, egyes egészségügyi intézményekben, előadótermekben) a zsúfoltság, azaz ez egy főre jutó kis légtér okozhatja a levegő gyors elhasználódását, ezért ilyen épületekben alapvető fontosságú a megfelelő intenzitású szellőztetés fenntartása.

A beltéri levegő minőségét fizikai-, kémiai- és biológiai tényezők együttesen határozzák meg, amelyeket a következő bekezdésekben részletezzük.

A beltéri levegőminőség fizikai paraméterei

Léghőmérséklet

Az emberi szervezet működésének alapját jelentő biokémiai folyamatok zavartalanságának biztosítása érdekében fontos a belső hőmérsékletünk viszonylagos állandósága. Ezt az állandóságot a szervezet hőszabályozó rendszere a hőtermelés és a hőleadás egyensúlyának biztosítása útján éri el. Hőkomforton azt az állapotot értjük, amelyben a hőszabályozási folyamatokat nem éri jelentős terhelés, és így a szervezet valamennyi funkcionális rendszere viszonylag kedvező körülmények közt működhet.

Az emberi hőérzetet és a hőszabályozásának egyes folyamatait a levegő hőmérséklete, páratartalma, mozgása, valamint a szervezetre ható hőszugárzás egyaránt és egyszerre befolyásolja, például a hőségben való párologtatást, tehát a bőrfelület hűtését nehezíti a magas páratartalom, illetve a légmozgás hiánya. A klímaváltozás mérséklése érdekében szükséges energiatakarékosági törekvések új formában vetik fel a kérdést: meddig lehet, illetve ésszerű csökkenteni a lakások levegőjének hőmérsékletét télen anélkül, hogy az a bentlakókban valamilyen kórfolyamatot idézne elő, illetve milyen magas beltéri hőmérséklet az, ami már nem viselhető el a beltér hűtése nélkül.

A WHO összegző tanulmánya (WHO, 2018) szerint a minimális egészségkockázatot jelentő neutrális hőmérsékleti tartomány többek között függ az éghajlati viszonyoktól az emberi szervezet adaptációs képessége miatt. A közép-európai régióban épült, egészséges embereket befogadó helyiségek ajánlott hőmérsékleti irányértékei: télen minimálisan 17-18°C, nyári hőségben 28°C (melegebb éghajlatú országokban akár 31°C). A különböző funkciójú beltérek (pl. irodák, munkahelyek, gyermekintézmények, egészségügyi intézmények, sportolásra alkalmas beltérek) optimális és elfogadható paraméterei természetesen eltérnek egymástól. Fontos figyelembe venni azt is, hogy az érzékeny lakosságcsoporthoz tartozók (csecsemők, idősek, szív- és érrendszeri, illetve légúti betegek) toleranciája alacsonyabb.

A neutrális hőmérsékleti tartományon kívül az alkalmazkodáshoz többletenergiára van szükség, így az egyéb környezeti tényezőkhez való alkalmazkodás, illetve az azokkal szembeni ellenállóképesség lehetőségének jelentős csökkenése miatt kóros folyamatok indulhatnak el a szervezetben. A szervezet, vagy valamely részének huzamosabb ideig történő lehűlése például ízületi- és izomfájdalmakat vagy neuralgiát (idegfájdalmat) okozhat, illetve csökkenti a szervezet légúti fertőző betegségekkel szembeni ellenállóképességét. Ugyanígy a nagy meleg csökkenti a fizikai és szellemi teljesítményünket, kiszáradást, hőségütést okozhat, mindamellett, hogy súlyosbítja a krónikus szív-érrendszeri és légúti betegségek tüneteit, növeli a halálozást.

Hőkomfort szempontjából lényeges szempont továbbá, hogy ne legyenek túl nagy hőmérsékleti különbségek a helyiségek különböző részei között, így például vertikális irányban – a padlótól fejmagasságig – ne haladja meg a 2-3°C-t, horizontális irányban az ablaktól a szemközti falig a 2°C-t. Ha a határoló falfelületek hőmérséklete több, mint 5°C-kal hidegebb, a helyiség átlaghőmérsékleténél, az már páralecsapódáshoz, tartósan penészesedéshez vezethet. A légmozgás optimális mértéke a téli hónapokban 0,1-0,15 m/sec, 24°C fok körül 0,25-0,3 m/s, míg 26-28°C esetén 0,5-0,8 m/sec is elfogadható, egyéni érzékenységtől függően.

A levegő hőmérsékletét, relatív páratartalmát, a légáramlás sebességét és a hőszugárzást is figyelembe vevő *korrigált effektív hőmérséklet* mérése térdmagasságban (a padlószint felett 0,5 m magasságban) történik. Az erre az értékre vonatkozó követelmények meghatározásánál feltételezzük, hogy a bentlévők szokásosan öltözöttek és nyugalomban vannak. A mosdóhelyiségekben, öltözőhelyiségekben 2-3°C-kal magasabb hőmérsékletre van szükség, mint a lakó-, dolgozó- vagy szolgáltató-helyiségekben. Alvásra szolgáló helyiségekben pedig éjszaka a nappalinál 2-3°C-kal alacsonyabb hőmérséklet kívánatos, szintén alacsonyabb hőmérséklet szükséges a sportolásra kialakított beltérekben.

Törekedni kell arra, hogy még nyári hőségben se haladja meg a beltéri hőmérséklet az egészséges ember számára még tolerálható 28°C-ot. Az épületek többségében ez biztosítható passzív módszerekkel, melyek alkalmazásával jelentősen csökkenthetjük a beltérek nappali csúcshőmérsékletét (IV. táblázat).

IV. táblázat Belső terek nappali csúcshőmérsékletének csökkentési lehetőségei

Passzív módszerek	Elérhető nappali hőmérséklet-csökkenés
éjszakai szellőztetés	1-3°C
a légmozgás növelése a keresztfalakon elhelyezett szellőzőnyílásokkal + ventilátorral	1-3°C
a gravitációs szellőztetés (hűvösebb levegő beáramlás lent, meleg levegő távozása felső ablakon vagy tetőnyíláson)	1-5°C
napelemes légmozgatás, friss levegő árnyékos oldalról	3-6°C
bokros-fás környezet az épület körül	1-5°C
növényi talajtakaró az épület körül – gumitégla, térkő, kavics, beton kültéri burkolat helyett	1-3°C
zöld növényzettel befuttatott falak	1-5°C
zöld növényzettel beépített tetők	1-5°C
fehér háztető	2-4°C
túlnyúló tető, déli falakat is árnyékoló napellenző, napvitorla	2-3°C

Ha az épület adottságai olyanok, hogy a passzív védekezési technikák biztosítása ellenére a nyári hónapokban a hőmérséklet tartósan meghaladja a 28°C-t az épület beltereiben, elsősorban alternatív energiát felhasználó, alacsony energiaigényű, hőcserélős, mesterséges szellőztető rendszer kiépítése javasolt, mely megfelelő mennyiségű friss levegőt is szolgáltat, szűri és szükség szerint hűti/fűti a beáramló levegőt. Ilyen rendszer esetén a hűtési célhőmérsékletet 26°C-ra javasolt beállítani. Klímavédelmi, energiaatakarékossági szempontból nem javasolt a helyiségenkénti split klímaberendezés beépítése, mivel a nem közvetlenül napelemmel működtetett légkondicionáló berendezések elterjedt használatával egyre több elektromos áramot fogyasztunk, amelynek előállítása szén-dioxid-termeléssel és további felmelegedéssel jár. A sok működő klímaberendezés továbbá hozzájárul a városi hősziget jelenség kialakulásához, amitől még magasabb lesz a hőmérséklet az épületek környezetében. Emellett a helyiségekbe beszerelhető split klímaberendezések csak a belső levegőt keringtetik és hűtik, miközben friss levegőt nem szolgáltatnak. Ezek alkalmazásakor különösen nagy a veszélye annak, hogy a hűvös levegő megőrzése érdekében a helyiségekbe nem jut elegendő friss levegő, ezért a szén-dioxid, a kórokozók és az egyéb beltéri légszennyezők feldúsulhatnak a beltéri levegőben.

A levegő páratartalma

A levegő páratartalmán a vízgőz jelenlétét értjük, amelynek mértékét egyaránt jellemezhetjük az abszolút és a relatív nedvességgel, valamint a telítési hiánnyal. Az abszolút nedvesség az 1 m³ levegőben lévő vízgőz grammokban kifejezve. Minden hőmérsékleten van egy meghatározott vízgőz mennyiség, amelynél többet a levegő nem vehet fel (telítési maximum). A relatív nedvesség az a mérőszám, amely megmutatja, hogy az aktuálisan mért abszolút nedvesség a telítési maximum hány százaléka.

A vízpára az emberi és az állati szervezet anyagcsere-, légzési és hőszabályozási folyamatainak normális mellékterméke. Jelentős azonban a háztartási tevékenységek során képződő vízpára mennyisége (V. táblázat), és vízpára juthat az épületekbe szigetelési hibák miatt is.

V. táblázat **Vízpára termelő tevékenységek***

Tevékenység	Nedvesség (kg)	Megjegyzés
vízpára kilégzése (4 fő*12 óra)	2,5	elsősorban a hálósobában
főzés gázzal (napi 3-4 óra)	2,1	összes konyhai tevékenység 3,7 kg
mosogatás	0,5	
felmosás	1,1	
mosás	2,0	
ruhaszárítás (4 fős családnál)	12,0	
tisztálkodás: zuhanyozás	0,2	
fürdés kádban	0,1	

* Cocklin nyomán (forrás: Cocklin, 1985)

A *magas relatív páratartalom*, különösen, ha magas léghőmérséklethez társul, kedvezőtlenül érintheti a szervezet hőegyensúlyát azáltal, hogy csökken az izzadság elpárolgásának mértéke és így lassul a hőleadás. Különösen érzékenyek a magas páratartalomra a szívbetegségeket, akiknél szívritmus zavarok vagy egyéb szív működési rendellenességek léphetnek fel, otthonaikban érdemes a relatív páratartalmat 50% alatt tartani.

Ugyanakkor a *túl alacsony relatív páratartalom* általában – és magasabb léghőmérséklet mellett különösen nagymértékben – fokozza a nedvesség elpárolgását a légutakat borító nyálkahártyáról. Magas hőmérséklet és alacsony páratartalom esetén fontos a szervezet folyadékpótlására figyelni, különösen kisdedek és idősek esetén.

A relatív páratartalom befolyásolja a levegőben lévő *mikroorganizmusok* túlélését is. Ezek az 50% körüli relatív páratartalmat viselik el a legkevésbé. Feltételezik, hogy ennél a páratartalomnál a legkedvezőbbek a levegőrészecskék agglomerációs lehetőségei, amelyek a baktériumokat hordozó részecskék gyors kiülepedéséhez vezetnek. Ettől az optimális értéktől bármelyik irányban távolodva, a baktériumok túlélési képessége nő és egyéb kedvezőtlen következményekkel is számolni kell.

Magasabb, 65-70% feletti páratartalom kedvező feltételeket teremt az allergiás reakciókat kiváltó *atkák* és *gombák* szaporodásához. Télen a nem kellően fűtött helyiségek harmatpont alá hűlt felületein kicsapódó nedvesség is kedvező életfeltételeket teremt a penészgombáknak.

Részen a gombákhoz társultan, részben azoktól függetlenül találkozhatunk az ugyancsak a magas relatív páratartalmat kedvelő házipor-atkákkal, amelyek ürüléke nagyon erős allergén. Fentiek alapján az 50% körüli relatív nedvességtartalom tekinthető a legkedvezőbbnek. A WHO ajánlása szerint 18-20°C mellett ne legyen kisebb a relatív páratartalom 30%-nál, és ne haladja meg a 60%-ot, illetve ennél magasabb hőmérséklet esetén az 50%-ot. A nagy páratermelő tevékenységeknek helyet adó helyiségekből a vizgőzt megfelelő szellőztetéssel el kell vezetni, a helyiségekben megfelelő mértékű *állandó szellőzést* is biztosítani kell, és a határoló felületek megfelelő hőszigetelésével, illetve a helyiségek megfelelő belsőtéri hőmérsékletének biztosításával meg kell akadályozni a páralecsapódást.

A belsőtéri levegő ionviszonyai

Az ionok bizonyos anyagok (pl. gázok) elektromosan töltött részecskéi. A levegő gázainak ionizációját a nap ultraibolya sugarai, a kozmikus sugárzás, a talajlevegővel kiáramló radon stb. okozzák. Az ionizáció egyenlő mennyiségű pozitív és negatív ionokat hoz létre, melyek rövid, pár másodperc-perc élettartamúak. Irodalmi adatok szerint a friss levegőt 1 000 ion/cm³-t meghaladó negatív oxigénion koncentráció jellemzi, a zárt terek elhasznált levegőjében ennél kisebb. Az ionok egészségre kifejtett hatásairól tudományos evidencia nincs, egyes vizsgálatok felvetették a negatív ionok pozitív hatását a közérzetre, immunrendszerre, illetve egyes légúti, keringési és idegrendszeri folyamatokra, azonban ezek a leírt hatások a tudományos összefoglaló elemzések alapján nem nyertek megerősítést. Ha biztosítjuk a belső terekben a megfelelő szellőzést, azaz a kellő mennyiségű friss levegőellátást, az ionok koncentrációja is megfelelő lesz. Nem javasolt olyan légtisztító berendezéseket alkalmazni, amelyek negatív ionokat termelnek. Az iongenerátort (is) tartalmazó ionizáló légtisztítók az aeroszol részecskék feltöltésével csökkenthetik ugyan a levegőben lévő aeroszol részecskék mennyiségét, azáltal, hogy elősegítik kitapadásukat a helyiség felületeire, ahonnan a légárammal ismét a levegőbe kerülhetnek. A feltöltött részecskék könnyebben megtapadnak a légutakban is, tehát egészségre kifejtett hatásuk kérdéses. Továbbá az iongenerátorok magas feszültségen üzemelő technológiák, emiatt egészségre káros ózont termelhetnek, mely a levegőben lévő egyéb vegyületekkel reagálva káros aldehidek, ketonok, peroxidok keletkezéséhez vezethet, illetve egyes illékony szerves anyagok koncentrációját is növelhetik a beltéri levegőben. Mindezek következtében a gyermek-, szociális és egészségügyi intézményekben kifejezetten ellenjavallt e készülékek használata.

Friss levegő igény

A belélegzett légköri levegő általában 21% oxigént, 78% nitrogént, 0,97% nemesgázt és 0,03% szén-dioxidot (CO₂) tartalmaz. A tüdőben lezajló gázcsere eredményeként kilégzett levegőben már csak 16% oxigén van, a szén-dioxid mennyisége pedig 3-5%-ra nő.

A légzés során tehát a levegő elhasználódik, összetétele romlik és vízgőzzel is telítődik. Emellett a kilégzett levegőben lévő baktériumok, vírusok koncentrációi is jelentősen megemelkedhetnek zárt, gyengén szellőztetett terekben, ez a légúton terjedő járványok időszakában elsődleges szempont a szellőztetés megfelelő intenzitásának meghatározásában.

Az „elhasznált” levegő rossz közérzetet okozó hatásáért elsősorban a vízgőz- és a szén-dioxid tartalom, valamint egyes légszennyezők koncentrációinak emelkedése a felelős. A személyenként és óránként szükséges friss levegő mennyiségét a tevékenység, az életkor és az egészségi állapot is jelentősen befolyásolja. A szellőztetés megfelelő mértékének megállapításánál figyelembe kell venni az épületen belüli összes szennyező forrást (építőanyagokból, burkolatokból, bevonatokból, bútorzatból, egyes berendezésekből kiáramló kémiai légszennyezők), továbbá a biológiai eredetű szennyezőket és az épület penészesedési hajlamát is (*lásd lentebb*).

Az **érezelt levegőminőség** mérésére két egységet, az *olf*-ot és a *decipol*-t használják. Az *olf* (*olfactus* = szag) a szennyező források erősségét fejezi ki. 1 *olf*-nak nevezik az egy átlagos személy által kibocsátott szennyeződést. Ez tulajdonképpen egy relatív egység, mert minden szennyező forrást úgy jellemezzük, hogy megadják, hogy az adott szennyező forrás hány átlagos személy (*olf*) emissziójával egyenértékű. A *decipol* (*pollutio* = szennyeződés) az észlelt levegőminőség jellemzésére szolgál. 1 *decipol* az a szennyeződés, amelyet egy átlagos ülő személy (*olf*) idéz elő, 10 liter/sec tiszta levegővel való szellőzés mellett.

Tehát 1 *decipol* = 0,1 *olf* (l/s). Ezen egységek segítségével meghatározható, hogy milyen szellőztetés szükséges ahhoz, hogy egy adott – *decipol*-ban kifejezett – levegőminőséget kapjunk egy olyan helyiségben, ahol adott – *olf*-ban kifejezett – szennyező forrás található.

Többnyire az elégtelen szellőzéssel, illetve a figyelmen kívül hagyott ún. rejtett szennyező forrásokkal állnak összefüggésben az ún. **beteg épület tünetegyüttes** (**sick building syndrome, SBS**) szubjektív panaszai és objektív tünetei (VI. táblázat). Mindamellet, hogy bizonyos biológiai tényezők (életkor, nem) is jelentősen befolyásolják ezek gyakoriságát, az épületekben előforduló objektív okoknak meghatározó jelentősége van. Ezek a panaszok és tünetek ugyanis sokkal gyakrabban fordulnak elő azokban az épületekben, amelyeknek szellőzése nem kielégítő, azaz a szellőzés mértéke nincs arányban az épületben található szennyező források szennyezőanyag-kibocsátásával. Beteg-épületre kell gyanakodni abban az esetben, ha az épületben huzamosan tartózkodó egyéneknél nagyobb arányban fordulnak elő a jellemző tünetek (VI. táblázat), mint általában a lakosságban, illetve ezek a tünetek jellemzően az épületben tartózkodással összefüggenek, az épület elhagyása után rövidebb-hosszabb idő múlva megszűnnek, vagy intenzitásuk csökken.

VI. táblázat **A beteg épület tünetegyüttes fő tünetcsoportjai**

1. Szemirritáció, orr és torok szárazság * csípő, szűrő, irritáló érzés * rekedtség, hangelváltozás 2. Bőr irritáció * bőrpír * csípő, szűrő, viszkető érzés * bőrszárazság 3. Idegrendszeri tünetek * szellemi kimerültség * memóriakapacitás csökkenés * letargia, álmoság * csökkent koncentrálóképeség * fejfájás * szédülés * hányinger * fáradtság 4. Aspecifikus túlérzékenységi reakciók * orr- és szemváladékozás * asztmaszerű tünetek (egyébként nem asztmás személyen) * spasztikus légzés 5. Szaglási és ízérzésbeli panaszok * megváltozott érzékenység * kellemetlen szag- és ízérzés

A légcserére vonatkozó nemzetközi szabványok (pl. MSZ- EN 16798-1:2019) próbálnak egyensúlyt találni az egészséget és teljesítményt nem károsító beltéri levegőminőség és a minél kisebb energiafelhasználás között. Meghatározzák a **személyenkénti szellőző igényt**, azaz az alap légcserét a nyugalomban lévő, fizikai aktivitást nem végző benttartózkodók szén-dioxid és pára kibocsátása alapján, ezen felül további légcseré-szükségletet az adott helyiségben az építőanyagok, berendezési tárgyak, illetve a különböző tevékenységek során használt termékek károsanyag-kibocsátásának megfelelően, továbbá a bent-tartózkodók fizikai vagy szellemi aktivitása szerint. A személyenkénti friss levegő igény minimum 25 m³/óra/fő (7 liter/másodperc/fő). Ezen felül az épütemisszió miatt szükséges szellőzés: 1-7 m³/óra/m² (alacsony, illetve magas épütemisszió esetén, amelyet az épületanyagok formaldehid, VOC és karcinogén anyag kibocsátása alapján állapítanak meg), melyet hozzáadva a személyenkénti friss levegő igényhez, egy személyre mintegy 29-30 m³/óra/fő (8 liter/másodperc/fő) légmennyiséget jelent.

Amennyiben nincs beállítható frisslevegő-szállítással bíró mesterséges szellőztető rendszer, az elégséges friss levegő utánpótlás **szén-dioxid monitor** segítségével biztosítható. A beltéri szén-dioxid-koncentráció a légcseré mértékének indikátora, koncentrációja általában arányosan változik a többi beltéri légszennyező anyag koncentrációival.

Így a monitor jelzi a szellőztetés megfelelőségét vagy elégtelenségét. Kültérben a levegő szén-dioxid tartalma jelenleg 415 ppm körüli. Több ember által használt beltérekben a levegő minősége jónak mondható 1 000 ppm szén-dioxid koncentrációig, azaz 0,1 tf %-ig, így a javasolt beltéri irányérték 1 200 ppm. 1 500 ppm felett már kimutatható kognitív működésbeli

csökkenés, koncentrálóképesség-csökkenés, a 2 000 ppm értéket elérve pedig álomosság, fejfájás és egyéb fizikai tünetek észlelhetők. Ilyen értékeknél már nemcsak a teljesítmény csökken, hanem a figyelmetlenségből adódó balesetek kockázata is nő. Egy ember szén-dioxid kibocsátása kb. 20 dm³ CO₂/óra, ami több ember jelenléte esetén jelentősen meg tudja emelni a helyiség szén-dioxid koncentrációját zárt légtérben. Minél kisebb egy helyiség, illetve minél több a benttartózkodó személy, annál hamarabb elhasználdik a levegő. A szén-dioxid koncentráció megfelelő szinten tartása tehát ilyen helyiségekben szén-dioxid-monitorok/riasztók felszerelésével lehetséges, mely jelez, ha a leveő CO₂ tartalma eléri az irányértéket, és szellőztetni szükséges. A szén-dioxid monitor segítségével a szellőztetés is jól szabályozhatóvá válik, megfelelő, ha a teljes átszellőztetés 600-700 ppm alá csökkenti a szén-dioxid szintet.

Amennyiben még nincs szén-dioxid monitor a közhasználatú épületek helyiségeiben, a **természetes szellőztetés szükséges gyakoriságát becsülni** lehet a bent tartózkodók és a terem nagysága alapján. Az egy személyre biztosítandó frisslevegő 29-30 m³/óra/fő, tehát amennyiben egy főre 30 m³ légtér jut (3 méteres belmagasságnál 10 m² alapterület egy főre, ami például egy 100 m²-es teremben 10 fő tartózkodását jelenti), akkor ez a levegőmennyiség egy órára elég, tehát éppen óránként szükséges átszellőztetni a helyiséget. Amennyiben 10 m²-nél több terület jut egy személyre, elégséges ritkábban (pl. napi háromszor) szellőztetni. Amennyiben azonban egy főre 10 m²-nél kisebb alapterület jut (gyermekintézményekben jellemző a 2 m²/fő, de bizonyos időszakokban gyakori a zsúfoltság egyes várótermekben, ügyfélszolgálati irodákban, előadótermekben, tömegsport-termekben is), az óránkénti átszellőztetés mellett meg kell oldani a folyamatos frisslevegő-utánpótlást is, például folyamatosan résnyire vagy bukttatva nyitott ablakok, kültéri levegőt beengedő légbevezető nyílások segítségével.

Természetesen, ahol nagyobb a belmagasság (ez jellemző egyes színház- és koncerttermekben, előadókhban), ott egy főre kevesebb alapterület is nagyjából biztosítja a 30 m³ légvolumet (pl. 6 méteres belmagasságnál 5 m² alapterület).

A fentebb részletezett alap friss levegő igénynél 1,5-2-szer több friss levegő biztosítandó magas szintű szellemi tevékenység (fokozott szellemi teljesítményt igénylő munka, vizsga) és sporttevékenység esetén, mivel ilyenkor a szervezet több oxigént fogyaszt és több szén-dioxidot termel. Szintén a fent javasoltnál gyakrabban szükséges szellőztetni járványhelyzet esetén, hogy a beltérben esetlegesen felhalmozódott kórokozók koncentrációját csökkentsük.

Az, hogy mennyi idő alatt szellőzik át egy helyiség, szén-dioxid monitor nélkül nem mondható meg pontosan. A légcseré sebessége a nyitható ablakok mérete mellett azok elhelyezkedésétől és egyéb paraméterektől is függ (pl. kültéri/beltéri hőmérséklet-különbség, keresztvázat). Míg télen (amikor a bel- és kültéri hőmérséklet közötti különbség 15-20°C) akár 5 perc is elég a légcseréhez, meleg időben (amikor a hőmérséklet-különbség csak 1-2°C, a legtöbb esetben a helyiség sokszor nem szellőztethető át 20-30 perc alatt sem).

Ez esetben kismértékű, folyamatos szellőztetés szükséges (résnyire vagy bukttatva nyitott ablakok, kültéri levegőt beengedő légbevezető nyílások segítségével), illetve a légmozgást növelhető napelemmel működtetett ventilátorok alkalmazásával.

Állandó kültéri légszennyezettség és zaj esetén mesterséges szellőztetés kialakítása szükséges, mely biztosítani tudja a megfelelő mennyiségű friss, szűrt levegőt (szakszerű beállítás és karbantartás estén).

A beltéri levegő kémiai szennyezői

A kémiai légszennyezők egy része csak időszakosan jelenik meg vagy koncentrációjuk csak bizonyos időszakokban emelkedik meg (pl. a bontási-, felújítási- és barkácmunkák során), másik részük folyamatosan a beltéri levegőbe jut a beépített anyagokból, burkolókból, berendezési tárgyakból. Vannak intermittálóan megjelenő beltéri légszennyezők, melyek a mindennapos vegyszerhasználat (takarítás), illetve a különböző tevékenységek során kerülnek a levegőbe (beltéri mozgásos tevékenység, vagy festékek, lakkok, egyes kozmetikumok időnkénti alkalmazása esetén).

Beltéri légszennyező források:

- építőanyagok (falburkolók, padló, nyílászárók, szigetelők),
- bútorzat, berendezési tárgyak,
- árnyékolók, függönyök, szőnyegek, egyéb lakástextilek,
- fénymásolók, nyomtatók, multifunkciós berendezések,
- ragasztók, festékek, lakkok, oldószerek alkalmazása, illetve nem megfelelő tárolása,
- kozmetikumok (hajlakkok, körömlakkok, spray-dezodorok, illatosítók),
- a takarítás hiánya miatt kiülepedett por,
- tisztítószeres,
- penész (beázás, nedvesedés, páralecsapódás, hőhidak esetén),
- kisállatok,
- a bent tartózkodó személyek is hozzájárulnak a levegő elhasználódásához az általuk a levegőbe juttatott CO₂, pára, hő, baktériumok és vírusok kibocsátása révén.

A fenti beltéri forrásokból és egyes tevékenységekből származó ***leggyakoribb fizikai-kémiai légszennyezők:***

- kisméretű aeroszol részecskék,
- formaldehid és egyéb aldehidek,
- egyéb illékony szerves vegyületek (VOCs: volatile organic compounds): toluol, etil-benzol, xilol, vinil-klorid, triklóretilén, tetraklóretilén, terpének (limonén, alfa-pinén), naftalén,
- félillékony vegyületek (SVOCs: semi-volatile organic compounds): ftalátok, biszfenolok, brómozott égésgátlók, polifluorozott vízlepergető- és foltaszító anyagok, növényvédőszeres,
- azbeszt,
- radon (mely az épület alatti talajból kerül a légterbe).

A légszennyezők koncentrációja

A szennyezőanyagok épületen belüli koncentrációja sok tényezőtől függ és a következő egyszerűsített egyenlettel írható le:

$$V (dC_i / dt) = P - E - Q (C_i - C_o)$$

- ahol: **V** a belső légtér összterfогata (m³)
C_i a szennyezőanyag belsőtéri koncentrációja (μg/m³)
P a szennyezőanyag termelőési vagy kibocsátási hányadosa (μg/h)
E a szennyezőanyag kémiai reakció, felületi megkötődés, kiszűrődés vagy leülepedés általi óránkénti eliminációjának hányadosa (μg/h)
Q a külső és belső tér közötti légkicserélődési hányados (m³/h)
C_o a szennyezőanyag külső koncentrációja (μg/m³)

A légkicserélődési hányadost lehet helyettesíteni az egy órára eső teljes légcsere számával, azaz azzal a számmal, amely megadja, hogy a belső térsi térfogatú levegő mennyiség óránként hányszor cserélődik ki. Ez történhet természetes (ablakon át történő) vagy mechanikus (ventilátoros) szellőztetéssel vagy az épületek falán vagy egyéb szerkezeti elemeinek repedésin keresztüli szivárgással. Erősen szigetelt házakban a légcsere mértéke lecsökkenhet 0,2-re is.

Az egyensúlyi állapot beálltával az egyenlet egyszerűsödik:

$$C_i = C_o - (P - E) / Q$$

Ha a szennyezőanyag főként a belső terekben képződik, akkor a C_o gyakorlatilag nullának tekinthető és a belső koncentráció fordítottan arányos lesz a légkicserélődési hányadossal. Hasonló matematikai leírás használható a külső terek vonatkozásában is. Az alapvető különbség a belső és a külső levegő esetében a keveredési térfogat nagyságrendjében van. Az épületek keveredési volumene sokkal kisebb, mint a külső légrétegeké. Ily módon, egy olyan szennyező anyag, amely a külső terekben nem okoz veszélyes hatásokat, legfeljebb a kibocsátás közvetlen közelében, azonos termelőés esetén a belső terekben már veszélyes koncentrációkat érhet el.

A továbbiakban néhány fontos belsőtéri szennyező anyag lehetséges forrásait és egészségügyi hatásait tárgyaljuk. E légszennyezők ajánlott beltéri irányértékei az NNGYK honlapján találhatóak¹⁹.

Formaldehid

A beltérekben a formaldehid számos faalapú- és műanyag berendezési tárgyból szabadulhat fel, például az urea-, melamin- vagy fenol-formaldehid alapú ragasztóanyaggal (gyantával) készített pozdorja- és faforgácslapokból, műanyag padlóburkoló anyagokból, az urea-formaldehid szigetelőanyagokból, a padlószőnyegekől és tapétákból, a lakkokból és festékekből stb.

¹⁹ <https://nnk.gov.hu/index.php/kozegegeszegugyi-laboratoriumi-foosztaly/384-kornyezetegeszsegugyi-laboratoriumi-osztaly/levegohigienes-laboratorium/lakossagi-tajekoztato-tartalmak/belteri-levego/2303-belteri-legszeny-nyezokre-vonatkozo-iranyertekek.html>

A formaldehidet a tapétáknál és parkettáknál penészedésgátlóként, azaz gombák ellen alkalmazzák. Jelentős formaldehid forrást jelent a dohányzás is.

A formaldehid kibocsátás mértéke az alkalmazott technológiától és a felhasználás körülményeitől függ. A levegő hőmérsékletének, illetve relatív páratartalmának növelése és az intenzív UV-sugárzás a kibocsátást a többszörösére emelheti. Legmagasabb formaldehid koncentráció az új épületek beltéreiben, illetve felújított helyiségekben várható. A kipárolgó formaldehid mennyisége az idővel csökken, de a rosszabb minőségű anyagok esetében még 1-2 év múlva is magasabb a kipárolgás. Ezért nagyon fontos az alacsony emissziójú tanúsítvánnyal ellátott burkolóanyagok és berendezési tárgyak választása, illetve a felújítások olyan időszakra való tervezése, hogy használatba vétel előtt megvalósítható legyen a hetekig tartó intenzív, kereszthuzatos természetes szellőztetés.

A formaldehidet a WHO Nemzetközi Rákkutató Ügynöksége (IARC) 2004-ben az emberi daganatkeltő anyagok 1. kategóriájába sorolta. Kísérletekben bizonyították a rákkeltő hatást, embereknél csak magas koncentrációjú levegőben dolgozók körében figyeltek meg az orr- és garatnyálkahártya rosszindulatú daganatát és leukémiát. A lakásokban, irodákban, közhasználatú építményekben jellemzően a munkahelyi körülményeknél kisebb koncentrációk fordulnak elő.

A formaldehid rövid távon a nyálkahártyákat izgatja (irritáló hatás: égő, viszkető érzés a szemben, szúró érzés az orrban és a torokban), gátolja a légutak nyálkahártyáján lévő csillószőrök mozgását és ezáltal rontja a szervezet lokális védekezőképességét. A formaldehid erős allergén (szenzitizáló hatás). Az irritáló hatás általában $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t meghaladó koncentráció esetén figyelhető meg, míg a szenzitizáló hatás már ennél alacsonyabb koncentrációk esetén is kimutatható.

Formaldehid expozíciónak hosszabb távon kitett emberek körében gyakrabban fordul elő krónikus nátha és köhögés, krónikus légúti szűkület és nehézlégzés. Allergiás vagy gyulladásos légzőszervi betegségben szenvedők különösen érzékenyen reagálhatnak a formaldehid expozícióra.

Egyéb illékony szerves vegyületek (VOC-vegyületek)

Az illékony szerves vegyületek okozhatnak fejfájást, fáradtságot, koncentrálóképesség-csökkenést, légúti és érzékszervi irritációt, emellett hosszútávon egyes vegyületek máj-, vese- és idegrendszeri károsodást. Némelyikük szintén rákkeltő.

Jó oldószerek, számos termékben előfordulnak: építőanyagok, bútorok, festékek, lakkok, aeroszol spray-k (haj-spray, dezodor, légtisztító-spray, dekor-spray), tisztítószerek, ragasztók, szövegkiemelők, filctollak, korrektorok tartalmazhatják. Egyes fénymásolók és nyomtatók működésekor is jelentős mennyiségű illékony szerves vegyület kerülhet a levegőbe. Új berendezéssel rendelkező, illetve nem vízbázisú festékekkel festett helyiségekben magasabb koncentrációban mutathatók ki.

A burkolóanyagok közül a padlószőnyegek számos illékony szerves vegyületet (VOC-t) bocsáthatnak ki: mindenekelőtt a jellegzetes szaghatást okozó 4-fenil-ciklohexánt, továbbá

formaldehidet, sztirolt, acetont, metil-ciklopentánt, toluolt, xylolt, különböző benzol-származékokat, n-oktánt, n-undekánt, n-dodekánt stb. Ezeknek a vegyületeknek fontos szerepet tulajdonítanak az ún. többszörös kémiai érzékenység (Multiple Chemical Sensitivity, MCS) kialakulásában is.

A padlószőnyegek anyagából származó rostokon és vegyületeken kívül meg kell említeni annak ragasztóanyagaiból, festékeiből, az antisztatikus- és tűzállósági kezeléshez használt kemikáliákból, a gombaölőszerekből és peszticidekből származó emissziót is. A padlószőnyegek azonban nem csak a belőlük kiáramló vegyületek miatt jelenthetnek veszélyt a bentlévők egészségére, hanem ezek egyúttal gyűjtőhelyei is a különböző kémiai és biológiai szennyezőknek. Az atkák például kiváló tenyészhelyet találhatnak maguknak a rostok között, de a porszemcsékhez kötött baktériumok és a gombák is hosszú ideig megbújhatnak a nem megfelelően takarított padlószőnyegek mélyebb részeiben.

A polisztirol alapú anyagok sztirolt, a poliuretán habok diizocianátot emittálhatnak jelentősebb mennyiségben, melyek szintén egészségkárosító hatásúak.

Félillékony szerves vegyületek

Mind a porszemcsékhez kötött formában, mind a gőz fázisban jelen lévő félillékony szerves vegyületek közül számos hormonháztartást zavaró hatású, melyek főként a fejlődő szervezetben, de a felnőtteknél is a hormonok összehangolt, harmonikus működését megzavarva, számos kóros állapot kialakulásában játszanak szerepet. Így, magzati és kisdédkorban befolyásolhatják a nemi fejlődést, valamint hozzájárulhatnak egyes idegrendszeri fejlődési zavarok kialakulásához. A fiatal felnőtteknél is hatással vannak a nemi működések egészségére: termékenység-, spermiumszám csökkenést, meddőséghez vezető policisztás petefészek betegséget vagy endometriózist okozhatnak. A későbbi életkorokban befolyásolhatják az anyagcsere-folyamatokat, hozzájárulhatnak az elhízás és a cukorbetegség kialakulásához.

A legfontosabb ilyen vegyületek, és forrásaik:

- ftalátok és biszfenolok - egyes műanyag tárgyakban,
- brómozott égésgátlók - gépi szőnyegekben, sötétítőknél, kárpitokban, matracokban, elektromos és elektronikai berendezésekben,
- poli- és perfluorozott (PF) vízlepergető, folttasztó anyagok - szőnyegekben, kárpitozott bútorokban, műanyagpadlóknál,
- PAH-vegyületek - szerves vegyületek égésekor keletkeznek a levegőben (szénrel, fával, hulladékkal való fűtés, erdőtűz, bozóttűz, tűzijáték, grillezés), illetve megégetett ételekben, többször használt olajban,
- egyes növényvédőszerrel, rovarirtószerrel.

Nitrogén-dioxid (NO₂)

A lakások levegőjében található nitrogén-dioxid mennyiség legnagyobb része a dohányzásból és a nem megfelelő szellőzéssel ellátott gázüzemű készülékek (pl. gáztűzhely) használatából származik. A nitrogén-dioxid forrása lehet még a korszerűtlen parafet gázkonvektorok által kibocsátott – és az épületeket köpenyként körülvevő szennyezőanyag burokból visszaáramló – égéstermékek és a gépjárművek kipufogógázából származó légköri NO₂ szennyezettség.

Fontos, hogy mind a fűtőkészülékek és melegvíz-ellátó gázkészülékek, mind a konyhai gáztűzhelyek égéstermékének közvetlen elvezetését biztosítsuk, optimális esetben a lakás ablakaitól távoli helyen. Fontos, hogy a gáztűzhely használata miatt jelentős nitrogén-dioxid tartalmú konyhai levegő lehetőleg ne jusson be a lakószobákba, különösen pedig a gyermekszobába. Ezért ajánlott a gáztűzhely felett - kültérbe vagy szellőzőcsatornába vezetett (kürtös) - szagel szívót működtetni főzés közben. Optimális, ha emellett a konyha ablakkal is szellőztethető. A belső keringetésű (aktív szenes) elszívók hatásfoka gyorsan csökken, ezért kevésbé ajánlottak. Közhatalmatú épületek beltéreiben az EU országokban tiltott a dohányzás, és a nagyobb közhatalmatú épületekben nem jellemző a helyiségek gázkészülékkel való fűtése.

Azokban az épületekben, ahol nem működtetnek gázüzemű készülékeket, a beltéri levegő nitrogén-dioxid koncentrációját elsősorban a kültérből beáramló NO₂, azaz az ablakok előtti forgalom intenzitása határozza meg.

A NO₂ a légutakat károsítja, a gyulladásos és allergiás folyamatokat erősíti a szervezetben. A magasabb NO₂ koncentrációnak való kitettség nyálkahártya irritációt, a tüdőfunkció csökkenését, illetve az asztmás tünetek súlyosbodását okozhatja, tartós kitettség hozzájárulhat az asztma kialakulásához (lásd még a „*A leggyakoribb külső téri légszennyező anyagok*” c. alfejezetet).

A légúti betegek, valamint a gyermekek és az idősek különösen érzékenyek az NO₂ hatásaival szemben.

Szén-monoxid (CO)

A belsőtérsi szén-monoxid több forrásból származik: kipufogógázok beáramlásából (leginkább épülethez kapcsolt garázsok, mélygarázsok esetén), a rosszul beállított gázkészülékek használatából és a dohányzásból. Ahol a helyiségek levegőjéhez kapcsoltn nyílt égésterű fűtőkészülék működik, indokolt a szén-monoxid érzékelők beszerelése, és azok előírás szerű ellenőrzése.

A szén-monoxid egészségkárosító hatását elsősorban a haemoglobinhoz történő erős kötődése okozza, mert ezáltal akadályozza az oxigén haemoglobinhoz kötődését és tovább szállítását, és így a szervezet megfelelő oxigénellátását. Ennek következtében elsősorban az oxigénhiány iránt legérzékenyebb szövetek, szervek (szívizomzat, központi idegrendszer) működésében léphetnek fel zavarok. Különösen érzékenyek erre az ártalomra a károsodott szívizomzatú betegek, a vérszegény és a krónikus légzőszervi betegségekkel-, valamint az agyi keringés zavarai val kűszködő betegek és az idős emberek. Az oxigénhiány károsan befolyásolhatja a magzatok fejlődését is, amely alacsony születési súlyt eredményezhet. A szervezetet érő szén-monoxid expozíció jó indikátorának tekinthető a vér karboxihaemoglobin (COHb) szintje. Annak ellenére, hogy a CO érzékenységekben jelentős egyedi különbségek figyelhetők meg, a COHb koncentráció és a toxikus tünetek között egyértelmű összefüggés áll fenn.

Dohányfüst

A dohányfüst több mint 4 000, részben szilárd részecskékben, részben gőz fázisban előforduló vegyület komplex keveréke. Alkotórészei között számos ismert vagy feltételezett daganatkeltő (pl. kátrány, arzén, benz(a)pirén, benzol, N-nitrozó-dimetilamin stb.) illetve toxikus vegyület

található. Dohányfüstnek hosszú időn keresztül kitett (passzívan dohányzó) személyek esetében az aktív dohányzáshoz hasonló egészségkárosító hatások figyelhetők meg: tüdőrák (pl. dohányzó személyek nemdohányzó házastársánál vagy munkatársánál), a kardiovaszkuláris rendszer károsodása, a kötőhártya és a légúti nyálkahártya irritációja, kisgyermekek körében magasabb tüdőgyulladás-, bronchitisz-, középfülgyulladás- és asztmaroham gyakoriság, magzatok expozíciója esetén alacsonyabb születési súly stb.

A cigaretta elszívását követően az abban található káros anyagok (kátrány, benz(a)pirén, nikotin stb.) a lakás különböző felületein leülepednek és akár hosszú időn keresztül is a beltérben maradhatnak. A különböző berendezési tárgyak (bútor, függöny, szőnyeg stb.) magukba szívják ezeket a káros anyagokat, amelyek eltávolításához gyakran a rendszeres és alapos takarítás sem nyújt megoldást.

A hagyományos cigarettákon túl, a ma már széleskörben elterjedt elektronikus cigaretták (e-cigaretta) használata sem ajánlott a beltérekben. Ugyanezek az alternatív eszközök a hagyományos cigarettákkal ellentétben valamivel kisebb mennyiségű káros anyagot tartalmaznak, viszont az e-cigaretta folyadékában és a képződő párában található vegyületek, mint például propilén-glikol, glicerin, aldehidek (formaldehid, acetaldehid) szintén káros hatást gyakorolnak az emberi szervezetre. Emellett nem elhanyagolható az elektronikus cigaretták balesetet okozó szerepe sem: számos esetben beszámoltak az e-cigaretta készülék felrobbanásáról, amelyek fog- és arcsérüléseket, valamint égési sérüléseket okoztak.

Azbeszt

Az azbesztet elsősorban kiváló hő- és elektromos szigetelő és tűzálló tulajdonsága miatt alkalmazták évtizedeken keresztül az épületekben. Elsősorban palatető, esőelvezető csövek formájában vagy cementbe keverten terjedt el széleskörben. Az azbeszt rostok átmérője 0,3-30 nm között változik, a 0,3 nm átmérőnél kisebb rostok karcinogén hatása kifejezettebb, ugyanis a kisebb méretű rostsálak az alsóbb légutakba is képesek lejutni. Rostjai belélegezve 15-20 év múlva azbesztózist, mellhártya (mesothelioma), illetve hashártya daganatot és tüdőrákot okozhatnak. A már beépített azbeszt hosszú időn keresztül veszélytelen lehet, ha háborítatlanul a helyén hagyják. Az előregedő azbeszt szerkezetekből azonban egyre több rost juthat a levegőbe és így a szervezetbe. A legnagyobb veszélyt az azbeszt eltávolítása, fűrése, törése, mozgatása jelentheti. Ezért az ismert azbeszttartalmú építőanyagokról dokumentáció, rendszeres felülvizsgálat szükséges. Amíg az azbeszttartalmú elem jó állapotban van, felszíne ép, legjobb helyén hagyni. Felújítási munkánál mindig ki kell kérni szakértő véleményét, addig nem szabad a bontást elkezdeni. Ha el kell távolítani, azt csak megfelelő védelem mellett (nedvesítve, fedve, védőruhában), az épületet használók távollétében lehet megtenni. Eltávolítás után veszélyes hulladékként kezelendő, fedve szállítandó.

Radon

A radon egy színtelen, szagtalan, természetes eredetű radioaktív nemesgáz. A radon a beltérbe a talajból az aljzaton keresztül, a talajfelszín alatti alagsor falán keresztül, építőanyagokból vagy pórusokon, repedéseken keresztül juthat be. Azokban az épületekben jelent kockázatot, amelyek magasabb radioaktivitású talajon épültek, vagy nagyobb radonkibocsátású építőanyagból

épültek (egyres 1960 és 1980 között épült épületekben a kohósalakkal feltöltött aljzatokból-födémekből, illetve a salakbeton falazóelemekből is jelentős mennyiségben távozzat radon, de tégláépületek is bocsáthatnak ki radont). Nagyobb a radon felhalmozódásának valószínűsége, ha az épület nincs alapincézve.

A zárt terekben felhalmozódó radon (elégtelen szellőztetés esetén) hozzájárulhat a tüdőrák kialakulásához. A radon a dohányfüst után a második legjelentősebb tüdőrákot okozó nemesgáz. Még nagyobb a kockázat dohányosoknál, illetve olyan beltérekben, ahol tartósan magas az aeroszol részecskék (PM) koncentrációja a levegőben (pl. alagsori, földszinti sporttermek), mert ilyenkor a radon bomlástermékei megtapadhatnak a levegőben található részecskéken, majd a tüdő falán.

A beltéri radon-koncentráció mérhető, a mérés kérhető erre hitelesített laboratóriumoktól. 100 Bq/m³ éves átlagérték alatt nincs többletkockázat, e fölött azonban a nemdohányzók többlet relatív kockázata: 16%/100 Bq/m³, ezért a WHO a 100 Bq/m³ éves átlagértéket ajánlja referenciaszintnek. Jogszáály szerint (2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet) meglévő épületeknél a radon- és radon-bomlástermék koncentrációk vonatkoztatási szintje 300 Bq/m³.

Azokban a lakó- és középületekben, ahol - a Nemzeti Radon Cselekvési Tervről szóló kormányhatározat szerint végzett felmérés alapján - a radon- és radon bomlástermék-koncentrációk levegőben mért éves átlagos értéke a megadott vonatkoztatási szintet meghaladja, az Országos Atomenergia Hivatal tájékoztatja az ott tartózkodókat és a polgármestert a sugárterhelés mértékéről és a kapcsolódó kockázatokról, valamint a Radon Cselekvési Tervvel összhangban a sugárzás csökkentésének és nyomon követésének lehetséges módjairól.

A talajból származó belsőtéri radonkoncentráció lényegesen csökkenthető megfelelő szellőzés biztosításával (nappali gyakori vagy folyamatos szellőztetés, éjszakai szellőztetés, megfelelő légszállítású mesterséges szellőztetőrendszer, ahol a friss levegő beszívási pont nincs a talajhoz közel).

Aeroszol részecskék

Kül- és beltéri forrásból is származhat a kültéri légszennyezőknél már említett úgynevezett „szálló por” (kisméretű aeroszol részecskék, PM), mely a levegőben szuszpendált szilárd és folyadék részecskék elegye. E részecskék aerodinamikai átmérője 100 mikronnál kisebb, méretüktől függően hosszabb-rövidebb ideig lebegnek a levegőben, mielőtt kiülednének. Egészség hatás szempontjából a PM₁₀, PM_{2,5}, és az ultrafinom részecskék (UFP) méretfrakcióit szokták megkülönböztetni. Minél kisebb a részecskék átmérője, annál mélyebbre jutnak el a légutakban, ott kifejtve káros hatásukat. A 2,5 mikron átmérőnél kisebb részecskéknek való hosszútávú számottevő kitettség növeli a szív- és érrendszeri, illetve a légúti betegségek kialakulásának és súlyosbodásának kockázatát, emellett károsítja az idegrendszert.

A kültérből származó részecskék döntő többsége a lakossági fűtésből, valamint az üzemanyagok égéséből származik. A beltéri aeroszol részecskék jelentős részét a kültérből beáramló részecskék - beltéri aktivitás miatti - levegőben való reszuszpenziója (felvert por) alkotja, ezért fontos megfelelő gyakoriságú nedves takarítás és portörlet. Emellett a PM jelentős beltéri forrását képezik a helyi fűtési módok (pl. cserép-, vaskályha) is.

Egyéb kültéri forrásból származó jellemző légszennyezők a beltérekben

A beltéri forrásból származó légszennyező vegyületek koncentrációja jellemzően nagyobb a beltérben, mint az épületen kívül. Előfordulnak azonban a beltéri levegőben olyan légszennyezők is (pl. a korábban említett benzol, nitrogén-dioxid, ózon, poliaromás szénhidrogének), melyek döntően külső forrásból származnak, így kültéri koncentrációjuk magasabb, de beltéri koncentrációjuk is elérheti a kockázatos szintet a kültéri légszennyezők beáramlása révén (pl. forgalmas utak mellett lévő épületek, valamint ipari- vagy mezőgazdasági terület közelében épült lakó- vagy közhasználatú épületek beltéreiben). A **benzol** döntően közlekedési eredetű, azonban beltéri forrásai is lehetnek (pl. egyes lakkok, festékek és ragasztók). Erősíti az asztmás tüneteket, emellett mutagén, a hosszú távú jelentős kitettség csontvelő-elégtelenséget, leukémiát okozhat, ezért a Nemzetközi Rákkutatási Ügynökség bizonyítottan karcinogénnek nyilvánította.

Kültéri és beltéri forrásból is eredő légszennyező a **toluol**, mely a kitettség mértékétől függően máj-, lép- és központi idegrendszeri károsító, emellett várandósok kitettsége esetén fejlődési rendellenességet okozhat a magzatban.

A helytelen lakossági fűtési módok, a járművek kipufogógázai, az ipari- és erdőtüzek, valamint a dohányzás, illetve akár egy grillezés miatt is számos **PAH-vegyület (poliaromás szénhidrogén)** is jut a környezetbe. Beltéri forrásuk legtöbbször - a dohányzáson kívül - az ételek odaégetése, a többször használt sütőolaj alkalmazása ételkészítésnél. A PAH-vegyületek közül néhány bizonyítottan rákkeltő (pl. benzo[a]pirén), illetve jórészüik hormonháztartást zavaró hatású vegyület.

Összeadódó kockázatok

Fontos tudatában lennünk, hogy a különböző kültéri és beltéri légszennyezők egyszerre érik a benntartózkodók szervezetét, tehát hatásuk összeadódhat. Így, míg például az egyes légszennyezők aktuális koncentrációi alapján becsült kockázat kicsinek tűnhet a különböző betegségek kimenetelekre (légzőszervi betegség, immun- és idegrendszeri eltérések, rák), az egyszerre mért összes összetevőre számított kumulatív kockázat már jelentősebb lehet.

A BELTÉRI LEVEGŐ BIOLÓGIAI EREDETŰ SZENNYEZŐI

Dr. Magyar Donát

A beltéri levegő minőségét számos kémiai, fizikai és biológiai tényező befolyásolja. A biológiai komponensek között baktériumok, vírusok, továbbá növényi- (pollen), állati- (poratkák, fatetvek, csótányok, egyéb rovarok és a házi kedvenceinktől származó allergének) és gombaeredetű részecskék találhatók.

A beltérben kimutatható fajok egyaránt származhatnak kültéri vagy beltéri forrásból. Kültéri forrásuk lehet például a növényzet, talaj, mesterségesen előállított termékek (pl. komposzt). A belső téri fajok koncentrációdinamikáját többnyire a zárt tér környezeti viszonyai befolyásolják, de kialakításában a kültér is szerepet játszik.

Jelentős eltérések lehetnek a légáramlás, a relatív páratartalom, és a hőmérséklet tekintetében. A beltéri levegőkörnyezet jellegzetessége, hogy ritkán jönnek létre lamináris áramlások (ha vannak, ezek a külső széliránnyal ellentétesek), inkább légörvények keletkezésére van példa, melyet az egyes pontok fokozott hőszugárzása (pl. fűtőtestek), a bent tartózkodók mozgása vagy az egyes pontokon elhelyezett légmozgató berendezések váltanak ki. A belső téri légörvények nem cserélik a tiszta és szennyezett légtömegeket.

A fűtőtestek által keltett konvekció gyorsan terjeszti a spórákat az épületekben: az első emeletről a negyedikre mindössze öt perc, a szobákba 20 perc alatt jutnak el, s akár a fal hajszáltrepedésein keresztül is utat találnak.

A külső térrel ellentétben több élő spóra található az épületekben, ennek oka elsősorban, hogy a külső térben fokozottabb a kiszáradás és a sugárzás („Open Air Factor”). A ház körüli tevékenységek – tüzelőfa szárítása a beltérben, söprés, ágyazás, pinceajtó nyitogatása stb. 10-17-szeres spóraszám növekedést okozhat a légkörben. A kárpitok (pl. padlószőnyeg, matrac) nagy mennyiségű allergént halmoznak fel.

A levegő spóraszennyezettsége még gyakran tisztított helyiségekben is eléri a 25 db/m^3 koncentrációt. Közegészségügyi szempontból gyakrabban kutatott zárt légterek a lakások, az iskolák, az óvodák, a munkahelyek és a gyógybarlangok. Megemlítenéd a levéltárak és a műemlékek levegőbiológiai vizsgálatának gyakorlata is.

Penészgombák

Az ismert, kb. 1,5 millió gombafajból mintegy 1 000 faj beltéri előfordulását jelezték. Napjainkig több mint 80 gombafajt hoztak összefüggésbe a gyakoribb légzőszervi megbetegedésekkel, ezek többsége az ún. penészgombák (fonalagombák) közé tartozik.

Míg bizonyos penészgombafajok csupán esztétikai problémát okoznak, addig mások komoly egészségi panaszokért lehetnek felelősek.

Számos tanulmány felvetette, hogy az épületekkel kapcsolatos betegségek előfordulásának jelentős része penészgombákkal hozható összefüggésbe. A penészgomba-eredetű allergén expozíció mértékét számos tényező határozza meg, mely épületenként és helyiségenként is jelentősen eltérő lehet a szennyezettség mértékétől, az egyéni érzékenységtől és a gombafajtától függően.

A gombaspórák magas légköri koncentrációja többnyire allergiás megbetegedéseket vált ki, főleg az atópiás betegeknél. A penészgombák számos légúti megbetegedésért lehetnek felelősek, úgymint a szénanátha (allergiás rinitisz), az asztma, a túlérzékenységi tüdőgyulladás (hiperszenzitív pneumonitisz), az orrmelléküreg-gyulladás (rinosinusitisz) valamint légúti fertőzések.

A **szénanáthát** kiváltó gombák között a leggyakoribbak az *Alternaria*-, *Aspergillus*-, *Cladosporium*-, *Didymella*-, *Paecilomyces*-, *Penicillium*- és *Phoma*-fajok, de ezek közül több kültéri eredetű is lehet. A tünetek súlyossága és tartóssága a legtöbb allergiás betegségnél az allergén koncentrációjával arányosan növekszik. Ha az allergiás beteg hosszabb időn át, nagy mennyiségű allergénnek van kitéve, akkor akár asztma is kialakulhat nála. Az allergénekkal szembeni túlérzékenység kialakulásának (szenzitizálás) folyamatában ezek a penészgombák jelentős szerepet játszanak az újszülötteknél.

A penész jelenléte a lakásokban növeli a különböző megbetegedések esélyét. Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) beltéri levegőminőséggel kapcsolatos útmutatója szerint a nyirkos vagy penészes lakásban élőknel a légzőszervi tünetek és az asztma kialakulásának az esélye akár 75%-kal nagyobb lehet. A penészes lakásokban 25-ször nagyobb az esély a légzőszervrendszeri betegségek kialakulására.

Más vizsgálatok szerint a penésszel szennyezett lakásban élőknel 50%-kal magasabb az asztma és más légzőszervi betegségek megjelenésének valószínűsége, mint azoknál, akik nem ilyen környezetben laknak. A kisgyermekeknél szorosabb az összefüggés a penészek és a tünetek között, mint az idősebbeknél.

Különösen az újszülöttek és a kisgyermekek környezetét javasolt felülvizsgálni, mivel az élet első hónapjaiban előforduló táplálékallergiák, atópiás bőrgyógyászati tünetegyüttesek bizonyítottan ritkábbak allergénszegény beltéri környezetben. A felnőtt lakosság esetében is fontos tényező azonban a lakás, illetve a munkahely penészgomba-szennyezettsége, elsősorban asztmás, illetve allergiás betegek esetén (a gombaérzékeny egyének a teljes népesség 10%-ában, az asztmás betegek között viszont 5-40%-ban fordulnak elő). A legújabb hazai felmérések szerint a penészgomba-allergia a vizsgált légúti betegségben szenvedő lakosok 30%-ánál fordul elő.

A penészgombák kb. 300 faja egy vagy több **mikotoxin termelésére** is képes. A mikotoxinok élelmiszeripari botrányokból is jól ismertek, valamint súlyos állategészségügyi, takarmányozási és raktározási károkat okoznak; elsősorban szennyezett táplálékkal juthatnak be a szervezetbe.

Súlyos, legfőképpen idegrendszeri tüneteket okozhatnak, emellett karcinogén, máj- és vesekárosító hatásuk is ismert – például az *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus* aflatoxin termelők, ez a vegyület vesekárosító és májrákot okoz; a *Fusarium*-, *Myrothecium*-, *Trichoderma*- és *Stachybotrys*-fajok trichotecéneket termelnek, amely szemszárazságot, diszkomfort-érzetet, vérzéses tüneteket, míg háziállatoknál szaporodási zavarokat és vetélést okoznak.

E mérgeanyagokat a gombák csak bizonyos körülmények között (adott nedvesség-, hőmérséklet- és oxigénszinten) termelik, és arra használják fel, hogy távol tartsák és visszaszorítsák mikroszkopikus vetélytársaikat.

A mikotoxinok a gomba táptalajában halmozódnak föl, de akár egyetlen spórában is kimutatható mennyiségben lehetnek jelen. A levegőbe szóródott, gombák által szennyezett építkezési törmelékben és a légkondicionáló berendezésekből származó porban is megtalálhatók. Bár belsőtéri előfordulásuk bizonyított, a tudomány jelenlegi állása alapján nem dönthető el, mekkora veszélyt is jelentenek valójában, ha belégzéssel jutnak a szervezetbe.

Egy clevelandi felmérés gyermekek tüdővérzése és a lakások *Stachybotrys chartarum*-fertőzöttsége között összefüggést talált – ez az azóta is sokat vitatott felfedezés a médiavisszhangnak köszönhetően szinte pánikot keltett a lakosság körében (e gombára utal az interneten gyakran idézett „Toxic Mold” illetve „Black Mold” kifejezés is). A mikotoxinszint jelentős mértékben megemelkedik azokban az épületekben, ahol korábban beázás volt, még akkor is, mikor a falak már kiszáradtak.

Egyes penészgombák, például az *Aspergillus*- és *Fusarium*-fajok súlyos kimenetelű **fertőzéseket** (allergiás bronchopulmonális aszpergillózis, szaruhártya-gyulladás stb.) is okozhatnak. A belélegzett gombaelemek (leggyakrabban az *Aspergillus fumigatus* konídiumai) a tüdőszövetet is megtámadhatják (aspergillosis, aspergilloma). Ez azonban akkor fordul elő, ha az egyén valamilyen, az immunrendszer gyengébb működését előidéző alapteregségben szenved. Ilyen esetekben a tüdőben és más szervekben kialakuló gombatelepek nemritkán halálos kimenetelű fertőzést okoznak (szívbelhártyagyulladás, elhalásos nyelőcsőgyulladás stb.). Éppen ezért kórházakban, műtőkben alapvető feltétel a kórokozó gombaspórák kizárása.

Számos gombafaj növekedése közben illékony szerves vegyületeket termel (MVOC), melyek kellemetlen dohsszagot, illetve nyálkahártya **irritációt** okoznak. Ezek, valamint a bomló szubsztrátumok is felelősek lehetnek bizonyos aspecifikus tünetekért (pl. fejfájás, szem-, orr-, torokirritáció, fáradtság). Súlyosbíthatja még az allergiás tüneteket a magas gombakonzentráció miatt létrejött általános rossz közérzet, depresszió, valamint a különböző gyulladásos folyamatok. A gombasejtfal összetevőinek, mint például az (1-3)- β -D-glükánoknak a tünetek kialakításában betöltött szerepe szintén felmerült, azonban ezen összetevőknek kedvező hatása is ismeretes (Douwes, 2005).

Meg kell említenünk, hogy egyes penészgombák kairomon vegyületeket is termelnek, amelyek **vonzzák a poratkákat** és azok megtelepedésében is szerepet játszanak. A poratkák táplálkoznak a penészgombagyepeken, melyek növekedéséhez hozzájárul az atkákból származó szerves anyag (tetemek, ürülék). A poratkák ürüléke asztmás panaszokat okozhat.

A gombák egészségi hatása tehát jelentős mértékben függ az adott gombafaj (vagy gombatörzs) allergén-, mikotoxin- és MVOC-termelő képességétől, valamint szenzitizáló- és fertőzőképességétől.

Az allergén kontroll lehetőségei a gombaallergiások környezetében

Az egyes épülettípusok (pl. panel-, vályog-, újjépítésű vagy utólagosan szigetelt családi ház, körfolyosós bérház) meglehetősen eltérő típushibákkal rendelkeznek, melyek meghatározhatják a beltéri gombaösszetételt. A penészgombák megtelepedése függ a rendelkezésükre álló nedvességtől és tápanyagoktól, valamint a gombaspórák jelenlététől. Mivel a gombaspórák és a tápanyagok jelenléte többnyire adott, a nedvesség megléte a döntő tényező.

A nedvesség többféleképpen létrejöhét a tervezés, kivitelezés, karbantartás hibáiból eredően. Ezek a hibák igen változatosak lehetnek – például víz- vagy hőszigetelés hiányosságai (geometriai- vagy anyagváltásból eredő hőhidak), fűtetlen belső tér (pl. garázs), árvíz, nem megfelelő vízelvezetés (ereszcsatorna, drén eltömődése stb.), falakban maradt építési nedvesség, eső/hó által beázott tető vagy falszakasz, épületgépészeti hiba (csőtörés, csőrepedés, vízvezeték bekötési hiba), helytelen lakáshasználatból eredő magas páratartalom, szellőzőrendszerben lecsapódott nedvesség, pincéből vagy más külső forrásból beáramló nedves levegő.

A páratartalmat növeli a lakótér zsúfoltsága (egy főre eső négyzetméter aránya), az emberi légzés, valamint más emberi tevékenységek révén (pl. ruhaszárítás, főzés, fürdősoba használat stb.). A 70% feletti relatív páratartalom már megfelelő feltételeket teremt a penészgombák szaporodásához. A páratartalom csökkentésével ugyan gátat szabhatunk a gombáknak, de meg kell említeni, hogy a túl száraz levegő légzőszervi panaszokkal járhat (az ideális páratartalom felnőtt ember számára 40-60%).

A gombák számos, az épületekben gyakori anyagokon megtelepedhetnek – hogy csak a leggyakoribbakat említsük: ablakkeret, gipszkarton, szőnyeg, fűrészporos tapéta, házipor. Hidrolitikus enzimeik segítségével képesek a cellulóz, a lignin és a keményítő lebontására is, melyek elsősorban a gombafonal (hifa) csúcsán termelődnek, s a lebontott anyagok is itt szívódnak fel. A hifák szövetéből kialakuló micélium egy bizonyos nagyságot elérve már szabad szemmel is észrevehető telepet alkot. Növekedésüket már 2°C-on megkezdik. Amennyiben a környezeti feltételek kedvezőtlenek, inaktív állapotba kerülnek, így hosszú ideig életképesek maradnak. Egyes fajok túlélnek a fagyot, a magas hőmérsékletet, a szélsőséges pH-t, illetve sótartalmat vagy a kiszáradást.

Fontos hangsúlyt fordítani az épület tervezésére, az építőanyagok kiválasztására, a szellőzés tervezésére, a megfelelő kivitelezésre, a karbantartásra, mivel az építési hibák révén hamar megjelennek a penészgombák, ezzel nem ritkán hosszán tartó, súlyos megbetegedést okozva. A beázás okának felderítése és elhárítása kulcsfontosságú és nem minden esetben igényel költséges (pl. építészeti) beavatkozásokat.

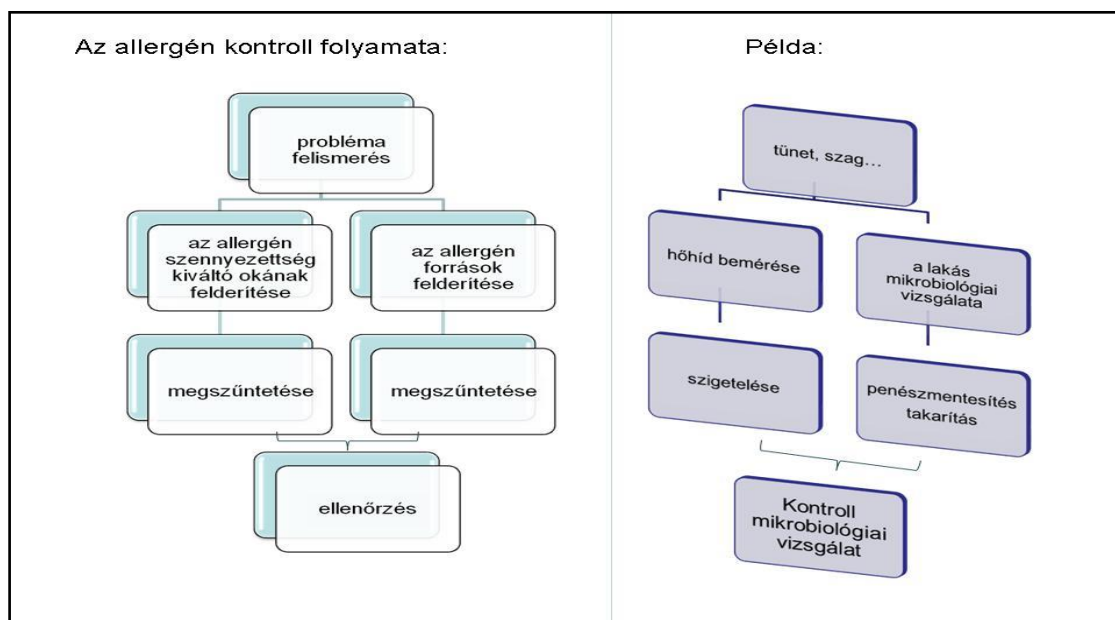
A penészgombák elleni védekezésben kulcsfontosságú a páratartalom csökkentése, a rendszeres szellőztetés és a jó szigetelés. Kedvező hatást érhetünk el a kültéri levegő szűrésével, esetleg csírátlánításával (HEPA szűrők, UV megvilágítás stb.). Figyelni kell a szűrők állapotára, rendszeres tisztításukra, cseréjükre. A spórák beszívargása ellen a helyiség pozitív légnyomása szolgáltat általános védelmet, míg a negatív nyomás kialakítása olyan helyiségekben ajánlott, ahol szennyezőanyag forrás van. A nedvesség csökkentésében hasznosak lehetnek a párátlánító berendezések, a falfűtés, a párariasztók és a páraszabályozott szellőztetési rendszerek.

A hideg hónapokban fokozottan számíthatunk a penész kialakulására. Az életmód, a lakáshasználati szokások itt sokat számítanak. A víz- és hőszigetelés, a szellőztetés mind a spóraszám, mind a nedvesség/páratartalom csökkentése szempontjából kiemelkedő fontosságú. A ritkábban szellőztetett, fűtött lakótérből kiáramló páradús levegő a fűtetlen helyiségek falán lecsapódik. Ez okból sem ajánlott a lakótérbe közvetlenül nyíló garázs, pince és padlásajtó kialakítása. Gyakori hiba, hogy az új hőszigetelés, illetve nyílászáró csere után elmarad a résszellőzők beépítése. Sokszor hibásan belső téri szigetelést vagy gipszkarton falakat építenek be, melyek mögött pangó légtér alakul ki, emellett elrejtik a páralecsapódást és a kialakuló penészesedést.

Fontos, hogy a betegek fordítsanak megfelelő figyelmet a megelőzésre és az allergén kontrollra. A penészesedés elleni harcban csak akkor számíthatnak sikerre, ha az allergén kontroll minden lépését betartják.

Ezek a következők:

1. a kiváltó ok (pl. a hőhíd, beázás stb.) felderítése és megszüntetése;
2. az allergén források felderítése és megszüntetése (pl. penészmentesítés);
3. kiszóródott spórák eltávolítása (nedves takarítás);
4. további javasolt lépés az ellenőrzés (41. ábra).



41. ábra Az allergén kontroll folyamata és gyakorlati példája (penészmentesítés)

Amennyiben a penészmentesítés után elmarad az alapos takarítás, az egykori telepekből származó spórák még sokáig fellelhetők a lakásban. Ilyen „spóradepók” gyakran találhatók beépített szekrények mögött, pódiumok alatt, álmennyezet fölött vagy a szellőzőrendszerben. Ezek a spórák pedig egy előre nem meghatározható időpontban, kiszáradás, rezgés, bolygatás vagy légmozgás hatására nagy tömegben kiszóródhatnak. Az allergén kontroll jelentősen hozzájárulhat a betegség kezelésének sikeréhez, sőt akár teljes tünetmentesség is elérhető, az esetleges új megbetegedések kialakulása pedig elkerülhető.

A penészgombák egészségi hatását befolyásoló tényezők

A **gombaspórák mérete** fontos paraméter a betegségek kialakulásában. A tüdő szabad behatolási régiójának első szakaszába, a felső légutakba a 7 µm feletti részecskék is bejuthatnak (mint a legelterjedtebb allergén gombaelemek esetén, amelyek az *Alternaria*-, *Drechslera*-, *Epicoccum*-, *Stemphylium*-fajok). A 4,7-7 µm közötti részecsketartomány kiüledése a trachea területére esik (mint a bazidiospóráknál, illetve a *Candida*-, a *Chaetomium*-, a *Cladosporium*-, a *Botrytis*-, a *Fusarium*-, a *Monilia*-, a *Mucor*-, a *Stachybotrys*-, a *Torula*-, az *Ustilaginales*-fajok esetében), míg ennél mélyebbre csak a kisméretű (3,3-4,7 µm) spórák jutnak be (mint az *Aspergillus*-, a *Phoma*-, vagy a *Penicillium*-fajoknál).

A bronchusok és alveolusok szintjét feltételezhetően csak gombatöredékek, vagy az allergénjükkal szennyezett finom por frakciója érheti el (<3,3 µm). Az akut tünetekért általában az 5 µm-nél nagyobb, míg az idült reakciókért az ennél kisebb spórák felelősek. A kiszáradások és sérülések nyomán töredezett-aprózódott gombaelemek rákenődhetnek a légkör kisebb mérettartományú (1-2 µm) összetevőire (pl. szállópor).

A légúti kiüledést természetesen a **belélegzett levegő összetérfogata** is módosítja. A kiüledett frakció 2,1 m³/h légvételi sebesség esetén maximális, amely az orrlégzés és a kombinált orr-szájlélegzés átváltási pontja a fokozódó fizikai igénybevételkor. Ez esetben főként a mélyebb légúti régiók terhelése növekszik meg.

A **gombafaj ismerete** is fontos információ, akár a kezelőorvos számára is – így eldönthető, hogy a számos lehetséges gombafaj közül melyik fordul elő a beteg környezetében, melyik okozza a panaszokat.

A beltéri penészesedés hatása a levegő minőségére gombanemzetségenként változó lehet. Ennek oka, hogy egyes gombák, például a *Penicillium*-fajok kis területen is nagy mennyiségű spóra előállítására képesek. Az ellenkező esetre példa az *Alternaria* spp., mely azonos méretű felületen jóval kisebb mennyiségű spórát termel (az *Alternaria*- és az *Epicoccum*-fajok esetében megemlítendő, hogy maláta kivonatos táptalajon nem minden esetben képeznek spórákat (konídiumokat), így ezeket a mikroszkópos határozás során nem lehet nemzetségszinten azonosítani, vagyis ezen gombák előfordulása alulbecsült).

Legtöbbször a telepképző egységek (Colony Forming Unit, CFU) számát használják a koncentráció kiszámításához. Nem ritka azonban, hogy a légköri csíraszám penészgombával erősen szennyezett lakásban sem lépi át a határértéket.

Ennek egyik oka az, hogy a penészgomba spórái a nedves falakon vagy a kondenzációból származó vízfilm alatt letapadnak. Másrészt bizonyos gombák, például *Acremonium*, *Fusarium*, *Stachybotrys* spp., eleve ragadós spórákat termelnek, melyek nehezen jutnak a levegőbe. Hasonló a helyzet a termőtestes gombákkal (*Chaetomium*, *Phoma* spp.) is, amelyek termőtestjéből nedvesedés hatására tódul ki a spórák tömege (cirrus), ami később beszárad, majd bolygatás hatására szétszóródik.

A penészesedés ellenére alacsony értéket mutató légköri csíraszámra még további okai is vannak. Egyes fajok esetén lehet, hogy a gomba még fiatal, nem sporulál, bár a telep már jól látható szabad szemmel.

Másfelől olyan helyeken, ahol a nedvesség csak átmenetileg volt jelen, a gombatelep a kialakulását követően hamar kiszáradt és elpusztult. Ilyen esetben sem számíthatunk határérték feletti légköri csíraszámra, hiába feketéllenek penésztől a lakás falai. Mindemellett az allergén-terhelés jelentős lehet ezekben a helyiségekben: az elpusztult spórák, a gomba (akár szubmikron méretű) törmelékei, gombaallergénekkal szennyezett épületanyag-szemcsék továbbra is allergizálhatnak.

Fontos megemlítenünk a rejtett penészesedés jelenségét is. Ekkor a lakásban penészgombának semmi látható jele nincs, de más módon tapasztaljuk a jelenlétét: doh vagy más szokatlan szag, gyakran pedig allergiás légúti tünetek jelzik a penészgombák jelenlétét.

Láthattuk, hogy számos oka van annak, hogy látható penész ellenére nem mutatható ki gomba a levegőből, vagy éppen fordítva, penész nem látható, de magas a légköri gombaszám. (Magával a beázással is hasonló a helyzet: előfordulhat rejtett formában is, illetve nem minden esetben alakul ki penészgomba-telep a beázás során, például fungicidet tartalmazó mennyezeti panelek, falak esetében vagy gyorsan kiszáradó tárgyakon). Amennyiben azonban magas légköri gombaszámot mérünk, az mindenképpen figyelmeztet a szennyezettség jelenlétére.

Jogi szabályozás

A beltéri levegőminőség szabályozása meglehetősen bonyolult, mert a szennyezés hatásai gyakran csak késleltetve és halmozódva jelentkeznek. A hatások függenek a személyes érzékenységtől, kortól, nemtől, anyagcserétől és más egyéni tényezőktől.

A WHO néhány komponensre vonatkozóan irányértéket ad meg 2010-es ajánlásában, ami az egyes országok számára alapul szolgálhat a belső téri egészségügyi határértékek kidolgozásához. A WHO irányértékei mellett figyelembe kell venni a helyi sajátosságokat. Elemezni kell az épületeket (lakás, iroda, kórház, iskola), a környezetet (a káros anyagok forrásait, az expozíciót, amelynek a populáció különböző csoportjai ki vannak téve). Minden szennyező anyagra meg kell becsülni a legvalószínűbb koncentráció-tartományt, az expozíció idejét, a kialakult egészségi hatásokat és az egészségi kockázatot.

Háziporatkák

A háziporatkák a belső tér leggyakoribb allergiakiváltói közé tartoznak. A gyermekkori asztmás megbetegedések jelentős hányada is a poratka-szennyezettségre vezethető vissza. Háziporatkára érzékeny betegeknél az allergén az orr nyálkahártyájának és a szem kötőhártyájának gyulladását idézheti elő, melynek jellemző tünetei a szem-, szájpád- és orrviszketés, orrdugulás, orrfolyás, tüszögés, szemvörösség, könnyezés. Az allergén azonban gyakran asztmás rohamot is provokálhat, mely száraz, majd erőltetett köhögéssel, illetve a hörgők görcséből adódóan légúti elváltozásokkal (nehézlégzés, fulladási roham) jár. A légúti tünetek mellett gyakori, hogy az atkaallergén belégzése vagy érintése bőrtüneteket (csalánkiütést vagy ekcémát) is előidéz. Jellemző, hogy a tünetek többsége éjszaka, illetve hajnalban jelentkezik.

Az atkák a pókszabásúak (Arachnida, Acariformes) közé tartoznak. Legtöbb fajuk talajlakó és a szervesanyag lebontásában vesznek részt, de sok közöttük az élősködő, a növény- és készletkártévő, illetve a ragadozó is. Az ember környezetében a bőrevő és a lisztatkák (*Dermatophagoides pteronyssinus* és *D. farinae*) a leggyakoribbak.

A poratkák száma a háziporban magas szintet (1 000-20 000 db/g) érhet el. A szőnyeg egy négyzetméterén közel 100 000, a matracokban akár 10 millió atka is élhet. A kifejlett egyedek 100-500 µm méretűek, krémfehér színűek, nyolclábúak, a lábak végén karmok, illetve tapadókorongok találhatók (a vízi életet folytató atkafajoknál úszó serték is előfordulnak). A nőstény életének utolsó öt hetében naponta 1-4 petét rak le, összesen 50-100 darabot. Az egyesével vagy kis csoportokban lerakott megtermékenyített petékből a hatlábú lárvák mindössze nyolc nap alatt kikelnek, majd kialakulnak a nyolclábú, még ivaréretlen nimfák, melyek számos fejlődési szakaszon mennek keresztül. Kedvező körülmények között 30, kedvezőtlenek mellett 80-100 nap alatt alakulnak át ivarérett példányokká.

A hímek kb. 20-30 napig, a nőstények 3-4 hónapig élnek. Az atkák szaporodását a lakásklíma jelentősen befolyásolja. Sok faj csak vékony kutikuláján át vesz fel vizet, illetve lélegzik, ezért érzékenyek a kiszáradásra, az alacsony páratartalomra. Az atkák száma késő tavasszal, nyár végén és kora ősszel a legtöbb, mivel a fűtés hiánya miatt a lakások levegőjének relatív páratartalma ilyenkor a legnagyobb. A fűtött lakások relatív páratartalma alacsony, ami az atkák számára kedvezőtlen, és így kevesebb egyed fejlődhet ki.

Tévedés, hogy a köznyelvben házipor-allergiának nevezett betegséget a házipor okozná. Az elpusztult atkák tetemei és ürülékük bomlás közben erős allergiakeltő vegyületekké alakulnak. A betegséget a mikroszkopikus méretűre feltöredezett, a levegőben szálló beszáradt atkaürülékében található fehérje (Der p1) okozza. Egyetlen atka élete során több mint 2 000 ürülék-gömböcskét hagyhat hátra, ezért nem meglepő az, hogy a házipor egyetlen grammja több százezer ilyen részecskét is tartalmazhat. Ezek, főleg a téli időszakban, beszáradva, feltöredezve könnyen a levegőbe jutnak, kis méretüknél fogva a lakás bármely részére elsodródhatnak, és mélyen a tüdőbe, egészen az alveolusokig hatolhatnak.

Az ember környezete kedvező feltételeket és elegendő tápanyagot biztosít az atkáknak. Napi tevékenységünk során (a főzést, fürdőszoba-használatot, teregetést, növények öntözését stb. is beleszámítva) egy óra alatt átlagosan 75 g párát juttatunk a légkörbe. Testünk naponta 1,5 g hámsejtet veszít el (a kutyák és macskák még ennél is többet hullatnak el).

Mindezek bőségesen táplálják a poratkákat.

Az elhalt és lehullott hámsejtek kezdetben teljesen emészthetetlenek az atkák számára, ezért a penészgombákra (pl. *Aspergillus repens*) is rá vannak utalva, melyeket arra is felhasználnak, hogy a hámsejteket előemésszék, a bennük található zsíradékokat lebontsák. A gombák által előállított ergoszterol az atkák számára létfontosságú, többek között szaporodásuk is ezen alapszik. A penészgombák által részben emésztett táplálék már megfelelő az atkák számára.

A háziporatkával szorosan együtt élő penészgombák az atka ürülékét hasznosítják fő élelem- és nitrogénforrásként. E gombák spórái belélegezve a házipor allergén hatását tovább fokozzák. Az atkák ezzel a penészgombák terjedését is elősegítik, és fordítva, a gombák is hozzájárulnak a háziporatkák kedvező életfeltételeinek megteremtéséhez. Nem véletlen tehát, hogy a házipor-atka-allergia és a penészesedés közötti összefüggést több vizsgálatban is kimutatták.

Az allergiás betegség tünetei befolyásolják a poratkák táplálkozását, szaporodását és populációdinamikáját. Az atópiás dermatitiszben szenvedő betegek ágyában általában nagyobb számú poratka populációt találhatunk, mint az egészséges, nem atópiás személyek esetében. A betegek hámlemezeiben alacsonyabb egyes lipidek koncentrációja, ami valószínűleg megfelelőbb a poratkák táplálkozása szempontjából, mint az egészségesekről származó hám összetétele.

Az atkák már négy hét után megjelennek az újírtású házakban, és elszaporodnak, amennyiben adott a számukra megfelelő páratartalom, hőmérséklet, tápanyag (hámlemezek, szerves hulladék, penészgombák) és búvóhely (textíliák). A számukra kedvezőtlen körülményeket, szárazabb időszakokat, illetve atkairtószerek (akaricides) kezeléseket a matracok mélyebb rétegeibe migrálva átvészeli. A kiszáradás ellen védekezésül összebújnak. A kutikulájukon lévő pórusaikat, melyeken át nedvességet adnak le, kikristályosodó sódugók zárják le.

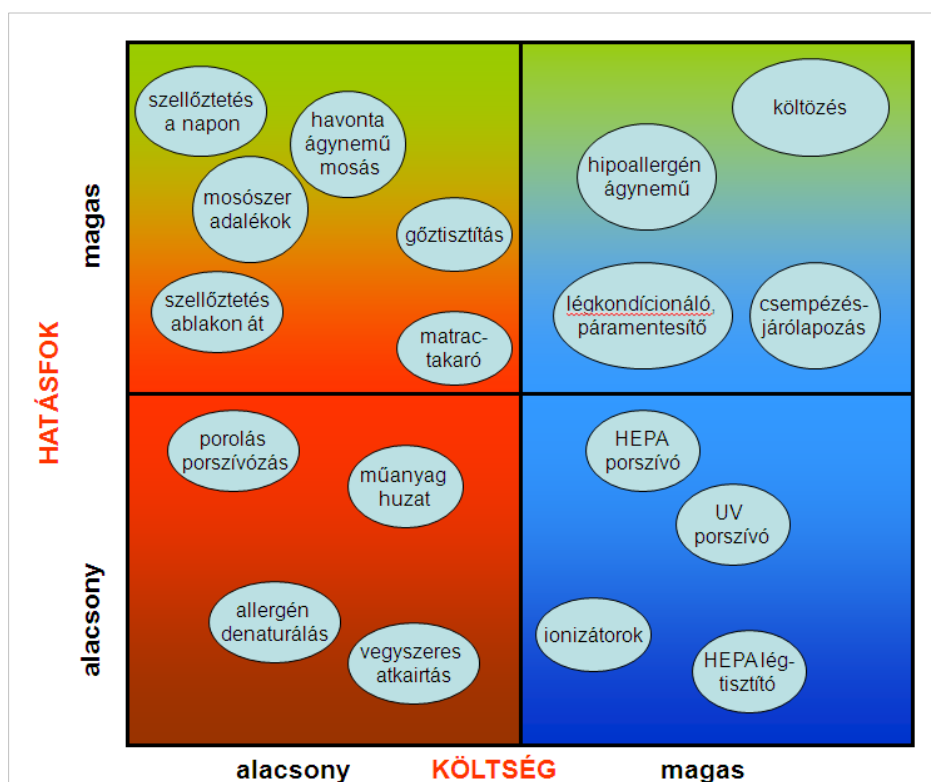
A fűtési időszakot csak azok a példányok élik túl, amelyek naponta legalább néhány órán keresztül megfelelő körülmények között tartózkodnak. Az emberi testből származó meleg, pára és tápanyag (hámlemezek) hatására az egy-két éve használt, tollal tömött párnák súlyának 10%-át az atkák ürüléke és tetemei teszi ki, mellette párnánként több millió gombaspóra is jelen van. Vizsgálatok alapján tudjuk, hogy a rugós matracokban található a legmagasabb atkaszám, míg a műanyaghab töltőanyagot kedvelik a legkevésbé. Az ágy és az ágynemű különböző rétegeit megvizsgálva a takaró bizonyult a legszennyezettebbnek. Az atkaszennyezettség szoros összefüggést mutat az ágy korával, a lakásban élők számával, az éves csapadékmennyiséggel.

Csökken a szennyezettség mértéke a tengerszinttől mért magassággal és a nagyobb víztestektől távolodva. Az épületek földszinti helyiségeiben is nagyobb allergénterhelésre számíthatunk, mint a magasabb szinteken. Gyakori tévedés azonban, hogy a poratkák egyedüli élőhelyeként az ágyat jelölik meg. A penészgomba telepek vonzásának engedve akár a mennyezeten, padlón vagy gipszkarton falak mögött is találkozhatunk szemmel is jól látható, nagy kiterjedésű, fekete foltokkal, melyet lerakódott atkaürülék alkot.

Az atkairtasra számos eljárás áll rendelkezésünkre (atkaporszívók, akaricides kezelés, fagyasztás stb.). Ezekkel a módszerekkel akár egyötödére is lecsökkenthető az élő atkák mennyisége. Azonban a probléma hosszú távon nem oldható meg csupán atkairtással, ha az allergén tartalmú atkaürülék megmarad a lakásban, vagy az atkák pedig újra megtelepedhetnek.

A legfontosabb a hálószoza megfelelő allergén mentesítése, mert a legnagyobb allergén expozíció itt érheti a szervezetünket: a hálószobában töltjük életünk 25-30%-át, ráadásul a háziporatkák legkedveltebb lakhelye éppen a matrac és a párna. Itt a matrac védőhuzattal való fedésével jó eredményt lehet elérni: az atkák által áthatolhatatlan (sűrű szövésű, illetve az ezzel megegyező hatású, de jóval olcsóbb gumi vagy műanyag belső felülettel rendelkező) matracvédő huzatok egyaránt megakadályozzák az atkák betelepülését illetve az allergének légkörbe szóródását.

Az atkamentesítésben használatos eljárásokat költség-haszonelemzésben a 42. ábra mutatja be. Az atkák szaporodását a páratartalom szabályozásával, gépi szellőztetéssel is vissza lehet szorítani. Vizsgálatokban azt is kimutatták, hogy a légkondicionált lakásokban folyamatosan alacsonyabb az atkaszám, mint a nem légkondicionált helyeken. A poratkák kedvelik a nedveséget, ezért a helyiségek legyenek szárazak, a levegő páratartalmát állítsuk be 30-50% közé (esetenként még légpárátlanító berendezés elhelyezése is javasolt). A penészgombák, mint már említettük, jobb létfeltételeket biztosítanak az atkáknak, a penészmentesítés ezért fontos része az allergén kontrollnak.



42. ábra Atkamentesítés eszközeinek költség-haszon elemzése

A fűtés szempontjából az alacsony hőmérséklet a kedvező, mely akadályozza az atkák szaporodását. A lakás levegőjének hőmérsékletét tartsuk 20°C alatt. Éjszakára a fűtést érdemes tovább csökkenteni 16-18°C-ra. Ügyeljünk a helyiségek egyforma fűtésére. A padlófűtés, a radiátorokból felszálló meleg légáramlatok állandóan felkeverik, lebegtetik a port a szobában. A levegőpárásító berendezéseket távolítsuk el a fűtőtest közeléből! Figyeljünk arra is, hogy a lakás levegőjében takarítás és ágyazás esetén mérhető a legmagasabb háziporátka-allergén koncentráció.

Vizsgálatokban azt is kimutatták, hogy a légszűrők használata csak akkor eredményez jelentősebb klinikai javulást, ha a környezeti kontroll egyéb módjait is alkalmazzuk.

Jelenlegi helyzet Magyarországon

A belső terek levegőminőségére jelenleg nincs jogi szabályozás hazánkban.

Általánosan alkalmazott gyakorlat az, hogy belső téri határérték hiányában a környezeti levegőre vonatkozó előírások az irányadók, abból a megfontolásból, hogy a beltéri szennyezettség nem lehet nagyobb a környezeti levegő megengedett terhelésénél.

A fentiek alapján belső térben végzett mérési eredmények értékelésekor a környezeti levegőre vonatkozó előírásokat, a WHO által javasolt értékeket, valamint a belső térre vonatkozó nemzetközi gyakorlatot tekintetjük irányadónak. A javasolt irányértékek az NNGYK honlapján megtalálhatóak²⁰.

A megfelelő beltéri levegőminőség elérésére a leendő szabályozás alapján egy stratégiát kell kidolgozni, melynek része a források ellenőrzése; lehetőség szerint azok eltávolítása, vagy a kibocsátásuk csökkentése; megfelelő szellőző rendszer kialakítása stb.

Külföldi példák mutatják, hogy a szabályok betartásának és ellenőrzésének gyakorlati megvalósítása nehézséget jelent. Ez a különböző intézményekben könnyebben megvalósítható, de a lakásokban szinte megoldhatatlan. Ennek oka egyrészt a lakások nagy száma, másrészt a lakók nem mindig látják be az ellenőrzés és az esetleges beavatkozás szükségességét.

Ezért nagyon fontos az egészségügy felvilágosító tevékenysége, mind a lakosság, mind pedig a gyártók irányában. Ennek a munkának már kézzelfogható eredményei is vannak.

Példaként említhető, hogy régebben az új bútorok felületkezelése formaldehid-gyantával történt, ami szem irritációt, légúti problémákat okozott, illetve rákkeltő hatással is bír. Mára sikerült elérni, hogy a fából készített ragasztott termékeket formaldehid kibocsátásuk alapján minősítik, az egészségi szempontból biztonságos termékeket az E1 csoportba sorolják. Sok gyártó már alkalmazza a legszigorúbb E1 szabvány követelményeit.

Másik példa a lakásokban fűtés céljára használt konvektorok üzemeltetése. Régebben az ablakok alatt történt a kivezetés, így az égéstermékek egy része visszajutott a belső térbe. Ma már egyre szigorúbb követelmények szabályozzák az égéstermékek elvezetését, a gázfogyasztó készülékek légellátását és a helyiség szellőzését.

²⁰ <https://nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/384-kornyezetegezessegugyi-laboratoriumi-osztaly/levegohigienes-laboratorium/lakossagi-tajekoztato-tartalmak/belteri-levego/2303-belteri-legszeny-nyezokre-vonatkozo-iranyertekek.html>

A lakossági felvilágosító munkára pedig jó példa a dohányzás elleni kampány, illetve az, hogy az Országgyűlés 2011. április 26-án elfogadta a 2011. évi XLI. törvényt „a nemdohányzók védelméről és a dohánytermékek fogyasztásának, forgalmazásának egyes szabályairól szóló 1999. évi XLII. törvény módosításáról”, amely jelentős mértékben szigorítja a dohányzás térbeli korlátozásával kapcsolatos rendelkezéseket. A törvénymódosítás 2012. január 1-jén lépett hatályba. A törvény módosítása szerint dohányzási tilalom vonatkozik valamennyi zárt légtérű közforgalmú helyiségre, azaz valamennyi munkahelyre, egészségügyi szolgáltatóra, vendéglátó ipari egységre, beleértve a közintézményeket, szórakozóhelyeket, kocsmákat, bárakat, tömegközlekedési eszközöket, buszmegállókat, a gyalogosok által használt aluljárókat, játszótereket és azok 5 méteres körzetét is.

Mindez a felvilágosító munka az egészségügy felelőssége és feladata.

HARMONIZÁLT SZABÁLYOZÁS A LEVEGŐMINŐSÉG TERÜLETÉN

Dr. Szigeti Tamás

Az utóbbi évtizedekben központi kérdéssé vált a légszennyezettség csökkentése.

Az Európai Unió országaiban összehangolt, közösségi irányelvek szerint végzett levegővédelem folyik a szennyezőanyag kibocsátása (emisszió) és az immisszió területén egyaránt.

A határokon átnyúló hatások miatt a levegő minőségének hatékony védelme megköveteli az együttműködést az Európai Unióval és más nemzetközi szervezetekkel. Globális szinten a légszennyezés elleni küzdelem nemzetközi egyezmények keretében zajlik.

Magyarország részese – többek közt – az alábbi **nemzetközi egyezményeknek**:

- a nagy távolságra jutó, országhatárokon áterjedő légszennyezés mérséklésére irányuló Genfi Egyezmény és Jegyzőkönyvei;
- a magaslégtér ózonréteg védelmére irányuló Bécsi Egyezmény (1985) és az ehhez kapcsolódó Montreáli Jegyzőkönyv (1987);
- ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény – Rio de Janeiro (1992);
- Kiotó-i Jegyzőkönyv, mely az előző egyezmény kiegészítő jegyzőkönyve (1997).

Az 1979-ben aláírt **Genfi Egyezmény** volt az első olyan megállapodás, amely kontinentális léptékű megoldást keresett a légszennyező anyagoknak a környezetre, és az emberi egészségre gyakorolt káros hatásainak kivédésére. Az Egyezmény céljainak megvalósítása érdekében eddig a következő jegyzőkönyveket fogadták el:

- Európai Megfigyelési és Értékelési Program (EMEP) a légszennyező anyagok nagy távolságú transzmissziójára (1984);
- Helsinkii Jegyzőkönyv a kén-dioxid kibocsátás legalább 30%-os csökkentéséről (1985);
- Szófiaii Jegyzőkönyv a nitrogén-oxidok kibocsátásának és terjedésének korlátozására (1988);
- Genfi Jegyzőkönyv az illékony szerves vegyületek (VOC) kibocsátásának és terjedésének korlátozására (1991);
- Oslói Jegyzőkönyv a kén-dioxid kibocsátások további csökkentéséről (1994);
- Aarhusi Jegyzőkönyv a környezetben tartósan megmaradó szerves szennyező anyagok (POP) légköri kibocsátásának csökkentéséről (1998);
- Aarhusi Jegyzőkönyv a nehézfémek légköri kibocsátásának csökkentéséről (1998);
- Göteborgi Jegyzőkönyv a savasodás, az eutrofizáció és a talaj közeli ózon szennyezettség csökkentéséről (1999). A **Göteborgi** 1999. évi jegyzőkönyv részes felei 2007-ben tárgyalásokat kezdtek, hogy egyes légszennyező anyagok tekintetében új, 2020-ig teljesítendő kibocsátás-csökkentési kötelezettségek kerüljenek rögzítésre és aktualizálásra kerüljenek a kibocsátási határértékek.

A módosított Jegyzőkönyv új nemzeti szintű kibocsátás-csökkentési vállalásokat rögzít, amelyeket 2020-ig, és azt követően kell teljesíteni SO₂, NO_x, nem metán VOC, NH₃, továbbá PM_{2,5} részecske vonatkozásában.

A jegyzőkönyv módosításának az uniós jogba való átültetését több jogi aktus révén kell biztosítani.

A Bizottság ezért javaslatot tett:

- a nemzeti kibocsátási határértékekről szóló irányelv módosításáról szóló európai parlamenti és tanácsi irányelvre; és
- a közepes tüzelőberendezésekből származó egyes szennyező anyagok levegőbe történő kibocsátásának korlátozásáról szóló európai parlamenti és tanácsi irányelvre.

E két irányelvet a kibocsátásforrás-korlátozásról szóló meglévő irányelvekkel, így többek között az ipari kibocsátásokról szóló, 2010. november 24-i 2010/75/EU európai parlamenti és tanácsi irányelvvel együttesen kell alkalmazni.

Az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezményében Részes Felek 2015 decemberében megtartott 21. párizsi találkozóán született meg a globálisan elfogadott Párizsi Megállapodás, melyet a felek 2016-ban írtak alá, az Európai Unió pedig még abban az évben ratifikálta. Ezzel összefüggésben az országok a fosszilis tüzelőanyagok használatának csökkentésére, illetve kivézetésére tettek különböző határidejű nemzeti vállalásokat (lásd a „*Klímaváltozás egészséghatásai*” c. fejezet).

A jelenlegi európai uniós szabályozás alapját a környezeti levegő minőségéről és a „Tisztább levegőt Európának” elnevezésű programról szóló 2008/50/EK irányelv képezi, mely a legtöbb korábbi irányelvet egyesíti. Az irányelv fenntartja a környezeti levegőben található arzénről, kadmiumról, higanyról, nikkelről és policiklusos aromás szénhidrogénekről szóló, 2004/107/EK irányelvet.

A Bizottság (EU) 2015/1480 irányelve a környezeti levegő minőségének vizsgálata keretében alkalmazott referenciamódszereket, adathitelesítést és mintavételi pontok elhelyezkedését meghatározó szabályok tekintetében az Európai Parlament és a Tanács 2004/107/EK és a 2008/50/EK irányelvei egyes mellékleteinek módosításait tartalmazza.

A környezeti levegő minőségéről szóló szabályozás felülvizsgálata jelenleg folyamatban van.

A kibocsátási forrásokat illetően az egyik aktuális szabályozás az ipari kibocsátásokról szóló 2010/75 irányelv, amely kodifikálja többek között a környezetszennyezés integrált megelőzéséről és csökkentéséről szóló 2008/1 (96/61) irányelvet, a nagy tüzelőberendezésekből származó egyes szennyező anyagok levegőbe történő kibocsátásának korlátozásáról szóló 2001/80 irányelvet, illetve a hulladékok égetéséről szóló 2000/76 irányelvet.

Az Európai Parlament és a Tanács 715/2007/EK rendelete a könnyű személygépjárművek és haszongépjárművek (Euro 5 és Euro 6) kibocsátás tekintetében történő típusjóváhagyásáról és a járműjavítási és -karbantartási információk elérhetőségéről szól, melyet a Bizottság 2017/1151 rendelete egészít ki.

Az egyes légköri szennyező anyagok nemzeti kibocsátásainak csökkentéséről, a 2003/35/EK irányelv módosításáról, valamint a 2001/81/EK irányelv hatályaon kívül helyezéséről (EGT-vonatkozású szöveg) szóló 2016/2284 irányelve többek között előírja a tagországoknak a kibocsátáscsökkentési kötelezettségeit az alábbi légszennyezőkre: PM_{2,5}, SO₂, NO_x, NH₃ és metántól eltérő illékony szerves vegyületek (NMVOC).

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) is kiemelt figyelmet fordít a levegőminőséggel kapcsolatos elemzések, iránymutatások és eszközök kidolgozására. Hosszas előkészítő munka után a WHO 2021 szeptemberében publikálta a 2005-ben kiadott, a levegőminőséggel kapcsolatos iránymutatásának frissített változatát (WHO global air quality guidelines²¹).

A legutóbbi iránymutatás kiadását követő másfél évtizedben számos új bizonyíték keletkezett a légszennyezettség egészségre gyakorolt hatásáról, illetve a legfrissebb tanulmányokban is sorra egyértelművé vált, hogy a légszennyezők már nagyon alacsony koncentrációban is jelentős egészséghatással bírnak. Így a népesség egészségének védelme érdekében a vizsgált légszennyezőkre (PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, O₃, SO₂, CO) vonatkozó új irányértékek alacsonyabbak, mint korábban meghatározottak. Az iránymutatás átmeneti célértékeket is javasol, melyek segítik azokat az országokat és régiókat, ahol a légszennyezettség súlyosabb probléma és a javasolt irányértékek elérése jelentős intézkedések meghozatalát teszi szükségessé. Számos légszennyező (pl. ultrafinom részecskék, elemi szén, szél által szállított por) esetén még nincs elegendő bizonyíték irányértékek meghatározására, azonban a jelentés ezen légszennyezők esetén joggyakorlatokat sorol fel arra vonatkozóan, hogy milyen jellegű vizsgálatok szükségesek a pontos kitettség meghatározásához, illetve arról is, hogyan csökkenthető a kitettség mértéke. Az irányértékek a környezeti és a beltéri levegőminőségre egyaránt vonatkoznak.

A WHO iránymutatása jelenleg jelentősen alacsonyabb irányértékeket határoz meg, mint az Európai Unióban jelenleg érvényben lévő, a környezeti levegőminőségre vonatkozó határértékek.

Míg a környezeti levegőminőség jól szabályozott az Európai Unióban, illetve a tagállamokban, addig a beltéri levegőminőséget illetően nincs egységes szabályozás. Nemzetközi szinten a WHO 2010-ben közreadott iránymutatása²² fogalmaz meg irányértékeket néhány légszennyező (benzol, CO, formaldehid, naftalén, NO₂, policiklikus aromás szénhidrogének, radon, triklóretilén, tetraklóretilén) koncentrációjára.

Nemzeti szinten számos országban léteznek irányértékek, illetve határértékek a beltéri levegőminőség fizikai, kémiai és biológiai szennyezőit illetően. A Beltéri Levegőminőség és Klíma Nemzetközi Társasága (International Society of Indoor Air Quality and Climate) egy projekt keretében összegyűjtötte a világ országaiban érvényben lévő iránymutatásokat, melyek elérhetőek a beltéri környezetminőségi (IEQ) irányelvek adatbázisában²³.

²¹ <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>

²² <https://www.who.int/publications/i/item/9789289002134>

²³ <https://ieqguidelines.org/index.php>

Hazai jogszabályok

Az Országgyűlés az 1992. november 17-i ülésén hozott 80/1972. (XI. 25.) OGY határozatával a Magyar Köztársaság és az Európai Közösségek valamint azok tagállamai között társulás létesítéséről szóló, 1991. december 16-án Brüsszelben aláírt Európai Megállapodást megerősítette.

Az 1994. évi I. törvény 67. cikke szerint Magyarország Közösségbe történő gazdasági integrációjának egyik alapvető feltétele az, hogy az ország jogszabályait közelítsék a Közösségi irányelvekhez. Ezzel egyidejűleg Magyarország biztosítja, hogy lehetőség szerint a jövőbeni jogszabályok összeegyeztethetők legyenek a közösségi előírásokkal.

1998. március 26-án a Kormány elfogadta a 2084/1998. (IV. 8.) sz. határozatát Magyarország és az Európai Unió közötti csatlakozási tárgyalások alapvető kérdéseiről, a tárgyaló delegáció kijelöléséről, a közösségi joganyag átvételének nemzeti programjáról, valamint a csatlakozásra való felkészülés gazdaságstratégiai háttéréről.

A környezetvédelmi joganyag átvilágítási szakasza 1998 áprilisában kezdődött és 2002 őszén zárult le.

Bár a hazai levegőtisztaság-védelmi jogszabályaink és gyakorlatunk, a levegőszennyezettség szabályozása, mérése és adatkezelése már a csatlakozási felkészülés időszakában is számos vonatkozásban megfelelt az uniós elvárásoknak, vagy azokhoz közel állt, szükség volt az új jogszabályi háttér megteremtésére és ezzel párhuzamosan az intézményrendszer fejlesztésére.

A hazai levegőminőség-védelem stratégiai célja nem szennyezett területeken a jó állapotú levegő fennmaradásának, a terhelt területeken a határértékeknek megfelelő levegőminőség biztosítása. Ennek érdekében a szabályozás négy alapelve:

- elővigyázatosság (terhelés minimalizálása, levegőszennyezés megelőzése, környezetkárosítás kizárása, helyreállítási kötelezettség),
- felelősség (kárfelölősség, szennyező fizet),
- együttműködés (jog és kötelezettség),
- nyilvánosság (tájékoztatás, tájékozódás).

Ezen elvek megvalósításához sokrétű műszaki (légszennyezettségi és kibocsátási cél- és határértékek, adatszolgáltatások, szabványosított mérések), gazdasági-jogi szabályozók (szankciók, bírságok, díjak, ellenőrzések), szennyezettség csökkentési intézkedési tervek és az intézkedések nyomon követésének eszközzrendszere áll rendelkezésre.

Az EU irányelvei mellett a hazai szabályozásban jelenleg törvények, kormány- és miniszteri rendeletek a mérvadók:

- *LIII./1995. (VI. 22.)* törvény a környezet védelmének általános szabályairól,
- *306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet* a levegő védelméről,
- *4/2002. (X. 7.) KvVM rendelet* a légszennyezettségi agglomerációk és zónák kijelöléséről,
- *4/2011. (I. 14.) VM rendelet* a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről,
- *6/2011. (I. 14.) VM rendelet* a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról,
- a kisméretű szálló por (PM₁₀) csökkentés ágazatközi intézkedési programjáról szóló *1330/2011. (X. 12.) Korm. határozat*.

Az egyes légköri szennyező anyagok nemzeti kibocsátásainak csökkentéséről szóló *2016/2284/EU irányelv* alapján egy átfogó, nem csak a PM₁₀ szennyezőre vonatkozó, komplex légszennyezés-csökkentési programot kellett elfogadnia és kihirdetnie valamennyi EU ország kormányának. Ennek megfelelően az előző Korm. határozatot az Országos Levegőterhelés-csökkentési Programról (a továbbiakban: OLP) szóló *1231/2020. (V. 15.) Korm. határozat* váltotta fel. Az OLP a PM_{2,5}, SO₂, NO_x, NH₃ és metántól eltérő illékony szerves vegyületek (NMVOC) csökkentési programját foglalja magába a levegőminőség javítása érdekében. A program konkrét célkitűzése, hogy 2030-ig a kisméretű részecske emisszió 55 százalékkal, az ammónia kibocsátás 32 százalékkal, a kén-dioxid kibocsátás 73 százalékkal, a nem metán illékony szerves anyagok kibocsátása 58 százalékkal, a nitrogén-oxidok kibocsátása pedig 66 százalékkal csökkenjen az országban a 2005-ös szinthez képest.

A jogérvényesítéshez szükséges intézményfejlesztés a jogharmonizációval összhangban valósult meg. Ennek keretében 2002. február 1-től az ország levegőminőségét ellenőrző mérőhálózat az ÁNTSZ intézetektől a környezetvédelmi tárca hatáskörébe került át.

A közösségi levegőminőség mérési és adatszolgáltatási követelmények teljesítéséhez szükséges hálózati korszerűsítést az egészségügyi tárca kezdte meg 1999-2000-ben, de a megvalósítás már a környezetvédelmi tárca feladata volt. A további fejlesztések szintén a környezetvédelem finanszírozásában és annak koordinálásával folytak.

A LÉGSZENNYEZETTSÉG ELLENŐRZÉSE

Dr. Beregszászi Tímea, Dr. Szigeti Tamás

A környezeti levegő minősége kockázati tényezője az emberi egészségnek és a környezetnek egyaránt. Az ember egészségének védelme és életfeltételeinek biztosítása érdekében a lakott területek levegőminőségének szabályozására stratégiákat kell kidolgozni és megvalósítani.

A szabályozási rendszerben a levegőminőség ellenőrzése meghatározó szerepet tölt be.

A levegőminőség megállapításának leginkább objektív eszköze a mérésekkel történő ellenőrzés, azaz a **monitoring**. A monitoring célja a lakossági expozíció meghatározása és az egészségügyi hatások felmérése, a szennyezettség időbeni és területi megoszlásának megállapítása.

Fontos feladata a légszennyezettség és a nemzeti/nemzetközi határértékeknek való megfelelés vizsgálata, a szennyezettségi vészhelyzetek jelzése (szmogriadó) és a lakosság tájékoztatása a levegőminőség állapotáról, valamint a lakossági panaszok kivizsgálása. A monitoring objektív eszköz a döntéshozók kezében a levegőminőség-szabályozás területén. A mérési eredmények felhasználhatók az emisszióforrások azonosításában, a településrendezésben, a közlekedés-szervezésben, a város- és iparfejlesztésben és a környezeti hatásvizsgálatok készítésében. A levegőminőségi trendanalízis segíthet a jövő légszennyezettségi problémáinak megfogalmazásában. A levegővédelmi követelményeket az országos és regionális környezetvédelmi, illetve társadalmi, gazdasági programok, tervek, a területfejlesztési, terület- és településrendezési tervek, településfejlesztési terv kidolgozása során, valamint a helyi önkormányzatok környezetvédelmi programjaiban, a gazdálkodó szervezetek terveiben és a műszaki tervezésben érvényesíteni kell²⁴.

Sok esetben azonban a mérés egyedül nem elegendő. Szükséges kiegészítésként más értékelési módszereket is alkalmazni, mint például a **modellszámítást**, az emisszió leltárt és emisszió mérést, az interpolációt, a térképes megjelenítést és az egyszerű **becslési technikát**. A levegőminőség mérése és a modell-alapú értékelés egymást kiegészítő módszer. A modellszámítás hatékony eszközként alkalmazható a szennyezettség előrejelzésére és az ellenőrző stratégiák optimalizálására. A módszer használhatóságát növeli a monitoring adatokkal történő validálás. Önállóan azonban csak korlátozottan használható, mivel csupán megközelítő információt ad a légszennyezettség mértékéről és területi eloszlásáról.

Magyarországon a levegőterheltségi szintet, és a légszennyezettségi határértékek betartását az Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat²⁵ (a továbbiakban: OLM) vizsgálja. A mérőhálózat automata (folyamatos) működésű és manuális mérőállomásokból áll, melyet a környezetvédelmi feladatkörében eljáró vármegyei kormányhivatalok, illetve a HungaroMet Nonprofit Zrt. (korábban Országos Meteorológiai Szolgálat) üzemeltetnek. A levegőterheltségi vizsgálatok kiterjednek minden olyan légköri (időjárási) jelenségre is, amely a levegő minőségét bármilyen módon és mértékben befolyásolhatja. A hálózat működését a HungaroMet Nonprofit Zrt. felügyeli, a Levegőtisztaság-védelmi Referencia Központ (a továbbiakban: LRK) feladata a szakmai irányítás mellett a minőségirányítási és az országos adatközponti feladatok végzése is.

²⁴ 306/2010 (XII.23.) Korm. rendelet

²⁵ <https://legszenneyezettseg.met.hu/>

Az OLM által mért levegőterheltségi adatok interneten keresztül történő elérhetőségét, és a nyilvánosság folyamatos tájékoztatását, a környezetvédelemért felelős miniszter az LRK útján biztosítja²⁶.

Hazánkban a levegőminőség megítélése a fent említett OLM adatbázisának felhasználásával a következő szempontok alapján történik:

- a légszennyezettség mértéke és időbeli alakulása;
- a légszennyezettség szezonális jellege;
- a légszennyezettség területi változása.

Magyarország levegőminőségének jellemzése

Az utóbbi 20-30 évben sokat javult Magyarország levegőminősége. Egyrészt a 80-as években a gázprogram, a távfűtés bevezetésével jelentősen csökkent a háztartási tüzelésből származó emisszió, másrészt 1989-től kezdődően fokozatosan csökkent az ipari tevékenység volumene is. A korábban jelentős szennyezéssel járó (pl. nehézipari, építőanyag-ipari) iparágak megszűntek. A megszűnt vállalatok helyét részben kereskedelmi és szolgáltató tevékenységet folytató gazdálkodó egységek vették át, melynek következtében viszont növekedett a közlekedési emisszió.

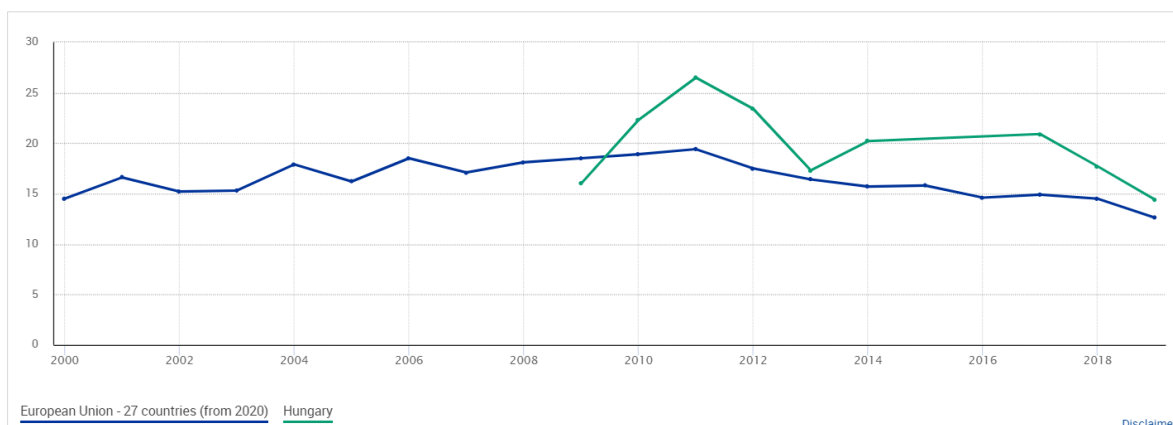
Az ezredforduló után a levegő védelmét célzó EU irányelveknek, környezetvédelmi előírásoknak köszönhetően az iparban és a fűtési technológiákban is komoly szennyezéscsökkentő beruházások valósultak meg. Javultak a gépjárművek fajlagos emissziós jellemzői is, megjelentek az elektromos és hibrid modellek, ugyanakkor – a gépjárművek számának növekedése miatt – a közlekedésből származó kibocsátás a városokban, különösen a sűrűn beépített belvárosi területeken jellemzően nem csökkent. A légszennyezettség alakulásában szerepe van az országhatáron kívülről érkező szennyezésnek is.

A fentiek következtében napjainkban is számolni kell a légszennyezettség negatív hatásaival, a fő szennyezőanyagok közül a kisméretű részecskék (PM_{2,5}), a nitrogén oxidok és a talajközeli ózon okoz problémát.

A nyári hónapokban megnövekedett ózon szennyezettség a tartósan napsütötte területeken gyakran meghaladja az egészségügyi határértéket, de a tájékoztatási küszöb alatt marad.

A kisméretű aeroszol részecskék koncentrációjának csökkenő trendje az elmúlt években lelassult hazánkban és az európai országokban is (43. ábra). A nehezebb szociális és gazdasági helyzetben a lakosság egy része továbbra is szilárd tüzelőanyagokat alkalmaz. A fűtési szezonra jellemző magas PM_{2,5} koncentrációk kialakulásában lényeges szerepet játszanak a meteorológiai, földrajzi viszonyok, illetve a városszerkezet és beépítettség is.

²⁶ 306/2010. (XII.23.) Korm. rendelet



43. ábra A lakosságszámmal súlyozott PM_{2,5} tömegkoncentráció (µg/m³) alakulása az Európai Unió 27 országában és Magyarországon 2000 és 2019 között
(forrás: Eurostat)

Az OLM által vizsgált területek levegőminőségét vizsgálva a leginkább szennyezett terület hazánkban az észak-magyarországi régió, főként kedvezőtlen földrajzi és gazdasági helyzete miatt. A Sajó-völgye a geográfiai adottságai miatt nehezen szellőzik át. A lakossági fa- és egyéb tüzelőanyagok, illetve hulladékok elégetése miatt nagy a részecske kibocsátás, amihez hozzájárul még a közlekedés eredetű szennyezés is. Az inverz időjárási helyzetek során nehezen hígul, keveredik a levegő, a szűk völgyekben „megül” az alacsony felhőzet alatt a magas részecske szennyezetséggű levegő, emiatt gyakran magas a kisméretű aeroszol részecskék koncentrációja.

Az Európai Unió 2008/50/EK irányelve szabályozza a légszennyezőkre vonatkozó egészségügyi határértékeket, melyeket a hazai jogrendben a *levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről* szóló 4/2011. (I. 14.) VM rendelet (a továbbiakban: 4/2011. VM rendelet) tartalmaz.

A fenti határértékeket hazánk több településén sem sikerült teljesíteni. Így az Európai Bizottság 2008-ban kötelezettségszegési eljárást indított hazánkkal szemben. Ennek megoldására született első körben a fent említett, a kisméretű szálló por (PM₁₀) csökkentés ágazatközi intézkedési programjáról szóló 1330/2011. (X. 12.) Korm. határozat, melyet a későbbiek során felváltott az Országos Levegőterhelés-Csökkentési Program.

A légszennyezettség méréssel történő ellenőrzése

A környezeti levegő szennyezetségének mérésére különböző módszereket alkalmaznak.

- **Egyedi mérések:**

- szűrőpróbaszerű mérések – manuális vagy automatikus, kevés az információ tartalma, nem lehet belőle általános következtetéseket levonni;
- rendszeres – manuális (offline) vagy automatikus (online);
- területi lefedettség – több mérőponton fix állomásokkal vagy változó mérőpontok mobil mérőállomással.

- **Mérőhálózat** – rendszeres mérésekkel több mérőponton, jól használható információt ad, de fenntartása nagy költségigényű:
 - Offline: a mintavétel és a mérés egymástól elválasztott, lehet automatizált mindkettő vagy csak az egyik, de az adatáramlás nem automatikus.
 - On line: a mintavétel és a mérés egyszerre, együtt történik, mindkettő automatizált, az adattárolás automatikus.

A légszennyezettség méréssel történő ellenőrzésének megtervezésénél több szempontot kell figyelembe venni:

- Milyen célra akarják a mérési eredményekből származó információt felhasználni?
- Milyen típusú és mekkora területről szükséges az információ?
- Melyek a főbb szennyező komponensek, amelyeket feltétlenül mérni kell?
- Milyen nagyságrendű a szennyező anyagok jelenléte?
- Milyen pontosságú adatokra van szükség?

A fenti szempontok meghatározása után következik az alkalmazandó méréstechnika, mérési stratégia (mérőpontok száma és típusa), minőségbiztosítási feltételek, adatfeldolgozási módszerek és a költségek számbavétele.

Mérőpontok kijelölésének szempontjai:

- vizsgálat céljának megfelelő típusú mérőpont;
- vizsgálat céljának megfelelő számú mérőpontok;
- reprezentativitás.

Méréstechnikák

A legegyszerűbb technika a **passzív mintavétel**, amely alkalmas a gázállapotú szennyezők mintavételére meghatározott sebességű fizikai folyamat által, úgymint diffúzió egy állófázison vagy permeáció egy membránon.

A legelterjedtebb passzív mintavevő általában cső formájú, és a zárt vég tartalmazza az abszorbert vagy adszorbert a gázok megkötésére. Az alapelv, mint egy diffúziós cső esetében, hogy a gázmolekulák a nagy koncentrációjú részből diffundálnak az alacsony koncentrációjú részbe.

A gázmolekulák mozgása a Fick-törvénnyel írható le. Az 1950-60-as évek között már több helyen alkalmazták ezt a mintavételi eljárást, melyet azonban akkor kiszorítottak az aktív mérési technikák.

Újabban korszerűsített formában ismét teret hódít elsősorban azért, mert könnyen kivitelezhető, nem igényel áramforrást, védelmet és olcsó módszer. Nagyszámú mintavételt tesz lehetővé, ezáltal jól alkalmazható a szennyezettség területi eloszlásának megismerésére. Nem megfelelő azonban a légszennyezettség rövid időszak alatti változásának megítélésére, mivel integrált (általában heti, havi) eredményeket szolgáltat. Az exponált minták feldolgozása intenzív laboratóriumi háttérrel igényel. Különböző gáztípusokra különböző mintavevőket alkalmaznak.

Passzív mintavevőket fejlesztettek ki NH_3 , HCl , aldehidek, illékony szerves vegyületek, fenol, kén-hidrogén, nitrogén-dioxid, kén-dioxid és ózon mérésére is.

Az **aktív, szakaszos mérési módszerhez** szükség van elektromos energiára, hogy a levegőt keresztül szívjuk a kémiai vagy fizikai gyűjtő közegen. Az adott szennyező anyag megkötése történhet abszorpció, adszorpció, befogás, szűrés, diffúzió vagy kémiai reakció útján.

A leggyakrabban alkalmazott aktív mintavételi technika az abszorpciós mintavétel, melynek legegyszerűbb típusa a buborékolók vagy impingerek. Más lehetőségek a denuderek, gáztisztító berendezések vagy spray abszorberek. Alkalmazott eljárás még az impregnált filteres mintavétel, melynek során oldatok használata helyett abszorpcióra és kémiai reakcióra kémiailag impregnált filtereken szívatják át a levegőt. Ez a mintavételi technika már lehetőséget ad a légszennyezettség napi változásának meghatározására is. A mintavevő eszközök közepes árfekvése miatt szintén alkalmas a szennyezettség területi megoszlásának vizsgálatára. A módszer a mintavétel és az analízis tekintetében egyaránt munkaigényes.

Miután a mintavétel és az analízis térben és időben elválik, a módszer nem szolgáltat naprakész adatokat. Jól megfelel azonban a települések levegőminőségének és a szennyezettség trendek megállapítására, és a környezet-egészségügyi összefüggések elemzésére. Széles körben alkalmazzák kén-dioxid, nitrogén-dioxid és ózon meghatározására.

Folyamatos mérési módszer, amely az automatikus analizátorok alkalmazásával pillanatnyi mérési eredményeket szolgáltat, és ezáltal alkalmas a szennyezettség dinamikájának nyomon követésére és a csúcskoncentrációk megállapítására. Az analizátorok bonyolult készülékek, és ezért kezelésüket csak szakképzett személyzet tudja ellátni. A rendszer beruházási és fenntartási költségigénye igen magas. Az automatikus analizátorokból épülnek fel általában a több szennyező komponens (kén-dioxid, nitrogén-oxidok, szén-monoxid, szén-hidrogének, ózon, PM₁₀, PM_{2,5}, BTEX) és a meteorológiai paraméterek egyidejű mérésére alkalmas mérőhálózatok.

A légszennyezettség mérésére használják még a távérzékelőket és a bioindikátorokat.

Ezen módszerek széleskörű, rutinszerű alkalmazása még nem gyakorlat, azonban az Európai Unió céljai között is szerepel a rendszeres, harmonizált (humán) biomonitoring végzése a jövőben.

A légszennyezettség értékelése

A települések légszennyezettsége térben és időben változik a különböző források, illetve a fent leírt, egyéb befolyásoló tényezők emissziója függvényében. A lakosság és a környezet expozícióját döntő mértékben meghatározza a források viszonylagos területi elhelyezkedése. Ebből következően az értékelés fő szempontja a légszennyezettség tér- és időbeli felbontásának megállapítása. A *levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról* szóló 6/2011. (I. 14.) VM rendelet szabályozza a levegőterheltségi szint vizsgálatát, ellenőrzését és értékelését.

A levegőminőségi állapot jellemzésének alapja a határértékekkel történő összevetés, amely a határérték-túllépések mértékének és számának vizsgálatát jelenti. A légszennyezettség egészségügyi határértékeit a 4/2011. VM rendelet tartalmazza. A rendelet tartalmazza a tájékoztatási és riasztási küszöbértékeket is, melyek alapján történik a füstköd-riadó terv végrehajtása. Azokon a településeken, ahol a szmoghelyzet kialakulásával kell számolni, és a légszeny-

nyezettség folyamatos mérésének feltételei adottak, a veszélyhelyzet elkerüléséhez és az esemény tartósságának csökkentéséhez füstköd-riadó tervet kell kidolgozni *a levegő védelméről* szóló 306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet (a továbbiakban: 306/2010. Korm. rendelet) alapján. A füstköd-riadó terv készítésének feltételeit és tartalmi követelményeit a 306/2010. Korm. rendelet 2. melléklete tartalmazza.

A NÉPEGÉSZSÉGÜGYI SZERVEK SZEREPE A LEVEGŐHIGIÉNE TERÜLETÉN

Dr. Beregszászi Tímea, Dr. Szigeti Tamás

A hatályos rendelkezések értelmében a **Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ** (a továbbiakban: NNGYK) feladatkörébe tartozik:

- új módszereket dolgoz ki és állít be a bel- és kültéri biológiai és kémiai légszennyezők koncentrációjának meghatározására, ezzel az újonnan felmerülő egészségkockázatok azonosítását is célozza;
- vizsgálatokat végez a légszennyezettség szintjének megállapítására környezeti levegőben és belső terekben kutatási céllal és felkérésre hatósági eljáráshoz; az eredmények alapján a légszennyezettség egészségkárosító hatását értékeli, javaslatokat ad az expozíció csökkentésére;
- országos felméréseket végez különböző középületek (pl. általános iskolák, irodaépületek, idősek otthona, uszodák) levegőminőségét illetően az egészségkockázatok megállapításához, illetve a szükséges nemzeti akciótervek kidolgozásához;
- napi rendszerességgel értékeli Budapest és az ország nagyvárosai levegőminőségének egészségkockázatát, tanácsot ad a kockázat csökkentésére, melyet a lakosság tájékoztatása céljából közread az NNGYK honlapján;
- az újonnan felmerülő egészségkockázatokat vizsgálja és javaslatot tesz a kockázatok esetleges kezelésére és csökkentésére;
- a bel- és kültéri levegőminőséget érintő kérdésekben szakmai egyeztetéseket folytat, módszertani útmutatókat készít, oktatási intézmények részére gyakorlatokat, bemutatókat tart;
- szakmailag és módszertanilag irányítja az Aerobiológiai Hálózatot;
- részt vesz a biológiai allergének monitorozásában, a pollenjelentések napi rendszerességgel történő elkészítésében, ezen adatok közzétételében;
- hazai és nemzetközi bizottságokban szakértőként vesz részt;
- a hatósági munkához (környezeti hatástanulmányok, településrendezési tervek stb.) kapcsolódva szakértői feladatokat lát el;
- tudományosan megalapozza a környezeti levegőminőségre vonatkozó határértékek felülvizsgálatát, valamint a beltéri levegőminőség szabályozásának kialakítását;
- biztosítja a kormányhivatalok és járási (fővárosi kerületi) hivatalok szakértői háttérét, számukra oktatásokat, szakmai továbbképzéseket, munkaértekezleteket tart, útmutatókat, módszertani leveleket készít;
- a kormányhivatalok és járási (fővárosi kerületi) hivatalok népegészségügyi szerveinek jogértelmezési és szakmai megkereséseire állásfoglalásokat készít.

A hatályos rendelkezések értelmében a **kormányhivatalok népegészségügyi főosztályai és járási (fővárosi kerületi) hivatalok népegészségügyi osztályai** feladatkörébe tartoznak környezeti levegőminőség tekintetében az alábbiak:

A 306/2010. Korm. rendelet) alapján a levegőtisztaság-védelmi ügyekben eljáró hatóság a területi, illetve a járási környezetvédelmi hatóság. A 306/2010. Korm. rendelet szerint a területi környezetvédelmi hatóság a népegészségügyi hatóság együttműködésével készíti el a megfelelő intézkedéseket tartalmazó levegőminőségi tervet, azokra a zónákra és agglomerációkra, amelyekben a levegő kén-dioxid, nitrogén-dioxid, PM₁₀, PM_{2,5}, ólom, benzol vagy szén-monoxid szintje az éves levegőminőségi értékelés alapján meghaladja a határértéket. A levegőminőségi terv tartalmi elemeit a 306/2010. (XII. 23.) Korm. rendelet 1. számú melléklete tartalmazza. Olyan megfelelő intézkedéseket tartalmazó levegőminőségi tervet szükséges készíteni, amelynek a végrehajtásával a légszennyezettségi határértékek betartása a lehető legrövidebb időn belül biztosítható.

A 306/2010. Korm. rendelet szerint azokon a településeken, ahol a szmoghelyzet kialakulásával kell számolni, és a légszennyezettség folyamatos mérésének feltételei adottak, a veszélyhelyzet elkerüléséhez és az esemény tartósságának csökkentéséhez rövid távú cselekvési tervet (a továbbiakban: füstköd-riadó terv) kell kidolgozni és végrehajtani. A füstköd-riadó tervben foglalt korlátozásokat a szmoghelyzet jellegének, súlyosságának, a meteorológiai előrejelzésnek a figyelembevételével többek között a közegészségügyi hatóság véleményének figyelembe vételével rendelik el.

A népegészségügyi feladatkörében eljáró fővárosi és vármegyei kormányhivatal szakhatósági feladatai a környezeti levegőminőséget érintő kérdésekben:

- a) a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról szóló 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet szerint, az előzetes konzultáció során a levegő higiénés követelmények teljesülésének vizsgálata;
- b) az egyes tervek, illetve programok környezeti vizsgálatáról szóló 2/2005. (I. 11.) Korm. rendelet szerint a nem országos hatáskörű szerv által kidolgozott terv, illetve program esetén levegő higiénés területen várható-e jelentős hatás az adott terv, program megvalósulása esetén.

Az egészségügyi hatósági és igazgatási tevékenységről szóló 1991. évi XI. törvény értelmében a járási (fővárosi kerületi) hivatalok népegészségügyi osztályainak feladata a kémiai és biológiai légszennyezettség (immisszió) rendszeres közegészségügyi értékelése az egészségügyi határértékek figyelembe vételével, a kémiai és biológiai légszennyezettségi határértékek kidolgozásában való közreműködés, a légszennyezettség lakosság egészségi állapotára gyakorolt hatásának vizsgálata, és lakossági panaszügyek kivizsgálásában való közreműködés.

VÍZHIGIÉNE

BEVEZETÉS - A VÍZ SZEREPE AZ EMBERI EGÉSZSÉGBEN

Dr. Vargha Márta, Sebestyén Ágnes

Víz nélkül elképzelhetetlen lenne az emberi élet. Egy ember napi ivóvízszükséglete 2-3 liter, az egyéb háztartási vízhasználat átlagosan napi 150-200 liter. Az emberi egészség szempontjából elsődleges a megfelelő mennyiségű és minőségű ivóvíz. Mégis, még napjainkban is a Föld lakosságának jelentős része (a WHO/UNICEF közös monitoring programja szerint 2020-ban 26%-a, azaz 2 milliárd ember) nem jut megfelelő mennyiségű és/vagy minőségű ivóvízhez. Azt gondolhatjuk, hogy ez csak a fejlődő országokban jelent problémát, de a **biztonságos ivóvízhez való hozzájutás** az Európai Unió, és azon belül hazánkban is felmerülő téma.

A különböző típusú, emberi felhasználásra szánt vizek minőségi kérdéseivel, kockázataival a vízhiigiéné területe foglalkozik, amelynek főbb tárgyköreit az 44. ábra foglalja össze.



44. ábra A vízhiigiéné főbb területeinek összefoglalása

A víz – amellet, hogy felhasználása az emberi szervezet számára elengedhetetlen, és bizonyos felhasználási módok esetén a szervezet számára fontos ásványi anyagok forrása – **egészségkockázatot jelentő összetevőket is tartalmazhat**. Ezek az összetevők kémiai, biológiai vagy radiológiai komponensek is lehetnek. A víz eredetű megbetegedésekkel, a kémiai kockázatok értékelésével a „A víz által okozott megbetegedések” c. fejezet foglalkozik.

Az ivóvíz minősége jelentősen változhat a vízbázistól a fogyasztói pontig. A kitermelt nyersvíz összetétele mellett jelentősen befolyásolja az ivóvíz minőségét az alkalmazott vízkezelő technológia, valamint az elosztóhálózat és az épületeken belüli belső hálózat állapota, az ott található vízzel érintkező szerkezeti anyagok minősége és az üzemeltetés módja (pl. pangó szakaszok kialakulása, csőtörések, hálózatmosatások stb.). Egészségkockázatot jelentő szennyezés bármely vízellátási lépésnél bekerülhet az ivóvízbe. A jelenlegi szabályozás egyre inkább a végponti monitorozás helyett – vagy inkább azt kiegészítve – a kockázat alapú szemléletre fókuszál. A **kockázat alapú szemlélet** lényege, hogy pontos leírásra kerüljön a vízellátó rendszer, összegyűjtésre és értékelésre kerüljenek a veszélyek és kockázatok, valamint ezekhez megelőző, ellenőrző és beavatkozó tevékenységek legyenek rendelve.

A megelőzésre fókuszál, célja, hogy még azelőtt be lehessen avatkozni, mielőtt az adott szennyező egészséget veszélyeztető mértékben megjelenne a fogyasztás helyén biztosított csapvízben. A kockázaton alapuló szemléletről a „*A vízbiztonság kockázat alapú megközelítése*” c. fejezetben lesz szó részletesen.

Az ivóvíz minőségét az ivóvíz-szolgáltató, valamint a népegészségügyi hatóságok is rendszeresen vizsgálják. Az ivóvíz minőségéről és az ellenőrzés rendjéről szóló 5/2023. (I.12.) Korm. rendelet (továbbiakban: *Kormányrendelet*) határozza meg azt, hogy milyen komponenseket és milyen gyakorisággal szükséges vizsgálni az ivóvízből. Ez a *Kormányrendelet* egy európai uniós irányelven (2020/2184/EK) alapszik. A 2020-tól hatályos irányelvben a kockázat alapú szemlélet a korábbi szabályozáshoz képest hangsúlyosabban jelenik meg. A vezetékes ivóvíz minőségére vonatkozó adatgyűjtési rendszert a legfontosabb vízminőségi paramétereket, az azokra vonatkozó határértékeket és parametrikus értékeket ismerteti (lásd „*Az ivóvíz minőségi követelményei*” c. fejezet).

A **hazai ivóvízminőséget országos és vármegyei szinten évente értékeli a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ** (továbbiakban: NNGYK) a Kormányhivatalok jelentései és az országosan összegyűjtött ivóvíz-minőségi adatok alapján. Alapvetően a magyarországi ivóvízminőség megfelelő, a legtöbb paraméter tekintetében a megfelelés 99-100%. Problémát leginkább az elöregedett hálózatokból származó, valamint néhány, vízkezelő technológia eredetű paraméter jelenti. Az ivóvíz minőségére vonatkozó információk elérhetők az NNGYK honlapján^{27,28}. A hazai ivóvíz-ellátás jelenlegi helyzetét a „*A közüzemi ivóvízellátás helyzete*” c. alfejezet mutatja be.

Magyarországon **a közműves vezetékes ivóvízhálózatra rákötött háztartások aránya 95%**. Az ország valamennyi településén van közműves ivóvízellátás, de még mindig vannak olyan településrészek (elsősorban külterületen, tanyás, zártkerti részeken, de helyenként akár belterületen is), ahol vagy nincs kiépítve az ivóvízhálózat, vagy a lakosok egy része nem csatlakozik hozzá. Ha a lakásban az ivóvíz nem a közműves hálózatról származik, vagy nincs bekötve a háztartásba, annak jelentős egészségkockázata van, így ahol van rá lehetőség, a vezetékes ivóvízellátó hálózatra csatlakozást kell támogatni. A Kormányrendelet többek között előírja a nem közműves ivóvízzel ellátott lakosok nyilvántartását is. A nem közműves ivóvízellátás problémáit a „*A nem közműves ivóvízellátás problémái*” c. alfejezet ismerteti.

Az ivóvízminőség szempontjából fontos kérdés, hogy a víz milyen anyagokkal kerül kapcsolatba, ugyanis ezekből az anyagokból különböző komponensek kerülhetnek az ivóvízbe, amelyek egyrészt közvetlen egészségkockázatot jelenthetnek, másrészt elősegíthetik a mikroorganizmusok elszaporodását, és ezzel mikrobiológiai minőségromlást, íz és szag problémákat, nitrifikációs folyamatokat idéznek elő. Az ivóvízzel érintkező szerkezeti anyagok (csövek, szelvények, bevonatok, csapok), vízszűrő anyagok, vízkezelő vegyszerek, valamint a hálózati és ballonos vízadagolók, otthoni ivóvíz utótisztító kisberendezések, ivóvízkezelő technológiák alkalmazására vonatkozó előírásokat a Kormányrendelet tartalmazza.

²⁷ Magyarországi települések ivóvízminősége: <https://nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/kornyezetegeszsegugyi-laboratoriumi-osztaly/vizhigienes-laboratorium/ivoviz/magyarorszagitelepulesek-ivovizminosege.html>

²⁸ Ivóvízminőségi jelentések: <https://nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/kornyezetegeszsegugyi-laboratoriumi-osztaly/vizhigienes-laboratorium/ivoviz/ivovizminosegi-jelentesek.html>

Alkalmazni, forgalmazni kizárólag a jogszabálynak megfelelő termékeket szabad. A lakosság szempontjából kiemelt jelentősége van az ivóvíz utótisztító kisberendezéseknek, amelyekre – részben az agresszív gyártói kommunikáció miatt – egyre nagyobb, és sokszor megalapozatlan igény jelentkezik. Előnyeik mellett ezek a berendezések vízminőség-romlást is okozhatnak, az egészségre ártalmasak is lehetnek. A **vízzel érintkező termékek**re vonatkozó előírásokat a „*Vízzel érintkező anyagok*” c. alfejezet foglalja össze, míg az otthoni ivóvíz utótisztító kisberendezések főbb kockázatait a „*Az ivóvízminőség speciális szempontjai*” c. alfejezet ismerteti.

Az ivóvíz témakörén belül speciális helyet foglalnak el a **természetes ásványvizek és gyógyvizek**. A természetes ásványvíz olyan eredeténél fogva tiszta, védett felszín alatti víz, amely adott felhasználásban kedvező tulajdonságokkal rendelkezik, minősége kielégíti a vonatkozó jogszabályok követelményeit. A bizonyítottan gyógyhatással rendelkező természetes ásványvizeket gyógyvíznek nevezzük. A természetes ásványvizeket és gyógyvizeket a Budapest Főváros Kormányhivatala engedélyezi. A palackozott ásványvizek szabályozását a 65/2004. (IV. 27.) FVM-ESzCsM-GKM együttes rendelet, a gyógyvizekre vonatkozó előírásokat a 509/2023. (XI.20.) Korm. rendelet tartalmazza. Az ásványvizek és gyógyvizek témakörével az „*Ásvány- és gyógyvizek minősége*” c. fejezet foglalkozik.

A víz az ivóvízként történő hasznosítás mellett rekreációs célokat is szolgálhat, amely felhasználási módja az ivóvízhez képest más típusú egészségkockázatot jelenthet. A szabadvizéken levő, ún. **természetes fürdőhelyekre, fürdővizekre** vonatkozó előírásokat a 78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet, míg az épített, **medencés fürdők** tekintetében a 510/2023. (XI.20.) Korm. rendelet tartalmazza. A természetes és medencés fürdővizek higiénés kérdéseivel a „*A természetes fürdővizek minősége*” és a „*Medencés fürdők*” c. fejezet foglalkozik.

A különböző emberi felhasználásra szánt vizek kapcsán – a későbbiekben jelzett kivételekkel – a hatósági feladatokat a vármegyei kormányhivatalok népegészségügyi főosztályai, valamint a járási (fővárosi kerületi) kormányhivatalok népegészségügyi osztályai végzik. A hatósági feladatokat „*A vízhygiéné hatósági feladatai*” c. alfejezet foglalja össze.

Legfontosabb tudnivalók!

- Az ivóvízminőség-szabályozásában és az üzemeltetés területén is kiemelt szerepe van a kockázat alapú szemléletnek, amely a megelőzésre helyezi a hangsúlyt.
- Az ivóvíz minőségének ellenőrzési gyakoriságát, illetve a vizsgálandó komponenseket és vonatkozó határértékeket, valamint parametrikus értékeket az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet tartalmazza.
- Magyarországon alapvetően jó az ivóvíz minősége, a megfelelőségi arány a legtöbb paraméter tekintetében 99-100%. A fő problémát az előregedő hálózatokból és a nem megfelelő üzemeltetésből eredő komponensek jelentik. Az ivóvíz minőségére vonatkozó információk nyilvánosan elérhetők (az NNGYK honlapján).
- Hazánkban a közüzemi vezetékes vízzel való ellátottság 95%-os. A nem közüzemi vízellátásból származó ivóvíz jellemzően nagyobb kockázatot jelent.
- Az ivóvízzel érintkező termékek alkalmazására vonatkozó előírásokat az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet tartalmazza. Az előírásoknak megfelelő termékek listáját tartalmazó közhiteles nyilvántartás nyilvánosan elérhető.
- Az ásványvizekre és gyógyvizekre az ivóvíztől eltérő előírások, szabályozás érvényes. A palackozott ásványvizek szabályozását a 65/2004. (IV. 27.) FVM-ESzCsM-GKM együttes rendelet, a gyógyvizekre vonatkozó előírásokat a 509/2023. (XI.20.) Korm. rend. tartalmazza.
- Az ivóvízként történő felhasználás mellett a víz rekreációs célokat is szolgálhat természetes vagy medencés fürdővíz formájában. A vonatkozó előírásokat a természetes fürdőhelyek kapcsán a 78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet, míg a medencés fürdővizek tekintetében a 510/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet tartalmazza.
- Az emberi felhasználásra szánt vizek kapcsán illetékes hatóság a vármegyei kormányhivatalok népegészségügyi főosztályai, valamint a járási (fővárosi kerületi) kormányhivatalok népegészségügyi osztályai.

A VÍZ ÁLTAL OKOZOTT MEGBETEGEDÉSEK

Dr. Róka Eszter, Dr. Vargha Márta

A vízzel terjedő fertőző megbetegedések

A vízzel kapcsolatos megbetegedések túlnyomó többsége világszerte a nem megfelelő minőségű (jellemzően mikrobiológiailag szennyezett) vagy nem elegendő mennyiségben rendelkezésre álló ivóvízre vezethető vissza. A Földön legalább 2 milliárd ember nem jut egészséges ivóvízhez, és a fejlődő országokban a nem megfelelő higiénés viszonyok következtében kialakult hasmenéses megbetegedés a második vezető halálok az öt éven aluli gyermekek körében. Ezért még ma is prioritása van az (ivó)víz által okozott járványok és a vízzel terjedő kórokozók által okozott sporadikus megbetegedések leküzdésének. Ez nem csak és nem elsősorban a mikrobiológiai határértékek betartását, hanem mikrobiológiai szempontból biztonságos ivóvízellátó- vagy egyéb vízrendszerek létesítését és megfelelő minőségirányítással történő üzemeltetését jelenti.

A víz által okozott járványok észlelése és kivizsgálása, a víz szerepének azonosítása bizonyos fertőző betegségek terjedésében a járványügy és a környezet-egészségügy közös feladata. A felderítéshez szükséges járványügyi információnak négy fő forrása van:

- a fertőző betegségek bejelentési rendszere (OSZIR rendszer);
- a járványok jelentései;
- a laboratóriumi alapú surveillance;
- speciális felmérések.

A fertőző betegségek bejelentési rendszerében gyakorlatilag minden olyan fontosabb betegség szerepel (etiológiai vagy tüneti diagnózis szintjén), amely vízzel kapcsolatban előfordulhat. A klinikai laboratóriumi **surveillance**, amely a beteganyagokból (pl. széklet) kimutatott kórokozók előfordulását rögzíti, a korszerű hazai gyakorlatban egységes rendszert képez a fertőző betegségek bejelentésével. Ezek a rendszerek, amelyek a megbetegedések utólagos észlelését teszik lehetővé, az úgynevezett reaktív surveillance részét képezik. Ezt egészítik ki a környezet-egészségügyi felügyeleti rendszerek, például a szolgáltatott ivóvíz vagy fürdővíz minőségére vonatkozó laboratóriumi vizsgálatok, amelyek a proaktív, vagyis előrejelző laboratóriumi surveillance alapjának tekinthetők. A vízminőségi határértékek jelentős túllépései (elsősorban a fekális szennyezés súlyos vagy tartós indikációi) esetén az érintett területen a vízzel terjedő megbetegedések előfordulására fokozott figyelmet kell fordítani.

Speciális felmérések tervezhetők a populációból megfelelően kiválasztott minta megbetegedései és feltételezett kiváltó ok(ok), expozíciós tényezők közti ok-okozati összefüggés, illetve valószínűségi szint tanulmányozására. A felmérések különféle módon végezhetők: például személyes interjúkkal a kiválasztott egyének otthonában/munkahelyén, telefonon, interneten közzétett kérdőívekkel stb. A felmérés epidemiológiai típusa is többféle lehet: a legmegbízhatóbbak a prospektív kohorsz és klinikai típusú randomizált kohorsz vizsgálatok („*Környezet-epidemiológiai vizsgálatok tervezése*” c. fejezet).

Utóbbira példa a 2000-ben Németországban és Angliában, majd 2006-2007-ben Magyarországon és Spanyolországban végzett felmérés a természetes fürdők szennyezettsége és a fürdőzők körében előforduló megbetegedések közti összefüggés vizsgálatára.

A felmérés során előre kiválasztott személyek csoportjait meghatározott, egységes módon exponáltak fürdővízben, amelynek szennyezettségét az expozíció idején vizsgálták, majd a körükben előforduló – hasmenéses és egyéb – megbetegedések gyakoriságát összevetették a kontroll csoportokban előforduló hasonló megbetegedésekével és a víz szennyezettségével.

Ezek a vizsgálatok szolgáltak az Európai Unió fürdővíz irányelvében (2006/7/EK) szereplő mikrobiológiai paraméterek és azok határértékeinek megalapozásául.

Az ún. **intervenciós vizsgálatok** során egy, az expozíció, illetve a fertőzés megakadályozására alkalmasnak vélt beavatkozás (intervenció) hatását tanulmányozzák prospektív kohorsz típusú felmérés során. A cél lehet az intervencióval semlegesített kockázati tényező epidemiológiai jelentőségének vagy a beavatkozás alkalmasságának és észszerűségének vizsgálata. Ilyen felmérés során derült fény arra, hogy Montreálban szignifikáns kockázat kíséri a követelményeknek megfelelő módon kezelt és fertőtlenített és a szabványoknak megfelelő mikrobiológiai minőségű ivóvíz fogyasztását. Az akut hasmenéses megbetegedések kb. 30%-a ivóvíz eredetre volt visszavezethető a tanulmány szerint.

Vízzel terjedő kórokozók

A vízzel (is) átvihető, enterális (széklet-száj) terjedésű kórokozók közül az általuk okozott súlyos és esetenként életveszélyes megbetegedés alapján európai viszonylatban hagyományosan elsősorban a *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae*, a *Shigella* fajok és az *Escherichia coli* (*E. coli*) O157 törzsét emelik ki. Esetszámban és súlyosságban kisebb jelentőségűek azok a kórokozók, amelyeket többségében magától gyógyuló, hasmenéses típusú megbetegedés jellemez. Ilyenek például a *Salmonella* egyéb szerotípusai, a termotoleráns *Campylobacter* fajok, valamint sok enteropatogén *E. coli* törzs.

Ezek előfordulása azonban a víz- és szennyvíztisztítás elterjedésével és a közegészségügyi helyzet javulásával jelentősen lecsökkent, vízzel összefüggésbe hozható járvány Magyarországon ritka. Növekszik ugyanakkor azon potenciálisan **víz eredetű kórokozók okozta megbetegedések** aránya, amelyek ellenállnak a hagyományos vízkezelő, vízfertőtlenítő eljárásoknak, mint az enterális vírusok (norovírus, rotavírus, adenovírusok, hepatitis A és E vírus), vagy az egysejtű kórokozók (*Giardia intestinalis*, *Cryptosporidium parvum*). Hazai és nemzetközi tapasztalatok szerint ezek a kórokozók még közműves ivóvízellátás esetén is kiterjedt járványokat okozhatnak.

Jó példa erre az 1993-as milwaukeei cryptosporidiosis járvány, amely több mint 400 000 embert érintett, vagy a hazai kevert etiológiájú **miskolci ivóvízjárvány**, amelyben 3 600 ember betegedett meg. Ezek a kórokozók különösen az idősekre, kora- és újszülöttekre és más, legyengült immunállapotú személyekre veszélyesek.

Az ivóvíz mellett a fürdővíz is közvetíthet megbetegedéseket. Fürdőzés során egy átlagos felnőtt kb. 30 ml vizet nyel le, a gyermekek ennél lényegesen többet.

Természetes vizek esetében problémát jelenthet a vizekbe vezetett tisztított vagy tisztítatlan (illegálisan bebocsátott vagy túlfolyásból származó) szennyvíz, a mezőgazdaságból, állattenyésztésből származó terhelés, de akár a vízi madarak vagy maguk a fürdőzők is lehetnek a szennyezés forrásai.

Medencés fürdőknél a nem megfelelően megtervezett vagy üzemeltetett víztisztítási technológia és az elégtelen fürdőzőhigiéné jelent kockázatot. A gyógyvizes medencéket még mindig sok esetben vízkezelés és fertőtlenítés nélkül üzemeltetik, ezért nincs, ami eliminálja a fürdőzők által esetlegesen bevitt, vagy a vízrendszerben elszaporodó kórokozókat. Az ilyen típusú medencékben ezért csak az ülő használat megengedett, a víz lenyelésének minimalizálása érdekében, gyermekek egyáltalán nem használhatják, és élményelemek alkalmazása sem lehetséges. Az újabb vízkezelő technológiák és anyagok elterjedésével ez a gyakorlat visszaszorulóban van.

A **fürdővíz-eredetű megbetegedések** közt is leggyakoribbak a fürdőzők szennyezett bőrfelületeiről származó (ritkábban állati eredetű), széklet-száj úton terjedő fertőzések. Az egyéb úton terjedő fertőzések közül jelentősek még a vízrendszerekben (felületeken, csövekben) kialakuló biofilmhez köthető kórokozók. Az enterális kórokozók közül az ivóvízhez hasonlóan a fertőtlenített fürdővizek esetén a vírusok és a protozoonok jelentik a legnagyobb kockázatot. A víz nem csak szájon át, hanem a bőrrel vagy nyálkahártyával érintkezve, és egyes esetekben belélegezve is kockázatot jelenthet. Melegvizes fürdőkben gyakori kórokozó a *Pseudomonas aeruginosa* baktérium, amely kiütéseket vagy fülgyulladást okozhat. Egyes szabadon élő amőbák ugyancsak elszaporodhatnak fürdővizekben. Közülük az *Acanthamoeba* keratitist okozhat, különösen a kontaktlencse viselőkre jelent kockázatot.

A *Legionella* fajok minden melegvizes (20-50°C közötti hőmérsékletű) épített vízrendszerben megtelepedhetnek. Bár természetes vizekben is előfordulnak, ott nem tudnak fertőzésveszélyt jelentő mértékben elszaporodni. A fertőzést a *Legionella* baktériummal szennyezett vízből képződő finom vízpermet, ún. aeroszol okozza, így azok a létesítmények jelentenek elsősorban kockázatot, ahol fennáll az aeroszol képződés kockázata. A hazai tapasztalatok szerint a fertőzések többségét használati melegvíz vagy erősen levegőztetett medence (pl. pezsgőmedence vagy élménymedence) okozza. Nemzetközi viszonylatban a nagy kiterjedésű járványok elsősorban hűtőtornyokkal hozhatók összefüggésbe, ahol a hűtővíz párolgása során keletkező aeroszol akár több kilométer távolságba is eljuthat. Ezen kívül azonosítottak még fertőző közegként központi légkezelő rendszereket, szőkőkutakat és párasítót, valamint esetenként szilárd (komposztból vagy virágföldből képződő) aeroszolt. A *Legionella* baktérium légúti megbetegedést, súlyos esetben akár halálos kimenetelű tüdőgyulladást (ún. légionárius betegséget) is okozhat. Míg a korábban felsorolt kórokozók döntő többsége a víz mellett egyéb módon, például élelmiszerrel is képes fertőzni, addig a *Legionella* kizárólag vízzel (fertőzött aeroszol belégzésével) képes terjedni. Járványügyi kivizsgálás utazással vagy kórházi ellátással összefüggő esetek kivizsgálásakor kötelező.

Egyre nagyobb jelentőséget tulajdonítanak a vízhálózatokban utószaporodásra képes oportunistá kórokozóknak. Ezek a baktériumok elsősorban legyengült immunrendszerű embereket betegítenek meg, az utóbbi években azonban egyre több ilyen megbetegedést regisztrálnak, nem kizárólag súlyosan immunszuppresszált betegek esetében is.

A *Pseudomonas aeruginosa* és *Legionella* a leggyakoribb ilyen kórokozók, de a nemzetközi irodalom és egyes hazai adatok alapján problémát jelenthetnek még egyes nem tuberkulotikus *Mycobacterium* fajok, *Acinetobacter*, *Burkholderia*, *Klebsiella*, *Stenotrophomonas* nemzet

ségek egyes fajai, valamint actinomyceták és egyes gombafajok is. Ezek a szervezetek a vezetékes vízben nagyon alacsony csíraszámban jelen lehetnek, és a nem megfelelően kialakított, elöregedett vízhálózatokban az egészségre veszélyes mértékben elszaporodhatnak.

A lassú áramlású, pangó- és zsákvezetékek nem megfelelően takarított, korrodált, vízköves csövek vagy szerelvények, és a baktériumok szaporodásához megfelelő hőmérséklet (20-50°C) fokozza a kockázatot. Az egészségügyi ellátással összefüggő fertőzésekben kiemelt jelentősége van ezeknek a kórokozóknak, mivel a kórházakban, egészségügyi intézményekben a legyengült immunállapotú betegek sokkal nagyobb számban vannak jelen, és jellemzően a forrázásvesztély elkerülése érdekében a melegvíz hőmérsékletét is a baktériumok elszaporodásának kedvező tartományban, 50°C alatt tartják. A fürdők nem megfelelően tisztított, karbantartott vízkezelési egységeiben, így pl. szűrőkben, víztartályokban, kis átmérőjű víz- vagy légvezetékben is.

Az éghajlat melegedésével a hálózatokban is várhatóan nőni fog a vízhőmérséklet, ami a **másodlagos vízminőségromlás** fokozódásához vezethet. Emellett a klímaváltozás miatt egyre gyakoribbak a szélsőséges időjárási események, özvényszerű esőzések és áradások, amelyek a természetes fürdővizek és a sérülékeny vízbázisra épülő (pl. karsztvizes vagy felszíni vízkivételi rendszerek) ivóvízellátás biztonságosságát csökkentik. A 2006-os miskolci ivóvízjárvány esetén például az átlagot sokszorosán meghaladó csapadék vezetett a karsztvíz eredetű nyersvíz, és ennek eredményeképpen az ivóvíz szennyeződéséhez.

A vízjárványok

Egy vízjárvány azonosításának kritériuma **két vagy több személy azonos megbetegedése azonos forrásból származó ivóvíz elfogyasztását, vagy azonos vízzel történt rekreációs vagy foglalkozási expozíciót követően.** Tüneti diagnózison alapuló elemzésben (pl. akut hasmenéses megbetegedéseknél) vagy ha tünetmentes fertőzések száma magas lehet (pl. giardiasis), haszonnal alkalmazható egy alternatív definíció: **járványra van gyanú, ha a meghatározott tünetekkel jelentkező esetek száma meghaladja az adott helyen és időszakban várható.**

A járványgyanús esetekre vonatkozó első információk forrása általában egy vagy több háziorvos, fekvőbeteg intézet, klinikai mikrobiológiai laboratórium, továbbá egy vagy több közösség (pl. gyermekcsoport, időotthon stb.) felügyeletével megbízott személy, de időnként a média is. Előfordul, hogy a járvány első jelét fogyasztói panaszok jelentik a víz színére, szagára vagy zavarosságára esetleg – ritkán – a szolgáltató jelzi a vízkezelés vagy az elosztóhálózat meghibásodását. Az információk eljutása a közegészségügyi hatósághoz elég bizonytalan, ezért feltehetően gyakori, hogy egy kisebb járványt fel sem ismernek.

A járvány forrása általában kezdetben nem ismert; a vízhez kapcsolása speciális szempontok figyelembe vételével történhet. A járvány megerősítését, majd annak leíró jellegű jellemzését követően kerülhet sor a hipotéziskészítésre.

Számos olyan, többé-kevésbé specifikus adat állhat addigra rendelkezésre, amely a vízeredetre tereli a gyanút. A megbetegedések egybeesése egy adott ivóvízellátási területtel, vagy bármely más dominálónan közös vízexpozíciós forrás (pl. fürdőmedence, forrásvíz), pontszerű szennyezés esetén a járványgörbe kezdeti meredeksége, a kor és nembeli eloszlási adatok ebben jelentős

támogatást adhatnak. Több, önmagában nem bizonyító erejű vízeredetre utaló tényező (pl. a járványgörbe jellege és egy, a járvány előtt történt vízkezelési probléma) nagymértékben erősítheti a gyanút.

Vízjárvány alapos gyanúja esetén megfelelő intézkedést kell hozni a járvány további terjedésének megakadályozására és a gyanú lehetséges megerősítésére. Előbbi jelentheti korrekciós intézkedések előírását, esetleg az ivóvízellátás biztosítását más forrásból vagy a vízforralás elrendelését. Az ivóvízellátás felfüggesztése nemigen jöhet szóba sem higiénés okokból, és sem a vízelzárás-kiiktatás miatt kialakuló nyomáscsökkenés által okozott kockázatok miatt.

A vízjárvány hipotézis vizsgálata mikrobiológiai, epidemiológiai és környezeti úton folyhat. Még a korrekciós intézkedések előtt gondoskodni kell a feltételezett fertőző forrást jelentő víz vizsgálatáról. Közvetett bizonyítékként értékelhető a víz (fekális) szennyezettségének mikrobiológiai és/vagy mikroszkópos biológiai diagnosztizálása.

A betegek és a velük kapcsolatban álló személyek mikrobiológiai vizsgálata is lényeges a közös kóroki tényező megerősítése érdekében. A legbiztosabb bizonyíték a kórokozó kimutatása a vízből; ehhez ma már nem csak a bakteriális kórokozók, hanem számos vírus és protozoon kimutatására is rendelkezésre állnak megfelelő módszerek.

Epidemiológiai vonalon a szokásos analitikai eszköz az **eset-kontroll vizsgálat**, de esetenként a **retrospektív kohorsz vizsgálat** is alkalmazható. Az eset-kontroll vizsgálat során az eset megfelelő definíciója (a megbetegedettek kiválasztása) és a kontroll személyek megfelelő megválasztása kulcsfontosságú. Figyelmet kell fordítani a vizsgált változók (expozíciós faktorok) függetlenségére és a zavaró tényezők kiküszöbölésére.

A kohorsz vizsgálat során egy adott kockázati tényezőnek kitett csoportnál (pl. az összes adott medencében fürdött személynél) tanulmányozzuk a betegség bekövetkezésének valószínűségét.

A járvány víz eredetének megerősítése általában több kritérium teljesüléséhez kötött és a víz és járvány közti összefüggés különböző erősségű (valószínűségű) lehet. A vízeredet megerősítésének klasszifikációs rendszerei közül az angol Fertőző Betegség Surveillance Központ (Communicable Disease Surveillance Centre, CDSC) és az amerikai Betegségellenőrzési és Megelőzési Központ (Centers for Disease Control and Prevention, CDC) által alkalmazottak a legismertebbek (45. ábra).

Víz eredetű megbetegedések Nemzeti Surveillance rendszere Angliában és Walesben

- (a) a megbetegedett emberekből kimutatott kórokozó megtalálható a vízmintákban is;
- (b) dokumentált vízminőségi vagy vízkezelési hiányosság;
- (c) epidemiológiai analitikai vizsgálat (eset-kontroll vagy kohorsz) szignifikáns eredménye;
- (d) leíró epidemiológiai vizsgálat során beszerzett ráutaló bizonyíték.

Az összefüggés erőssége:

egyértelmű:	a+c, a+d vagy b+c
valószínű:	b+d, csak c vagy csak a
lehetséges:	b+d

45. ábra **A víz és a fertőző megbetegedés közti összefüggés megerősítésének kritériumai és ezek alkalmazási módja**

A járvány víz eredetének megerősítése esetén a korábban hozott vízminőség helyreállító intézkedések érvényessége megerősíthető és további, hosszútávú járvány megelőző intézkedések hozhatók (pl. a vízkezelés módszerének felülvizsgálata, a hibás ellátó csőhálózat cseréje, az ivóvízbiztonsági terv felülvizsgálata).

A fertőzések vízeredetének felderítése gyakran ütközik nehézségekbe, sokszor még sorozatos megbetegedéseknél sem gondolnak a vízre, mint fertőző forrásra, a sporadikus megbetegedésekre pedig csak különleges esetekben derül fény. A jelentési rendszerek sem jelzik általában a vízeredetet. Az egészségügyi és víz surveillance rendszerek összekapcsolása jelentős előrelépést hozhatna a víz eredetű megbetegedések felismerésében.

A kémiai vízszennyezők

A vízminőség tekintetében a **mikrobiológiai biztonság általában prioritást élvez**, mivel a vízzel összefüggő mikrobiális kórok világszerte sokkal több ember megbetegedését, sőt, halálát idézik elő, mint a kémiaiak. A kémiai vízszennyezők döntő többsége hosszú ideig tartó expozíciót követően okozhat kis gyakorisággal előforduló, **krónikus jellegű megbetegedést**, melynek kóroki tényezői gyakran rejtve maradnak, és csak korszerű epidemiológiai módszerekkel lehet az ok-okozati összefüggést igazolni. Kisebb gyakorisággal, de előfordulhatnak azonban kémiai szennyezéssel összefüggő **akut mérgezési esetek** is. Példaként említhető az újszülöttek és fiatal csecsemők nitrát vagy nitrit által okozott methemoglobinémiája, az agresszív vizek által a rézvezetékekből kioldott réz, vagy a cianobaktériumok által termelt toxinok által okozott akut mérgezések.

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) definíciója szerint az a **biztonságos ivóvíz**, amely **élethosszig fogyasztva nem jelent szignifikáns kockázatot az egyén egészségére**. Ezt a definíciót a korszerű kockázatbecslési módszerek alkalmazásával számszerűsítik az egyes komponensekre vonatkoztatva, és az adott társadalmi körülmények között **elfogadható kockázat** alkalmazását javasolják. Az irányelvek készítésébe és folyamatos felülvizsgálatába bevont szakértői munkacsoportok a szakirodalomban és nemzetközi szakmai testületek adatbázisaiban fellelhető epidemiológiai, állatkísérletes (toxikológiai) és technológiai adatok, valamint kockázatelemzések alapján teszik meg az egyes anyagok határértékeire, és tágabban az ivóvízbiztonságra vonatkozó ajánlásaikat.

A legtöbb kémiai szennyező esetében a kockázatbecslés egy olyan **küszöbdózis** (NOAEL vagy LOAEL, azaz „no-observed-adverse-effect-level” vagy „lowest-observed-adverse-effect-level”) kialakításához vezet, amely alatt nem várható káros hatás az egészségre. Ebből egy bizonytalansági tényező (UF) beépítésével (a fajok közti és egyedek közti különbségek, a hatás súlyossága stb. figyelembe vételére) egy **tűrhető napi bevitel** (TDI, tolerable daily intake) származtatható. A bizonytalansági tényező értéke általában 100-1 000 között van.

$$\text{TDI} = (\text{NOAEL vagy LOAEL}) / \text{UF}$$

Az **ajánlott határérték** (guideline érték, GV) az ivóvízben megengedhető koncentráció, amelyet a tűrhető napi bevitelből a testsúly (ts), a bevitelnek az ivóvízre eső becsült részesedése (P) és a feltételezett napi ivóvízfogyasztás (C) figyelembe vételével nyernek:

$$GV = (TDI \times ts \times P) / C$$

A **karcinogén anyagokra** ez a módszer nem alkalmazható, mivel ezeknek **nincs küszöbkonzentrációjuk, amely alatt nem jelentenek kockázatot**. Ezek esetében az általuk okozott megbetegedés kockázatát rögzítik egy **elfogadható, minimális szinten**, amely egyezményes alapon 10^{-6} . Ez annyit jelent, hogy az adott anyagot tartalmazó víz napi 2 liter mennyiségben élet-hosszig (egyezményes alapon 70 évig) tartó fogyasztása esetén az általa okozott rákos megbetegedések kialakulásának a kockázata 1:1 000 000, vagy másképpen fogalmazva 70 év alatt 1 000 000 ilyen vizet fogyasztó ember közül egy fog a vízszennyezés következtében rákban megbetegedni.

A kémiai ivóvízszennyezők csoportosítása célszerűen azok elsődleges **származási helye** alapján történik, mivel ez egyben jelzi a megelőzési és beavatkozási lehetőségeket is, és ennek alapján van lehetőség a monitoring hosszú távú tervezésére is.

Egyes vízbázis szennyezők **antropogén eredetűek**, ipari tevékenységekből vagy a háztartásokból származnak azok fokozódó kemizációja révén. Legfőképpen a felszíni vízből nyert vagy felszíni hatásoknak kitett ivóvizekben (pl. karszt, felszín közeli talajvízréteg) fordulnak elő; fajtájuk és mennyiségük a vízbázison folyó ipari tevékenység és a népsűrűség függvénye. Ide tartoznak a mezőgazdasági eredetű szennyezők (növényvédő- és talajjavítószer, műtrágyák stb.) is; ezek tér- és időbeli előfordulása bizonyos körülmények között (az adott térségben alkalmazott szerek és kihelyezésük ideje ismeretében) szintén előre jelezhető. Az ipari és mezőgazdasági vízszennyezés visszaszorításában fontos szerepe van a vízbázisok hidrogeológiai szempontokkal alátámasztott hosszú távú stratégián alapuló védelmének. Ezt a célt szolgálja a felszín alatti vízbázisok felszíni elérési idő (5 és 50 év) alapján kijelölt védőidoma, illetve védőterülete, amelyen bizonyos tevékenységek nem vagy csak korlátozottan végezhetőek. A monitoringtevékenységeken (felszíni víz vizsgálaton, figyelő kutakon) alapuló, a tendenciákat figyelő kockázatkezeléssel a problémák sokszor időben felismerhetők és kezelhetők, még mielőtt a fogyasztókra elfogadhatatlan mértékű kockázatot jelentenének (lásd „A vízbiztonság kockázat alapú megközelítése” c. fejezet).

Számolnunk kell (elsősorban a mélységi felszín alatti vizekben) **természetes eredetű** szennyezőkkel is, amelyek a víztározó rétegekből oldódhatnak be. Ide tartozik több bizonyítottan rákkeltő komponens, például az arzén, vagy (főképp mély kutakból származó, magas hőmérsékletű vizek esetén) egyes szerves anyagok, mint például a benzol és alkilszármazékai (ún. BTEX-vegyületek) és a poliaromás szénhidrogének (PAH vegyületek). Ivóvíz célú felhasználás esetén, amennyiben gazdaságosan megoldható, e komponenseket célzott vízkezelési lépésekkel eltávolítják. Gyakran érintettek termál-, és gyógyvízkutak is – fürdővízként, vagy zuhanyzás során jelentős lehet az inhalációs expozíció jelentette egészségkockázat. Gyógyvizek esetén a gyógyvíz elnevezésre irányuló szakvéleményezési folyamat során az NNGYK értékeli a víz összetételéből fakadó egészségkockázatokat, és ha szükséges, javaslatot tesz a lehetséges vízkezelési lépésekre, illetve korlátozza az adott víz felhasználhatóságát.

A termálvizek esetében leggyakrabban természetes eredetű szerves szennyezőanyagok, például fenolok vagy PAH vegyületek jelenlétéből adó kockázattal kell számolni.

Nagy csoportja a vízszennyezőknek a **vízkezelés, fertőtlenítés és elosztás során a vízbe jutó anyagok**: ilyenek például a vízkezelőszerek maradékai, a fertőtlenítési melléktermékek, egyéb másodlagos szennyezők (pl. nitrit), illetve a vezetékekből és szerelvényekből kioldódó fémek, műanyag monomerek és egyéb szervesanyagok.

A fertőtlenítési melléktermékek keletkezésének minimalizálásához a vízkezelési technológia gondos megtervezésére, kivitelezésére és üzemeltetésére van szükség. Gyakori hiba a hálózat túlklorozása jelentéktelen mikrobiológiai kifogás miatt (pl. megemelkedett telepszám). Ilyen esetekben a fertőtlenítési melléktermékek megnövekedett koncentrációja nagyobb kockázatot okoz, mint a hálózatban elszaporodó, nagy valószínűség szerint ártalmatlan mikroorganizmusok.

Magyarországon a régi (elsősorban 1945 előtti) épületekben jelentős probléma az **ólomcsövek** jelenléte. A kioldódó ólom elsősorban magzatok és kisgyermek számára jelent kockázatot, károsan befolyásolja a központi idegrendszer fejlődését és a szellemi teljesítőképességet. A kockázat minimalizálása érdekében fontos a lakosság figyelmének felhívása. Végleges megoldást az ólomcsövek cseréje jelent, átmeneti megoldásként víztisztító kisberendezések alkalmazhatók, de sok esetben már a víz fogyasztása előtt történő rövid kifolytatása is elegendő az ivóvíz általi ólombevétel jelentős csökkentésére.

Fürdővizek esetén a korlátozott vízbevétel miatt összességében kisebb a jelentősége a kémiai vízszennyezésnek. Természetes fürdőhely nem létesíthető olyan helyen, ami ki van téve ipari vagy mezőgazdasági eredetű kémiai szennyezésnek. A legnagyobb kockázatot a vízvirágzás során elszaporodó (köznyelven kéalgaként ismert) **cianobaktériumok által termelt toxinok** (elsősorban a mikrocisztin) jelentik, amelyek allergiás reakciót válthatnak ki. A medencés fürdőkben a vízkezeléssel összefüggő kémiai kockázat a legjellemzőbb, különösen a túlzott fertőtlenítőszer adagolás és a nem megfelelő szervesanyag- és nitrogéneltávolítás eredményeként keletkező fertőtlenítési melléktermékekből adódóan. A fürdővizek kémiai szennyezői (elsősorban a jellemzően legnagyobb mennyiségben keletkező fertőtlenítési melléktermék, a kloroform, a klóraminok, illetve a gyógyvizekben előforduló szerves komponensek) gyakran illékonyak, inhalációs úton is kockázatot jelenthetnek, különösen azok számára, akik rendszeresen, hosszabb ideig tartózkodnak a medencetérben, mint versenyszerűen úszók és a helyszínen dolgozók. Beltéri medencék esetén fokozott figyelmet kell fordítani a megfelelő mértékű légcseré biztosítására.

Legfontosabb tudnivalók!

- Az ivóvíz fogyasztásával összefüggő rövidtávú kockázatokat elsősorban kórokozó mikroorganizmusok okozzák, míg a különböző kémiai ágensek esetében elsősorban hosszútávú kockázatokkal kell számolni.
- A „hagyományos” vízzel terjedő járványok, mint például a tífusz vagy a kolera, Magyarországon szerencsére már ritkák vagy nem fordulnak elő. Egyéb, például vírusok vagy egysejtűek által terjesztett fertőzésekre azonban hálózati ivóvíz esetében is van példa.
- Természetes és medencés fürdővíz is lehet fertőzés terjesztője.
- Kémiai vízszennyezők esetében a határértékek megállapításához a tűrhető napi beviteli értéket vagy a társadalmilag elfogadható kockázatot veszik figyelembe.
- Az előállított víz mikrobiológiai és kémiai minősége is romolhat a hálózaton.

Ellenőrző kérdések

1. Melyek a legjelentősebb vízzel terjedő kórokozók? Ezek közül melyek azok, amelyek napjainkban, Magyarországon a legnagyobb valószínűséggel okoznak megbetegedést?
2. Sorolja fel azokat az eseteket, amikor vízjárvány gyanúja merülhet fel!
3. Hogyan csoportosíthatjuk az ivóvízben megjelenő kémiai szennyezőket forrásuk szerint?
4. Milyen másodlagos vízminőségi problémák fordulhatnak elő? Röviden foglalja össze, milyen intézkedésekkel lehet ezek ellen védekezni!
5. Mi lehet a szennyezés forrása természetes és medencés fürdők esetén?

A VÍZBIZTONSÁG KOCKÁZAT ALAPÚ MEGKÖZELÍTÉSE

Bufa-Dörr Zsuzsanna, Izsák Bálint, Dr. Vargha Márta

Általánosságban a vízben jelenlevő szennyezők egészségkockázatára vonatkozó információk fő forrásai a WHO vízminőségi útmutatói. Ezek az irányelvek – bár eltérő részletességgel – három fontos területet fednek le: az ivóvíz, a rekreációs céllal használt vizek, és a mezőgazdaságban felhasznált szennyvizek minőségére és felhasználási feltételeire vonatkozó ajánlásokat. Az irányelvek több évtizede szolgálnak közvetve vagy közvetlenül a legtöbb ország ivóvízminőségi szabályzásának alapjául. Nem kivétel ez alól az Európai Unió 2020/2184 *Ivóvízirányelve* sem, melyen a hazai szabályozás, az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet is alapszik.

Általánosságban is igaz, és nem csak a különböző vizekkel kapcsolatos útmutatókra, hogy a konkrét nemzeti szabályozásokba történő beépítése során fontos alapelv a **kockázat-haszon megközelítés** alkalmazása. Ez annyit jelent, hogy az egészségkockázatokat és a kiküszöbölésüket vagy csökkentésüket célzó teendőket más tényezőkkel, például a technikai és gazdasági megvalósíthatóság figyelembevételével együttesen kell értékelni és a relatíve legnagyobb közegészségügyi haszonnal járó (és lehető legkisebb költséggel, beleértve a nem pénzügyi, hanem egyéb, például társadalmi költségeket is) megvalósítható teendőket kell előre rangsorolni.

A nehézséget nemzetgazdasági szinten az jelenti, hogy az értékelés és rangsorolás kiterjed más, nem vízzel kapcsolatos tényezőkre és feladatokra is, és ebben a folyamatban olyan tényezőket is figyelembe kell venni, amelyek csak közvetve járnak közegészségügyi haszonnal. A szennyvízzel történő öntözés például nyilvánvalóan közegészségügyi kockázatot jelent, de a mezőgazdaságban közvetett haszna érvényesül: hozzájárul a táplálékellátás mennyiségi biztonságához, ezen túlmenően a vízi ökoszisztéma védelme is olyan haszon, amely indokolhatja a kockázat elviselését.

Szintén kockázat-haszon elemzéssel kerülnek meghatározásra az egyes szennyezőanyagokra vonatkozó **határértékek**. Számtalan anyag van, melyek káros hatása jól ismert, és amelyeknél nem lehet megállapítani abszolút biztonságos koncentrációt. Például a rákkeltő anyagok esetében már – potenciálisan – egyetlen elem vagy molekula is beindíthatja a daganatképződést. Ezeknél az anyagoknál az ideális az lenne, ha egyáltalán nem lennének jelen a környezeti közegekben (pl. ivóvíz, talaj, levegő). Ez azonban még a mesterségesen előállított anyagokkal szemben is irreális elvárás, nem beszélve a természetes eredetű szennyezőkről. Ugyanakkor mégis szükséges bizonyos elvárásokat támasztani és megállapítani egy értéket, ami felett már nem fogadható el az adott anyag jelentette kockázat.

Ehhez ismerni kell a **társadalmilag elfogadható kockázat** fogalmát. Azt a koncentrációt kell meghatározni, ahol az anyag jelentette potenciális káros egészségghatás (kockázat) még elfogadható mértékű, hiszen nulla kockázat nem érhető el.

Ugyanakkor az adott anyag egészségghatásának ismerete mellett fontos figyelembe venni, hogy mi a legjobb elérhető technológia (best available technology, BAT) akár az eltávolítására, akár egy kockázatot jelentő anyag kiváltására, gyártására, használatára; gazdaságossági/pénzügyi lehetőségeket, előnyöket és hátrányokat; a probléma mértékét, illetve nemzetközi jogharmonizációból adódó kötelezettségeket.

A fenti szempontok figyelembevételével kerülnek tehát meghatározásra a **határértékek**. Az adott szennyező határértékben lévő jelenléte tehát nem okozhat a társadalmilag elfogadható kockázatot túllépő kockázatot, de ennél kisebbet igen, azaz szigorúbb érték kerülhet megállapításra.

Példa: Az arzén egy bizonyítottan rákkeltő anyag, nem esszenciális, élettani szerepe nincs. Az ideális tehát az lenne, ha arzén nem kerülne az emberi szervezetbe, az ivóvízben lévő koncentrációja 0 µg/l lenne. A gyakorlatban azonban Magyarországon (és a világ több más országában is) természetes módon jelen van a kőzetekben, elsősorban az alföldi, dél-dunántúli régióban. Hazánkban a közműves ivóvízellátás jelentős része rétegvízből származik. Tehát ott, ahol az arzén geológiailag jelen van, bekerül a vízbázisokba is, mégpedig igen nagy, akár néhány száz µg/l koncentrációban is. Az ideális (0 µg/l) és a gyakorlati (akár több száz µg/l) helyzet között igen nagy a különbség. Meg kell tehát találni azt az értéket, ami már elfogadható társadalmi kockázatot jelent, de még a jelenlegi víztisztítási technológiákkal, reális anyagi ráfordítással elérhető. Jelenleg az ivóvíz arzéntartalmára vonatkozó határérték 10 µg/l. Ennél jóval kisebb érték elérése hazánkban ugyanis már akkora extra anyagi ráfordítást igényelne, aminek a töredékét más területen nagyobb egészségnyereséget elérve lehetne elkölteni, ennél nagyobb pedig már társadalmilag elfogadhatatlan kockázatot jelentene.

A határérték (általában is, nem csak szűken az ivóvízzel kapcsolatban) tehát nem egy olyan határ, mely alatt nincs kockázat, hanem egy olyan koncentráció, ami felett már meghaladjuk a társadalmilag elfogadható kockázat mértékét, így mindenképpen reagálni szükséges. Éppen ezért nem szabad rá úgy tekinteni, hogy amíg egy komponens koncentrációja azt el nem éri/meg nem haladja, nincs teendő. Nagyon fontos a trendek figyelése, nem szabad a határértékre „megengedhető értéként” gondolni. Ismert egészségkárosító anyagok esetében törekedni kell a minél kisebb koncentráció elérésére a határérték alatti koncentrációtartományban is. (lásd az „Ivóvízbiztonság kockázat alapú megközelítése Magyarországon” c. alfejezet)

Ivóvízbiztonság kockázat alapú megközelítése Magyarországon

Amíg korábban a vizekre vonatkozó nemzeti szabályozások elsősorban egy sor vízminőségi paraméter határértékeinek betartására, betartatására épültek, a vízhygiénés gyakorlatban is egyre nagyobb hangsúlyt kap a **kockázat alapú szemlélet**. Az élelmiszeriparban már kiterjedten alkalmazott HACCP elveken alapuló minőségirányítással analóg módon a kockázat-értékelés és a megelőzés válik a vízbiztonság központi elemévé.

Az ellátás (ivóvíz, fürdővíz), és minőségének, biztonságának folyamatos biztosításában elsődleges a szolgáltatók, üzemeltetők szerepe és felelőssége. Az ezt célzó szervezetiirányítási rendszer optimálisan négy kulcskomponensen alapul:

- a közegészségügyi szempontok kritikai értékelésén alapuló egészség-központú célokon;
- az ellátó rendszer felmérésén és értékelésén, amelynek célja annak megállapítása, hogy képes-e a teljes rendszer (a víz forrásától a fogyasztási pontig) folyamatosan a megfogalmazott céloknak megfelelő minőségű vizet szolgáltatni;
- a monitoringon, amely a rendszerirányítást a minőségi célok teljesüléséről informálja;

- a rendszerirányítási (minőségirányítási) terveken, amely a normál és a rendkívüli körülmények közötti teendőket, kommunikációs előírásokat, a rendszerfelmérés és monitoring dokumentációját, és mindezek fejlesztésének tervét foglalják magukba.

Az ivóvízellátás Magyarországon is a kockázat alapú szemlélet bevezetésével és működtetésével valósul meg. *Az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet* alapján ennek az ivóvízellátás három területén kell érvényesülnie:

- az ivóvízkivételek vízgyűjtő területeinek veszélyértékelésén,
- az ivóvízellátó rendszer veszélyelemzésén és kockázatértékelésén és
- az épületen belüli elosztórendszerek kockázatértékelésén keresztül.

Ivóvízkivételek vízgyűjtő területeinek veszélyértékelése

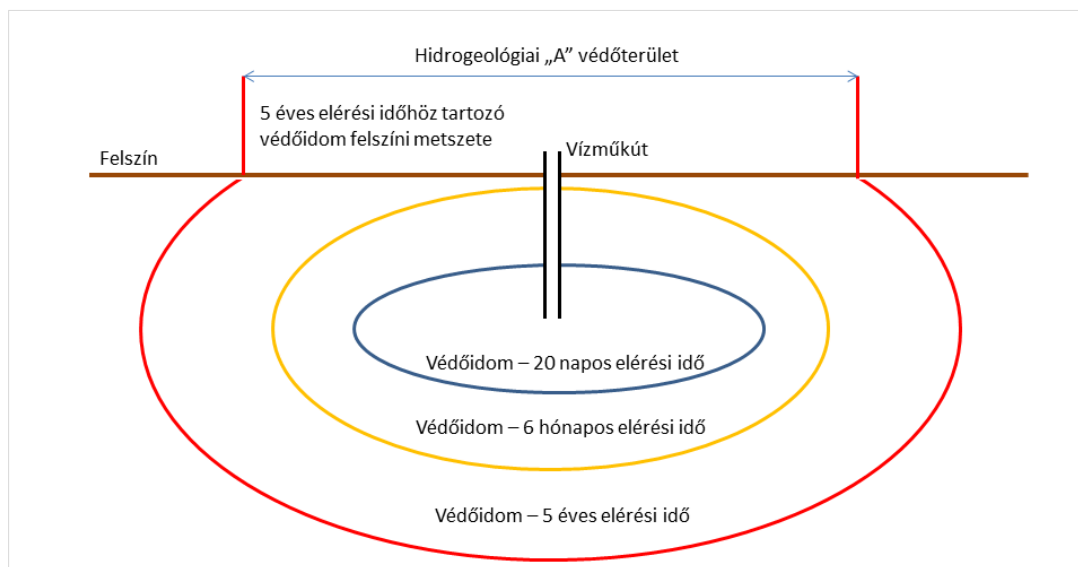
A vízbázisok vízgyűjtő területeinek veszélyelemzését az Országos Vízügyi Főigazgatóság és a vízügyi igazgatóságok végzik a vízgyűjtőgazdálkodási tervezés részeként jogszabály által meghatározott módon (221/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet).

Első lépésben lehatárolásra kerül az ivóvízkivételi pontok (kutak) vízgyűjtő területe. Ez általában azonos a korábban kijelölt védőterületek, azaz a védőidomok legnagyobb felszíni metszetével. A védőterületek kijelölésének célja, hogy a **vízbázis védelme** biztosítva legyen, ezáltal a jelenleg üzemelő és a távlati vízbázisok ne szennyeződjenek el. Ennek pontos menetét, részleteit a *vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási intézkedések védelméről szóló 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet* tartalmazza. Lényegében a vízkivételi pontok körül meghatározzák azokat a távolságokat, ahonnan potenciális szennyezés bizonyos idő alatt eljuthat a vízbázisba. Különböző elérési időkkel számolva meghatározzák azt a távolságot, ahonnan egy vízrészecske a vízkivételi műbe jut. Ez a távolság bizonyos térrészt jelent, egy térbeli alakzatot, ez a védőidom. Előfordulhat, hogy a hidrogeológiai modellezéssel kiszámított védőidomoknak felszíni metszete van, azaz a bizonyos elérési időhöz tartozó távolság eléri a felszínt. A védőidom felszíni metszete a **védőterület** (46. ábra).

A védőidomoknak, védőterületeknek több szintje van:

- *belső védőterület*: a kút vagy egyéb vízkivételi hely közvetlen környezete, ahonnan 20 napon belül a kút vizébe kerülhet a szennyező anyag;
- *külső védőterület*: A belső védőterületet a külső védőterület veszi körül. A külső védőterülethez tartozó elérési idő 6 hónapos;
- *hidrogeológiai „A” védőterület*: A hidrogeológiai „A” védőterületről 5 éven belül a kútba kerülhet a szennyező anyag;
- *hidrogeológiai „B” védőterület*: A hidrogeológiai „B” védőterületről 50 éven belül a kútba kerülhet a szennyező anyag;
- *hidrogeológiai „C” védőterület*: Annak a teljes vízgyűjtő területnek a határait jelzi, ahonnan a felszínre hulló csapadék egyáltalán eljuthat a kúthoz.

A kijelölt védőterületeken tiltásra, korlátozásra kerülnek vagy engedélyezési eljáráshoz kötöttek bizonyos tevékenységek (pl. mezőgazdasági vagy ipari tevékenységek, temető vagy üdülőtérület létesítése stb.), így csökkentve a vízbázisok elszennyeződésének kockázatát. A korlátozások szigorúsága függ attól, hogy belső, külső, „A”, „B” vagy „C” védőterületről van szó.



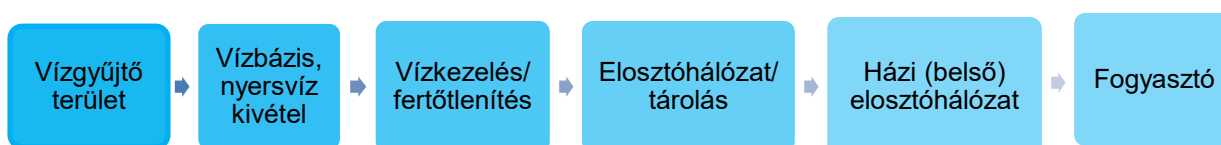
46. ábra Védőidom és védőterület-kijelölés sematikus ábrája

A **vízügyi igazgatási szervek** végzik el a kijelölt vízgyűjtő területek jellemzését (vízkivételi pontok azonosítása, térképes megjelenítése, védőterületek azonosítása, földhasználatok, lefolyási és feltöltődési folyamatok jellemzése a vízgyűjtő területen stb.) és nyilvántartását, valamint összegyűjtik a területen ismert potenciális szennyezőforrásokat. Elvégzik a nyersvizekre vonatkozó kötelező állami monitoring vizsgálatokat (pl. vízkeretirányelv végrehajtásához kapcsolódó mérések), és összegyűjtik az egyéb környezethasználati, vagy a kibocsátás ellenőrzés kapcsán előírt, más hatóságoknál rendelkezésre álló nyersvíz monitoring vizsgálatokat. Megelőző és kockázatcsökkentő beavatkozásokat terveznek és végeznek a vízgyűjtő területen, meghatározzák a területekre jellemző elsőbbségi szennyezőanyagokat, melyek jelenlétének kockázatát az adott területen vizsgálni, értékelni szükséges.

A vízgyűjtő területek veszélyértékelése új feladat, jogszabályi bevezetésére 2023. január 12-én került sor. A vízgyűjtő területek veszélyelemzését a vízügyi igazgatási szervek először 2025. december 22-ig készítik el, majd hatévente felülvizsgálják.

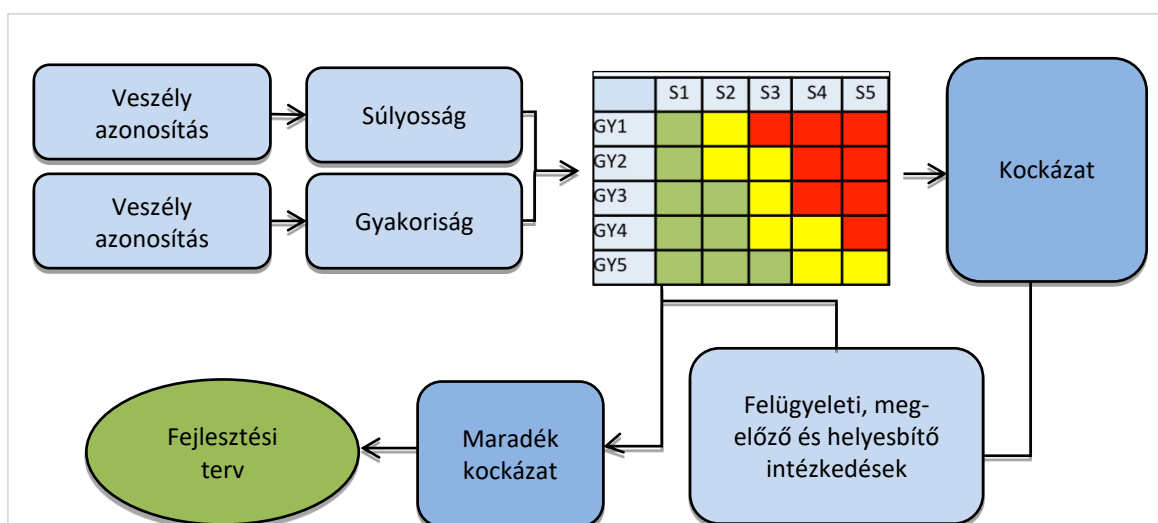
Ivóvízbiztonsági tervrendszer (VBT)

Az ivóvízbiztonsági tervrendszer (VBT, angolul: WSP) kiépítése és működtetése a jelenleg ismert leghatékonyabb módszer annak biztosítására, hogy a szolgáltatott ivóvíz ne jelentsen veszélyt a fogyasztók egészségére, és emellett megfeleljen a vonatkozó határértékeknek, illetve az egyéb jogi, szakmai szabályozásoknak. A módszer alapja egy széleskörű kockázatelemzés és –értékelés, az azonosított veszélyekhez kockázatkezelési eljárások rendelése, végighaladva a **vízellátási lánc** (47. ábra) minden egyes elemén, a vízbeszerzéstől a fogyasztóig. Az ivóvízbiztonsági terveket a vízellátó rendszerre vonatkozóan az ivóvíz-szolgáltató készíti el.



47. ábra A vízellátási lánc

A teljes **vízellátási lánc**on végighaladva **azonosításra és elemzésre kerülnek a lehetséges veszélyek**, és azok súlyossága és előfordulási valószínűsége alapján meghatározzák a **hozzá tartozó kockázatot**. Ezekhez aztán **megelőző, felügyeleti és helyreállító intézkedéseket rendelnek, amelyekkel a kockázat** alacsony, már elfogadható szintre **csökkenthető** (48. ábra). A megfelelő veszélyelemzéshez és kockázatértékeléshez elengedhetetlen az ivóvízellátó rendszer részletes ismerete, alapadatainak megfelelő összegyűjtése, és egy a rendszer működését (üzemeltetés, felügyelet, labor) kellő mértékben ismerő munkacsoport felállítása. A **monitoringot** az egyes kockázati pontokhoz rendelve határozzák meg. Ez nem kizárólag a vízminőségi paraméterek mérése lehet, hanem üzemviteli ellenőrző vizsgálatok (pl. szűrési teljesítmény, fertőtlenítőszer adagolás, zavarosság stb.) felhasználásával is történhet. A vízgyűjtő területre vonatkozó általános veszélyértékelést nem az ivóvízszolgáltató végzi, hanem a vízügyi igazgatási szervek (lásd fent), de ennek eredményét, az adott ivóvízellátó rendszerre releváns elemeket a VBT-be be kell építeni.



48. ábra Az ivóvízbiztonsági tervezés logikai sémája

A végponti monitorozással ellentétben, amely mindig csak a már felhasznált, elfogyasztott víz minőségéről ad felvilágosítást, az ivóvízbiztonsági tervezés segítségével a kedvezőtlen események megelőzhetők vagy azelőtt van lehetőség a beavatkozásra, hogy a víz eljutna a fogyasztókhoz. A terveket rendszeresen felül kell vizsgálni, és szükség esetén módosítani (49. ábra).



49. ábra A kockázatalapú megközelítés lépései

Ez a szemlélet (a veszélyelemzésen és a kockázatértékelésen alapuló tervezés) a természetes és medencés fürdőknél hasonló módon elvégezhető, de tulajdonképpen bárhol máshol is (pl. szennyvízbiztonsági tervezés). A természetes fürdővizeknél elsődlegesen a potenciális szennyező források azonosítása a cél, illetve azon körülmények azonosítása, amelyek szennyezéshez vezethetnek (pl. adott vízszint vagy nagymennyiségű csapadék). Ezeket a tényezőket az ún. fürdővíz profil tartalmazza, amelyet a vízminőségtől függő gyakorisággal ugyancsak rendszeresen felül kell vizsgálni. A medencés fürdőknél a szennyezések megelőzése mellett a vízkezelő technológia optimalizálása a kockázatértékelés- és kezelés központi eleme. (lásd „Medencés fürdők” c. fejezet)

Példa: Adott egy 100 µg/l arzén tartalmú nyersvíz, ami a vízellátó rendszer vízbázisa. Az arzén toxikus és karcinogén anyag, ez tehát a **veszély**. Koncentrációja sokszorosa a határértéknek (ami 10 µg/l), tehát az arzén tulajdonságait és mennyiségét figyelembe vevő **kockázatértékelés** eredménye az, hogy a **kockázat** jelenleg elfogadhatatlan, ezt **elfogadhatóra kell csökkenteni**. Ezért arzéneltávolító vízkezelő technológia került kiépítésre, ez tulajdonképpen a **megelőző tevékenység (kockázatcsökkentő intézkedés)**. A feladat itt azonban nem ér véget, ennek működését és megfelelőségét folyamatosan ellenőrizni kell. Éppen ezért a technológiát elhagyó víz arzén tartalmát hetente vizsgálják (**ellenőrző vagy felügyeleti tevékenység**). **Beavatkozási értéket** is meghatároznak, ami 8 µg/l. Tehát, ha a technológiát elhagyó víz arzén tartalma ezt meghaladja, szükséges beavatkozni (**beavatkozási tevékenység**).

*Ez lehet a vegyszeradagoló ellenőrzése, a szűrőtöltetek regenerálása stb. Így tehát az, hogy a fogyasztóhoz határértéket meghaladó arzéntartalmú ivóvíz jusson el, megelőzhető (pontosabban csökkenthető a kockázata), szemben azzal, ha csak **végponti monitoring** kerülne alkalmazásra, azaz csak a fogyasztói ponton vizsgálnák az arzén mennyiségét.*

Ivóvízbiztonsági tervezés Magyarországon

Magyarországon 2009 óta jogszabályi előírás, hogy az ivóvíz-szolgáltatóknak ivóvízbiztonsági tervet (VBT) kell készíteni és annak megfelelően működni. A kötelezettség a közműves és a közösségi ellátást biztosító egyedi (ún. saját célú) ivóvízművek (pl. üzemek, szállodák, egyéb intézmények) üzemeltetőjére is kiterjed. A VBT-k tartalmi követelményére vonatkozó elvárások összhangban vannak a WHO ajánlásaival és az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendeletben rögzítettek.

A VBT-k bevezetése fokozatosan történt, a teljesítési határidő az ellátott fogyasztók számától függött (a nagybaktól a kisebbek felé). A kis ivóvízellátó rendszerek (50-5 000 fogyasztó) esetében a kötelezettség 2017-ben lépett hatályba. A többi tagállamhoz képest Magyarország a VBT-k bevezetésével kapcsolatban előrébb jár, a legtöbb tagállamban a VBT készítésére vonatkozó kötelezettség 2029-től kerül bevezetésre az ellátott fogyasztók számától függetlenül.

Az ivóvízbiztonsági tervrendszer elfogadásának menete

A VBT jóváhagyása Magyarországon kétlépcsős folyamat. Először központilag, a NNGYK véleményezi a VBT-t. Ezt követően a területileg illetékes népegészségügyi hatóság a helyi ismeretek birtokában hatósági eljárás keretében hagyja jóvá. A VBT elfogadásának menetét a 50. ábra szemlélteti.

A VBT jóváhagyás központi szintje, szakvéleményezési eljárás

A szakvéleményezés során általános, módszertani és szakmai elvek alapján vizsgálják a dokumentumot. Értékelik a kockázatértékelés módszertanát, a rendszerleírást, az azonosított veszélyek és az értékelt kockázatok, a megelőző, ellenőrző és beavatkozási tevékenysége, a megválasztott monitoring rendszernek megfelelőségét. **A szakvéleményezés nem hatósági, hanem szakértői tevékenység, célja, hogy az ország területén bevezetett VBT-k legfontosabb aspektusai egységesen is értékelésre kerüljenek.**

A szakvéleményezési eljárás eredménye három féle lehet:

1. a VBT megfelelő, hatósági jóváhagyása megkezdődhet;
2. a VBT részben megfelelő, javítások, illetve a hiányosságok pótlása után a hatósági jóváhagyása megkezdődhet;
3. a VBT nem megfelelő, olyan koncepcionális hibákat tartalmaz, hogy alapjaiban kell újraírni, ezt követően újra kell kezdeni a szakvéleményezési eljárást.

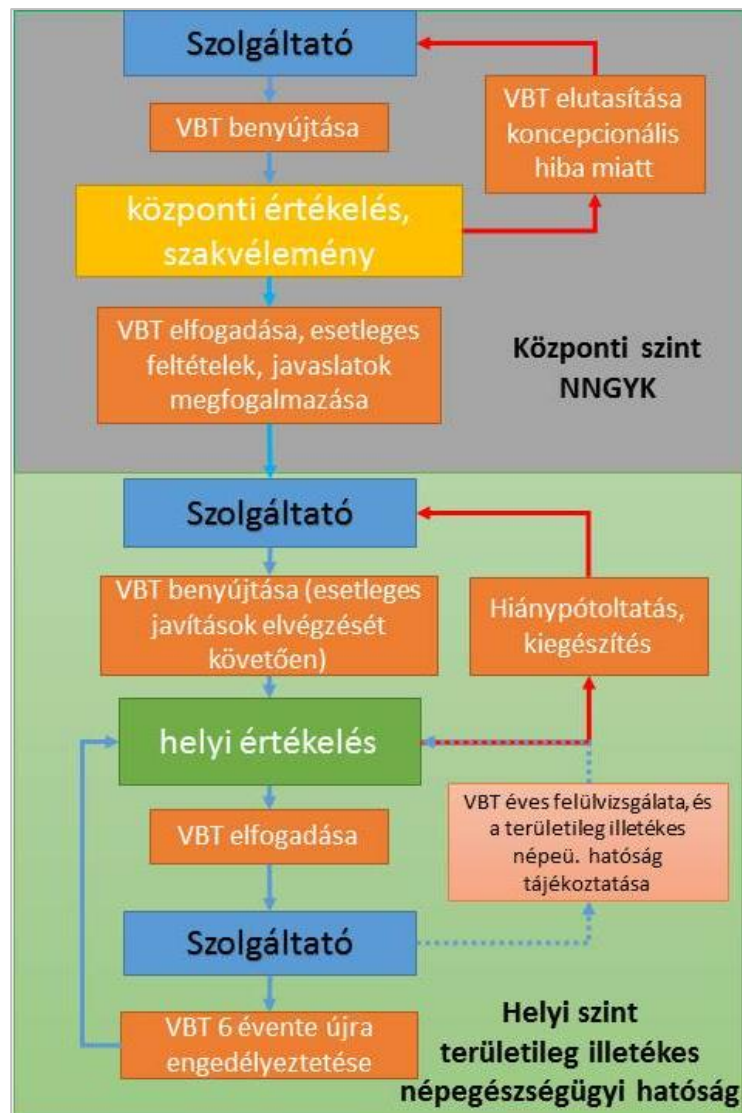
A támogató szakvélemény nem jelenti a VBT hatósági jóváhagyását. A szakvéleményezés során azonosított hiányosságok különböző súlyosságúak lehetnek:

- a) kötelezően, a hatósági eljárás megkezdéséig javítandó hiányosságok, illetve szükséges kiegészítések (pl. ha hiányzik egy teljes veszély típus, például a radiológiai veszélyek értékelése);
- b) kötelezően, de a következő felülvizsgálatig javítandó hiányosságok, illetve szükséges kiegészítések (pl. fejlesztendő területek kiegészítése);
- c) szakmai javaslatok, melyek beépítését az üzemeltető mérlegeli (pl. átláthatóbb dokumentumszerkezetre vonatkozó ajánlás).

Területi, hatósági szint

A szakvélemény megszerzése és az esetleges javítások, kiegészítések után a szolgáltatónak az illetékes népegészségügyi hatósághoz kell fordulnia a VBT jóváhagyásához. A benyújtandó dokumentumokat a jogszabály felsorolja (pl. vízellátó rendszer leírását, beleértve a vízgyűjtőterületet, a vízbázist, az esetleges vízkezelést és elosztóhálózatot; az azonosított veszélyeket és a kockázatértékelést; a megelőző beavatkozó és helyreállító intézkedéseket; vízellátási és -kezelési folyamatábrát; a kockázatértékelés módszertanát). Az eljárás során az illetékes **hatóság a rendelkezésre álló, területre jellemző információt, tapasztalatait**, valamint a helyszíni ellenőrzések/szemlék tapasztalatait figyelembe véve tudja értékelni, kiegészíteni, illetve elfogadni a VBT-t. A hatóság ellenőrzi azt is, hogy az NNGYK által megfogalmazott kötelező javítások, kiegészítések megtörténtek-e.

Az ivóvíz-szolgáltatók feladata nem ér véget a VBT hatósági jóváhagyásával. Az ivóvíz-szolgáltatóknak a VBT-t évente, vagy minden, az üzemeltetés szempontjából jelentős változást követően felül kell vizsgálni. A felülvizsgálatról tájékoztatni kell a hatóságot. Az ivóvíz-biztonsági tervben foglaltak betartását az ivóvízbiztonság hatósági ellenőrzésének keretében az illetékes népegészségügyi szerv évente legalább egyszer a helyszínen is ellenőrzi. Ezen túl a szolgáltatónak a VBT hatósági felülvizsgálatát kell kérnie hatévente.



50. ábra A VBT elfogadásának menete Magyarországon

Az ivóvízbiztonsági tervezés részletesebben kerül kidolgozásra és példákkal bemutatásra az NNGYK vonatkozó módszertani útmutatóiban, melyek az NNGYK honlapján megtalálhatók²⁹. („Útmutató ivóvíz-biztonsági tervrendszerek kiépítéséhez, működtetéséhez” és „Módszertani útmutató az Ivóvízbiztonsági tervek auditálásához”)

Az épületen belüli elosztórendszerek kockázatértékelése

Az ivóvízellátási lánc utolsó szakasza az épületen belüli elosztóhálózat és a fogyasztói pont. Gyakori jogértelmezési probléma, hogy bár a lakosság számára a megfelelő minőségű ivóvizet a fogyasztói ponton (tehát a tényleges vízvétel helyén, a lakásban) kell biztosítani, az ivóvíz-szolgáltató az ivóvíz minőségért az átadási pontig (ami jellemzően a vízóra) felelős.

²⁹ Ivóvízbiztonsági tervezéshez kapcsolódó anyagok, segédletek:

<https://nnk.gov.hu/index.php/kozegeszssegugyi-laboratoriumi-foosztaly/kornyezetegeszsegugyi-laboratoriumi-osztaly/vizhigienes-laboratorium/ivoviz/ivovizbiztonsagi-tervezes-vbt.html>

Az épületen belüli szakaszra közvetlen ráhatása, illetékessége, felügyeleti jogköre nincs. Ugyanakkor az épületen belüli szakaszon is nagymértékben változhat (romolhat) az ivóvízminőség (lásd: **másodlagos vízminőségromlás**), számos kockázati tényező (időszakos vízhasználatból adódó vízpangás, 20°C feletti vízhőmérséklet, korrodált vezetékek) előfordulása jellemzőbb, mint a gerincvezetékben. Ennek megelőzése több szereplő együttes erőfeszítését igényli:

- A szolgáltató közvetett felelőssége, hogy olyan vizet szolgáltatson, amely a lehető legkisebb mértékben hajlamos a másodlagos vízminőségromlásra (pl. fertőtlenített, nem agresszív, minimális a szervesanyag- vagy egyéb tápanyagtartalma stb.).
- A közintézmények, munkahelyek esetében épületek üzemeltetőinek, illetve tulajdonosainak feladata a megfelelő ivóvízminőség biztosítása. Ez magában foglalja az épület vízrendszereinek helyes kialakítását és üzemeltetését, ezen belül az ún. elsőbbségi létesítményekben épületszintű kockázatértékelés és kockázatkezelés elvégzését. Ez utóbbi kötelezettség elsősorban két kiemelt paraméterre, az ólomra és a *Legionella*-ra vonatkozik. *Legionella* tekintetében elsőbbségi létesítmények az egészségügyi intézmények, a szálláshelyek (falusi szálláshelyek kivételével), a büntetés-végrehajtási intézetek és a szociális intézmények (bölcsődék kivételével). Ólom szempontjából elsőbbségi létesítménynek számítanak azon gyerekinévtárak, ahol 14 év alatti gyermekek ellátása történik, és a jellemző ellátási időszak meghaladja a fél évet.
- Lakóépületek esetében is a tulajdonosé a felelősség, ezért kiemelten fontos a fogyasztók megfelelő tájékoztatása fogyasztónál jelentkező kockázatokról (pl. ólomcsövek, otthoni víztisztító kisberendezések jelentette kockázatok stb.) és a megelőzés lehetőségeiről (pl. ivóvíz kifolyatása fogyasztás előtt, hidegvíz használata főzésre).
- Állami feladat, hogy csak olyan csöveket, szerelvényeket engedjen forgalomba hozni, amelyek nem rontják az ivóvíz minőségét (lásd „*Vízzel érintkező anyagok*” c. alfejezet). Emellett országos (az NNGYK által ellátott) felelősség-útmutatók, segédletek készítése az épületek vízhálózatának kockázatértékelésére és kockázatkezelésére.

Környezet-egészségügyi surveillance

A környezet-egészségügyi (jelen esetben vízhygiénés) surveillance célja a vízzel kapcsolatos betegségek és az azokat befolyásoló környezeti tényezők nyomonkövetése. A megelőző szemlélet fontos elemeként a surveillance folyamatos adatgyűjtést, elemzést, értékelést és visszacsatolást jelent, a közegészségügyi döntéshozatal támogatására. Ez túlmutat a rutin vízminőség monitorozáson (bár az is részét képezi); de ide tartoznak például a célzott, egyszeri felmérések, mint például az országos ólom felmérés, az üzemeltetői adatszolgáltatások, az ivóvízbiztonsági tervek kockázatértékelései, humán egészségügyi oldalról a fertőző beteg bejelentések, a területi morbiditási adatok stb. A surveillance térbeli és időbeli változások értékelését teszi lehetővé, támogatja a beavatkozások tervezését, a szabályozások megalkotását. Fontos szerepet játszik a lakossági tájékoztatás és szemléletformálás megalapozásában, de akár az ipari és kereskedelmi gyakorlat orientálásában is.

Legfontosabb tudnivalók!

- Elsődleges, hogy a szolgáltatott víz egészséges, a fogyasztó számára hosszútávú fogyasztás esetén is biztonságos legyen. Ehhez nagymértékben hozzájárul a megelőző szemlélet, azaz veszélyek és kockázatok előzetes azonosítása és értékelése. A vízbiztonság és a határértékek meghatározásának alapja is **a kockázat-haszon alapú megközelítés**. A vízbiztonság szempontjából ez annak mérlegelését jelenti, hogy adott ráfordítással hogyan lehet legnagyobb mértékben csökkenteni az egészségkockázatot. A határértékek meghatározásakor elsődlegesen az adott anyag egészséghatását, de egyéb szempontokat (gazdaságosság, technológiai megvalósíthatóság, lépték stb.) is figyelembe veszik.
- A határértékek nem nulla kockázatot jelentenek, hanem egy társadalmilag elfogadható kockázati szintet. Ez azt is jelenti, hogy törekedni kell arra, hogy az adott, egészségre potenciálisan káros anyag koncentrációja a lehető legkisebb legyen, a határérték alatti mennyiségek is figyelmet érdemelnek.
- A kockázat alapú ivóvízbiztonság három nagy területre osztható a hazai gyakorlatban: vízgyűjtő területek veszélyértékelése, ivóvízellátó rendszer veszélyelemzése és kockázatértékelése, valamint az épületen belüli hálózat kockázatértékelése.
- A vízbázisok védelme kiemelten fontos feladat, célja, hogy a használatban lévő és a jövőben használni szándékozott vízbázisok minősége biztosítva legyen, szennyeződésekre ne kerülhessen sor. Ennek alapvető eszköze a védőidomok és védőterületek lehatárolása és az ezeken a területeken végzett tevékenységek korlátozása.
- Az ivóvízszolgáltatás legbiztonságosabb módja az ivóvízbiztonsági tervrendszer (VBT) üzemeltetése, mely a teljes vízellátási láncra kiterjedő veszélyelemzésen és kockázatértékelésen alapul, szemben a „végponti monitoring” alkalmazásával megelőzhetővé teszi a kedvezőtlen események kialakulását.
- A VBT elfogadása Magyarországon kétlépcsős folyamat, központi és területi szintje is van.
- Az ivóvíz minősége az épületen belüli hálózaton is romolhat, erre vonatkozó kockázatértékelést az elsőbbségi létesítmények esetében az üzemeltetőnek vagy a tulajdonosnak el kell végeznie.

Ellenőrző kérdések

1. Mi a legfontosabb alapelv az irányelvek és a határértékek kidolgozásánál, meghatározásánál?
2. Mi a legfontosabb szempont a határértékek meghatározásánál?
3. Milyen egyéb szempontokat kell még figyelembe venni a határértékek meghatározásánál az előzőn kívül? Soroljon fel legalább hármat.
4. Mit tud a határértékekről elmondani?
5. Mit tud a társadalmilag elfogadható kockázatról?
6. Az ivóvízbiztonság kockázat alapú megközelítése milyen három nagy területre osztható fel?
7. Mi a vízbázisvédelem célja és mi a legfontosabb eszköz erre?
8. Mit a VBT és mi az alapja?
9. Mik a kockázatalapú megközelítés lépései és sorrendje?
10. Mi(k) a legfontosabb különbség(ek) a „végponti monitoring” és a VBT szemlélet közt?
11. Hogy épül fel a vízellátási lánc?
12. Meddig felelős az ivóvíz-szolgáltató az ivóvíz minőségéért?
13. Mik az elsőbbségi létesítmények?
14. Hogy történik Magyarországon a VBT elfogadásának folyamata?
15. Mi az előnye a kétlépcsős elfogadási folyamatnak?

AZ IVÓVÍZ MINŐSÉGI KÖVETELMÉNYEI

Bufa-Dörr Zsuzsanna, Izsák Bálint, Sebestyén Ágnes, Dr. Vargha Márta

Az ivóvíz-szolgáltatás szabályozása

Magyarországon az ivóvíz minőségét az EU 2020/2184 Irányelvének a hazai jogrendbe történő átültetését biztosító *az ivóvíz minőségéről és az ellenőrzés rendjéről szóló 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet* (továbbiakban: Kormányrendelet) szabályozza. A vízminőségi követelmények elsősorban az Egészségügyi Világszervezet (WHO) irányértékein alapulnak.

A *Kormányrendelet* nemcsak a ténylegesen elfogyasztott, ivásra, főzésre használt vizet definiálja ivóvízként, hanem az „*egyéb háztartási célokra*” (fürdés, mosás, WC-öblítés stb.) használat is. Az ivóvíz-szabályozás az élelmiszer előállításra használt vízre is kiterjed, azonban az ásvány- és gyógyvizekre nem.

A *Kormányrendelet* hatálya a közüzemi ivóvízellátásra és a közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízművekre (vagyis az üzemek, intézmények saját ellátását biztosító egyedi vízművekre) terjed ki. (lásd „*A nem közműves ivóvízellátás problémái*” c. alfejezet)

A napi 10 m³-nél kevesebb ivóvizet termelő vagy 50 főnél kevesebbet ellátó rendszerek, amelyek nem kereskedelmi, szolgáltatási, közszolgáltatási, munkavégzési célt szolgálnak, azaz gyakorlatban az egy háztartás vízigényét biztosító egyedi magánkutak (magán ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízművek) a vizsgálandó paraméterek és határ- illetve parametrikus értékek kivételével nem tartoznak a *Kormányrendelet* hatálya alá (lásd „*A nem közműves ivóvízellátás problémái*” c. alfejezet).

Határértékek, parametrikus értékek

Az ivóvíz nem tartalmazhat az emberi egészségre potenciálisan veszélyt jelentő mennyiségben mikroorganizmust, parazitát, fizikai, kémiai és radiológiai anyagot. Az ivóvíz minőségi megfelelőségének számszerű határértékekhez kötött követelményeit a *Kormányrendelet* 1. számú mellékletének 1., 2. és 5. táblázatai tartalmazzák, de az emberi egészség védelme érdekében az országos tisztifőorvos országosan, az illetékes hatóság egy konkrét ivóvízellátó rendszerre a táblázatokban nem szereplő paramétereken kívül további vizsgálandó paramétereket és határértékeket határozhat meg.

Az ivóvíz minősége tekintetében az egyes táblázatokban felsorolt komponensek nem azonos súlyúak. A *Kormányrendelet* 1. számú melléklet 1., 2. és 5. táblázatában szerepelnek azok a mikrobiológiai és kémiai paraméterek, amelyek **határértékének túllépése közvetlen egészségkockázatot jelent. A határértékek túllépése esetén a víz nem minősíthető ivóvíznek.** Az 1. táblázat a fekális indikátor baktériumokat (*Escherichia coli* és *Enterococcus*) tartalmazza. Mindkettő bélbaktérium, így jelenlétük fekális – jellemzően szennyvíz eredetű – szennyezésre utal. Bár lehetnek kórokozó törzsek, de nem ezért vizsgálják, hanem mert a szennyvízben levő más, nehezen kimutatható kórokozók (pl. vírusok) okozta fertőző kockázatot jeleznek.

Az ivóvízbiztonság szempontjából a mikrobiológiai biztonság elsődleges, fekális indikátor nem lehet jelen az ivóvízben. A 2. táblázatban szereplő, bizonyítottan káros egészséghatással rendelkező kémiai paraméterek közé tartozik a nitrit és a nitrát, a szerves mikroszennyezők (pl. peszticidek, benzol, PAH-ok, triklór- és tetraklór-etilén), a szervesetlen mikroszennyezők (arzén, bór, fluorid), a fertőtlenítési melléktermékek (trihalometánok, haloecetsavak, klorit, klorát, bromát), valamint a nehézfémek (higany, kadmium, réz, nikkel, urán stb.).

Az 5. táblázatban az épületek belső hálózatában bekövetkező vízminőségváltozás szempontjából releváns ólomparaméter határértéke található. Az **ólom** elsősorban az épületek belső hálózatában jelen lévő ólomtartalmú szerkezeti anyagokból (különösen ólomcsövek, de kisebb mértékben egyéb szerelvények például vízórák, ötvözetek stb.) történő kioldódás következtében jelenhet meg a csapvízben. Az ólom határértéke 2036. január 12. után felére csökken (5 µg/l) az elosztóhálózatban és a gyermekintézményekben, valamint újonnan átadásra kerülő vagy azokban a meglévő épületekben, ahol az ivóvízhálózat teljes körű felújítása 2036. január 12. után valósul meg. Az alacsonyabb határértéket kell figyelembe venni a vízzel érintkező anyagok megfelelésének értékelésében is.

A 3. és 4. táblázat kémiai anyagok, fizikai tényezők, mikroorganizmusok, mikroszkópos biológiai szervezetek, illetve radioaktív anyagok parametrikus értékeit tartalmazza. **A parametrikus értékek túllépése esetén az ivóvíz tűrhető minősítésű besorolásba kerül, és mérlegelni kell, hogy az adott koncentrációban kockázatot jelentenek-e az emberi egészségre, illetve szükséges-e korrekciós intézkedések megtevése.**

Az **indikátor paraméterek** esetén nem a parametrikus érték túllépése, hanem elsődlegesen a trendszerű vagy hirtelen nagymértékű változás jelzi a megváltozott kockázatot, amelynek okát és esetleges kockázatát fel kell deríteni. Az indikátor paraméterek közé tartoznak a víz természetes összetételére vonatkozó jellemzők (pH, vezetőképesség, lúgosság, klorid, szulfát, szervesanyag tartalom, ammónium), üzemeltetéssel összefüggő paraméterek (pl. alumínium, zavarosság), de ide tartoznak az elfogadhatóságot, fogyaszthatóságot befolyásoló organoleptikus jellemzők (szín, szag, íz), és a nem fekális jellegű bakteriális indikátorok (a másodlagos vízromlást jelző *Pseudomonas aeruginosa* és telepszám (22°C, 37°C-on), valamint a szűrési technológiák hatékonyságát jelző *Clostridium perfringens*). Az indikátor paraméterek között szerepelnek a víz radioaktivitását jellemző paraméterek is, úgymint a radon, trícium, összes indikatív dózis. Bár kismértékű parametrikus érték túllépés jellemzően nem jelent kockázatot, nagyobb mennyiségben az indikátor paramétereknek is lehetnek egészségkárosítók, pl. a mangán nagy (parametrikus érték tízszeresét meghaladó) koncentrációban neurotoxikus lehet, a *Pseudomonas aeruginosa* legyengült immunállapotúaknál fertőzést okozhat.

A 4. táblázat mikroszkópos biológiai vizsgálattal kimutatható tényezők parametrikus értékeit tartalmazza. A mikroszkóppal megfigyelhető szervezetek (gombák, algák, férgek, véglények) között lehetnek kórokozók, de a legnagyobb jelentősége a vizsgálatnak, hogy sok esetben ez adja a leggyorsabb jelzést mikrobiológiai szennyezésről (pl. vízbetörés árvízkor).

Az újonnan megjelenő, potenciálisan káros egészséghatással rendelkező anyagok egy az Európai Bizottság javaslata alapján az országos tisztifőorvos által *összeállított megfigyelési listára* kerülnek. A megfigyelési lista paramétereinek ivóvízben való megjelenéséből származó kockázatot az ivóvízbázisok vízgyűjtő területére, valamint az ivóvízellátó rendszerekre elvégzett veszélyelemzés és kockázatértékelés részeként kell értékelni.

A víz ihatóságának elbírálása az illetékes népegészségügyi hatóság feladata, jogköre. A hatáskörébe tartozik, hogy adott helyzetben (pl. új ivóvízellátó rendszer, váratlan esemény okozta változás) milyen részletességű ivóvízvizsgálat alapján lehet a vizet ivásra alkalmasnak minősíteni. Az illetékes népegészségügyi hatóság az értékeléskor mérlegeli a határértékeknek meg nem felelő jellemzők együttes előfordulását, a határérték túllépés mértékét, a szennyezés kiterjedtségét, vagy a rendeletben nem szereplő egyéb összetevők előfordulását. Az illetékes népegészségügyi hatóság a rendeletben meghatározottnál szigorúbb minősítést is adhat, valamint korlátozásokat rendelhet el, ha a vízminőség vagy annak változása egészségkockázatot jelent.

A víz minőségének a fogyasztás helyén, tehát a fogyasztói csapnál (palackozott vagy ballonos ivóvíznek a palackozás helyén, tartálykocsiból szolgáltatott víznek a tartálykocsi kifolyó csapnál) kell megfelelni a minőségi követelményeknek. A minőségellenőrzést legnagyobb részben az ivóvíz-szolgáltató végzi, az illetékes népegészségügyi hatósággal egyeztetett **mintavételi pontokon** vett vízminták vizsgálatával. A mintavételi helyeket úgy kell kijelölni, hogy a hálózatnak a betáplálási ponttól távol eső és a körvezetékbe nem kötött részeit, a különböző áramlási viszonyokat is megfelelően reprezentálja. A mintavételi pontoknak jellemző fogyasztási pontoknak kell lenniük, így közkifolyók vizsgálata csak abban az esetben elfogadható, ha a közműves ivóvízellátással nem rendelkezők számára ez a kijelölt ivóvízellátási pont. A mintavételi helyeket jellemzően olyan intézményben jelölik ki, amelyek nappal egyszerűen hozzáférhetők (közintézmények: önkormányzat, iskola, irodaház, vendéglátó létesítmény stb.), és érdemes nagy vízfogyasztású vagy ivóvízminőségre különösen érzékeny intézményeket is mintázni.

Az ivóvízminőség ellenőrzése

Az ivóvízminőség ellenőrzése az ivóvíz-szolgáltató és a népegészségügyi hatóság feladata. A szolgáltató által végzett **önellenőrző** vizsgálatok gyakoriságát egy ivóvízellátási körzetben a szolgáltatott vízmennyiség alapján kell kiszámítani. Az ivóvízellátási körzet egy ivóvízellátó rendszeren belül olyan földrajzilag meghatározott, egy települési elosztóhálózathoz nem nagyobb terület, amelyen belül az ivóvíz egy vagy több forrásból származik és a vízminőség azonosnak tekinthető. Az illetékes népegészségügyi hatóság által végzett hatósági vízminőség ellenőrző vizsgálatok az önellenőrző vizsgálatok számának 10%-a. A komponensek egy részét – elsősorban a relatíve könnyen, gyorsan változó paramétereket (A csoportos, ellenőrző paraméterek) – gyakrabban vizsgálják, másik részük (B csoportos, részletes paraméterek) csak ritkábban, esetenként több évenként egyszer vizsgálandók. Legnagyobb vizsgálati gyakoriság az úgynevezett alapparaméterekhez, rutin mikrobiológiai és kémiai komponensekhez tartozik (*Escherichia coli* (*E. coli*), *Enterococcus* bélbaktériumok, coliform baktériumok,

telepszám 22°C-on, szín, zavarosság, íz, szag, pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, hőmérséklet, ammónium, nitrit, kémiai oxigénigény (KOIps) vagy TOC, szabad aktív klór vagy az alkalmazott fertőtlenítőszer maradéka). A gyakrabban vizsgálandó paraméterek körét szükség szerint bővíteni kell az üzemeltetés körülményeitől (pl. vegyszeradagolás), nyersvíz minőségétől, eltávolítási technológiától függően, vagy az ivóvízellátó rendszer kockázatértékelése (ivóvízbiztonsági terv) alapján kijelölt paraméterekkel. Azon paraméterek vizsgálati száma, amelyek megjelenésére vagy mennyiségének növekedésére az ivóvízellátó rendszer kockázatértékelése szerint nem kell számítani, a vizsgálati szám csökkenthető az illetékes népegészségügyi hatóság jóváhagyásával (legfeljebb 25%-ra), vagy azon paraméterek esetében, amelyek a hálózaton nem változnak, Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ engedélye alapján 3 évente egy, az ivóvízellátó rendszer betáplálási pontján végzett mintavételre.

A vízminőség-ellenőrző vizsgálatok eredményeit az ivóvíz-szolgáltató (hatósági vizsgálatok esetén az illetékes hatóság) vagy az általa megbízott laboratórium egy központi országos ivóvíz-minőségi adatbázisba, az NNGYK által működtetett Humán Felhasználású Vizek Informatikai Rendszerébe (**HUMVI rendszer**) tölti fel negyedévente. Határérték-túllépés esetén azonnali jelentési kötelezettség áll fenn, és a túllépés okát és az elvégzett beavatkozást is rögzíteni kell.

A Kormányrendelet szerinti ivóvízminőség vizsgálatokat csak arra akkreditált laboratórium végezheti (ez nem vonatkozik az üzemeltetési, technológiai ellenőrző vizsgálatokra, amelyek sokszor a helyszínen, vagy online módon történnek). A vizsgálólaboratóriumoknak emellett évente kötelezően részt kell venniük az **NNGYK által szervezett laboratóriumi összemérésben** (körvizsgálat). A Kormányrendelet 3. melléklete előírásokat ad meg az ivóvízvizsgáló módszerekre. A mikrobiológiai paraméterekre konkrét vizsgálati szabványokat határoz meg, a kémiai paraméterekre az alkalmazandó módszer teljesítmény-jellemzőire (mérési bizonytalanság, pontosság) vonatkozó követelményeket definiálja.

Az ivóvízellátás hatósági felügyelete, beavatkozások

Az ivóvízellátó rendszerek felügyeletét ellátó illetékes hatóság a 1 000 m³/napnál több vizet szolgáltató, vagy 5 000 főnél többet ellátó, valamint a járáshatáron átnyúló ivóvízellátó rendszerek esetén a vármegyei kormányhivatalok népegészségügyi főosztálya, az ennél kisebb vízművek esetén a járási kormányhivatalok népegészségügyi osztálya. A vármegyehatáron átnyúló ivóvízellátó rendszerek felügyelete a két szomszédos vármegyei kormányhivatal között oszlik meg.

A szolgáltató a szolgáltatási határpontig, azaz a vízátadási pontig (jellemzően vízóráig) **felelős az ivóvíz minőségéért**. Ezen a ponton túl fellépő, a belső hálózatra visszavezethető minőségi kifogás (pl. az ólomcsövekből kioldódó, határérték feletti ólom, vagy a másodlagos bakteriális szaporodásból eredő problémák) az épület tulajdonosának felelőssége (lásd még „Az épületen belüli elosztórendszerek kockázatértékelése” c. alfejezet).

Az emberi egészségre veszélyt jelentő vízminőségi kifogást, vagy az ennek kockázatát felvető eseményeket soron kívül, azonnal kell jelenteni az illetékes hatóságnak.

Határérték, vagy az emberi egészségre veszélyt jelentő parametrikus érték túllépés esetén az ivóvíz-szolgáltatónak haladéktalanul meg kell tennie a megfelelő beavatkozásokat a vízminőség helyreállítására, saját hatáskörében, vagy az illetékes hatóság elrendelése alapján.

A beavatkozás lehet:

- vízbázis eredetű szennyezésnél a szennyező forrás eltávolítása, új vízbeszerzési forrásra történő áttérés,
- a szennyezés eltávolítása vízkezeléssel, illetve fertőtlenítéssel,
- a vízkezelő technológia hibája esetén az üzemeltetési paraméterek megváltoztatása,
- a vízelosztó hálózathoz tartozó szennyezésnél az ivóvízzel érintkező anyagok minőségi megfelelőségének biztosítása, vagy hálózatöblítés.

Az egészségre veszélyt jelentő ivóvíz fogyasztását, illetve felhasználását **az illetékes hatóság megtilthatja vagy korlátozhatja**. Az ivóvíz egészségügyi ártalmasságának megítélése nem egyszerű, a tájékoztatásra, a fogyasztás korlátozására vagy megtiltására vonatkozó döntés indokoltságát mindig az adott helyzetben kell közegészségügyi szakmai szempontból mérlegelni. Például a vízszolgáltatás leállítása általában még jelentős szennyezés esetén sem javasolható, mivel a nyomásingadozás és a tisztálkodáshoz, WC öblítéshez szükséges víz hiánya még súlyosabb közegészségügyi problémát okozhatna. Mikrobiológiai szennyezettség (vagy annak gyanúja) esetén a vízforralás elrendelése, kémiai szennyezés esetén a víz ivásra és főzésre való felhasználásának tiltása jellemző. A mosakodásra, fürdésre stb. való felhasználás tiltása csak olyan esetben célszerű, ha a rendkívüli szennyezés (pl. járványveszélyt jelentő súlyos mikrobiológiai szennyezettség, savas, lúgos hatás, erős bőr- és/vagy nyálkahártya-irritációt okozó, vagy illékony, a légtérbe kijutva igen erősen mérgező anyag) ezt indokoltá teszi. Az érzékeny fogyasztókra kiemelt figyelmet kell fordítani. Nitrit és nitrát határérték túllépés esetén a kisgyermek és a várandósok részére kell alternatív módon ivóvizet biztosítani. Bármilyen vízszennyezés esetén elsődleges fontosságú a fogyasztók gyors és korrekt tájékoztatása.

A lakosság tájékoztatása

A lakosság megfelelő tájékoztatása az ivóvíz minőségéről az alapja az ivóvíz minőségébe és az ivóvíz-szolgáltatás biztonságosságába vetett bizalomnak. Az ivóvízminőségi adatok nyilvánosak, azokhoz a fogyasztóknak hozzáférést kell biztosítani a számukra legmegfelelőbb módon, valamint a megértést és megfelelő értelmezést segítő formában.

Az ivóvíz-szolgáltató köteles haladéktalanul tájékoztatni az érintett fogyasztókat és az érintett települési önkormányzatot, valamint élelmiszerüzemi célú víz esetén az élelmiszeripari vállalkozást a határértékek és parametrikus értékek bármelyikének túllépéséről, illetve szennyezés veszélyével járó rendkívüli eseményről, kivéve, ha az illetékes népegészségügyi szerv a határérték vagy parametrikus érték túllépést jelentéktelennek minősíti.

A tájékoztatásnak szerepelnie kell az ivóvíz-szolgáltató honlapján is, és az alábbi elemeket kell minimálisan tartalmaznia:

- az emberi egészséget fenyegető potenciális veszély és annak oka, a határérték vagy parametrikus érték túllépéssel érintett paraméterek,
- az ivóvízellátás korlátozása vagy betiltása, és ez esetben az átmeneti ivóvízellátás módja és rendje,
- megfelelő és naprakész tanácsok az ivóvíz fogyasztásának és használatának feltételeiről, különös figyelmet fordítva az ivóvízzel kapcsolatos egészségkockázatoknak fokozottan kitett lakossági csoportokra (várandósok, kisgyermeket nevelők, legyengült immunrendszerű fogyasztók, idősek stb.),
- a megtett ivóvízminőség-javításról hozott korrekciós és egyéb intézkedések.

Az ivóvíz-szolgáltató a lakosság számára az ivóvízellátó rendszer felépítéséről, működéséről általános tájékoztatást kell nyújtson a honlapján, valamint egyedi, közvetlen tájékoztatással (számlán). A tájékoztatásnak ki kell terjednie az alábbiakra:

- szolgáltatási terület, ellátott személyek száma, valamint a vízkitermelés módjának megjelölése, ideértve az alkalmazott vízkezelési és fertőtlenítési módszerek típusaira vonatkozó általános tájékoztatást is,
- vízminőségre vonatkozó legfrissebb, egy évnél nem régebbi monitoring adatok,
- az ivóvízellátó rendszer kockázatértékelésével kapcsolatos releváns információk,
- fogyasztói tanácsok (ivóvízfogyasztás csökkentése, felelősségteljes vízfogyasztás, nem megfelelő ivóvízhasználat, például pangó víz fogyasztása),
- vízdíj, a háztartás által fogyasztott ivóvízmenyiség, annak évenkénti alakulása, összehasonlítása a háztartások átlagos ivóvízfogyasztásával.

A települési önkormányzat honlapján szerepelnie kell az ivóvíz-szolgáltató adatainak és elérhetőségeinek, és hogy hol érhetőek el információk az ivóvíz-szolgáltatás áráról, a vízminőségről, rendkívüli eseményekről.

Az NNGYK az országos ivóvízminőségi adatbázisban rendelkezésre álló adatok alapján évente értékeli az ivóvízminőséget, és az országos összefoglalót, valamint az éves településsoros ivóvíz-minőségi adatokat közzéteszi az országos tisztifőorvos honlapján.

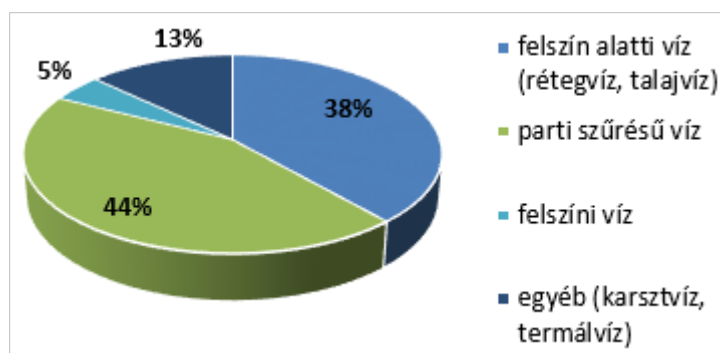
Az ivóvíz egészségre gyakorolt hatásáról kérelemre a területileg illetékes népegészségügyi hatóság felvilágosítást ad.

A közüemi ivóvízellátás helyzete

A szolgáltatott víz minősége

Közegészségügyi szempontból összességében kedvező az ivóvízellátás helyzete Magyarországon.

Az ivóvíz elsősorban felszín alatti vízből (legnagyobb részt rétegvízből és parti szűrésű kutakból) származik, a felszíni vízkivétel csak a teljes ivóvízellátás kevesebb, mint 5%-át teszi ki. Az ivóvíz megoszlását a nyersvíz eredete szerint a 51. ábra mutatja be.



51. ábra Az ivóvíz megoszlása a nyersvíz eredete szerint³⁰

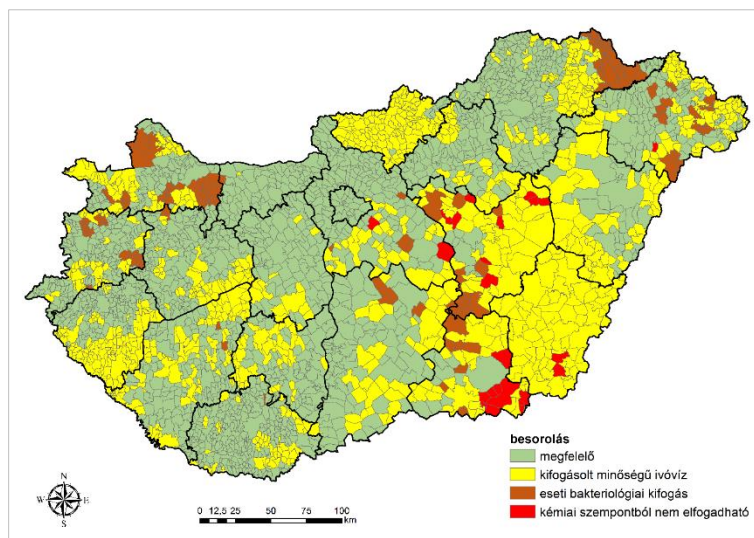
A közüemi ivóvíz minőségellenőrző vizsgálatok (önellenőrző és hatósági) eredményéből, valamint a népegészségügyi hatóságok, az ivóvízellátás helyzetére vonatkozó éves jelentéseiből az országos ivóvízminőség értékelését az NNGYK végzi, és összefoglaló jelentését a honlapján hozza nyilvánosságra. A települések egyedi vízminőségértékelése településsoros (térkép), kereshető felületen is elérhető, és egy négyfokozatú skálával történik:

- *megfelelő*: a szolgáltatott ivóvíz minősége mikrobiológiai és kémiai paraméterek alapján is megfelelő,
- *nem elfogadható*: a szolgáltatott ivóvízben valamely kémiai paraméter jellemző értéke meghaladja a határértéket,
- *eseti bakteriológiai kifogás*: a szolgáltatott ivóvízben valamely szennyvíz eredetű szennyezést jelző mikrobiológiai paraméter (*E. coli* vagy *Enterococcus*) esetileg előfordul,
- *tűrhető* (korábban kifogásolt): a szolgáltatott ivóvízben valamely üzemeltetési hibát jelző, vagy esztétikai panaszt okozó indikátor kémiai paraméter jellemző értéke meghaladja a parametrikus értéket, vagy valamely indikátor mikrobiológiai paraméter kifogásoltsága jelentkezik.

A magyarországi települések vízminőségének 2021. évi jellemzését a 52. ábra, míg az egyes kötelezően vizsgált paraméterek országos szintű megfeleléségét (2021. évi adatok alapján) a 53. ábra mutatja.

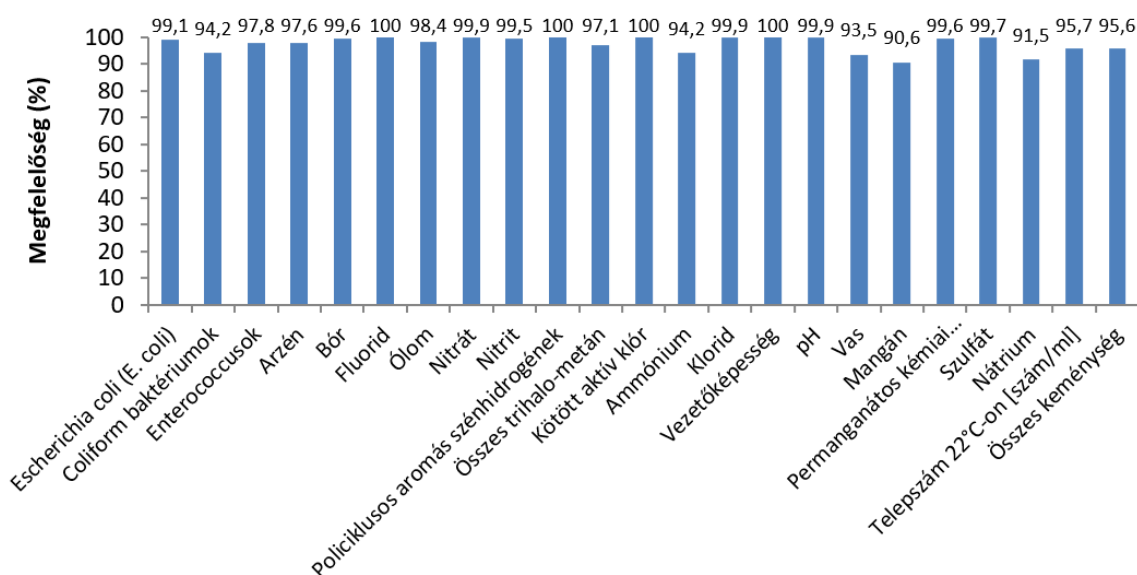
³⁰ Nemzeti Népegészségügyi Központ, Magyarország ivóvízminősége (2021):

https://www.nnk.gov.hu/attachments/article/726/Iv%C3%B3v%C3%ADzmin%C5%91s%C3%A9g_2021.pdf



52. ábra Települések vízminőségi értékelése, 2001.³¹

A legtöbb kémiai paraméter megfelelése országos szinten 99% feletti. A kötelezően vizsgálandó anyagok (pl. szerves mikroszennyezők: 1,2-cisz-diklóretilén, triklór- és tetraklóretilén; policiklusos aromás szénhidrogének; jellemzően vízbázis eredetű nehézfémek és szervesetlen szennyezők: higany, cianid, fluorid, illetve jellemzően hálózati eredetű króm és akrilamid; radioaktivitás paraméterei: összes indikatív dózis, radon, trícium) esetén országszerte jellemzően 100%-ban megfelelő az eredmény.



53. ábra Az ivóvízminőség országos szintű megfelelése 2021.³²
(az összes vizsgálat százalékában kifejezve)

³¹ Nemzeti Népegészségügyi Központ, Magyarország ivóvízminősége, 2021. Nemzeti Népegészségügyi Központ, Magyarország ivóvízminősége (2021):

https://www.nnk.gov.hu/attachments/article/726/Iv%C3%B3v%C3%ADzmin%C5%91s%C3%A9g_2021.pdf

³² Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ, Magyarország ivóvízminősége (2021):

https://www.nnk.gov.hu/attachments/article/726/Iv%C3%B3v%C3%ADzmin%C5%91s%C3%A9g_2021.pdf

Főbb vízminőségi paraméterek és előfordulásuk

Egészségkockázat szempontjából az elmúlt évtizedek legjelentősebb vízminőségi problémája az ivóvíz határérték feletti **arzén** koncentrációja volt. Az ország egyes régióiban (különösen az Alföld déli és keleti részén, valamint a Dunántúl déli régióiban) az ivóvíznyerésre használt rétegvizek az ivóvízre vonatkozó határértéket (10 µg/l) lényegesen meghaladó, akár 100 µg/l koncentrációban tartalmaznak arzént (arzenit és arzenát formában). Hazai és nemzetközi epidemiológiai vizsgálatok is bizonyították, hogy az ivóvíz határérték feletti arzéntartalma **emelkedett karcinogén kockázatot okoz**.

A **bór** toxicitási adatai emberre nem egyértelműek, állatkísérletekben a fejlődési és szaporodási rendszer károsodásával hozták összefüggésbe. Az utóbbi évek kutatási eredményei alapján egyre kevésbé tekinthető kockázatos anyagnak, az ivóvízre vonatkozó határértéket az EU Ivóvízirányelvben (2020/2184) és a hazai jogszabályban (5/2023. (I.12.) Korm. rendelet) is enyhítették (geológiai eredet esetén 2,4 mg/l).

A **fluorid** esszenciális nyomelem, melynek különösen a fejlődő szervezet csont-anyagcseréjében van döntő szerepe, ugyanakkor a minimálisan szükséges és a már toxikus napi beviteli érték közti sáv igen keskeny. Hiánya és túlzott bevitele egyaránt elsősorban a fogazatot és a csontokat érinti. Az ivóvíz fontos forrása lehet a fluorid bevitelnek. Az ivóvíz fluorid tartalma **0,5-1,5 mg/l között véd a fogszuvasodás ellen**, ugyanakkor **2,0 mg/l felett** már kimutathatók a **fluorózis** tünetei (fog elszíneződés, zománc displasia stb.) és **4 mg/l felett már súlyos, a csontrendszerre is kiterjedő hatások** láthatók.

2007 óta hazánkban nagy léptékű **ivóvízminőség-javítást célzó fejlesztések valósultak meg** a Környezet és Energia Operatív Program (KEOP) és Környezet és Energiahatékonysági Operatív Program (KEHOP) keretében. A települések Európai Unió források igénybevételével arzén, bór, fluorid, nitrát, nitrit miatti vízminőségi kifogás megoldására, illetve a nitrit-képződés megelőzése érdekében az ammónium eltávolítására pályázhattak. 2022. év végére a korábbi 365 településből a fejlesztések eredményeként, már csak 10 olyan település maradt, ami arzén vagy bór kifogásoltsággal érintett. Ebből 2023-ban két település már megfelelőnek volt tekinthető, a Kormányrendeletben a bór határérték emelése (1 mg/l-ről 2,4 mg/l-re) miatt. Fluorid kifogás korábban is mindössze három Jász-Nagykun-Szolnok vármegyei településen volt, ezeken is alig több mint 10%-kal haladta meg a határértéket, de 2017-re már nem volt olyan település Magyarországon, ahol az ivóvíz fluoridtartalma meghaladta a vonatkozó (1,5 mg/l) határértéket. A fejlesztésekben célzottan kezelt problémák megoldása mellett a többi esetlegesen fennálló vízminőség probléma (pl. vas, mangán, nátrium kifogás) megoldása is sok esetben megvalósult.

A **nitrit** leggyakrabban a nagy ammónium tartalmú nyersvizekből keletkezik mikrobiológiai úton. Az előregedett hálózatokban megtelepedett baktériumok jelentősen hozzájárulnak a képződéséhez, így a keletkezés megelőzése érdekében az **ammónium mentesítés mellett a hálózatok rekonstrukciójának van kiemelt jelentősége**. A nitrit előfordulásának legjelentősebb egészségkockázata, hogy a vérbe kerülve a hemoglobint irreverzibilisen methemoglobinná oxidálja, és ezáltal az oxigénfelvételt akadályozza. Az így kialakult kórkép a **methemoglobinémia**, vagy „kékkór”. A nitrát a szervezetben nitritté redukálódhat (különösen a csecsemők

bélrendszerében, amely reduktív környezet), és ugyanilyen módon fejti ki hatását. Nitrit határérték túllépés 2021-ben mintegy 180 településen fordult elő esetileg vagy időszakosan. Az érintett településeken a népegészségügyi hatóság fokozott ellenőrzési kötelezettséget rendelt el. Magyarországon vezetékes ivóvízzel összefüggő methemoglobinémia eset évtizedek óta nem fordult elő, de a nem megfelelő vízminőségű magánkutak (jellemzően ásott tanyasi talajvízkutak) miatt évi 1-2 megbetegedést mindig azonosítanak.

Az **ammónium** az egyik leggyakrabban kifogásolt paraméter az indikátorok közül (megfelelőség: 90-95%). Jelenléte a hazai ivóvizekben elsősorban geológiai eredetű, kisebb része antropogén forrásból (mezőgazdaságból vagy kommunális szennyvízből) származik. Gyakran arzénnel, illetve vassal és mangánnal együttesen fordul elő. Bár közvetlen egészség-hatása nem ismeretes, de mivel a nitrit-képződés prekursora, szükséges lehet az eltávolítása, ha az üzemeltetési körülmények kedveznek a nitritté alakulásnak. Akár parametrikus érték (0,50 mg/l) alatti ammóniumból is képződhet határérték feletti nitrit. Eltávolítása jellemzően biológiai ammóniummentesítéssel, vagy törésponti klórozással történik (az utóbbi jelentősen határérték feletti koncentráció esetén nem javasolt a nagy vegyszerigény és a klórozási melléktermékek keletkezésének veszélye miatt). Nem megfelelő technológiai megoldással az eredeténél nagyobb egészségkockázat keletkezhet.

A **vas** és a **mangán** szintén gyakori szennyező a hazai ivóvizekben, koncentrációjuk akár a parametrikus érték tízszeresét is elérheti. Elsősorban érzékszervi, esztétikai problémát okoznak (fém íz, barnás-feketes kicsapódás miatt), illetve a hálózatban lerakódva elősegítik a korróziót és a biofilm képződést. Legutóbbi kutatások az ivóvíz nagy mangánkoncentrációját egyes neurológiai elváltozásokkal hozták összefüggésbe.

A **nehézfémek** határérték feletti előfordulása ritka, a nyersvizek szennyezettsége elenyésző. A nehézfémek forrása elsődlegesen a hálózat, különösen az épületek belső csővezetékei és szerelvényei, így a rendszeres mintavételre kijelölt, a szolgáltatott víz minőségének jellemzésére szolgáló mintavételi pontokon vett minták nem alkalmasak a valós helyzet feltárására. Az épületeken belüli hálózatok - főként a régi építésű házakban - tartalmazhatnak ólomcsöveket, amely a szennyezés forrása lehet. A csapvíz általi ólombevitel főleg a kisgyermek mentális fejlődésére gyakorolt káros hatása miatt jelentős. Az NNGYK kutatása alapján a csapvíz ólomtartalma szempontjából magas vagy nagyon magas kockázatúnak számít körülbelül 80 000 lakóház és több mint 450 000 lakás. A becsült érintett lakosság kb. 750 000 fő. A *Kormányrendelet* alapján az ólom határértéke a felére, 5 µg/l-re csökken, az alacsonyabb határértéket 2036. január 12-től legalább a szolgáltatási ponton, gyakorlatban az épületek bemenő pontján, valamint a kiemelt kockázatot jelentő, úgynevezett elsőbbségi létesítményekben, gyakorlatban a gyermekintézményekben biztosítani kell. Az egyéb épületekben a határérték 10 µg/l marad, azonban itt is törekedni kell az alacsonyabb ólomszintek elérésére, valamint szükséges a fogyasztók tájékoztatása az ólombevitel csökkentésére szolgáló beavatkozásokról, fogyasztói szokásokról.

A **mikrobiológiai** szennyezettség jellemzése egy adott időszakra vonatkoztatva nehezebb, mivel az incidensek jelentős része csak átmeneti határérték túllépés, nem tekinthető a település vízminőségére általánosan jellemzőnek. A fekális indikátorok kifogásoltsága éves szinten országosan 1-2%, ami nem magas arány, de a cél a fekális szennyezések és az ezen

indikátorok által jelzett fertőző kockázat teljes kiküszöbölése. Sok településen, különösen a dél-dunántúli és az alföldi területeken jelent problémát az ivóvíz másodlagos szennyeződése az elosztóhálózatban, amelyet az indikátor baktériumok elszaporodása (telepszám 22°C-on és coliform baktérium parametrikus érték túllépés), valamint a mikroszkópos biológiai kifogásoltság gyakoriságának növekedése jelez. Ennek elsődleges oka a **hálózatok kora és állapota**, valamint a csökkenő vízhasználatból adódó **megnövekedett tartózkodási idő**. Különösen kockázatos a szokottnál melegebb, nagy szervesanyag- vagy vas-mangán tartalmú víz a másodlagos vízminőség-romlás szempontjából. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy önmagában az indikátor baktériumok (pl. magas telepszám) nem szükségszerűen jelentenek egészségkockázatot, mivel ez származhat a nyersvízből is (pl. magasabb hőmérsékletű vizek esetén). A jelentős vagy trendszerű növekedés viszont arra utal, hogy a rendszerben fennáll a baktériumok elszaporodásának veszélye, ezért a kiváltó okot fel kell deríteni, és szükség esetén elhárítani.

Az ivóvízzel terjedő fertőzések megelőzése érdekében az ivóvíz mikrobiológiai biztonsága a legalapvetőbb közegészségügyi követelmény. Ez leggyakrabban fertőtlenítés segítségével történik. Az alkalmazott fertőtlenítési technológiák közül hazánkban a **klór tartalmú fertőtlenítőszer** a **legelterjedtebbek**, de növekvő számban fordul elő a klór-dioxid, illetve néhol az UV alkalmazása is. A fertőtlenítés módjának, a fertőtlenítőszer mennyiségének megválasztásakor, illetve az üzemeltetési körülmények kialakításakor figyelembe kell venni a mikrobiológiai biztonság mellett, hogy a lehető legkevesebb **fertőtlenítési melléktermék** keletkezzék. Részben az új technológiák üzembehelyezéséhez kapcsolódó probléma a klórozási melléktermékek (pl. trihalometánok (THM), haloecetsavak (HAA), klorát) jelenlétével összefüggő kifogások számának emelkedése egyes településeken. Ez különösen a meleg, nagy szervesanyag tartalmú nyersvizek esetén jelentős. A klórozási melléktermékek okozzák az esetenként megjelenő „klóros” ízt vagy szagot. Hosszútávú fogyasztás esetén az egészségre is ártalmasak lehetnek, több vegyület (pl. a kloroform) karcinogén hatású. A szerves halogének közül a trihalometánokra (THM) a Kormányrendelet 50 µg/l, a haloecetsavakra (HAA) 60 µg/l határértéket szab meg. A hazai szolgáltatott ivóvízben a trihalometánok koncentrációja miatt 9 település vízminősége kapott nem megfelelő minősítést, eseti határérték túllépés több vízellátó rendszerben előfordult, melyek összesen 300 település vízellátását biztosítják. A klorát a nátrium-hipoklorit fertőtlenítő- és oxidálószer szennyezője, így mennyisége a szolgáltatott vízben a nagy alkalmazott klórdózisok miatt a törésponti klórozást alkalmazó vízkezelő rendszerekben jelenthet gondot. A klorát paraméterre a Kormányrendelet 0,25 mg/l (már üzemelő oxidációs eljárásokat alkalmazó vízellátó rendszerekben esetleg évente maximum 30 napig 0,70 mg/l) határértéket határoz meg. A fertőtlenítési melléktermékek keletkezésének mérséklésére a megoldást az ivóvíztisztító technológia optimalizálása (vegyszerdózisok, adagolási pontok, tartózkodási idők) jelenti, olyan módon, hogy minimalizálja a melléktermékek keletkezését, vagy eltávolítja azokat. A kloritra a kloráttal azonos előírások érvényesek, azzal a különbséggel, hogy a klorit a klór-dioxid bomlása során keletkezik, így vizsgálata a klór-dioxid alkalmazásakor szükséges. A kötött klór, mint összegparaméter, elsősorban nitrogéntartalmú vegyületek és a klór reakciója során keletkező melléktermékeket, főleg klóraminokat tartalmaz. A legnagyobb mennyiségben keletkező monoklóramin fertőtlenítő hatású, egyes országokban célzottan használják fertőtlenítésre, mivel a hálózatban kevésbé bomlékony. Hátránya a kellemetlen íz és szag megjelenés.

A **radiológiai** paramétereket tekintve, a hazai ivóvizekben a **radon** és a **trícium** aktivitáskoncentrációja jellemzően parametrikus érték (100 Bq/l) alatti. A radioaktív anyagokat tartalmazó víz fogyasztásától származó járulékos sugárterhelést az ún. **indikatív dózis** jellemzi. Az összes indikatív dózis becslése jellemzően az összesalfa-aktivitás (vizsgálati szint 0,1 Bq/l) és összesbéta-aktivitás (vizsgálati szint 1,0 Bq/l) meghatározásával történik. A hazai ivóvizek összesbéta-aktivitása elenyésző, míg összesalfa-aktivitása közel 300 településen haladta meg a vizsgálati szintet. A vizsgálati szint túllépésekor az ivóvíz-szolgáltatók a radioaktivitás forrását nuklidszelektív vizsgálatok alapján értékelték. Amennyiben a nuklidszelektív vizsgálat eredményéből számított indikatív dózis nem haladja meg a parametrikus értéket, akkor a népegészségügyi hatóság alternatív (magasabb) vizsgálati szintet határozott meg az adott ivóvízellátó-rendszerre. A 2023. évi Kormányrendelet módosítása óta az ivóvízben kötelezően vizsgálandó paraméter az **urán**, de nem radiológiai, hanem kémiai toxicitása (vesekárosító hatása) miatt. Urán az ivóvízben jellemzően néhány település kivételével nem közelíti meg a vonatkozó határértéket. A radiológiai paraméterek részletesebben kerülnek kidolgozásra és példákkal bemutatásra az NNGYK vonatkozó módszertani útmutatójában („*Módszertani útmutató ivóvizek radiológiai paramétereinek vizsgálatához és értékeléséhez*”).

A nem közműves ivóvízellátás problémái

Bár Magyarországon a lakosság túlnyomó többségének (95%) közüzemi ivóvízellátása biztosítva van, jelentős számban fordulnak elő kisebb, intézményi ivóvízellátórendszerek és magánkutas ellátás is.

A nem közműves, intézményi (pl. kórházakat, szállodákat, szociális létesítményeket ellátó) vagy egyéb közellátást megvalósító kis vízműveket a 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet 2023. évi módosítása „*közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízmű*”-ként definiálja. Becslések szerint a lakosság 3%-ának ellátását biztosítják ilyen rendszerek. A szabályozás alapján a **közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízmű** olyan nem közműves, egyedi ivóvízellátás, amely közösségi ivóvízigényt (kereskedelmi, szolgáltatási, közszolgáltatási, munkavégzési célból) szolgál ki egy vagy több ingatlanon. Ezekre is az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet, azaz a közműves vízellátásra vonatkozóval azonos előírások (hatósági felügyelet, vízminőségi követelmények, veszélyelemzés és kockázatértékelés, monitoring) irányadóak, bár a kisebb méretből adódóan a mintavételi gyakoriság kisebb. Problémát jelent azonban, hogy az üzemeltetés kevésbé szakszerű, és a vízbázisvédelem sem minden esetben valósul meg. Jogi és ellátásbiztonsági problémák is jelentkeznek, mint például, hogy a korábbi termelőszövetkezetek vagy ipari létesítmények kútjai sok esetben lakossági vízellátást is megvalósítottak, viszont a jelenlegi tulajdonos nem kötelezhető a szolgáltatás üzemeltetésére. A legkisebb, napi 10 m³-nél kevesebb ivóvizet termelő vagy 50 főnél kevesebbet ellátó rendszerekre a Kormányrendelet szűkített előírásokat fogalmaz meg, így például nem vonatkozik rájuk a nyersvizek vízgyűjtő területeire vonatkozó kockázatértékelés követelménye vagy az ivóvíz-szolgáltató tájékoztatási kötelezettsége.

A 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet definiálja a **magán ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízművet** is, mely olyan házi ivóvízigényt kiszolgáló vízilétesítmény, amely egy

háztartás ingatlanon belüli legfeljebb 500 m³/év ivóvízigényét fedezi, gyakorlatilag a magánkutas ellátást jelenti. A szabályozás alapján a magán ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízmű létesítése engedélyhez kötött, az engedélyt a település jegyzője adja ki. Ivóvízként történő felhasználás esetén az engedélyezéskor, és azt követően háromévente a tulajdonos laborvizsgálattal köteles ellenőrizni a kút víz minőségét. A javasolt paramétereket és a vonatkozó határértékeket az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet (szín, szag, zavarosság, hőmérséklet, *Escherichia coli*, coliform baktériumok, telepszám 22°C, *Enterococcus*, pH, vezetőképesség, ammónium, nitrit, nitrát, keménység, klorid, kémiai oxigénigény, vas, mangán, lúgosság, fertőtlenítéssel összefüggő paraméterek, helyszíntől függően arzén) tartalmazza. A kút víz felhasználhatóságáról, az esetlegesen szükséges beavatkozásokról az illetékes járási (fővárosi kerületi) kormányhivatal ad véleményt. A kút víz felhasználhatóságától függően az indikátor paraméterekre a népegészségügyi hatóság egyedi elfogadhatósági határokat szabhat meg. Magánkutak használata esetén a vízbázis védelmét a telken belül kell megvalósítani (a kút legalább 10 méteres környezete is a saját ingatlanon legyen). A kutat úgy kell elhelyezni, hogy az emésztőből származó szennyvíz, állati trágya, mezőgazdasági vegyszer stb. ne szennyezhesse. Gondoskodni kell a kútfej védelméről, a felszíni szennyezés megakadályozásáról. Az egyedi kutak többsége nem védett, felszínhez közeli rétegre települt vízadó, így a felszíni eredetű szennyeződések könnyen utat találnak a kút vizéhez. Tapasztalatok alapján a legtöbb magánkút vize több paraméter tekintetében sem felel meg az ivóvízre vonatkozó követelményeknek, a főként fecális eredetű mikrobiológiai szennyezések, illetve a mezőgazdasági tevékenységre visszavezethető nitrát szennyezés jelenti a legnagyobb közegészségügyi problémát. A szennyvízzel szennyezett kút vízben súlyos megbetegedést okozó kórokozók is előfordulhatnak. Becslések szerint a lakosság 2%-a magánkútból vagy ismeretlen forrásból jut ivóvízhez, ami leggyakrabban a külterületi gazdasági- és lakóingatlanok, valamint nyaralók esetén fordul elő, de a részlegesen magánkutas vízellátást igénybe vevők aránya ennek sokszorososa lehet. A magánkutas ellátás aránya jelentős területi különbséget is mutat, például Bács-Kiskun vármegyében elérheti az akár 10%-ot is. Tovább súlyosbíthatja a helyzetet, hogy megfizethetőségi problémák miatt nő a kút vízhasználat gyakorisága.

A kút vizét a házba bevezetve a rendszerek összekötése a közműves hálózat visszaszennyezéséhez is vezethet. Közműves hálózattal semmilyen esetben sem szabad magánkutat összekötni, az minden esetben illegális.

A 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet alapján egy településen a fogyasztók nem közműves és különleges közüzemi ivóvízellátásának biztosítása a települési önkormányzat feladata. Erre saját célú ivóvízművet, ennek hiányában a közüzemi ivóvízhálózathoz kapcsolható közvetlen vételezési lehetőséget, elsősorban **közkifolyót** (különleges közüzemi ivóvízellátás), nyilvános helyeken kültéri, illetve beltéri ivóvízvételi lehetőségeket kell alkalmazni. A települési önkormányzat felméri és nyilvántartja a közműves ivóvízellátáshoz nem, vagy csak korlátozottan hozzáférő lakosságot, az úgynevezett **marginalizált csoportokat**, valamint az ellátásuk formáját, a közműves vízhálózathoz való csatlakozásuk akadályait. A nyilvántartásban külön felmérésre kerülnek a várandós és a kiskorú személyek, valamint az általuk használt alternatív ivóvízforrás. Az illetékes járási (fővárosi kerületi) hivatal a magán ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízművel (magánkúttal) ellátott, továbbá a közkifolyóról vagy ismeretlen

vízforrásból ellátott várandós személyek és 3 év alatti gyermeket nevelő személyek számára, a methemoglobinémia prevenció érdekében egyszeri, ingyenes vízvizsgálati lehetőséget biztosít az ivóvízellátás mikrobiológiai minőségének, nitrit és nitrát tartalmának ellenőrzésére.

Az ivóvízminőség speciális szempontjai

Palackozott és élelmiszer-előállításra használt vizek

A palackozott vizekre speciális előírásokat tartalmaz a 65/2004. (IV. 27.) FVM-ESZCSM-GKM együttes rendelet a természetes ásványvíz, a forrásvíz, az ivóvíz, az ásványi anyaggal dúsított ivóvíz és az ízesített víz palackozásának és forgalomba hozatalának szabályairól. A minőségi és a vizsgálati követelményeket, valamint a vízzel érintkező anyagokra vonatkozó előírásokat a palackozott ivóvizekre is az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet írja elő. A palackozott vizek minőségét a palackba töltés helyén kell igazolni, a palackban levő víz ellenőrzésére csak alkalomszerűen kerül sor.

Az élelmiszer-előállításra használt vizekre vonatkozó előírások azonosak a közműves ivóvízellátásnál leírtakkal. A víz minőségének azon a ponton kell megfelelnie a követelményeknek, ahol azt az élelmiszerkészítésre felhasználják. A palackozott és az élelmiszer-előállításra használt vizek felügyeletét az élelmiszerlánc felügyelet látja el.

Hálózati víz utótisztító kisberendezések

Az egy-egy komponens alapján kifogásolt minőségű ivóvíz, illetve esztétikai problémák (pl. a klóros íz és szag, zavarosság) esetén felmerülhet a fogyasztói igény a vezetékes víz utókezelésére, amelyre ún. otthoni ivóvíz utótisztító kisberendezések alkalmazhatók, amelyekkel az ivóvíz kémiai minősége helyben javítható.

A víztisztító berendezések alkalmazásának engedélyezését és az azt megalapozó higiénés értékelést az NNGYK végzi. (lásd „*Vízzel érintkező anyagok*” c. alfejezet) A higiénés értékelés részeként a berendezésben lévő szerkezeti anyagok, töltet(ek), valamint laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján kerül meghatározásra, hogy a berendezés az ivóvíz mely paramétereinek mennyiségére lehet pozitív hatással, illetve milyen közegészségügyi szempontú alkalmazási feltételeket (pl. szűrőcserék és fertőtlenítés gyakorisága, üzemszünetek utáni teendők, mikrobiológiai elszaporodás elleni védelem stb.) kell betartani az alkalmazásból eredő kockázatok minimalizálására. Az alkalmazási feltételek az ivóvízbiztonsági engedélyben is rögzítésre kerülnek, illetve a használati útmutatóban is kötelező a felhasználók tudomására hozni. A víztisztító kisberendezések kapcsán a legfőbb kockázat a mikrobiológiai minőségre romlás, emiatt alapfeltétel, hogy valamilyen mikrobiológiai védelmet biztosító egységet, eljárást is tartalmazzanak (pl. UV-lámpa, ezüstözés). Másik gyakori kockázat a nitritképződés kockázata, ami szintén mikrobiológiai tevékenységgel függ össze. További kockázatok a szerkezeti anyagokból való kioldódás (pl. ezüst), valamint egyes típusok esetében a hasznos szervesetlen anyagok (pl. kalcium, magnézium) túlzott csökkenése. A felsorolt kockázatok az alkalmazási feltételek betartása és megfelelő karbantartás (fertőtlenítés, szűrőcserék) mellett csökkenthetők, így kiemelten fontos a lakossági tájékoztatás. Az ivóvíz utótisztító kisberendezések engedélye kizárólag vezetékes víz utókezelésére vonatkozik, saját kút kezelésére nem,

ugyanis a saját kutak vízminősége változékony, egymástól, és a vezetékes víztől is nagyban eltérhet, a vezetékes víztől eltérő kockázatok is fellelhetnek.

Egyes kisberendezések az otthoni alkalmazáson kívül, speciális alkalmazási feltételek betartása mellett közösségi felhasználásra is engedélyezettek. A kockázatok alapján alkalmazásuk korlátozásra kerülhet gyerekeintézményben és/vagy egészségügyi intézményben. Alkalmazásukat a helyi népegészségügyi hatóság felé be kell jelenteni, akik rendszeres vizsgálatot is előírhatnak a kezelt vízre.

A víztisztító kisberendezéseket felépítő technológiai egységek főbb típusai:

1. *Mechanikai szűrők:* A pórusméret függvényében különböző méretű részecskék eltávolítására alkalmasak (durva szűrő 30-50 µm, finom szűrő <10 µm).
2. *Aktívszén szűrők:* A víz íz- és szagpanaszainak csökkentésére, a maradék klór eltávolítására, illetve a szerves anyagok és a klórozási melléktermékek mennyiségének csökkentésére alkalmas. A szűrőn a víz bakteriológiai minőségromlásának megelőzése érdekében speciális eljárás (pl. UV lámpa, ezüstözött aktívszén stb.) használata szükséges.
3. *Ioncserélők:* Kationcserélő (kalcium, magnézium) és anioncserélő (pl. arzén) gyantákat tartalmazó berendezések. A megfelelő ioncsere mellett követelmény, a víz bakteriológiai minőségromlásának elkerülése, melyet a gyanta ezüstözésével, vagy a gyanta mellett ezüstözött aktívszén beépítésével lehet biztosítani.
4. *Membránszűrés:* A fordított ozmózis (RO) elvén működő berendezések a víz szervesetlen komponenseit jelentős mértékben, a szerves komponenseket pedig molekulasúlyuk függvényében távolítják el. Ivóvízellátás területén közegészségügyi szempontból fontos, az eltávolított szervesetlen ionok egy része (elsősorban a víz keménységét okozó kalcium- és magnézium-ionok) visszapótlásra kerüljenek, vagy visszaszűrő patronok alkalmazásával, vagy a kezelt és kezeletlen víz bizonyos arányú keverésével (ún. by-pass üzemmód). Egyéb membránokat (pl. UF, NF) tartalmazó kisberendezések esetében a vízben oldott anyagok nem kerülnek eltávolításra.

Vízzel érintkező anyagok

Az ivóvízszolgáltatóknak minden intézkedést meg kell tennie annak érdekében, hogy az ivó- és használati melegvíz előállítása (beszerzése, kezelése, tárolása, elosztása) során a vízzel érintkezésbe kerülő anyagok, termékek, a vízkezelési eljárások ne jelentsenek veszélyt az emberi egészségre, az élelmiszerbiztonságra és hatásukra ne történjen vízminőségromlás.

Ezért a *Kormányrendelet* értelmében csak olyan vízzel érintkező anyagok kerülhetnek Magyarországon forgalomba, amelyeket az NNGYK megfelelő közegészségügyi értékelését követően engedélyezett. Az engedélyezést megalapozó szakvéleményezés során a termékek higiénés értékelése a benyújtott dokumentáció, valamint külföldi vagy NNGYK által végzett kioldódás (migrációs) vizsgálatok eredményei alapján történik.

A 2020/2184 EU Irányelv elfogadásával egy, az Európai Unióban egységes higiénés megfelelőségértékelési rendszer kidolgozása kezdődött meg az ivóvízzel (és használati melegvízzel) érintkező anyagok, termékek, vegyszerek és szűrőanyagok vonatkozásában. A rendszer többlépcsős követelményrendszert tartalmaz a vízzel érintkező anyagokra vonatkozóan:

- A gyártás, előállítás kiindulási anyagainak, anyagösszetételeinek és összetevőinek szerepelniük kell az **Európai Vegyianyag Ügynökség (ECHA)** által összeállított európai pozitív listákon (szerves, cement típusú, fém, zománc, valamint kerámia vagy más szervesetlen anyagokra vonatkozó listák).
- A gyártás során felhasznált vízzel közvetlenül érintkező végleges anyagok meg kell feleljenek az Európai Bizottság által elfogadott egységes értékelésnek (higiénés vizsgálat, értékelési és elfogadási kritériumok).
- Az engedélyezett termékeket egy jól látható, eltávolíthatatlan jelzéssel kell ellátni az engedélyezés tényére vonatkozóan.
- A követelmények kidolgozásának előrehaladásával, azok fokozatos bevezetésével a következő években folyamatosan alakul át az NNGYK értékelési rendszere.

Magyarországon a fürdővízellátásban is csak minősített és az NNGYK által nyilvántartásba vett anyagok hozhatók forgalomba. A minősítési rendszer alapja megegyezik az ivóvízellátásban használt anyagokéval, de az elfogadási kritériumok bizonyos paraméterek tekintetében eltérőek lehetnek.

Ivó-, fürdő- és használati melegvízellátás területén többféle műanyagot használnak fel szerkezeti anyagként, bevonatként, tömítő- és adalékanyagként stb. A polimerizációval, polikondenzációval előállított termékekben mindig maradhatnak reagálatlan alap- vagy segédanyagok, melyek közül vannak vízoldhatók, és ezek a vízben rendszerint meg is jelennek. A fém szerkezeti anyagokból és bevonatokból toxikus nehézfémek kerülhetnek a vízbe. A kioldódás mértéke a víz hőmérséklettől és a tartózkodási időtől is függ. A vízellátásban használni kívánt szerkezeti anyagok vizsgálatai arra terjednek ki, hogy az engedélyezni kívánt termékből milyen mértékben oldódnak ki anyagok, amelyek a víz ízét, szagát, színét megváltoztatják, szerves anyagok, melyek mikroorganizmusok szaporodását, megtelepedését elősegítik, vagy esetleg toxikus anyagok, melyek a víz felhasználását kockázatosá tehetik.

A vegyszerek és szűrőanyagok értékelése során ellenőrzésre kerülnek a termékek tisztaságát igazoló vizsgálati eredmények, figyelembe véve az egyes anyagok vízben megengedhető maximális koncentrációját, az adagolási előírásokat és az alkalmazás módját.

Az ivóvízkezelő eljárások, technológiák közegészségügyi szempontú megfelelőségét az illetékes népegészségügyi hatóság ellenőrzi az új ivóvízkezelő technológia létesítésekor vagy jelentős, a vízkezelési eljárásokat érintő módosítás esetén. A technológiákat felépítő anyagoknak az NNGYK által engedélyezett anyagoknak kell lenniük, továbbá az elfogadható működést, tisztítási hatásfokot, valamint az üzemeltetésből eredő kockázatok megfelelő mérséklését a hatóság által előírt, legalább hat hónap időtartamú próbaüzemi vizsgálati program keretében kell igazolni.

Az ivóvízellátásban csak a *biocid termékek engedélyezésének és forgalomba hozatalának egyes szabályairól* szóló 316/2013. (VIII. 28.) Korm. rendelet és a 38/2003. (VII. 7.) ESzCsM-FVM-KvVM együttes rendelet szerinti engedéllyel rendelkező fertőtlenítőszer, biocid termékek használhatók fel az engedélyben és a termék címkéjén szereplő alkalmazási feltételek betartásával.

Az ivóvízkezelő technológiák rövid bemutatása

Az ivóvízkezelő technológiákat jelen jegyzet csak az ivóvízminőségre gyakorolt hatás megértése érdekében, röviden tárgyalja. Az ivóvízkezelés célja kettős: egyrészt a víz minőségének javítása és a káros anyagok eltávolítása (pl. arzén), másrészt a másodlagos vízminőségromlás kockázatának csökkentése (pl. ammónium eltávolítása, fertőtlenítés). A nyersvíz kezelése nem mindig szükséges. Ha a nyersvíz minősége megfelelő (pl. nem szennyezett felszín alatti víz), közvetlenül az elosztóhálózatba kerülhet, nem építenek ki vízkezelő technológiát, esetleg csak fertőtlenítik a vizet megelőzési célból. De előfordulhat, hogy fertőtlenítésre sincs szükség, ha a nyersvíz minősége, a hálózat állapota és a vízhasználat módja (pl. rövid tartózkodási idő) ezt lehetővé teszi. Ez főként felszín alatti vizek esetében lehetséges, míg felszíni vízkivételnél mindig szükség van valamilyen vízkezelő technológiára. A vízkezelési lépések alább a víz útját követve kerülnek bemutatásra. Nem minden vízkezelő technológia alkalmazza valamennyi lépést.

Az első lépés a **mechanikai tisztítás**: a durva, nagy darabos szennyezők eltávolítása rács vagy gereb segítségével, majd a kisebb szilárd vagy lebegő szennyezők kiszűrése makro- és mikroszítákkal. Ezután kerül sor az üleítésre vagy flotációra, amely a víz sűrűségénél nagyobb vagy kisebb sűrűségű anyagok szeparálását szolgálja. Ezek a lépések főként felszíni vízkivételnél szükségesek.

A **derítés** elsősorban a kolloid részecskék eltávolítását célozza vegyszerek (derítőszer) hozzáadásával, amelyek makropelyhekké tömörítik a szennyezőanyagokat. A derítés három lépése a koaguláció, flokkuláció és szeparáció, amely üleítéssel vagy szűréssel történhet.

Felszín alatti (különösen a nagyon mély kutakból származó) vizek esetén szükség lehet a víz gáztalanítására is, amely eltávolítja az íz- és szagproblémákat okozó vagy robbanásveszélyes anyagokat (pl. metán, kénhidrogén). A gáztalanítás leggyakrabban levegőztetéssel történik és egyaránt célja lehet az oxigén, mint oxidálószer bejuttatása, bekeverése is.

Gyakori vízkezelési lépés a **szűrés**, mely lehet mechanikai vagy katalitikus, attól függően, hogy pusztán fizikai folyamatokon alapszik vagy egy kémiai aktivált felület is segíti az oldott anyagok kiválását. A szűrendő anyagok méretétől függően a szűrés lehet valamilyen homokszűrő (pl. vas- és mangáneltávolítás esetében) vagy kisebb méretű anyagok esetében valamilyen membránszűrés. Ez utóbbi különböző mérettartományú lehet (mikro-, ultra- vagy nanoszűrő), és segítségével akár a mikroszennyezők és mikroorganizmusok is eltávolíthatók. Az ioncserélő eljárások anionok vagy kationok megkötésére alkalmasak. Mind a membránszűrés, mind az ioncserélés költséges eljárás, közműves ivóvízellátásban ritkán alkalmazzák őket Magyarországon.

A szűrést gyakran előzi meg valamilyen **oxidációs eljárás**, amely az oldott anyagok eltávolítását teszi lehetővé. Az oxidálószeresek közül a leggyakoribbak a kálium-permanganát, klórgáz, nátrium-hipoklorit és a levegő oxigéntartalma. Az ammóniumeltávolításra szolgáló törésponti klórozás is oxidációs eljárás, amely nagyobb mennyiségű klórt (hipokloritot vagy klórgázt) igényel. A törésponti klórozás során a feleslegben alkalmazott oxidálószer hatására az ammónium klóraminokon át (optimális esetben) nitrogén gázzá oxidálódik. Ez a technológia Magyarországon gyakori az egyes felszín alatti vizek nagy ammóniumtartalma miatt, így kiemelt vízhygiénés relevanciája van hazánkban. A törésponti klórozást szinte minden esetben követi aktívszenes abszorpció, amely a klórozás során keletkezett melléktermékek eltávolítására szolgál. Az eljárás során az oldott anyagok, szerves klórvegyületek, íz- és szagrontó anyagok az aktívszén felületén kötődnek meg.

Az ammónium eltávolítására nem csak kémiai, hanem biológiai módszer is alkalmazható, az ún. biológiai ammóniummentesítés. Ennek során egy bioreaktorban a homokszűrő felületén kialakított biofilmben élő baktériumok távolítják el az ammóniumot két lépésben. Először ammóniumoxidáló fajok (elsősorban Nitrosomonas fajok) az ammóniumot nitráttá, majd ezt a nitrtoxidáló fajok (elsősorban Nitrobacter fajok) nitráttá oxidálják.

Utolsó lépés a víz **fertőtlenítése**, ami történhet fizikai módszerekkel (pl. UV) vagy vegyszerekkel (pl. ózon, hidrogén-peroxid, klórtartalmú vegyszerek). A legszélesebb körben használt és leghatékonyabb ivóvízfertőtlenítő szerek a különböző klórtartalmú anyagok, elsősorban a nátrium-hipoklorit, a klórgáz és a klórdioxid.

Legfontosabb tudnivalók!

- Az ivóvíz minőségét az *ivóvíz minőségéről és az ellenőrzés rendjéről* szóló 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet szabályozza.
- **Ivóvízként** az ivásra, főzésre és az „egyéb háztartási célokra”, úgymint fürdés, WC öblítés használt vizet nevezzük. Az ivóvíz szabályozása az élelmiszerelőállításra használt vízre is kiterjed.
- **Nem minősíthető ivóvíznek** az a víz, mely a *Kormányrendeletben* felsorolt mikrobiológiai és kémiai paraméterek, vagy az országos tisztifőorvos vagy a helyileg illetékes hatóság által meghatározott további paraméterek határértékeinek nem felel meg. Az indikátor vízminőségi paraméterek (mikrobiológiai, kémiai, mikroszkópos biológiai, radiológiai) parametrikus értékeinek túllépése esetén a vizet **tűrhető minőségűnek** kell tekinteni.
- Az újonnan megjelenő, potenciális káros egészséghatással rendelkező anyagok egy az Európai Bizottság javaslata alapján az országos tisztifőorvos által összeállított **megfigyelési listára** kerülnek.
- A víz minőségének a **fogyasztás helyén**, tehát a fogyasztói csapnál (palackozott ivóvíznek a palackozás helyén, tartálykocsiból szolgáltatott víznek a tartálykocsi kifolyó csapnál) kell megfelelni a minőségi követelményeknek.
- Az ivóvíz minőségét az ivóvízszolgáltató és a népegészségügyi hatóság ellenőrzi. A **paraméterek vizsgálati száma** az ivóvízellátási körzetben szolgáltatott vízmennyiség alapján növekszik. A vízellátó rendszer kockázatértékelése alapján a népegészségügyi hatóság a vizsgálandó paraméterek körét és a vizsgálati gyakoriságot is növelheti. A kockázatot nem jelentő paraméterek vizsgálati számának, növekedésére nem kell számítani, mert a vizsgálati szám a népegészségügyi hatóság és az NNGYK engedélyével tovább csökkenthető. Az ivóvízminőségi adatok az NNGYK által kezelt HUMVI rendszerbe kerülnek feltöltésre.
- Az ivóvízszolgáltató a **szolgáltatási határpontig**, vízátadási pontig (jellemzően vízáráig) felelős az ivóvíz minőségéért, a belső hálózatra visszavezethető minőségi kifogás (pl. az ólomcsövekből kioldódó, határérték feletti ólom, vagy a másodlagos bakteriális szaporodásból eredő problémák) az épület tulajdonosának felelőssége.
- Az egészségre veszélyt jelentő ivóvíz fogyasztását, illetve felhasználását **az illetékes hatóság megtilthatja vagy korlátozhatja**.
- Az ivóvízminőségi adatok nyilvánosak, azokhoz a fogyasztóknak a hozzáférést biztosítani kell a számukra legmegfelelőbb módon, valamint a megértést és megfelelő értelmezést segítő formában.
- Az ivóvíz elsősorban felszín alatti vízből (legnagyobb részt rétegvízből és parti szűrésű kutakból) származik, a felszíni vízkivétel csak a teljes ivóvízellátás kevesebb, mint 5%-át teszi ki.

- A nyersvíz minőségétől függően különböző ivóvízkezelő technológiai lépések (pl. szűrés, derítés, oxidáció, fertőtlenítés) lehetnek szükségesek. Az ivóvízkezelés célja egyrészt a nyersvíz eredetű szennyezők eltávolítása, (pl. arzén vagy kórokozó mikroorganizmusok) másrészt a hálózati (ún. másodlagos) ivóvízminőség-romlás megelőzése (pl. ammónium vagy szervesanyag eltávolítás).
- A legtöbb **kémiai paraméter** megfelelése országos szinten 99% feletti. Az elmúlt évtizedek egészségkockázat szempontjából legjelentősebb vízminőségi problémája az ivóvíz határérték feletti arzén koncentrációja volt. Az **Ivóvízminőségjavító program** eredményeképp az ivóvíz arzéntartalma már csak néhány településen haladja meg a határértéket, itt egyéb módon kerül biztosításra a lakossági vízigény. A nitrit csecsemők és kisgyermekesek esetén methemoglobinémiát okozhat, leggyakrabban a nagy ammónium tartalmú nyersvizekből keletkezik mikrobiológiai úton, az előregedett hálózatokban megtelepedett baktériumok jelentősen hozzájárulnak a képződéséhez. Az ammónium geológiai eredetű, gyakran kifogásolt indikátor paraméter.
- A vas és a mangán szintén gyakori szennyező, elsősorban érzékszervi problémát jelentenek (fémes íz, barnás-feketés kicsapódás miatt), illetve a hálózatban lerakódva elősegítik a korróziót és a biofilm képződést. A nehézfémek forrása elsődlegesen a hálózat, különösen az épületek belső csővezetékei és szerelvényei. Az ólom tekintetében kiemelt kockázat a gyermekintézményekben jelentkezik. Részben az új technológiák üzembehelyezéséhez kapcsolódó probléma a klórozási melléktermékek (pl. trihalometánok (THM), haloecetsavak (HAA), klorát) jelenlétével összefüggő kifogások számának emelkedése egyes településeken. A fertőtlenítési melléktermékek keletkezésének mérséklésére a megoldást az ivóvíztisztító technológia optimalizálása (vegyszerdózisok, adagolási pontok, tartózkodási idők) jelenti.
- A **mikrobiológiai** problémák jelentős része csak átmeneti határérték túllépés, nem tekinthető a településre általánosan jellemzőnek. Sok településen jelent problémát az ivóvíz másodlagos szennyeződése az elosztóhálózatban, amelyet az indikátor baktériumok elszaporodása, valamint a mikroszkópos biológiai kifogásoltság gyakoriságának növekedése jelez. Különösen kockázatos a szokottnál melegebb, nagy szervesanyag- vagy vas-mangán tartalmú víz.
- A településeken a fogyasztók nem közműves és különleges közüzemi ivóvízellátásának biztosítása a települési önkormányzat feladata, a települési önkormányzat nyilván kell tartsa a közműves ivóvízellátáshoz nem, vagy csak korlátozottan hozzáférő lakosságot, az úgynevezett marginalizált csoportokat. A nem közműves, intézményi (pl. kórházakat, szállodákat, szociális létesítményeket ellátó) vagy egyéb közellátást megvalósító kis vízműveket közösségi ivóvízellátást biztosító „**saját célú ivóvízmű**”-nek nevezzük. Az ellátás fő kockázata: kevésbé szakszerű üzemeltetés, nem megfelelő vízbázis-védelem, jogi és ellátásbiztonsági problémák. A magán ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízmű, gyakorlatilag a magánkutas ellátást jelenti, melyet a település jegyzője engedélyez, a kútvíz felhasználhatóságáról, az esetlegesen szükséges beavatkozásokról az illetékes járási, fővárosi kerületi kormányhivatal ad véleményt. A legtöbb magánkút

vízében főként fekális eredetű mikrobiológiai szennyezések, illetve a mezőgazdasági tevékenységre visszavezethető nitrát szennyezés mutatható ki.

- Az ivóvíz minőségére az előállítás, szállítás és tárolás során a **vízzel érintkező anyagok** kockázatot jelenthetnek: azokból különböző anyagok oldódhatnak ki, melyek megváltoztathatják a víz színét, szagát, veszélyeztethetik a felhasználó egészségét, elősegítik a mikrobiológiai minőségromlást. Magyarországon csak olyan vízzel érintkező anyagok kerülhetnek forgalomba, amelyeket az NNGYK engedélyezett.
- Az ivóvíz utótisztító kisberendezések alkalmazásának fő közegészségügyi kockázatai: mikrobiológiai minőségromlás, a mikrobiológiai tevékenységek következtében jelentkező nitratképződés, a szerkezeti anyagokból történő kioldódás például ezüst, és a hasznos szervesanyagok (pl. kalcium, magnézium) túlzott csökkentése.

Ellenőrző kérdések

1. Mit nevezünk ivóvíznek?
2. Mikor megfelelő az ivóvíz minősége?
3. Mikor tűrhető az ivóvíz minősége?
4. Hol kell biztosítani az ivóvíz megfelelő minőségét?
5. Ki és hogyan ellenőrzi az ivóvíz minőségét?
6. A népegészségügyi hatóság mikor korlátozza, vagy tiltja meg az ivóvíz fogyasztását?
7. A lakosság kitől érdeklődhet az ivóvíz minőségével kapcsolatosan?
8. Hogyan oszlik meg a hazai ivóvíz a nyersvíz eredete alapján, ennek mi a szerepe a nyersvizek minőségében?
9. Hogyan jellemezhető az ivóvíz minősége Magyarországon?
10. Milyen főbb geológiai vízzennyezőket ismer, jellemzően milyen az előfordulásuk a hazai ivóvizekben?
11. Milyen főbb vízhálózat eredetű vízzennyezőket ismer, jellemzően milyen az előfordulásuk a hazai ivóvizekben?
12. Mi a fertőtlenítés szerepe az ivóvízszolgáltatásban, a különböző eljárások esetében milyen szempontokat szükséges mérlegelni a vízminőségi paraméterek megfelelősége érdekében?
13. Mit nevezünk közösségi ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízműnek, milyen kockázatok kapcsolódnak hozzá?
14. Mit nevezünk magán ivóvízellátást biztosító saját célú ivóvízműnek, milyen kockázatok kapcsolódnak hozzá?

ÁSVÁNY- ÉS GYÓGYVIZEK MINŐSÉGE

Bufa-Dórr Zsuzsanna, Dr. Gere Dóra, Dr. Vargha Márta

Az ásvány- és gyógyvízzé minősítés feltételei

Magyarországon természetes ásványvíznek, illetve a gyógyvíznek való *minősítés a természetes gyógytényezőkről* szóló 509/2023. (XI.20.) Korm. rendelet, míg az ásványvizek palackozásának és forgalomba hozatalának szabályozása *a természetes ásványvíz, a forrásvíz, az ivóvíz, az ásványi anyaggal dúsított ivóvíz és az ízesített víz palackozásának és forgalomba hozatalának szabályairól* szóló 65/2004. (IV. 27.) FVM-ESzCsM-GKM együttes rendelet alapján történik.

A hazai szabályozás alapján Magyarországon **természetes ásványvíz** megnevezéssel csak hivatalosan elismert víz hozható forgalomba. A víz természetes ásványvízként való elismerését kérelemre a Budapest Főváros Kormányhivatal (továbbiakban: BFKH) végzi.

A természetes ásványvíz

- természetesen vagy védelmi intézkedésekkel védett, felszín alatti vízáadó rétegből származik, azaz a trícium tartalma nem haladja meg a 0,06 Bq/l-t (természetes védettség igazolása)³³, vagy kijelölt védőidommal, illetve védőterülettel rendelkezik³⁴; nem minősíthető ásványvízzé felszíni víz, esővíz stb.;
- eredeténél fogva tiszta, antropogén szennyeződéstől mentes;
- az adott felhasználási formában mikrobiológiai és kémiai szempontból az emberi egészségre ártalmatlan;
- oldott összes ásványianyag-tartalma literenként legalább 1 000 mg, vagy az oldott összes szilárd ásványianyag-tartalma 500-1 000 mg/l között van és tartalmazza az alább felsorolt aktív biológiai anyagok valamelyikét:

a) külsőleg történő felhasználásban:

lítium-ion	legalább	5 mg/l
szulfid-ion vagy titrálható kén	legalább	1 mg/l
bromid-ion	legalább	5 mg/l
jodid-ion	legalább	1 mg/l
metakovasav	legalább	50 mg/l
radon-aktivitás ³⁵	legalább	37 Bq/l
szabad szén-dioxid	legalább	1 000 mg/l

³³ 16/2016. (V. 12.) BM rendelet 2.§ 9. pont alapján

³⁴ 123/1997. (VII.18.) Kormány rendelet alapján

³⁵ A radon a Nemzetközi Rákügnökség (IARC) besorolása alapján bizonyított human karcinogén, így körültekintően kell megvizsgálni, a gyógyvízzé minősítés valóban lehetséges-e ez alapján úgy, hogy ne ütközzön az előző pontba. (Ghissassi, et al., 2009)

b) belsőleg történő felhasználásban:

nátrium-ion	legfeljebb	200 mg/l
magnézium-ion	legalább	20 mg/l
kalcium-ion	legalább	60 mg/l
fluorid-ion		0,8-1,2 mg/l
szabad szén-dioxid	legalább	1 000 mg

- összetétele, oldott szilárd ásványianyag-tartalma és hőmérséklete közel állandó, vagy a természetes ingadozás határain belül van, **a stabil, a mintavétel körülményeitől és a vízhozamtól nem függő paraméterek esetén az eltérés legfeljebb 20% lehet;**
- palackozási célú felhasználás esetén továbbá:
 - megfelel a 65/2004. együttes rendeletben foglalt kémiai és mikrobiológiai határértékeknek;
 - ásványianyag- és nyomelem-tartalma, valamint egyéb összetevőinek következtében egészségügyi szempontból előnyös tulajdonságokkal rendelkezik, és egyértelműen megkülönböztethető az ivóvíztől.

Az egyszerű termális vizek automatikusan nem minősülnek ásványvíznek, ha csak a vízhőmérséklet (min. 25°C-nál magasabb) a kiemelkedő jellemző.

Belsőleg használt (palackozás, ivókúra, inhalálás) vízre az elismert ásványvíz elnevezés akkor használható, ha a biológiai vízigény teljes vagy részleges kielégítésére korlátozás nélkül vagy korlátozással (fogyasztási előírások betartása mellett), alkalmas.

- Korlátozás nélkül fogyasztható az az ásványvíz, amely az ásványi anyagokat emberi szervezet számára optimális vagy közel optimális koncentrációban tartalmazza, és így a biológiai vízigény teljes vagy részleges kielégítésére egyaránt alkalmas.
- Korlátozással fogyasztható az az ásványvíz, amely ásványi anyagokat és/vagy biológiai aktív természetes anyagokat olyan mennyiségben tartalmaz, hogy annak fogyasztása kisebb mennyiségben előnyös, de nagyobb mennyiségben nem kívánatos lehet és ezért fogyasztását korlátozni szükséges.

Belsőleg alkalmazásra szánt elismert ásványvízből a vas-, mangán-, arzén- és kénvegyületek eltávolíthatóak fizikai eljárásokkal és/vagy gáztalaníthatók, de más vízkezelés nem alkalmazható. Az oxidáció légoxidációval, valamint – az élelmiszerlánc-biztonsági hatóság engedélyével – ózonnal lehetséges. A palackozásra szánt ásványvizekhez szén-dioxidon kívül semmilyen más anyagot nem adhatnak hozzá.

Az ásványvíznek a víznyerőhelyről a palackozó üzembe zárt rendszerben (csővezetékben) kell érkeznie, úgy, hogy ezalatt nem veszít eredeti tulajdonságaiból, (az esetleges gáztalanítás hatását kivéve) összetétele nem változik, és mikrobiológiai szempontból nem szennyeződik. A természetes ásványvíz vagy gyógyvíz minősítés feltételeit a BFKH a palackozásra vagy ivókúrára szánt vizek esetében hatévente, ha csak fürdővízként hasznosítják, tízévente ellenőrzi egy felülvizsgálati eljárás keretében. A természetes ásványvizekről a BFKH a honlapján közhiteles nyilvántartást vezet.

Összetétel alapján az alábbi természetes ásványvíz csoportok előfordulása jellemző Magyarországon:

- Alkáli-hidrogénkarbonátos (alkalikus) vizek esetén a kationok között a nátrium, az anionok között a hidrogén-karbonát a vezető ion. Egyes vizek emellett 1 000 mg/l-nél több szénsavat, illetve a hidrogén-karbonátok mellett nagyobb koncentrációban kloridot, szulfátot is tartalmaznak, vagy a nátrium mellett nagyobb a kalcium tartalmuk is.
- Kalcium-magnézium-hidrogénkarbonátos (földes-meszes) vizek: a kationok között a kalcium, magnézium, az anionok között a hidrogén-karbonát a fő ion, illetve egyenérték százalék szerint túlsúlyban van a kalcium, magnézium, vas, mangán, stroncium, és háttérbe szorul a nátrium, kálium, lítium. Az anionok közül a kloridok, szulfátok kerülnek a háttérbe.
- Kloridos (konyhasós) vizek: a kationok között a nátrium, az anionok között a klorid van többségben. A vizek jellegzetesen sós ízűek. Egyes vizek 1 000 mg/l-nél több szénsavat is tartalmaznak (kloridos savanyú vizek). Az ilyen vizekben rendszerint a jodid-ion is kiemelkedő koncentrációban fordul elő.
- Szulfátos (keserűsós, glaubersós) vizek: az anionok között a szulfát van többségben. Ezek a vizek jellemzően keserű ízűek. A vezető kation legtöbbször magnézium és/vagy a nátrium. A vizek a felsoroltakon kívül kevés konyhasót és nátrium-hidrogén karbonátot is tartalmaznak.
- Vasas vizek: a kationok között a vas eléri a 10-20 mg/l-t és a szénsav tartalom is gyakran több mint 1 000 mg/l. A vasas vizek keletkezésekor kísérő jelenség az alumínium, kálium (timsós vasas vizek), illetve réz, mangán beoldódás.
- Kénés vizek: kémiai jellegük alapján más csoportba tartozó vizeket ebbe a csoportba is lehet sorolni, ha hidrogén-szulfid iont, esetleg tioszulfát iont, gyakrabban szabad kénhidrogént, szulfid iont tartalmaznak 1 mg/l-nél nagyobb mennyiségben. Ismert olyan ásványvíz is, mely a szabad kénhidrogén mellett jelentős szabad szénsavat tartalmaz.
- Jódos, brómos vizek kémiaiilag a kloridos vizek közé tartoznak, gyógyászati szempontból azonban mégis külön csoportosíthatók, ha a jodid mennyisége literenként legalább 1 mg/l, a bromidé pedig 5 mg/l. A vízben lévő jód tengeri szervesanyag (planktonikus) eredetű, ezért olaj-előfordulási helyeken a természetes vizek nagyobb mennyiségben szoktak jódot tartalmazni.

A gyógyvíz olyan természetes ásványvíz lehet, ami megfelel az adott felhasználási mód előírásainak, tehát fürdővízként a külsőleg használható, fogyasztásra vagy inhalálásra szánt víz esetén a belsőleg használható ásványvízre vonatkozó követelményeknek, és amelynek az adott módon használva bizonyított gyógyhatása van. Palackozott gyógyvizek címkéjén fel kell tüntetni a javallatokat, ellenjavallatokat és a fogyasztási előírásokat.

A gyógyvíz megnevezés engedélyezési eljárásában az értékeléshez szükség van az NNGYK közegészségügyi szempontú értékelésére (szakvéleményére) is a víz felhasználhatóságának formájára (külsőleg, belsőleg), feltételeire, a korlátozással fogyasztható vizek fogyasztási előírásaira, valamint az esetleges víz- és iszapkezelési technológiai eljárásokra vonatkozóan.

A gyógyvizek gyógyhatása akkor tekinthető bizonyítottnak, ha feltételezett hatását tudományosan elismert módszerek szerint lefolytatott orvosi megfigyelések megfelelően dokumentált és kiértékelt eredményei igazolják. A gyakorlatban nincs egységes vizsgálati protokoll a gyógyhatás vizsgálatok lefolytatásához. Bár egyre több a tudományos igényű vizsgálat, amely kimutat különbséget a gyógyvíz és a melegített csapvíz hatása között, egyértelmű dózis-hatás összefüggést ezek sem tudtak megállapítani, és ritka kivételektől eltekintve biológiai hatásmechanizmust sem azonosítottak a gyógyhatásának vélelmezett komponensekre.

Számos gyógyvíz engedélyezése úgynevezett azonosság igazoláson alapul, vagyis azon, hogy a kút vagy forrás egy már korábban gyógyvíz minősítést kapott kút vagy forrás védőterületén, védőidomán belül van, azonos vízáadó rétegből kapja a vizet, és a két víz kémiai összetétele a természetes ingadozás határain belül megegyezik. Ilyen esetben a gyógyhatást nem kell külön igazolni.

A gyógyvizet fürdővízként használásánál a fürdési hőmérséklet beállítására és vízkezelésre olyan eljárást kell alkalmazni, amely a víz biológiailag aktív alkotórészeit a legkevésbé károsítja. Jelenleg már rendelkezésre állnak olyan fertőtlenítési és vízkezelő eljárások, melyek használatával még a speciális összetételű gyógyvizek kezelése is lehetséges.

(lásd „Medencés fürdők” c. fejezet)

Legfontosabb tudnivalók!

- Természetes ásványvizek olyan eredetüknél fogva tiszta, védett, felszín alatti vizek, melyek adott felhasználásban kedvező tulajdonságokkal rendelkeznek, minőségük kielégíti a vonatkozó rendeletek követelményeit (összes ásványianyagtartalom minimum 1 000 mg/l, vagy speciális összetevő jelenléte mellett legalább 500 mg/l).
- A palackozott ásványvíz engedélyezett kezelési eljárásai: vas-, mangán-, arzén- és kénvegyületek eltávolítása fizikai eljárásokkal, gáztalanítás, szén-dioxiddal dúsítás.
- A bizonyítottan gyógyhatású természetes ásványvizeket gyógyvíznek nevezzük.
- A természetes ásványvizeket és gyógyvizeket (megnevezés használatát) Budapest Főváros Kormányhivatala engedélyezi.

Ellenőrző kérdések

1. Mit nevezünk természetes ásványvíznek?
2. Palackozási célú természetes ásványvizek milyen vízkezelési lépéseknek vethetők alá?
3. Mit nevezünk gyógyvíznek?

A TERMÉSZETES FÜRDŐVIZEK MINŐSÉGE

Dr. Khayer Bernadett, Dr. Vargha Márta

A természetes fürdők szabályozása

A természetes fürdővizek – beleértve a sós, az édes és a brakk vizeket is – minőségi követelményeire vonatkozó közös európai szintű szabályozás a 2006/7/EK irányelv. Ezt az irányelvet a *természetes fürdővizek minőségi követelményeiről, valamint a természetes fürdőhelyek kijelöléséről és üzemeltetéséről* szóló 78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet ültette át a magyar jogrendbe.

Az irányelv értelmében azok a felszíni vizek minősülnek természetes fürdővíznek, amelyeket a fürdési idényben nagyobb számú fürdőző látogat. A 78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet által megjelölt kritikus szám 100 fő a fürdőzők számának a teljes fürdési szezon napi átlagában. Ezt azonban a gyakorlatban ennél árnyaltabban kell kezelni: a létszámot a fürdésre alkalmas napok alapján kell becsülni, és fürdővíznek minősíthető olyan helyszín is, ahol hagyományosan sokan fürdenek, vagy a fürdőzést támogató infrastruktúra van, akkor is, ha a létszám nem éri el a százat.

A fürdővizeket a területileg illetékes vármegyei népegészségügyi főosztály azonosítja, megfelelő számú fürdőző esetén hivatalból engedélyezi a fürdővíz használatát, valamint az üzemeltető kérelmére fürdőhelyeket jelöl ki. Az engedélyezési és kijelölési eljáráshoz a szakhatóságokat (környezetvédelemért és vízügyért felelős, valamint rendvédelmi szerveket) is be kell vonni az esetleges kockázati tényezők (pl. balesetveszély vagy ismert szennyező forrás) azonosítása céljából.

Nem azonosítható fürdővízként az a hely, ahol a fürdés tiltó rendelkezés hatálya alá esik (pl. balesetveszély, hajóforgalom, vízi műtárgyak közelsége, vagy nem megfelelő vízminőség miatt). A fürdési tilalom eseteit a szabad vízen tartózkodás alapvető szabályairól szóló 46/2001. (XII. 27.) BM rendelet tartalmazza.

A fürdési idény hosszát a népegészségügyi főosztály határozza meg. Célszerű azt az időszakot megjelölni, amikor ténylegesen sokan fürdenek (pl. június 15. - augusztus 31.). A fürdési idénynek és a strand nyitvatartási időszakának jogszabály szerint nem kell egybeesnie (pl. szezon alatt is lehet zárva a strand), de adminisztrációs és fürdőzésbiztonsági okokból a két időszak általában azonos.

A fürdővíz minőségének rendszeres ellenőrzésére minden fürdőzési idényt megelőzően (három, de optimálisan két héten belül) egy, majd az idény alatt havonta legalább egy mintát kell venni, úgy, hogy két minta között (a szezon előtti mintát is beleértve), valamint az utolsó minta és a szezon vége között soha ne teljen el több mint egy hónap. Nyolc hétnél rövidebb szezon esetén összesen három, hosszabb szezon esetén legalább 4 (vagy a szezon hosszától függően több) mintát kell venni. A mintavételek dátumát előre meg kell határozni (mintavételi ütemterv), és a megadott napnál maximum négy nappal később lehet mintát venni, ha az előre meghatározott időpontban a mintavétel akadályba ütközik (pl. időjárási okból).

A mintavételi ütemterv csak rendkívüli helyzet (pl. árvíz) esetén függeszthető fel. A kieső mintákat ilyen esetben pótolni kell. Emellett figyelmen kívül hagyhatók minták, ha a mikrobiológiai szennyezést jól meghatározható ok (pl. jelentős mennyiségű csapadék) miatt kialakult ún. rövidtávú szennyezés okozta. Ilyenkor a szennyezés levonulását 72 órán belül vízvizsgálattal igazolni kell (ún. feloldó minta), majd a figyelmen kívül hagyott minta helyett pótmintát kell venni. A szennyezéssel összefüggő, ütemterven felüli mintákkal járó költségek a hatóságot terhelik.

A minták laboratóriumi vizsgálatának költségeit a fürdőhely üzemeltetője (ha nincs üzemeltető, az illetékes hatóság) viseli. A strandok monitoringja a vizsgáló laboratórium szempontjából 3 részből áll: helyszíni szemle, vízmintavétel és a vízminták laboratóriumi bevizsgálása. A helyszíni szemle során érzékszervi vizsgálattal kerül sor a szín, az ásványi olaj, az anionaktív detergens, a fenol, az átlátszóság és a darabos szennyeződés paraméterre vonatkozó követelmények teljesülésének elbírálására. A szemle lényeges eleme a cianobaktérium burjánzással összefüggő paraméterek ellenőrzése is. (lásd „*A természetes fürdővizek kockázati tényezői*” c. alfejezet) A vízmintavétel a hatóság által megjelölt ponton történik. Ezt a pontot a fürdővíz legforgalmasabb területén, vagy azon a területen jelölik ki, ahol a legnagyobb szennyezésveszély várható. A mintavétel és a laboratóriumi vizsgálat egyéb paramétereit a jogszabály és nemzetközi szabványok határozzák meg. Normál esetben a laboratórium feladata a vízmintában levő *E. coli* és fekális *Enterococcus* számának meghatározása. Ezek a baktériumok az ember és az állatok bélcsatornájában általánosan előforduló szervezetek, elsődlegesen fekális indikátor tulajdonságuk miatt lényeges a vizsgálatuk. Az *E. coli* és fekális *Enterococcus* baktériumok a természetes fürdővizekben eredendően is megtalálhatók, azonban csíraszámuk tendenciaszerű, de különösen nagyarányú megemelkedése szennyvíz eredetű szennyezésre utal.

A minták egyedileg csak olyan szempontból minősíthetők, hogy az azonnali fürdőzési tilalom elrendelésére vonatkozó határértéket meghaladja-e a fekális indikátorok mennyisége (több mint 500 *Enterococcus* vagy 1 500 *E. coli* 100 ml-ben). Ha mindkét paraméter számossága a határérték alatt van az adott mintában, akkor a víz fürdőzésre alkalmas.

Minőségi osztályozás alá nem az egyes minták, hanem a fürdővizek esnek. A fürdővizek minősítése négy fürdési idény eredményei (vagyis általában 16 minta) alapján, statisztikai alapon történik. A minősítés alapelve, hogy természetes fürdővizek minősége néhány óra alatt is jelentősen megváltozhat, így nincs olyan gyakori mintavétel, amivel meg tudnánk mondani, hogy egy adott időpillanatban jó minőségű a víz. Sok minta alapján viszont becsülni tudjuk, hogy általában milyen a víz minősége. Szennyezés természetes vizekben bárhol előfordulhat, de nem azonos valószínűséggel. A valószínűséget az eredmények eloszlásfüggvényének 95, illetve 90%-os percentilise alapján becslik, és ezt hasonlítják össze a határértékekkel.

A fentiek alapján a fürdővizeket kiváló, jó, tűrhető vagy kifogásolt kategóriába sorolják. A minősítés évente történik, az adott évi szezon és azt megelőző három év eredményeinek figyelembevételével. Kiváló vagy jó minőségű fürdővizek azok, ahol nagyon kicsi a szennyezés gyakorisága, a kifogásolt, ahol több mint, ami közegészségügyi szempontból biztonságosnak tekinthető a fürdőzés szempontjából. A viszonylag kisszámú minta alapján történő értékelés azt

hozza magával, hogy már egy-egy rossz eredmény is jelentősen leronthatja a fürdővíz minősítését. A módszer nagyobb (>60) mintaszám esetén sokkal megbízhatóbban működik, ezért az ingadozó vízminőségű (pl. folyóvízi) fürdőhelyeken célszerű lehet a gyakoribb mintavétel.

A természetes fürdővizekre vonatkozó vizsgálati eredményeket országos szinten az NNGYK kezeli, a fürdővizek éves minősítését³⁶ és a legfrissebb minták megfelelőségét térképesen³⁷ kereshető formában közzéteszi a honlapján, valamint a kijelölt fürdővizekről és a minősítésről évente jelentést tesz az Európai Bizottság felé.

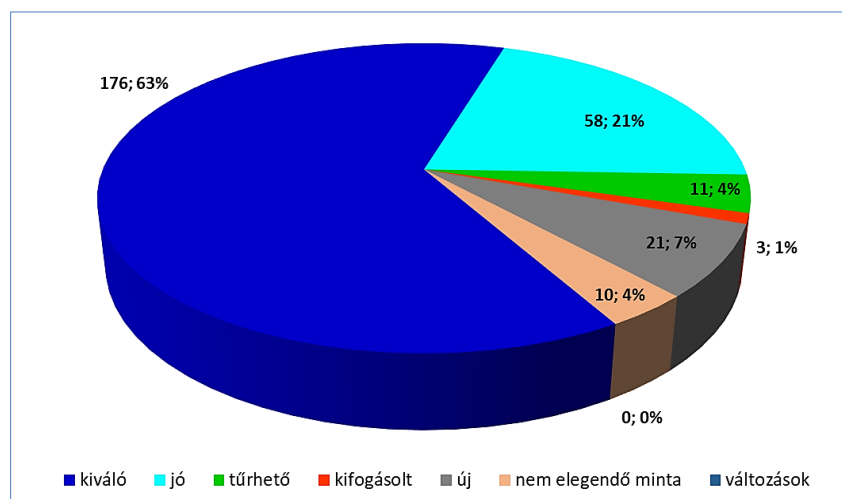
A hazai természetes fürdővizek vízminősége

A fürdési idény kezdetekor általában 270-280 természetes fürdővizet azonosítanak, amelyek közül több mint 140 a Balatonon található. A másik két nagy fürdőzésre alkalmas tó, a Velencei-tó és a Tisza-tó mellett számos kisebb tavon van kijelölt fürdőhely.

A nagy folyók közül a Duna felső folyásán Győrnél, és a Dunakanyarban egyre több ponton vannak kijelölt fürdőhelyek. Ezzel régi közegészségügyi elmaradás pótlódik, hiszen a Dunakanyarban hagyományosan sokan fürdenek, de ez évtizedeken át illegális volt. Budapesten két strandon, a Római-parton és a Kopaszi-gátnál engedélyezett a Dunában a fürdőzés.

Budapest alatt a főágon nincs kijelölt fürdőhely, csak a Ráckevei Duna-ágon, a Fadd-Dombori holtágnál és a Kamarás-Dunán. A Tisza valamennyi szakaszán vannak kijelölt fürdőhelyek, a kisebb folyókon azonban jellemzően nincsenek.

A strandok kétharmadán kiváló, és további 20%-án jó (54. ábra) a vízminőség. Évente mindössze 2-4 strand esik a kifogásolt kategóriába, jellemzően a folyóvizeken.



54. ábra A természetes fürdővizek minőségi besorolása, 2022.

(forrás: NNGYK)

³⁶ <https://www.nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/kornyezetegeszsegugyi-laboratoriumi-osztaly/vizhigienes-laboratorium/furdoviz/termeszetes-furdoviz.html>

³⁷ <https://www.nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/terkep-es-informaciok/furdoviz-minosegi-terkep.html>

Nem sorolhatóak minőségi kategóriába az újonnan kijelölt fürdőhelyek, ahonnan még nincs kellő számú vizsgálati eredmény, illetve azok, ahol jelentős, vízminőséget érintő változás történt (pl. mederkotrás, új szennyezőforrás megjelenése), mivel ezekben az esetekben az adatgyűjtés újraindul. Szintén nem minősíthető a fürdővíz, ha hosszabb (1 vagy több szezon) üzemszünet alatt a monitoring nem teljesül.

Az új szabályozás megjelenését követően évekig nagyon magas volt a nem megfelelően monitorozott fürdővizek aránya, de ez az arány 2022-re 1% alá csökkent a partnerek (üzemeltető, laboratórium, hatóság és NNGYK) odafigyelésének és kommunikációjuknak köszönhetően.

A természetes fürdővizek kockázati tényezői

A természetes fürdővizek rekreációs célból történő használata jelentős előnyökkel jár az egészség és a jólét szempontjából, beleértve többek között a pihenést, a testmozgást, a kulturális lehetőségeket, valamint az esztétikai élvezetet is. Az erre alapuló idegenforgalmi ágazat jelentős gazdasági előnyöket generál az adott térségnek. A rekreációs vízi környezet azonban potenciális veszélyeket rejt magában, amelyeket az előnyök mellett szintén mérlegelni kell.

A fürdővizek élő rendszerek, olyan ökoszisztémák, amelyek számos vízi szervezetet (növényeket, állatokat és mikroorganizmusokat) foglalnak magukba. A fürdőzők szempontjából ezen élőlények némelyike zavaró, sérülést okozó, vagy egyéb módon károsan befolyásolhatja az ember egészségét. Az emberi egészség védelmét azonban egyensúlyba kell tenni a környezetvédelmi célokkal.

A kockázatalapú szemlélet a fürdővizek esetén is előtérbe került, a fürdőzés biztonságossá tételének alapja az adott rendszer megismerése, értékelése. Így a természetes fürdővizek felügyeletének központi eleme a lehetséges kockázati tényezők azonosítása az ún. fürdővízprofilban. A profilnak tartalmaznia kell a fürdővízre vonatkozó földrajzi és mederadatokat (pl. vízgyűjtőterület leírása, meder és mederanyag jellemzői), a lehetséges természetes és mesterséges szennyező forrásokat (pl. kikötő, vízbevezetés, vízi madarak), valamint azokat a körülményeket (pl. vízszint, csapadékmennyiség, víz hőmérséklet, horgászat), melyek a kockázatok kialakulásához vezetnek. A fürdővízprofilt az adatokban bekövetkezett változás (pl. új kikötő létesítése) esetén, valamint a vízminőségtől függő gyakoriság mellett rendszeresen felül kell vizsgálni.

A természetes fürdővizek minőségét elsődlegesen külső tényezők befolyásolják. A tisztított vagy tisztítatlan szennyvíz bevezetések, partmenti nyaralók, vízimadarak, partközeli mezőgazdasági vagy ipari tevékenység, és folyóknál a folyásirányból érkező szennyezések egyaránt hozzájárulhat a víz szennyeződéséhez. Esetenként a fürdőzők is jelenthetnek egymásra nézve fertőzőforrást.

Legnagyobb kockázatot fertőzésveszély szempontjából a kommunális szennyvíz jelenti, mivel ez tartalmaz nagyszámban emberi kórokozókat. Az enterális vírusok és az egysejtűek eltávolítási hatásfoka szennyvíztisztítás során sokkal alacsonyabb, mint baktériumokra: mindössze 50-90%, szemben a közel 5 nagyságrendnyi csökkenéssel, amely a fekális indikátorok esetén tapasztalható.

A szennyvizek közvetítésével különböző antimikrobiális szerek (pl. antibiotikumok, gyógyszermaradványok, tisztító- és fertőtlenítőszer), valamint az ezekre rezisztens mikroorganizmusok is bekerülhetnek a felszíni vizekbe, ezáltal ellenállóbb szervezetek jöhetnek létre. Az antimikrobiális rezisztencia pedig már egyre nagyobb veszélyt jelent a globális közegészségügyre.

A természetes fürdővizekkel összefüggő fertőzések többsége az enterális kórokozók okozta gyomor-bél tünetes megbetegedés, ritkábban légúti, szem- vagy fülfertőzés jöhet létre.

Ma már rendelkezésre állnak megfelelő módszerek az egysejtűek és a vírusok közvetlen kimutatására, bár ehhez nagyon nagy mennyiségű (10-100 liter) víz feldolgozása szükséges, így a rutinvizsgálatok sorába várhatóan a közeljövőben nem kerülnek be. Ugyanakkor ez elősegítette azokat a (többek között Magyarországon) folyó epidemiológiai vizsgálatokat, amelyek igazolták, hogy bár enterális vírusok széles körben kimutathatóak a fürdővizekben, a hatályos jogszabály szerint a legalább tűrhetőnek minősített strandokon a fürdőzésnek nincs jelentős egészségkockázata.

A fertőző kockázat mellett a cianobaktériumok okozta vízvirágzás jelent veszélyt a fürdőzőkre. A cianobaktériumok (kékbaktériumok) édesvizekben (természetes és mesterséges tározókban, csatornáknak, holtágakban, lassú folyású folyókban), felsős vizekben és a tengerekben egyaránt előfordulnak. Lebegő, aljzathoz kötött és bevonatképző fajaik is vannak. Amikor a lebegő életmódot folytató kékbaktériumok nagy koncentrációban vannak jelen a vízben, gyakran szabad szemmel is láthatók apró, zöld kötegek, illetve gombostűfejnyi gömbök vagy pelyhek formájában. Az algák tömeges elszaporodását **vízvirágzásnak** vagy vízszíneződésnek nevezzük. A vízvirágzás a víz felszínén összegyűlt algaömeget jelenti, míg a vízszíneződés a vízben egyenletes eloszlásban levő algaömeg elnevezése.

A kékbaktériumok tömeges elszaporodását a vízben levő növényi tápanyagok feldúsulása és az időjárás együttesen okozza. A növényi tápanyagok vízben való feldúsulása alapvetően egy lassú, természetes folyamat, amelyet azonban az emberi tevékenység jelentősen felgyorsított (talajerózió, műtrágya bemosódása a vízbe, szennyvíz kibocsátás). Vízirágásra, vízszíneződésre ott kell elsősorban számítani, ahol már korábban is előfordult (Magyarországon: Velencei-tó, Balaton, egyéb tavak, a Tisza holtágai) és ott is általában akkor, amikor hosszabb ideig (több hétig, akár hónapig) napsütéses, nyugodt, meleg idő van.

A vízvirágzások zömében a júniustól szeptember végéig terjedő időszakban (vagyis a fürdési időnnel átfedésben) fordulnak elő.

A vízvirágzás okozta elszíneződés, habosodás esztétikai szempontból is kedvezőtlen, de emellett a cianobaktériumok okozta toxinok egészségkockázatot is jelentenek: irritációt (bőr, szem) válthatnak ki, lenyelve vagy belélegezve akár mérgezést is okozhatnak (enterális vagy idegrendszeri tünetek, inhaláció után a tüdő szövetének károsodása).

Bár a cianobaktériumok a világ számos országában komoly problémát jelentenek (halálesetek, állatpusztulások is voltak), Magyarországon – noha előfordulnak kisebb-nagyobb vízvirágzások – cianobaktériumok által okozott tömeges megbetegedésről még nem számoltak be, csak irritációs esetekről van tudomás. Amennyiben az ivóvíz bázisa valamilyen felszíni víz, a cianobaktériumok jelenléte az ivóvízben is gondot jelenthet (zavarosság, szín, íz- és

szagproblémák, pH változás miatt a fertőtlenítési hatások csökkenése, melléktermékek keletkezése, toxintermelés).

A világ különböző részein készített felmérések alapján a cianobaktériumok okozta vízvirágzások 45-90%-ánál toxintermelés igazolható. A toxinok a kékalga-populáció növekedési fázisában a sejtek belsejében találhatók, és a sejtek pusztulásakor kerülnek a vztérbe (algairtószerek alkalmazásakor ezzel is számolni kell). Perzisztenciájuk (fennmaradásuk) a vízben változó.

A cianobaktériumok által termelt mérgeanyagokat öt csoportba soroljuk:

- májkárosító gyűrűs peptidek (microcystinek, nodularinok),
- idegrendszer károsító toxinok (anatoxin, saxitoxin),
- sejtkárosító alkaloidok (cylindrospermopsin),
- bőrkárosító toxinok (lyngbyatoxin),
- egyéb bioaktív anyagok (pl. lipopoliszacharidok).

A toxintermelés képessége genetikailag meghatározott, de a konkrét kiváltó tényezők nem ismeretesek, egy vízvirágzáson belül is lehetnek toxintermelő és nem toxikus foltok. A toxintermelést befolyásolják a környezeti tényezők (főleg a hőmérséklet és a fényviszonyok), emiatt térben és időben is változik.

Vízvirágzásnak kitett helyeken értékelni kell a kockázatokat, és meghatározni a teendőket előfordulás esetére. A felszíni vizek ellenőrzése (helyszíni szemle) során kiemelt figyelmet kell fordítani a vízvirágzás jeleire, például a víz színének, átlátszóságának csökkenésére vagy szagának szokatlan változására, és a felületén történő habzásra. Általában szabad szemmel is jól látható a zöldes, kékes elszíneződés, de ez még önmagában nem igazolja a cianobaktérium burjánzást, mert az egészségre kockázatot nem jelentő mikroszkopikus zöldalgák tömeges elszaporodása ugyanilyen színváltozással jár. Vízvirágzás vagy annak gyanúja esetén, ha a vizet ivóvízkészítésre vagy természetes fürdővízként használják, további vizsgálatokat kell végezni. Klorofill- méréssel és mikroszkópos vizsgálattal megállapítható, hogy cianobaktériumok okozzák-e az észlelt elváltozást, és hogy olyan számban vannak-e jelen, hogy az már kockázatot jelent. Ha igen, meg kell határozni a toxin koncentrációt (jelenleg csak a mikrocisztin-LR vizsgálatára van kötelezettség).

Ha a vizsgálatok eredménye alátámasztja a cianobaktériumok burjánzását, a fürdőhelyen a fürdözést a vízvirágzás végéig fel kell függeszteni. A gyerekeknek már gyanú esetén (pl. a víz zöldes elszíneződése, átlátszóság csökkenése) is meg kell tiltani a fürdést a negatív eredményig.

A klímaváltozás várhatóan a természetes fürdővizek minőségét is befolyásolhatja, bár ennek iránya nem egyértelmű. Az extrém időjárási körülmények mindkét végpontja kedvezőtlen a fürdőhelyek szempontjából, a nagyon alacsony vízjárásnál a kisebb hígulás miatt megnő a szennyezés kockázata, az árvizek a strandok jelentős részét fizikailag is megközelíthetlenné teszik, és a vízminőségre is kedvezőtlen hatással vannak különböző partmenti szennyezőforrások (emésztők, hulladéklerakók stb.) bemosása révén. A váratlan felhőszakadások a parti szennyezés bemosódását is növelik, valamint a jellemzően nem elválasztott szennyvíz- és csapadékvíz-elvezetés miatt a szennyvíztisztító telepek ilyen időjárási körülmények között túlterhelődnek, és tisztítatlanul engedik a szennyvizet a befogadóba.

A kórokozók túlélése függ a vízhőmérséklettől, a vírusok inkább alacsony hőmérsékleten stabilak, a baktériumok, az egysejtűek és a paraziták szaporodásának jellemzően a melegebb hőmérséklet kedvez. A (víz)hőmérséklet növekedésével új kockázati tényezők megjelenésével is számolni kell. A vízben és a vízparton is megtelepedhetnek olyan egzotikus fajok (kórokozók és köztes gazdák is), melyek eddig ismeretlenek voltak hazánkban (pl. malária, vízi rühesség kórokozója). A vizek felmelegedésével azonban a meglévő vízi közösségek összetétele is átalakul, az egyes szereplők számosságának vagy funkciójának változása is kockázatot jelent. A már ismert és vizsgált mikrobák (cianobaktérium, enterális kórokozók) feldúsulásával gyakoribbá válnak az emberek és kórokozók közötti interakciók, a nagyobb dózis miatt a megbetegedések valószínűsége is növekedhet. A vizes környezetben megtalálható szaprofita vagy halpatogén fajok (pl. nem-toxikus *Vibrio cholerae*, *Pseudomonas* és *Aeromonas* fajok) esetenként eddig is okoztak humán megbetegedéseket, a vizek felmelegedésével nagy valószínűséggel az ilyen fertőzések száma is emelkedni fog.

Természetes fürdővizek esetén közegészségügyi szempontból is nagyon fontos a megfelelő fürdőzői magatartás, a személyi higiénia betartása. Lényeges, hogy fertőző beteg (különösen gasztrointesztinális tünetekkel) ne látogassa a természetes vízi strandokat, de az illemhelyek használatával minden más esetben is nagymértékben csökkenthető a fürdővíz minőségi romlása. Fürdözést követően minden esetben javasolt a szappanos zuhanyzás.

Legfontosabb tudnivalók!

- A hazai jogrendben a természetes fürdővizek minőségével a 78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet foglalkozik. A jogszabály leírja a biztonságos fürdőzés hatósági, üzemeltetési és vízminőségre vonatkozó feltételeit.
- A vízminőség ellenőrzésére a fürdőzési idény előtt és a fürdőzési idényben is legalább havonta sor kerül. A vízvizsgálatok során fekális indikátor baktériumok számosságának meghatározása a laboratórium feladata. A vízminta nem megfelelősége esetén a hatóság ideiglenes fürdőzési tilalmat rendel el a fürdőzők egészségének megóvása érdekében. A fürdési tilalom feloldására a fürdővíz újbóli megfelelőségének igazolása után van lehetőség.
- A fürdővizek minősítése négyéves mintaadatsor alapján, statisztikai módszerrel történik, kiváló, jó, tűrhető és kifogásolt osztályokba sorolhatók. Azon fürdővizek, amelyek nem rendelkeznek megfelelő mintaszámmal (új strandok), vagy vízminőségre ható változás miatt a régi és új adatok egymással nem összevethetők, az ún. nem minősíthető kategóriába kerülnek.
- A fürdővizek vízminőségével kapcsolatos adatok nyilvánosak, az üzemeltetők, a kormányhivatalok, az NNGYK és az Európai Unió is folyamatosan tájékoztatja a lakosságot.
- A hazai fürdővizek többsége a nagy tavainkhoz (pl. Balaton, Velencei-tó, Tisza-tó) és folyóinkhoz (Duna, Tisza), de kisebb felszíni vizekhez kötötten is vannak kijelölt fürdőhelyek, és folyamatosan létesülnek új strandok is. Fürdővizeink többsége a kiváló és a jó vízminőségi kategóriába tartozik.
- Természetes fürdővizek esetén is előtérbe került a kockázatalapú megközelítés, egy adott fürdővízre vonatkozóan a különböző szennyezéssel összefüggő kockázatokat a fürdővízprofil tartalmazza.
- A fürdővizek legjelentősebb szennyező forrása a kommunális szennyvizek bevezetése, amely rövid és hosszú távon is károsan befolyásolja a vízminőséget.
- Mintavételt megelőzően a helyszíni szemle keretein belül fel kell mérni a víz és a part fizikai állapotát, amennyiben szennyezés vagy szokatlan változás tapasztalható, azt jelezni kell a hatóság felé. Különös figyelmet kell fordítani a cianobaktériumok burjánzására utaló változások felmérésére. Vízvírágzás gyanúja esetén meg kell kezdeni az ilyen irányú vizsgálatokat, kedvezőtlen eredmény esetén a fürdés tilalmát kell elrendelni.
- A globális klímaváltozás a fürdővizekre is hatással van. A viharok és heves esőzések áradásokat generálnak, míg az extrém meleg időjárás a vízszint csökkenését, a víz töményedését idézi elő. Valószínűsíthető, hogy a változó klimatikus viszonyok miatt a potenciális kórokozó szervezetekkel való érintkezés gyakorisága megnő, több humán megbetegedésre lehet számítani.

Ellenőrző kérdések

1. Mely hazai jogszabály foglalkozik a természetes fürdővizek minőségével?
2. Milyen vízminőségi kategóriák vannak? Mi alapján történik a besorolás?
3. Milyen gyakran kell mintát venni természetes fürdővizekből?
4. Mik a legfontosabb vizsgálati paraméterek?
5. Mi az, és miért veszélyes a vízvirágzás?
6. Miért káros a szennyvizek természetes fürdővizekbe való beocsátása?
7. Milyen kockázata lehet a klímaváltozásnak a természetes fürdőkre nézve?

MEDENCÉS FÜRDŐK

Dr. Gere Dóra, Bufa-Dórr Zsuzsanna, Dr. Khayer Bernadett, Dr. Róka Eszter, Dr. Vargha Márta

A medencés fürdők higiéniája

Magyarországon jelentős gazdasági és turisztikai tényezőt jelent a fürdőágazat: a KSH 2019 évre vonatkozó adatai alapján több mint 1200 egység megközelítőleg 4200 medencéje kínalta szolgáltatásait, 42 millió főt meghaladó vendégforgalom jellemezte, és a területen folyamatos a fejlődés.

Az ágazat színes palettáján igen sokféle szolgáltatástípus, és hozzá kapcsolódó vendégkör szerepel – az országos jelentőségű fürdőtől a konditermek, vagy akár falusi szálláshelyek egy-egy medencéjéig, a termál- és gyógymedencéktől az élményelemeket tartalmazó kis vízmélységű gyermekmedencékig – közös pont azonban, hogy mindegyikben biztosítani kell a **higiénés szempontú biztonságot**.

Közegészségügyi szempontból a fürdővizekben a legjelentősebb **kockázatot** a patogén mikroorganizmusok, elsősorban enterális kórokozók jelentik (lásd „*Vízzel terjedő kórokozók*” c. alfejezet). Kisebb mértékben, de számolnunk kell a természetes (mélységi vizek szerves komponenseiből adódó) vagy mesterséges eredetű (elsősorban fertőtlenítési melléktermékek jelentette) kémiai kockázatokkal is. (lásd „*A kémiai vízszennyezők*” c. alfejezet)

A mesterséges fürdővizek **vízminőségét** alapvetően három tényező határozza meg: a szabályozási háttér, az üzemeltetési gyakorlat, valamint a fürdőzők higiéniás kultúrája. A vízminőségi problémák megelőzéséhez és kezeléséhez mindhárom terület ismerete és fejlesztése szükséges.

Közegészségügyi szempontból közhasználatú fürdőnek minősül bármely olyan szolgáltató egység, mely nem kizárólag magánhasználatú, (nem csak a tulajdonos -bérlő, üzemeltető, családtagjaik, alkalmi vendégeik-, hanem bárki vagy egy meghatározott csoport által vehető igénybe) függetlenül attól, hogy az igénybe vevők fizetnek-e a belépésért vagy nem. A népegészségügyi hatóság tájékoztató, tanácsadó, felügyelő és ellenőrző szerepének minden ide tartozó létesítményre ki kell terjednie. A közhasználatú fürdőket szabályzó 510/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet a fürdőket a kockázat alapján több csoportba osztja, melyekre csoportonként arányos követelményeket ír elő.

Az **1-es típusú közhasználatú fürdők** azok, amelyek elsődlegesen fürdési célúak, vagy önálló szolgáltatásként is igénybe vehető a fürdőzés. Ide tartoznak például a települések fürdői, uszodák, babaúszást biztosító helyszínek, (a teljes listák a rendeletben találhatóak). A **2-es típusú közhasználatú fürdőben** a fürdőzés csak többlétszolgáltatás a fő tevékenység mellett. Ezen belül a **2/a típusú közhasználatú fürdőben** ugyanakkor még mindig nagy hangsúllyal van jelen, és sok embert érinthet, ide tartoznak például a szállodák, valamint az edzőtermek medencéi, szaunái, gőzkamrái, míg a **2/b típusú közhasználatú fürdő** kisebb populációra jelenthet kockázatot, ezek az egyéb típusú, kisebb, az előző csoportba be nem sorolható szálláshelyek és egyéb, nem kereskedelmi célú helyszínek, például a 6 lakásosnál nagyobb társasházak. Megalkotásra került egy **3-as típus** is, ide az 1-es és 2-es típusba nem

sorolható, közvetlenül a felhasználók vízzel való érintkezésére szánt fürdési célú létesítményeket, így például az interaktív szökőkutakat és a vizes játszótereket soroljuk.

Fontos, hogy a rendelet külön részletszabályokat tartalmaz a **babaúszás** megvalósítására és a **vizes játszóterek** üzemeltetési körülményeire vonatkozóan.

A jelen fejezetben a medencés fürdők higiéniájéhez kapcsolódó kérdések és szabályozások vázlatos bemutatására törekedtünk, a téma mélyebb megértéséhez javasoljuk a hivatkozott szakirodalmak, útmutatók tanulmányozását.

A medencés fürdők szabályozása

A közfürdők létesítéséről és üzemeltetéséről hazánkban a közhasználatú fürdők létesítéséről és üzemeltetéséről szóló 510/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet, és (egyes gyógyvizeket érintő kérdésekben) a természetes gyógytényezőkről szóló 509/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet tartalmaz előírásokat. Az európai országokat összevetve a szabályozások módja és mélysége igen változatos, emiatt **egységes európai uniós irányelv nincs** a medencés fürdőkre. Nemzetközi szinten irányadók lehetnek a WHO, a CDC és a nagy-britanniai székhelyű Pool Water Treatment Advisory Guide (PWTAG) útmutatói.

Kialakulása és az első szabályozások megjelenése óta a medencés fürdő ágazat mind technológiai, mind használati szempontból jelentősen megváltozott. **Számos új** medencetípus, vagy akár nem medencés jellegű **fürdési célú létesítmény** jelent meg, például élménymedencék, lebegőkabinok, sófürdők, taposó medencék, vizes játszóterek, amelyeknek az **egészségkockázata, terhelhetősége, üzemeltetése jelentősen eltér** a hagyományos úszómedencéktől. Az üzemeltetők újabb és újabb kiegészítőkel (csúszdákkal, különleges hidraulikai elemekkel, medence kialakítással) igyekeznek vonzóbbá tenni a létesítményeket, amelyek szintén **speciális kockázatok**at hordoznak magukban. Megváltoztak a **medence használati szokások** is, sokkal elterjedtebbek a magánhasználatú vagy közösségi, de elsődlegesen nem fürdési célú létesítményben (pl. szállodák, fitnesztermek, lakóparkok) elhelyezett medencék – ezen típusokra is szükséges egy arányos mértékű szakmai iránymutatás és felügyelet az egészségkockázatok minimalizálása céljából. Ugyancsak újszerű használati mód a babaúszás, illetve az a gyakorlat, hogy nem szobatiszta csecsemőket, kisgyermeket az egyéb medencékbe is korlátozás nélkül bevisznek. Felhasználói oldalról egyre nagyobb az igény a klórmentes (vagy legalább klórszag mentes, alacsony klórszintű) medencékre, erre reagálva **alternatív vízkezelő szerek és új technológiák** jelentek meg a piacon. Az elmúlt két évtized tudományos evidenciái alapján folyamatosan szükséges felülvizsgálni a **vizsgálendő paramétereket és határértékeket** is – így például a 2023. novemberét megelőző, 90-es évekből származó megengedő mikrobiológiai határértékek mai tudásunk alapján bizonyos esetekben már elfogadhatatlan mértékű egészségkockázatot jelentenek.

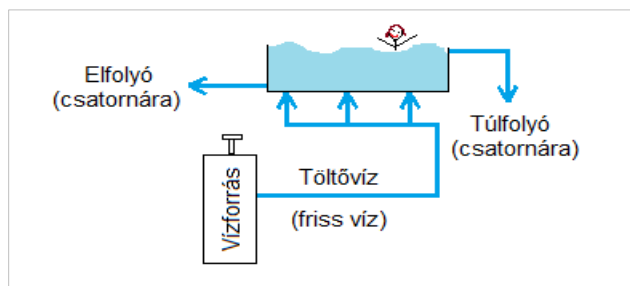
A jogszabályi háttér 2023-ban megújult, korszerű, szakmailag megalapozott előírásokat tartalmaz. A fejlődés, változások folyamatos nyomon követése, valamint a szakmai részletszabályok megismerése érdekében fontos azonban **a jó gyakorlatot rögzítő szabványokat és útmutatókat is szükséges támpontként használni az eljárások során**. Ezek a dokumentumok többnyire a legfrissebb elérhető információkat tartalmazzák, részletesebb, közérthetőbb formában. Az NNGYK által a témában kiadott jó gyakorlatok és útmutatók online elérhetőek

az NNGYK honlapján³⁸. (Az általános üzemeltetési jó gyakorlatok mellett az itt fellelhető dokumentumok részletes iránymutatást adnak egyedi problémákra, mint például a babaúszás vagy a dézsa üzemeltetés közegészségügyi feltételei, illetve elérhetőek a fürdőzők higiéniájának fejlesztését célzó anyagok is.) Műszaki kérdésekben a hatályos műszaki szabványok iránymutatásai tekinthetők mérvadónak.

A fürdési célú létesítmények típusai

A fürdőmedencékben a víz – a fürdőzőkről lemosódó, vagy a környezetből bejutó kémiai szennyezőkkel és mikroorganizmusokkal – fokozatosan elszennyeződik. A szennyeződés mértékének folyamatos növekedését alapvetően két módon akadályozzák meg az üzemeltetők, vízcserével, illetve a fürdővízszűrővel, vízkezeléssel és fertőtlenítéssel kombinált visszaforgatásával. A medencéket, illetve a nem medencés jellegű fürdési célú létesítményeket az alkalmazott technológiai megoldás szerint két csoportba oszthatjuk, töltő-ürítő és szűrt-forgatott üzemmódban működtetett létesítményekre. Az üzemeltetési mód alapvetően befolyásolja a jellemző vízminőséget és kapcsolódó problémákat, valamint az általánosan alkalmazott vízkezelési lépések és a két típusra vonatkozó jogszabályi követelmények is eltérőek.

A **töltő-ürítő üzemmódban működtetett medencékben** (55. ábra) a megfelelő vízminőséget **folyamatos és nagymértékű vízcserével** kívánják biztosítani – a medencét gyakran, a medence méretétől függő időközönként teljesen leürítik és friss vízzel feltöltik, az üzemeltetés során pedig óránként fürdőzőnként 1 m³ friss vizet juttatnak be. A teljes vízcsera a legkisebb (<50 m³) medencéknél, ha a terhelés a névleges terhelés 75%-ánál nagyobb, naponta kétszer, egyéb esetben naponta, az 50 és 300 m³ közti térfogatú medencéknél naponta, a 300 m³-t meghaladó méretűeknél kétnaponta szükséges.



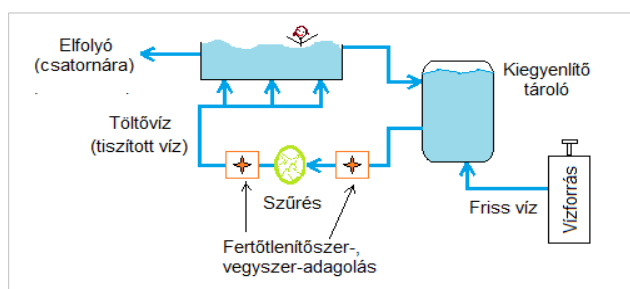
55. ábra Töltő-ürítő technológiával üzemelő medence vázlata

A tapasztalatok alapján a vízcsera a legtöbb esetben önmagában nem nyújt elegendő védelmet, a csak ezt alkalmazó töltő-ürítő típusú medencék a jelenlegi szabályozás szerint már csak a területileg illetékes népegészségügyi hatóság által kiadott, adott időre (általában 5 évre) szóló **felmentés birtokában, meghatározott esetekben, szigorú feltételek mellett** üzemeltethetők.

³⁸ <https://nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/kornyezetegeszsegugyi-laboratoriumi-osztaly/vizhigienes-laboratorium/furdoviz/furdokultura-fejlesztese.html>

A vízforgatási kötelezettség alóli **felmentés feltételeit** a 510/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet rögzíti. A felmentésre az Országos Vízügyi Főigazgatóság szakvéleményének figyelembevételével a népegészségügyi feladatkörében eljáró fővárosi és vármegyei kormányhivatal jogosult. Töltő-ürítő medence csak **gyógyászati céllal** és olyan esetekben üzemeltethető, ha rendelkezésre áll a megfelelő vízmennyiség, a medence hidraulikai kialakítása megfelelő, és a gyógyvíz olyan biológiailag aktív összetevő(ke)t tartalmaz, amelye(ke)t a vízforgatási technológia károsít. (lásd „Gyógyvizes medencék üzemeltetése” c. alfejezet). Lehetséges egy másik esetben (nem gyógyvizes medencéknél) is a vízforgatás alóli felmentés – ezek a **hideg vízű, kis térfogatú medencék**, például szauna merülő medencéje, hidegvizes Kneipp-medence. Ezeknél a medencetípusoknál azonban minden esetben szükség van fertőtlenítőszer adagolásra. Alapszabályként **minden** újonnan létesülő **medencét szűrő-forgató üzemmódban kell létesíteni, a forgatás alól felmentett medencéknél is szükséges biztosítani a forgatás lehetőségét** a tervezés, illetve a kiépítés során, hiszen az új technológiák, megváltozó töltővíz, vagy használati mód bármikor szükségessé tehetik ennek használatát.

A **szűrt-forgatott rendszerű medencék** (56. ábra) esetében a medence vizét **folyamatosan elvezetik és tisztítják** (jellemzően derítik és szűrik), majd fertőtlenítést követően juttatják vissza a medencébe. Ez nemcsak a fürdőzők egészségének a védelme, hanem a **vízkészlet megőrzése** szempontjából is hasznos eljárás, hiszen az üzemeltetés vízigénye a töltő-ürítő rendszerének töredéke. Kisebb mennyiségű, a vonatkozó műszaki szabványok alapján számított pótvíz itt is alkalmaznak, a párolgás és fröcskölődés hatását ellensúlyozandó, teljes vízcserére azonban csak ritkábban (évente kétszer, 50 m³-nél kisebb és 30°C-nál melegebb pezsgő és gyermekmedencéket havonta, 2 m³-nél kisebb medencéket naponta) vagy rendkívüli helyzet esetén kerül sor. Megfelelően megtervezett és üzemeltetett vízkezelő technológia, és folyamatos monitorozás esetén a megfelelő vízminőség hosszú ideig stabilan fenntartható.



56. ábra Szűrő-forgató technológiával üzemelő medence vázlata

Az MSZ 15234 (Fürdőmedencék vízkezelése vízforgatással) szabvány tartalmazza a szűrt-forgatott medencék vízkezelésének alapvető szabályait. Ez az előírás ugyan nem jogszabály, azonban technikai részletek tekintetében célszerű vezérfonalként figyelembe venni. Számos példa igazolja, hogy a szabványnak megfelelő vízkezelési technológia kivitelezése bár magasabb beruházási költséget eredményezhet, de a stabilabb üzemeltetés miatt jellemzően alacsonyabb üzemeltetési költségekkel jár (pl. kevesebb vegyszer és energia fogyasztás), így a közegészségügyi előnyök mellett pénzügyi szempontból is megtérül.

A közegészségügyi szempontból megfelelő üzemeltetés követelményei

A 510/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet előírja az üzemeltetés szakmai követelményeit: a létesítésre, fenntartásra, üzemeltetésre és a víz minőségére vonatkozó szakmai szabályokat, ideértve a higiénés és biztonsági, illetve közegészségügyi előírásokat, és az üzemeltetéshez szükséges szakképesítési követelményeket.

Az üzemeltetési előírásokat részletes üzemviteli szabályzatban az ún. **közegészségügyi-technológiai szabályzatban** kell rögzíteni, amelyet a területileg illetékes népegészségügyi szerv határozatilag hagy jóvá. Építés, bővítés, átalakítás és felújítás esetén az új vagy megváltozó **szabályzat jóváhagyási folyamatának két lépcsőben kell zajlania** – a tervezési fázisban, a **megvalósítás előtt** a hatóság igazolja a tervek megfelelőségét, míg a **kivitelezést követően** jóváhagyja a szabályzatot. A higiénés szempontból fontos műszaki és ellenőrzési feladatokon kívül figyelmet kell fordítani a biztonságtechnikai és balesetvédelmi rendszabályok megfelelő kialakítására és betartatására is.

A fürdőüzemeltetők körében széles körben még nem elterjedt, de az ivóvíz-ellátáshoz hasonlóan hasznos eszköz a kockázatalapú megközelítés (**ivóvízbiztonsági** tervekhez hasonló) alkalmazása (lásd „*Ivóvízbiztonsági tervrendszer (VBT)*” c. alfejezet). A veszélyelemzésen és a kockázatértékelésen alapuló tervezési folyamat végig vitele által az üzemeltető megismeri és átlátja saját rendszerét, felméri és azonosítja a vízforrástól a medencéig tartó láncban azokat a pontokat és hozzá kapcsolódó eseményeket, ahol egészségkockázattal járó események történhetnek, és képessé válik a kockázatok monitorozására és a veszélyek megelőzésére.

*Így például a szűrt-forgatott medencék szűrőberendezése nem megfelelő üzemeltetés esetén jelentős mikrobiológiai (*Pseudomonas* és *Legionella*) veszélyt jelenthet. Megelőző tevékenységként a szűrőt megfelelően kell üzemeltetni, karbantartani – többek közt például a homokszűrők-nél szükséges a rendszeres visszamosatás és a szűrő sokkolásos fertőtlenítése. A kockázat szintjének monitorozására pedig rendszeres ellenőrző méréseket kell végezni a szűrőt elhagyó vízből. A vízbiztonsági tervezés 2023-ban került be a jogszabályi követelmények közé, az üzemeltetőknek a rendelet hatályba lépését követően egy éven belül kell eleget tenniük először ennek a követelménynek. A szemléletmód mesterséges fürdővizekre való adaptációjához az NNGYK honlapján található útmutató fog adni további segítséget³⁹.*

A vízminőséget alapvetően meghatározza a **megfelelő üzemeltetés**, melynek **legfontosabb tényezői a medencék terhelhetőségének betartása, a megfelelő mértékű vízcseré biztosítása, és a szakszerű takarítás és karbantartás**. A vonatkozó rendeletben részletes előírás szabályozza a közfürdők megengedhető **egyidejű és napi terhelését**. A számítás alapja a medence műszaki szabványokban meghatározott, rendeltetéstől és vízfelülettől függő terhelhetősége, több medencével üzemelő fürdők esetén ezek terhelhetősége összegezzhető.

³⁹ <https://www.nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/kornyezetegeszsegugyi-laboratoriumi-osztaly/vizhigienes-laboratorium/furdoviz.html>

A terhelhetőség értéke növelhető bizonyos esetekben (pl. pihenésre alkalmas helyek, fizioterápiás kezelők, vendéglátóhelyek, játszóterek kapacitásával), a teljes terhelhetőség maximumértéke azonban nem haladhatja meg a fürdési célú létesítmények egyidejű összes terhelhetőségének háromszorosát. **Az üzemeltető köteles rögzíteni a fürdő megengedett egyidejű legnagyobb terhelés értékét, gondoskodni arról, hogy a fürdő területén egyidejűleg tartózkodó személyek száma mindenkor megállapítható legyen és a megengedett értéket ne lépje túl.** Ennek ellenőrzése kivitelezhető a már egyre több helyen működő beléptetőkapukkal. Csökkenteni kell a közhasználatú fürdő megengedhető terhelését minden - ideiglenesen vagy véglegesen - üzemén kívül lévő fürdési célú létesítmény vízfelületéből számított létszámmal. A *rendelet* a fürdő napi megengedhető terhelésének meghatározását és maximum értékét is tartalmazza.

A **vízcsere**re vonatkozó előírásokat „*A fürdési célú létesítmények típusai*” c. fejezetben ismertettük.

A *rendelet*ben említésre kerülnek a takarítás és karbantartás követelményei is. Az egyik legjelentősebb mikrobiológiai kockázat a biofilmek kialakulásához köthető. Ennek megelőzésére, közegészségügyi szempontból kiemelten fontos a **fertőtlenítés** mellett, azt megelőzően a **medence** (de akár a berendezési tárgyak, padló, illetve kisebb gyakorisággal, de a **vízvezetékek, tartályok**) **felületének mechanikus, súrolással történő tisztítása**.

A *rendelet* kitér további közegészségügyi feltételekre, részletszabályokra is, így például (a teljesség igénye nélkül) fontos, hogy megfelelő számú, karbantartott illemhely és melegvizes, szappanos tisztálkodásra alkalmas zuhanyzó és WC álljon a vendégek rendelkezésére, biztosított legyen a nem kikerülhető és megfelelően üzemeltetett lábmosó, vagy éppen az elsősegélynyújtás feltételei. Rögzítettek a fürdőüzemeltetéshez szükséges szakképesítések is. A vízminőség karbantartása vegyszerek és fertőtlenítőszeres adagolásával történik. Az adagolást mennyiségáramos, illetve vezérelhető automatikus adagolószivattyúkkal kell megvalósítani. (Kivételt csak meghibásodások, illetve a kisebb terhelésű medencéknél időszakosan adagolt derítőszeres esetében lehet tenni.)

A mesterséges fürdővíz fertőtlenítése

A medencés fürdők megfelelő mikrobiológiai minőségét folyamatos fertőtlenítőszer adagolással lehet biztosítani. A fertőtlenítéshez csak a fürdővízkezelés területén (PT 2. termékcsoport) **engedélyezett**, az engedélyben meghatározott módon adagolandó vízkezelő- és **fertőtlenítőszer** használható. Ezeknek és az egyéb vízkezelő szerek engedélyezése és szakvéleményezése az NNGYK-ban történik. A szakvélemény kialakításakor figyelembe veszik az anyag hatékonyságát, humán- és ökotoxikológiai tulajdonságait és a fogyasztók megfelelő tájékoztatását (az alkalmazási utasítás megfelelőségét). A legelterjedtebb a **klór alapú fertőtlenítőszer** használata. Ehhez **legalább 0,5 mg/l szabad aktív klór** jelenléte szükséges a medence minden pontján. **Pezsgőmedencéknél, és más nagy fajlagos terhelésű, aeroszol képző medencéknél** ennél magasabb, **legalább 1,0 mg/l és legfeljebb 2,0 mg/l szabad aktív klór** koncentráció szükséges.

A nemzetközi gyakorlatban az ajánlás több esetben ennél is megengedőbb a felső határérték tekintetében (pezsgőmedencékre vagy magánmedencékre akár 3-5 mg/l), a WHO által ivóvízre javasolt határérték 5 mg/l. Sokk-kezelés esetében lehet alkalmazni magasabb klór koncentrációt is, de addig nem tartózkodhat fürdőző a medencében, amíg a vonatkozó határérték alá nem csökken a klórszint. A szabad aktív klór nagyjából **8-10 mg/l** koncentrációszt **felett** fejt ki **irritáló** hatást. A megfelelő klórdózis beállításakor figyelembe kell venni, hogy a mikrobiológiai minőséget folyamatosan, stabilan biztosítani kell – a **túl alacsony értékek stabil fenntartása kérdéses**, nehezen követi le a medence terhelésének változását.

Ugyanakkor a klór a medencevízben különböző szervetlen és szerves szennyeződésekkel (pl. ammónium, karbamid, kozmetikumok) reakcióba lépve **melléktermékeket képez**. Ammónium ionnal **csökkent fertőtlenítőképességű** kötött klórrá alakul át, ami esztétikai szempontból is kedvezőtlen (a kötött klór vegyületek felelősek az „**uszodaszagért**”). Egyes fertőtlenítési melléktermékek súlyosan egészségkárosító (irritáló vagy akár rákkeltő) hatásúak lehetnek. A jó gyakorlat elsősorban nem a szabad klór koncentráció korlátozására, hanem a kötött klórvegyületek és melléktermékek **kiinduló anyagainak megfelelő hatékonyságú eltávolítására** koncentrál. Fontos e célból a visszaforgatott medencevíz **megfelelő hatékonyságú szűrése**, a fürdőzők **edukációja** és szükség esetén a **töltővíz előkezelése**, de többek közt ezek hígítását szolgálja a terheléssel arányos mértékű **rendszeres részleges vízcseré is**. A melléktermékek jelentős része illékony, így a **beltéri levegőminőség** révén is kockázatot jelenthet. A vegyületek keletkezésének visszaszorítása mellett a megfelelő **légcseré** segítségével minimalizálható a kockázat.

A fürdőmedencék vizének fertőtlenítésére rendelkezésre állnak **alternatív (nem klór alapú) szerek** is, melyeket elsősorban a **családi és gyermekmedencékben**, illetve a **gyógyvízkezelésben** alkalmaznak. Az alternatív fertőtlenítési módok alkalmazását befolyásolja, hogy a behatás után van-e **maradékhatás**. Az olyan fizikai vízkezelések, mint az UV besugárzás, ultraszűrés, ózonkezelés hatékony eljárások, de csak az alkalmazás helyén hatnak, a medencében már nem fejtenek ki fertőtlenítő hatást, ezért kizárólagos vízkezelésként nem, csak kiegészítő eljárásként alkalmazhatóak. A **hidrogén-peroxid** esetén fontos, hogy a komponens önmagában bomlásra hajlamos és nem elég hatékony fertőtlenítőszer, csak **stabilizált, kombinált** (egyéb hatóanyagot is tartalmazó) készítményként (pl. kvaterner ammóniumsókkal, biguaniddal, illetve ezüstionnal kombinálva) alkalmazható. A fürdővízkezelés területén engedélyezett szerek ennek megfelelnek.

A fürdőzőhigiéné jelentősége

A természetes fürdővizekkel ellentétben a medencékben a **szennyezés elsődleges forrását a fürdőzők jelentik** (néhány kivétellel, például *Pseudomonas*, *Legionella*, amelyek jellemzően töltővíz eredetűek, és a medence vízrendszerében megtelepedve szaporodnak el). Fokozza a kockázatot, hogy a „fertőző forrás” és az exponált egyéb fürdőzők között minimális a távolság, így a kórokozók inaktiválásával (nem megfelelően hatékony fertőtlenítés esetén) nem lehet számolni. A medence megfelelő vízminőségéhez ezért a megfelelő üzemeltetés mellett az is elengedhetetlen, hogy a fürdőzők is betartsák a **higiéniai követelményeket**.

Fertőző betegnek tilos közfürdőt látogatnia. Nem csak a megbetegedés ideje alatt, hanem néhány napig a tünetek megszűnése után is célszerű lenne kerülni a fürdözést, mivel a kórokozók még ebben az időszakban is ürülhetnek. A medencehasználat előtt minden esetben fontos a teljes testre kiterjedő, meleg vizes, szappanos zuhanyzás. A mellékhelyiségek használata és azt követő ismételt tisztálkodás szintén kötelező. A fürdőzők által bevitt szennyezőanyagok (így például az izzadtság és vizeletmaradvány eredetű szervesanyag és nitrogén vegyületek, kozmetikumok, napvédő krémek) jelentős mértékben hozzájárulnak a fertőtlenítési melléktermékek keletkezéséhez, ezért is nagyon fontos a megfelelő higiénés magatartás. Az NNGYK honlapján elérhetőek a témában az üzemeltetőknek, illetve a fürdőzőknek szóló infokommunikációs anyagok⁴⁰.

Vízminőségi követelmények

A 510/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet kötelezi az üzemeltetőt a vízminőség rendszeres ellenőrzésére vagy ellenőriztetésére. Egyes üzemeltetéssel összefüggő paraméterek (pl. pH, maradék fertőtlenítőszer, átlátszóság) vizsgálata az üzemeltető által, **helyben** történik, napi több alkalommal. **Laboratóriumi vizsgálatra** általában havonta, néhány speciális komponens esetén negyedévente kerül sor. A területileg illetékes népegészségügyi **hatóság** fél-évente egyszer ellenőrzi a helyszínen a fürdőket (beleértve az üzemeltetés és a vízvizsgálati eredmények ellenőrzését), valamint a tápvíz és a medencevíz minőségét. A mintavételi gyakoriság kapcsán is fennáll, hogy a kisebb létesítményekre arányosan csökkentett követelmények vonatkoznak. A **mintavételek megfelelése**, melyről a későbbiekben írunk bővebben, az egyéb vizsgálatokhoz hasonlóan ez esetben is **kulcsfontosságú**.

A 2023-ban bevezetett új szabályozásban a korábbiakhoz képest jelentősen változtak a medencevíz **mikrobiológiai minőségére** vonatkozó előírások, mind a vizsgálandó paraméterek, mind gyakoriságuk és az előírt határértékek vonatkozásában is (VII. táblázat). **Megfelelő** a vízminőség, ha egyetlen jellemző értéke sem haladja meg a meghatározott határértéket, míg e felett **nem megfelelőnek** tekintendő.

VII. táblázat A medencevíz mikrobiológiai minőségére vonatkozó előírások

Medence, szűrő-forgató berendezés esetén nem fürdési célú létesítmény			
Bakteriológiai jellemzők	Mértékegység	Szűrt víz határérték	Medencevíz határérték
<i>E. coli</i>	TKE/100 ml	0	0
<i>Enterococcus</i>	TKE/100 ml	0	0
<i>P. aeruginosa</i>	TKE/100 ml	0	0
Telepszám 37°C	TKE/ml	500	100 300 (szabadtéren)
<i>Legionella spp</i>	TKE/100 ml	10	10

⁴⁰ <https://nnk.gov.hu/index.php/kozegeszsegugyi-laboratoriumi-foosztaly/kornyezetegeszsegugyi-laboratoriumi-osztaly/vizhigienes-laboratorium/furdoviz/furdokultura-fejlesztese.html>

A szabályozott komponensek többnyire higiénés indikátor szerepét töltik be, jelenlétükkel különféle üzemeltetési problémákat jelezhetnek.

Így a bőr eredetű *Staphylococcus aureus* és a coccusszám a medence túlterheltségére utalhat, az *E. coli* fekális eredetű, így a terhelés mellett a vendégek fürdőhigiénés tudatosságát jellemezheti, a *Pseudomonas aeruginosa* és a *Legionella* pedig a technológia állapotát, az esetleges biofilm-képződést jelezheti.

A mikrobiológiai jellemzők meghatározását havonta (idényjellegű fürdők esetén legalább háromszor) kell elvégeztetnie az üzemeltetőnek. A mintavétel során (fertőtlenített medencéknél) minden esetben szükséges a víz maradék fertőtlenítőszer-tartalmának meghatározása is. Amennyiben a maradék fertőtlenítőszer meghaladja a határérték kétszeresét, úgy a minta bakteriológiai vizsgálatra alkalmatlan, és egy későbbi időpontban, a helyzet rendezése után, pótminta levétele kötelező. A jó gyakorlat szerint továbbá nem csak a medencevizet, hanem (kisebb, negyedéves gyakorisággal) a **szűrt, utófertőtlenítés előtti** vizet is vizsgálni kell. Ez a vízkezelés hatékonyságának, és a homokszűrő esetleges kolonizációjának ellenőrzésére szolgál. Tapasztalatok szerint mind a *Pseudomonas*, mind a *Legionella* jellemzően – a víz és levegő befűvásra használt vezetékek mellett – a homokszűrőben telepszik meg, és így a szűrő a szennyezés rezervoárjává válik. Bár a szűrt vizet még jellemzően fertőtlenítik a medencébe juttatás előtt, a folyamatos kórokozó „utánpótlás” miatt a fertőtlenítés átmeneti elégtelensége (pl. az adagolás hibája, vagy váratlanul nagy terhelés) esetén fertőzés kockázata áll fenn. Probléma esetén hasznos lehet a tisztított vízből (a visszaforgatott, szűrt, kezelt vízből, a medencébe való bevezetés előtt) történő mintavétel is.

A 510/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet tartalmaz a töltő- és a medencevizek **kémiai minőségére** vonatkozó előírásokat is. A medencék töltővizének kémiai anyagok szempontjából alapvetően **ivóvíz-minőségűnek** kell lennie, vagy rendelkeznie kell külsőleges (fürdési célra szolgáló) ásvány- vagy gyógyvíz minősítéssel. Minden, mindezen előírásoknak nem megfelelő víz esetén a fürdési célra való megfelelést az NNGYK értékeli.

A rendeletben szabályozott kémiai anyagok több csoportba oszthatók. A **pH** és a **keménység** a víz alapvető tulajdonságai, azonosító kémiai paraméterei, emellett a vízkezelés, üzemeltetés szempontjából is jelentősek: a pH befolyásolhatja a fertőtlenítés hatékonyságát, a mész-szénsav egyensúly felborulása esetén pedig kiválások fordulhatnak elő. (A klór-alapú fertőtlenítőszer adagolása növeli a pH értéket, de a fertőtlenítési hatékonyság a pH növekedésével meredeken csökken, ezért szükséges a pH folyamatos szabályozása savadagolással) Az **alumínium** a vízkezelési lépésként alkalmazott flokkulálás (pelyhesítés) során adagolt vegyszerekből juthat a fürdővízbe, a technológiai lépés megfelelését jellemzi. Szintén a vízkezeléssel, fertőtlenítéssel összefüggő paraméter a klóralapú fertőtlenítés hatóanyaga, a **szabad klór** (vagy az egyéb, alkalmazott fertőtlenítési eljárás hatóanyaga, például hidrogén-peroxid, aktív oxigén), valamint a szennyezőként jelenlevő, vagy melléktermékként képződő **kötött klór, klorit** és **THM** (trihalogén-metán) vegyületek. A medencevíz „elhasználódását”, túlterheltségét jelezheti a **klorid, ammónium és nitrit** és a **szerves anyagok** (KOIps, TOC) feldúsulása.

A **zavarosság** növekedése a tisztítási hatásfok csökkenésének, és az ebből adódó mikrobiológiai problémáknak az indikátora lehet. Szükséges ezeken túl klóralapú fertőtlenítés esetén az egészségre káros **kötött klór** illetve a **klórát** meghatározása is.

A teljes paraméterlista további üzemeltetési szempontból fontos paramétereket is tartalmaz. A napi gyakorlatban a fertőtlenítéssel összefüggő kémiai kockázatokat rutinszerűen a szabad és kötött klór napi többszöri meghatározásán keresztül monitorozzák. A melléktermékek mennyiségét a negyedévente mérendő THM vegyületek jellemzik. A kémiai paraméterek önellenőrző vizsgálata havonta szükséges (a THM-vegyületek és a benzol esetén háromhavonta).

Beltéri fürdőkben fontos a megfelelő **levegőminőség** is, amelyet a szakszerű és megfelelő mértékű légcserével kell biztosítani. Jelentősége főleg a medencevízből kipárolgó benzolnak, klóraminoknak (kötött klór), illetve THM-vegyületeknek van. Rendszeres ellenőrzése nem szükséges, esetileg, a vendégek vagy dolgozók kifogásai, illetve a medencevíz folyamatos kifogásoltsága esetén javasolt a meghatározásuk. A közegészségügyi szempontból javasolt határértékek benzolra $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, míg a THM vegyületekre $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 1 órás átlagként kifejezve.

Gyógyvizes medencék üzemeltetése

A hazai gyógymedencéket jellemzően hagyományosan töltő-ürítő üzemmódban alakították ki, és vízfertőtlenítés nélkül üzemeltetik. A vízminőség ellenőrzési eredmények (lásd „*Hazai medencés fürdők vízminősége*” c. alfejezet) alapján azonban ezekben a medencékben az egyéb típusokhoz képest jóval nagyobb mértékben **kifogásolt a vízminőség**, és további probléma, hogy a töltő-ürítő rendszer **vízgazdálkodási szempontból pazarlónak** tekinthető, és hosszú távon a gyógyvízkészletek kimerüléséhez vezethet. Töltő-ürítő medencébe akkor adagolható fertőtlenítőszer, ha a medence hidraulikai kialakítása megfelelő, a fertőtlenítés nem károsítja a töltővíz gyógyhatásúnak tartott komponenseit, és a fertőtlenítéshez a járási (fővárosi kerületi) hivatal hozzájárul.

Az új kutatási eredmények és technológiák megjelenésével egyre többféle gyógyvíztípus válik fertőtleníthetővé és többnyire visszaforgathatóvá is, ezzel párhuzamosan pedig szerencsére egyre szélesebb körben terjed ennek megvalósítása is a fürdőkben. A gyógyvizek fertőtlenítése kapcsán a leggyakoribb ellenérv a gyógyhatás veszteségétől való félelem. A tudományos eredmények azonban azt mutatják, hogy **a fertőtlenítés többnyire nem jár az 509/2023. (XI. 20.) Korm. rendeletben gyógyhatásúként kijelölt komponensek veszteségével**. A két, jelenleg legelterjedtebb fertőtlenítőszer-típus, a nátrium-hipoklorit, illetve a hidrogén-peroxid alapú vegyszer közül előbbit alkalmazva összes ásványi anyag, a lítium ion és a metakovasav mennyisége változatlan marad, míg utóbbinál a bromid és jodid ion tartalom sem változik, csak a szulfid ion tartalmú vizeknél léphet fel kedvezőtlen hatás.

Fertőtlenített vizű töltő-ürítő medencét ma már több tucat hazai fürdőben találhatunk, de nem példa nélküli a szűrt-forgatott rendszerben üzemeltetett gyógymedence sem.

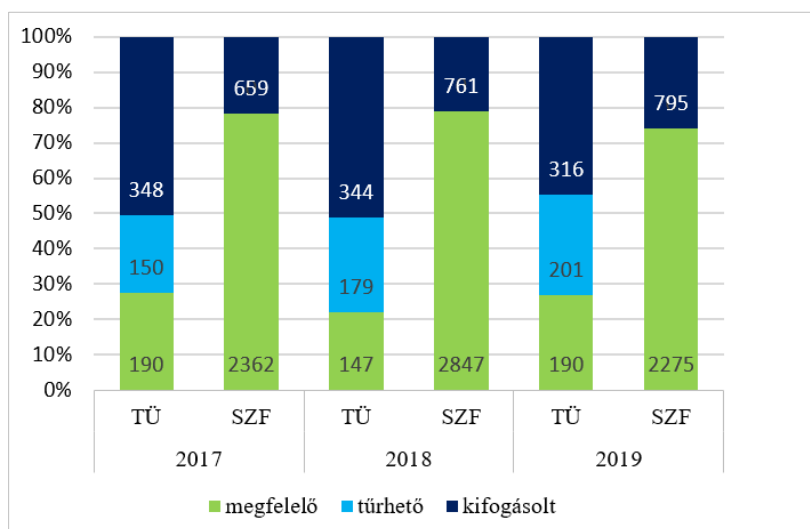
A már meglévő töltő-ürítő üzemmódú medencék sok esetben nem alakíthatók át egyszerűen szűrt-forgatott rendszerűvé – ilyenkor első lépésben a töltő-ürítő üzemmód megtartása mellett a vízfertőtlenítés bevezetésével tehető biztonságosabbá a fürdőzés.

Nagy volumenű felújítások, fejlesztések kapcsán azonban mindenképpen figyelembe kell venni, hogy alapszabályként minden újonnan létesülő medencét szűrő-forgató üzemmódban kell létesíteni, a forgatás alól felmentett medencéknél is szükséges biztosítani a forgatás lehetőségét a tervezés, illetve a kiépítés során. **Új gyógyvizes medencék létesítésénél csak a legritkább esetekben támogassuk a töltő-ürítő üzemmódú kialakítást.**

Hazai medencés fürdők vízminősége

A medencés fürdők önellenőrző és hatósági vizsgálatának eredményeit a fővárosi és vármegyei kormányhivatalok népegészségügyi főosztályai évente összesítik és jelentik a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ felé, ahol elkészül az országos jelentés. A töltő-ürítő medencék esetén jellemzően mikrobiológiai kifogások lépnek fel, míg a szűrő-forgatott létesítmények vizében gyakoribb a kémiai paraméterek nemmegfelelősége.

A 57. ábrán látható, 2017-2019 évekre vonatkozó hatósági vízminőség-ellenőrző vizsgálatok mikrobiológiai eredményei alapján szembetűnő, hogy medence üzemeltetési típusok közt jelentős különbség van: a töltő-ürítő rendszerben üzemelő medencékben a kifogásolt-ság mértéke számottevően nagyobb a szűrő-forgató rendszerűekhez képest (átlagosan 74% vs. 33%). Az arányok a 2019-2023 évek során sem változtak számottevően. Ezek az adatok is jelzik, hogy a töltő-ürítő medencék vízminőségét (különösen a gyógymedencék esetében) csak nagyon nehezen tudják biztosítani az üzemeltetők.



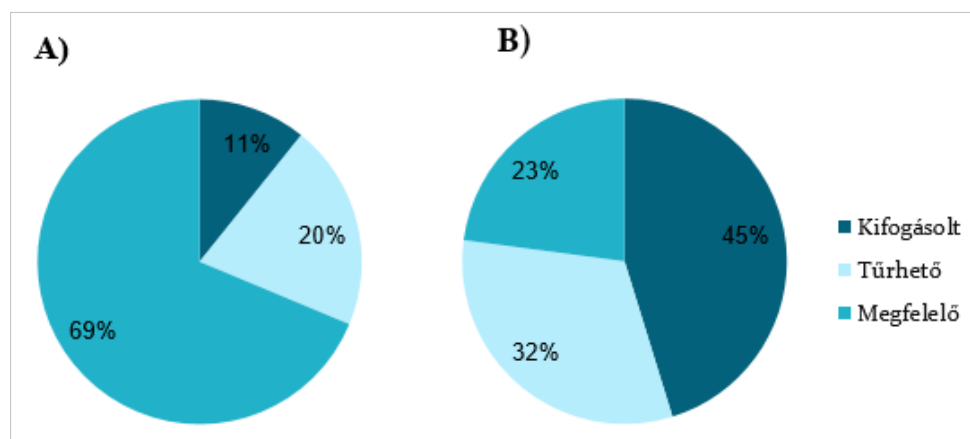
57. ábra **Hatósági vízminőség-ellenőrző mérések eredményei a kormányhivatalok éves jelentései alapján, 2017-2019.**

(Tű = töltő-ürítő, SZF = szűrő-forgatott rendszerben üzemelő medencék)

A vízforgatással üzemelő medencék esetén a kifogásolt-ság oka jellemzően kémiai eredetű (túlterheltségből, nem megfelelő mértékű vízcseréből adódó, vagy vízkezeléshez köthető kifogásolt-ságok: kötött klór, vezetőképesség, alumínium).

A hatósági ellenőrzések eredményeit az üzemeltetői mintákkal összevetve sokszor kedvezőbb képet láthatunk, melynek oka jellemzően az, hogy a hatósági mintákat előírás szerint, a jellemző legnagyobb terhelés mellett veszik, míg az önellenőrző vizsgálatokra

gyakran még nyitás előtt vagy közvetlen utána, esetleg sokk-fertőtlenítést követően kerül sor. Látható tehát, hogy a szakszerű, a fürdőnek előre nem bejelentett hatósági ellenőrzésre a reális képhez mindenképpen szükség van (58. ábra). A mikrobiológiai vizsgálatok során mindig szükséges a fertőtlenítőszer koncentrációjának meghatározása is, csak azzal együtt értelmezhetőek a kapott eredmények.



58. ábra **Vízminőség-ellenőrző mikrobiológiai mérések eredményei töltő-ürítő medencékre, országos összesítés, 2016.**

A) Üzemeltetői önkontroll minták (5 129 db), **B)** Hatósági minták (650 db)

Nemzetközi tapasztalatok szerint a medencevízzel összefüggő járványok a fejlett országokban sem ritkák, kórokozójuk leggyakrabban calicivírus vagy *Cryptosporidium*. Magyarországon végzett tudományos vizsgálatok igazolták medencevizekben enterális vírusok előfordulását. A vizsgált fürdőkben humán adenovírus és calicivírust mutattak ki, ami jellemzően nem mutatott összefüggést a higiénés paraméterek kifogásoltságával. A vírusgenom forgatott vízű medencékben is észlelhető volt, de kisebb arányban, mint töltő-ürítő medencék esetén. Kutatások szerint ugyancsak jelentős a medencék *Legionella* szennyezettsége (töltő-ürítő medencék 20%-ában, a szűrt-forgatott medencék 10%-ában volt kimutatható, pezsgőmedencékben magasabb arányban), és szabadon élő amőbák is nagy gyakorisággal fordulnak elő (elsődlegesen a felületeken kialakult biofilmben).

A közelmúltban jelentősebb hazai, igazoltan fürdővízzel összefüggő járvány utoljára 2015-ben egy 35 embert érintő *Cryptosporidium* fertőzés kapcsán fordult elő (egy kisebb szálláshelyen egy gyermek- és egy masszázsmedence volt az azonosított forrás), de több további esetben is felmerült fertőző forrásként például nyári táborokban kitört hasmenéses megbetegedések esetén. Pezsgőfürdő használatára visszavezethető *Legionella* járványra (és halál-esetre) azonban volt példa. Minden esetben igazolható volt a medence kolonizációja, és az azt okozó helytelen üzemeltetési gyakorlat.

Legfontosabb tudnivalók!

- A fürdővíz minőségét az **510/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet** szabályozza. A szabályozások mellett **a jó gyakorlatot rögzítő szabványokat** és az NNGYK **útmutatóit** is javasolt támpontként használni az eljárások során.
- **Közegészségügyi szempontból közhasználatú fürdőnek** minősül minden nyilvános fürdési lehetőség, mely nem kizárólag a tulajdonos (bérlő, üzemeltető, ezek családtagjai, nemfizető alkalmi vendégei) által vehető igénybe, függetlenül attól, hogy az igénybe vevők fizetnek-e a belépésért vagy nem. **Minden fürdőtípusra** meg kell követelni az **arányos és szakmailag indokolt higiénés feltételek** meglétét!
- Közegészségügyi szempontból a fürdővizekben a legjelentősebb **kockázatot a patogén mikroorganizmusok**, elsősorban enterális kórokozók jelentik. Kisebb mértékben számolni kell a töltővíz összetételéből adódó vagy a vízkezelési eljárások során keletkező **kémiai kockázatokkal** is.
- A vízminőséget alapvetően befolyásolja az **üzemeltetés** megfelelősége – a medencék **terhelhetőségének** betartása, a kellő mértékű vízcsere biztosítása és helyes **takarítási** gyakorlat mindkét típusú kockázatot hatékonyan csökkenti. A **vízfertőtlenítés** bevezetése az ivóvízhez hasonlóan a fürdővizek esetén is jelentősen javította a mikrobiológiai biztonság szintjét. A kémiai kockázatok minimalizálása érdekében a fertőtlenítőszer-adagolás során azt a legkisebb dózist kell beállítani, amely képes a mikrobiológiai megfelelőséget **stabilan biztosítani**. Az egészségre kockázatot jelentő és kellemetlen szagú klórozási melléktermékek keletkezése a szervesanyag- és nitrogénterhelés csökkentésével minimalizálható.
- A mesterséges fürdővizek szennyezőinek többsége a fürdőzőkről kerül a vízbe – a **fürdőzők higiénés kultúrájának** fejlesztése, edukációja ezért szintén nagy jelentőséggel bír.
- Sokszor újszerű fertőtlenítési és technológiai eljárásokat igényel, de egyre szélesebb körben terjed a **gyógyvizek fertőtlenítése** is.

Ellenőrző kérdések

1. Mi a különbség a töltő-ürítő és szűrt-forgatott üzemeltetésű medencék közt?
2. Milyen esetekben, és mennyi időre adható felmentés a szűrő-forgató rendszer üzemeltetése alól?
3. Milyen előnyei lehetnek a vízbiztonsági tervezés bevezetésének a fürdővizek területén?
4. Milyen kockázatokkal kell számolni medencés fürdővizekben?
5. Milyen módszerekkel csökkenthető a mikrobiológiai, illetve a kémiai kockázat?
6. Melyek a megfelelő fürdőüzemeltetés legfőbb tényezői?

Fürdőtavak

A mesterséges fürdőtavak Németországban és Svájcban elterjedtek, hazánkban egyelőre kis számban megjelenő fürdőtípusok. A változatos megnevezésű biotavak, biomedencék, fürdőtavak üzemeltetésére, közösségi használatára vonatkozó szabályozás még nincs Magyarországon. A kisszámú hazai példa miatt egyelőre csak korlátozott ismereteink vannak a mi éghajlatunkon jelentkező lehetséges problémákról és megoldásaikról.

A fürdőtavak a természetes és mesterséges fürdők ötvözetének tekinthetők: a talajvíztől és egyéb természetes vizektől elkülönített vízterek, amelyeket ivóvíz minőségű vízzel töltenek fel. Vegyszeres kezelés nincs, a víz tisztítását mechanikai szűrés, valamint az elkülönített zónába ültetett növényzet és a kavicsokon megtelepedett biofilm biztosítja. Esetenként kiegészítő UV fertőtlenítés is lehetséges. A vizet a fürdésre alkalmas és a tisztításra használt zóna között vízforgató berendezés áramoltatja, a tisztító zóna az egész felületnek legalább a harmadát teszi ki.

A fürdőtavakban a használók szájon át terjedő enterális fertőzésének kockázata az antropogén, szennyvíz- és egyéb környezeti eredetű szennyezések hiányában kisebb, mint a természetes víztestekben (bár az emberről-emberre történő átvitel lehetőségének megmaradásával nem kizárható), ugyanakkor egyéb környezeti eredetű fertőzések vagy ártalmak kockázata továbbra is megmarad.

Biztonságos üzemeltetés érdekében érdemes betartani a közfürdőkre vonatkozó biztonsági előírásokat, beleértve a fürdőzők számának maximalizálását is. Fürdőtavak fajlagos terhelésénél javasolt figyelembe venni a meleg vízű medencéknél előírtakat (a fürdőző zóna térfogata * 0,2). Gyermekek számára a fürdőtavakban való fürdőzés csak a fürdőtő megfelelő üzemeltetése esetén ajánlott.

A fürdőtavak jellemzően kis (néhány 10 m²) felületűek, a túlzott felmelegedés elkerülése érdekében legalább 150 cm vízmélység javasolt. A vegyszeres fertőtlenítés hiánya miatt a higiénés szabályok betartása fokozott fontosságú. Nagy kánikulában (25°C-os víz hőmérséklet

felett) nem javasolt a használata. Az állatok által okozott szennyezéseket a lehetőségekhez mérten meg kell akadályozni, halak vagy egyéb élőlények telepítése a tóba tilos.

A fürdőtavak vízminőségi követelményei a természetes fürdőkéhez állnak közelebb, de egyes kémiai paraméterek (pl. pH, hőmérséklet, oxigén telítettség, foszfor, ammónium) is jelzésértékűek a vízminőségre vonatkozóan.

Legfontosabb tudnivalók!

- Mesterséges fürdőtavakra vonatkozó szabályozás jelenleg nincs Magyarországon.
- A fürdőtavak fertőtlenítése vegyszermentesen, egy elkülönített ún. tisztító zónában fizikai és biológiai úton történik.
- Biztonságos használatához elengedhetetlen a megfelelő vízmélység, a kellően alacsony víz hőfok, az ivóvíz minőségű töltővíz, az állatok és egyéb lehetséges szennyezők kizárása.
- Fürdőtavakat csak olyan személy látogathatja, akinek nincs fertőző betegsége, és betartja a fürdözéssel kapcsolatos higiénés szabályokat.

Ellenőrző kérdések

1. Mik azok a mesterséges fürdőtavak?
2. Mik a fürdőtavak fő egészségügyi kockázatai?

A VÍZHIGIÉNE HATÓSÁGI FELADATAI

A közegészségügyi hatósági munka jogszabályi kereteit az egészségügyi hatósági és igazgatási tevékenységről szóló 1991. évi XI. törvény adja meg.

*„1. § (1) A közegészségügyi (különösen a **környezet- és település-, élelmezés- és táplálkozás-, gyermek- és ifjúság-, illetőleg sugár-egészségügyi, kémiai biztonsági**), a járványügyi, az egészségfejlesztési (egészségvédelmi, egészségnevelési és egészségmegőrzési), az egészségügyi igazgatási tevékenységek irányítása, koordinálása és felügyelete, valamint az egészségügyi ellátás felügyelete (a továbbiakban együtt: népegészségügy) **állami feladat, amelyet az egészségügyi államigazgatási szerv lát el.**”*

Ezek a feladatok részben tervezhetők és ütemezhetők, részben reaktívak és ad hoc jellegűek. Az egyik legfontosabb szempont a hatósági munka tárgyaira vonatkozó jogszabályok ismerete és pontos, de szakmai ismereteken alapuló ésszerű alkalmazása. A speciális tárgy- és feladatkörből eredően nemcsak a közegészségügyi vonatkozású jogszabályok, de az önkormányzatokra és a környezetvédelemre vonatkozók megfelelő ismerete is fontos. Ez alapfeltétele a különböző tematikájú megbeszélések, egyeztetések, szaktanácsadások, ellenőrzések során, a lakossági és egyéb panaszok intézésénél, a hatósági és szakhatósági állásfoglalások és határozatok kialakításánál, a környezetvédelmi és környezet-egészségügyi hatásvizsgálati dokumentációk elbírálásánál a jogilag érvényes intézkedéseknek és az adott szakterületen illetékes önkormányzati és társhatósági szakemberrel történő zavartalan kommunikációnak.

Környezet-egészségügyi szakemberek gyakran más tárcák, szakterületek hatósági illetékességi körébe tartozó területeken is látnak el szakhatósági feladatokat, például környezeti hatásvizsgálati vagy egységes környezethasználati engedélyezési eljárásokban, vagy az építésügyi és építésfelügyeleti hatósági eljárásokban.

Kiemelten fontos a közigazgatási szabályok, ezen belül az eljárásjog, az ügyiratkezelés stb. szabályainak ismerete és alkalmazása. Az Európai Unió szervezeteinek, működési alapelveinek és vonatkozó joganyagának megfelelő szintű ismerete is alapkövetelmény.

Nem elhanyagolható a környezet-egészségügyi szakemberek részvétele adatszolgáltatási és tájékoztatási tevékenységekben, az önkormányzatok támogatásában, kuratóriumok, bizottságok, társaságok tagságában, oktatásban, konferenciákon.

Tekintettel a – talán túlságosan is dinamikusan – változó jogi- és közigazgatási környezetre, alapvető követelmény a környezet-egészségügyi szakemberek folyamatos továbbképzése.

Kapcsolódó legfontosabb jogszabályok:

Általános jogszabályok

- 2016. évi CL. törvény az általános közigazgatási rendtartásról
- 1991. évi XI. törvény az egészségügyi hatósági és igazgatási tevékenységről
- 1997. évi CLIV. törvény az egészségügyről
- 1/2009. (I. 30.) EüM rendelet az Állami Népegészségügyi és Tisztiorvosi Szolgálat egyes közigazgatási eljárásaiért és igazgatási jellegű szolgáltatásaiért fizetendő díjakról
- 385/2016. (XII. 2.) Korm. rendelet a fővárosi és megyei kormányhivatal, valamint a járási (fővárosi kerületi) hivatal népegészségügyi feladatai ellátásáról, továbbá az egészségügyi államigazgatási szerv kijelöléséről
- 531/2017. (XII. 29.) Korm. rendelet az egyes közérdeken alapuló kényszerítő indok alapján eljáró szakhatóságok kijelöléséről
- 568/2022. (XII. 23.) Korm. rendelet a fővárosi és vármegyei kormányhivatalokról, valamint a járási (fővárosi kerületi) hivatalokról
- 2015. évi CCXXII. törvény az elektronikus ügyintézés és a bizalmi szolgáltatások általános szabályairól
- 2017. évi I. törvény a közigazgatási perrendtartásról
- 2010. évi CLXXXIV. törvény a bíróságok elnevezéséről, székhelyéről és illetékességi területének meghatározásáról
- 2017. évi CXXV. törvény a közigazgatási szabályszegések szankcióiról
- 6/2013. (I. 18.) Korm. rendelet a piacfelügyeleti tevékenység részletes szabályairól
- 2012. évi LXXXVIII. törvény a termékek piacfelügyeletéről
- 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról

Ivóvízellátás

- 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről
- 2011. évi CCIX. törvény a víziközmű-szolgáltatásról
- 58/2013. (II. 27.) Korm. rendelet a víziközmű-szolgáltatásról szóló 2011. évi CCIX. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról
- 16/2016. (V. 12.) BM rendelet a közcélú ivóvízművek, valamint a közcélú szennyvízelvezető és -tisztító művek üzemeltetése során teljesítendő vízügyi és vízvédelmi szakmai követelményekről, vizsgálatok köréről, valamint adatszolgáltatás tartalmáról
- 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról

Ásvány- és egyéb palackozott vizek, gyógyvizek szabályozása

- 509/2023. (XI.20.) Korm. rendelet a természetes gyógytényezőkről
- 65/2004. (V. 27.) FVM-ESzCsM-GKM együttes rendelet a természetes ásványvíz, a forrásvíz, az ivóvíz, az ásványi anyaggal dúsított ivóvíz és az ízesített víz palackozásának és forgalomba hozatalának szabályairól

Fürdővizek (természetes és mesterséges) (víznyeréskezelés, használt víz elhelyezése, surveillance és monitoring)

- 510/2023. (XI. 20.) Korm. rendelet a közhasználatú fürdők létesítéséről és üzemeltetéséről
- 49/2015. (XI. 6.) EMMI rendelet Legionella által okozott fertőzési kockázatot jelentő közlegekre, illetve létesítményekre vonatkozó közegészségügyi előírásokról
- 78/2008. (IV. 3.) Korm. rendelet a természetes fürdővizek minőségi követelményeiről, valamint a természetes fürdőhelyek kijelöléséről és üzemeltetéséről

Vízjogi engedélyezés; vízbázisvédelem, nyersvizek; vízminőségi kárelhárítás, ipari víz kitermelés és felhasználás; hulladékvíz elhelyezése; szennyvízelvezetés- és gyűjtés

- 221/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a vízgyűjtő-gazdálkodás egyes szabályairól
- 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet a vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról
- 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről
- 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendelet a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízellátási létesítmények védelméről
- 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről
- 30/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet a felszín alatti vizek vizsgálatának egyes szabályairól
- 101/2007. (XII. 23.) KvVM rendelet a felszín alatti vízkészletekbe történő beavatkozás és a vízkútfúrás szakmai követelményeiről
- 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól
- 10/2010. (VIII. 18.) VM rendelet a felszíni víz vízszennyezettségi határértékeiről és azok alkalmazásának szabályairól
- 30/2008. (XII. 31.) KvVM rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó műszaki szabályokról
- 24/2007. (VII. 3.) KvVM rendelet a Vízügyi Biztonsági Szabályzat kiadásáról
- 240/2000. (XII. 23.) Korm. rendelet a települési szennyvíztisztítás szempontjából érzékeny felszíni vizek és vízgyűjtőterületük kijelöléséről
- 90/2007. (IV. 26.) Korm. rendelet a környezetkárosodás megelőzésének és elhárításának rendjéről
- 89/2004. (V. 15.) FVM rendelet a növényvédő szerek forgalomba hozatalának és felhasználásának engedélyezéséről, valamint a növényvédő szerek csomagolásáról, jelöléséről, tárolásáról és szállításáról
- 27/2005. (XII. 6.) KvVM rendelet a használt és szennyvizek kibocsátásának ellenőrzésére vonatkozó részletes szabályokról

Közterületi és közüntézményi illemhelyek

- 253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről/OTÉK/

Legfontosabb tudnivalók!

- A közegészségügyi hatósági munka jogszabályi kereteit az egészségügyi hatósági és igazgatási tevékenységről szóló 1991. évi XI. törvény adja meg.
- A környezetegészségügyi hatósági szakemberek munkájának alapját a vonatkozó jogszabályok határozzák meg, azok pontos ismerete, megfelelő, szakmai alapú értelmezése és a folyamatos képzés rendkívül fontos. Gyakran más tárcák, szakterületek hatósági illetékességi körébe tartozó területeken is látnak el szakhatósági feladatokat.

Ellenőrző kérdések

1. Mely jogszabály alapozza meg a közegészségügyi hatóság munkáját?

KÖRNYEZETANALITIKA

Dr. Gere Dóra, Izsák Bálint, Dr. Khayer Bernadett, Dr. Róka Eszter, Dr. Stefán Dávid, Törő Károly, Dr. Vargha Márta

Jelen fejezet nem teljes, közel sem tér ki minden fogalomra, technikára, elvre, feladatra és nehézségre, pusztán egy rövid betekintést ad a szakterületre, a környezet-egészségtan szempontjából legfontosabbak tekintetében.

Három fogalom megismerése azonban nélkülözhetetlen még a terület felületes megértéséhez is:

- **minta:** a vizsgálati anyag egy részlete
- **vizsgálandó komponens** (vagy **analát**): az az anyag, melyre a vizsgálat irányul
- **mátrix:** a vizsgált komponens melletti egyéb, kísérő komponensek együttese.

*Példa: Adott egy ólommal szennyezett terület. A talajból mintavétel történik, tehát a szennyezett területből kivett és laboratóriumba vizsgálatra szállított talajrész a **minta**. Ennek az ólomtartalma kerül vizsgálatra, az ólom tehát a **vizsgálandó komponens**. Minden más anyag, ami a talajrészben (a mintában) van, az a **mátrix** (egyéb elemek, szervesanyag, humusz, szilícium-dioxid, kavics, törmelék stb.).*

Mintavétel és mintaelőkészítés

Függetlenül a vizsgálat típusától (kémiai, mikrobiológiai stb.) és a mintavétel közegétől (talaj, víz, levegő stb.), a megfelelő mintavétel és a mintaelőkészítés minden esetben kritikus. Ha bármelyik lépés rosszul kerül megválasztásra vagy kivitelezésre, az érvénytelenné teheti a vizsgálati eredményt. A különböző vizsgálati eljárások általában többféle közeg esetében használhatók, a mintavétel és a mintaelőkészítés azonban specifikus.

Kémiai analitikai módszerek

A kémiai analitika célja háromféle lehet: minőségi, mennyiségi és szerkezetvizsgálat. A környezetanalitikában az első kettőnek, tehát a minőségi és a mennyiségi vizsgálatoknak van elsősorban szerepe. Arra keresik a választ, hogy egy adott környezeti elemben milyen komponensek (minőségi vizsgálat) és milyen koncentrációban (mennyiségi vizsgálat) vannak jelen az adott időpillanatban. Környezeti elemek a különböző vizek (felszíni víz, felszín alatti víz, ivóvíz stb.), talajok, üledékek vagy a kül-, illetve a beltéri levegő, de hulladékok és biológiai minták (vér, vizelet, levél stb.) is ide sorolhatók. Természetesen többféle analitikai szakterület van még (pl. élelmiszer- vagy gyógyszeranalitika stb.) és a köztük lévő határ nem mindig húzható meg élesen.

Az alkalmazott módszereket sokféleképpen lehet csoportosítani, de alapvetően a következő két kategória különböztethető meg:

- klasszikus analitika (jellemzően pontos térfogat- és tömegmérő eszközök használatával lehet kivitelezni)
- műszeres analitika (egyéb mérőeszközök, berendezések is szükségesek).

A műszeres analitikai meghatározásokon belül fontos, és a mérési technikát általában meghatározó tényező lehet még a vizsgálandó komponens típusa (elemanalitika, szerves analitika).

A megfelelő módszer kiválasztásának szempontjai

A gyakorlatban egy bizonyos anyag vizsgálatára általában többféle módszer is alkalmas. A megfelelő módszer kiválasztásához több szempontot is figyelembe kell venni.

Az egyik legfontosabb szempont az adott technikával elérhető **kimutatási határ** (angolul: limit of detection, LOD), vagyis az a legkisebb mennyisége a vizsgálandó komponensnek, ami még megbízhatóan mérhető.

Emellett további jellemzőket is mérlegelni kell, a teljesség igénye nélkül:

- mérés mintaigénye
- mérési idő
- módszer érzékenysége a zavaró hatásokra
- beszerzési és üzemeltetési költségek
- szakképzettségi igény.

Példa: Ivóvíz nátrium-tartalmát kell meghatározni egy jól felszerelt laboratóriumban, ahol választhatunk az FAAS és az ICP-MS technikák közt (részletesen lásd „Atomspektroszkópiai módszerek” c. alfejezet). Ismert, hogy a nátrium mennyisége az ivóvízben széles tartományban változhat, néhány mg/l-től a 200 mg/l-t meghaladó koncentrációig. Ebben az esetben megfelelő választás az FAAS technika, mert a kimutatási határa megfelelő ebben a tartományban, a mérés gyors, kivitelezése egyszerű, üzemeltetési költsége alacsony. Ha ugyanebből a mintából a nátrium mellett meg kell határozni a réz-, nikkel-, ólom-, antimon-, vas- és kadmiumtartalmat is, már nem az FAAS a célszerű választás, hanem az ICP-MS. Az ICP-MS technika ugyanis, bár igen költséges, lehetővé teszi a különböző elemek egyidejűleg történő mérését (így már gazdaságosabb), illetve gyors, kimutatási határai is megfelelőek.

Klasszikus analitikai módszerek

A klasszikus analitikai módszerek többnyire gyors, egyszerűen kivitelezhető, költséges felszereléseket és kiemelkedő szakértelmet nem, vagy a műszeres módszereknél jóval kisebb mértékben igénylő eljárások. Ezzel párhuzamosan érzékenységük alacsonyabb, jellemzően makrokomponensek (mg/l koncentrációban jelen lévő alkotók) meghatározására alkalmasak. Összességében nem tekinthetők azonban elavultnak, sok területen még ma is alkalmazzák őket. A klasszikus analitikai módszereken belül a legnagyobb jelentőségű és leggyakrabban alkalmazott módszerek az ún. térfogatos vagy titrimetriás analízisek.

Gravimetriás módszerek

A vizsgálandó komponens(ek)e)t oldhatatlan vegyületté alakítjuk, leszűrjük és tömegét tömegállandóságig történő szárítást követően mérjük. A módszer időigényes, érzékenysége és specifikussága gyakran nem kielégítő. Mindezen okokból használata ritka, jelenleg a bepárlási maradék, összes oldott anyag meghatározására alkalmazzák.

Térfogatos vagy titrimetriás módszerek

A térfogatos meghatározások során ismert koncentrációjú mérőoldatot adunk kis részletekben a vízmintához. A vizsgálandó komponens a mérőoldattal reakcióba lép. A mérőoldatot addig adagoljuk, amíg a vizsgálandó komponens elfogy, vagy feleslegbe kerül, melyet egy alkalmasan megválasztott módszer, például egy indikátorvegyület színváltozása jelez.

A végbemenő reakció, illetve az alkalmazott mérőoldat alapján többféle csoportba sorolhatjuk a térfogatos eljárásokat. A környezetanalitikán belül ezen eljárásoknak elsősorban a vízanalitikában van szerepe, a leggyakrabban alkalmazott titrimetriás módszerek ezen a területen a következők:

Acidi-alkalimetriás titrálás

Ismeretlen koncentrációjú savaknak ismert koncentrációjú lúggal, vagy ismeretlen koncentrációjú lúgoknak ismert koncentrációjú savakkal történő meghatározása, mely reakciók alapja a savak és bázisok egymásra hatásakor lejátszódó közömbösítés. A titrálás végpontját jelző indikátorok általában festékek, melyek más színt mutatnak savas, mint lúgos közegben. Legfontosabb vízanalitikai alkalmazása a lúgosság mérése.

Példa: A lúgosság a vízben jelenlévő, savval reakcióba lépő anyagok összessége. A vízben a lúgosságot általában a hidrogénkarbonát-ion okozza, de előfordulhat nagyobb mennyiségben karbonátion is. Fontos, hogy a mérésnek két változata van, attól függően, hogy milyen indikátort választunk a végpont jelzésére. A két érték nem átszámítható és nem feleltethető meg egymásnak. Fenolftalein indikátor jelenlétében végzett, 8,4 pH eléréséig végrehajtott titrálás eredménye a fenolftalein lúgosság (p-lúgosság), a 4,4 pH eléréséig metilnarancs, vagy más ezen a pH értéken színt váltó indikátor jelenlétében végzett titrálás eredménye a metilnarancs vagy m-lúgosság.

Oxidációs és redukciós titrálás

A meghatározás során oxidáció és redukció játszódik le. Oxidáció az a folyamat, melyben egy ion vagy atom elektronokat veszít, azaz pozitív töltéseinek száma nő. A redukció során valamely ion vagy atom elektronokat vesz fel, azaz pozitív töltéseinek száma csökken. Ezen folyamatok egymástól függetlenül nem játszódhatnak le.

Indikátorként az alkalmazott mérőoldatok kis fölöslege, vagy redox indikátorok, például a ferroin használhatók.

Az alkalmazott mérőoldattól függően többféle redox térfogatos eljárást különböztetünk meg. A vízanalitikai gyakorlatban közülük a permanganometria, a kromatometria és a jodometria tartozik a rutinszerűen alkalmazott eljárások közé.

- **Permanganometria:** A módszer a kálium-permanganát erélyes oxidáló hatásán alapul. Külön indikátort nem kell használni, mert a kálium-permanganát mérőoldat kis feleslege felismerhető az oldat gyenge ibolya színéről. Példa: A vízanalitikai gyakorlatban a vizek szervesanyag-tartalmának mérőszámaként használt csoportparaméter, a kémiai oxigénigény, vagy oxigénfogyasztás mérésére használjuk. Oxigénfogyasztáson értjük azt az oxigénben kifejezett kálium-permanganát mennyiséget, mely 1 liter vízben lévő szerves

anyag teljes oxidálásához szükséges, rövidítése KOIp, ahol a p index a „permanganát” mérőoldatra utal. Az index kiegészülhet a savas vagy lúgos közegben végrehajtott meghatározásra utaló „s” vagy „l” betűkkel, melyek közül ma az „s” jelű elterjedt. A szervesanyag tartalom meghatározásának pontosabb, modernebb módszere a műszeres TOC mérés, melyről a későbbiekben még lesz szó. A két érték (KOI és TOC) a gyakorlatban egymásba többnyire nem átszámolható, nem összehasonlítható.

- **Kromatometria:** Az eljárások során a kálium-dikromát oxidálószer alkalmazzuk. Erőteljesebb oxidálószer a kálium-permanganátnál, a vízanalitikai gyakorlatban szennyezett vizek, általában szennyvizek kémiai oxigénigényének meghatározására alkalmazzuk. A vizsgálat rövidítése KOIk, vagy KOId, ahol a „k” vagy „d” betű a kálium-dikromátot jelenti, különbség a két módszer között nincs. Érzékenysége a permanganometriás eljárásénál kisebb, emiatt tiszta természetes vizek esetében általában nem alkalmazható.
- **Jodometria:** Sokoldalúan alkalmazható eljárás, mely egyrészt az elemi jód oxidáló hatásán, másrészt a jodidion redukáló képességén alapul.

A jodometriás módszerek két csoportba sorolhatók:

- Redukáló anyagokat ismert hatóértékű jódoldattal titrálunk, az eredetileg barna színű jódoldat a titrálás folyamán elszíntelenedik, a reakció végpontján a mérőoldat kis feleslegétől sárga színű lesz. Keményítő indikátor jelenlétében intenzív kék színű jód-keményítő komplex keletkezik, így észlelése érzékenyebbé tehető.
- Oxidáló anyagok meghatározásánál kálium-jodidot vagy nátrium-jodidot adunk a reakcióelegyhez. A mérendő oldatunkban található oxidáló anyagok a jodidot jóddá oxidálják. A keletkezett jód valamely redukálószer pontos hatóértékű oldatával megtitrálható. Erre a célra általában a nátrium-tioszulfát, az arzénessav vagy az aszkorbinsav oldatát használjuk.

A vízanalitikai gyakorlatban az összes aktív klór mérése, valamint a vízben oldott oxigén meghatározása tartozik a jodometriás módszerek csoportjába. Az aktív klór a jodidionokat jóddá oxidálja, melyet keményítő indikátor jelenlétében nátrium-tioszulfát mérőoldattal titrálunk. A meghatározás során a vízben lévő összes, oxidáló hatású, enyhén savas közegben jodidokból elemi jódot felszabadító klórvegyület koncentrációját mérjük (hipoklórossav, hipoklorit ion, oldott klórgáz, klóraminok).

Csapadékos titrálás

A csapadékos térfogatós módszereknél a meghatározandó paramétert olyan mérőoldattal titráljuk, amellyel az oldhatatlan csapadékot képez. A csapadék teljes leválasztásához szükséges mérőoldat térfogatából következtetünk a meghatározandó komponens mennyiségére. Legelterjedtebb vízanalitikai alkalmazása a Mohr szerinti klorid-ion meghatározás. Semleges közegben ezüst-nitrát mérőoldattal titráljuk a víz klorid-ion tartalmát, kálium-kromát indikátor jelenlétében. Ezüst-klorid csapadék képződik, majd a klorid-ion teljes mennyiségének leválását követően az adagolt további ezüst-nitrát mérőoldat az indikátorral vörösbarna színű ezüst-kromát képződése közben reagál.

Komplexometriás titrálás

A komplexometriás módszerek általában egy szerves molekula komplexet képező tulajdonságát használják ki a fémionok meghatározására. A gyakorlatban az etiléndiamin-tetraecetsavval (EDTA) végzett kelatometria a legelterjedtebb. Az EDTA-val alkotott fémkomplexek stabilitása eltérő, erősen függ a pH-tól és más komplexképzők jelenlététől. Az eltérő komplex stabilitás lehetőséget biztosít több fémion egymás melletti mérésére is.

A végpont jelzésére fémindikátorok alkalmasak, melyek a meghatározandó fémionnal színes komplexet alkotnak. A fémion-mentes indikátor színe eltér a fémkomplexétől. A titrálás során az EDTA-mérőoldat először a szabad fémionokat köti meg, majd a színes indikátor komplexből elvonja a fémionokat, így színváltozás következik be, mely a végpontot jelzi.

A módszer leggyakoribb vízanalitikai alkalmazása a víz összes keménységének és kalcium tartalmának meghatározása.

Műszeres analitikai eljárások

Elektroanalitikai módszerek

Az elektroanalitikai módszerek az oldatokban lejátszódó különböző elektrokémiai folyamatokon alapulnak, melyek feszültség vagy áramerősség mérésével nyomon követhetőek. Ehhez többnyire elektródokat használunk.

Az általánosan használt mérő, vagy indikátor elektródok a következők:

- elsőfajú elektród: a saját ionjainak megfelelő oldatba merülő fémelektród
- másodfajú elektród: a fém rosszul oldódó sójával bevont fémelektród
- redoxi elektród: az elektród inert fém (Pt, Au), az oldat nem tartalmazza a fém ionjait
- ionszelektív elektród: üveg alapú, félvezető vagy ioncserélő alapú anyagok, melyeken a mérendő ionok koncentrációjával összefüggő szelektív potenciál lép fel.

Ilyen a pH mérésre (H^+ -ion mérés) használt üvegelektród, vagy a fluorid elektród.

A környezetanalitikai gyakorlatban alkalmazott elektroanalitikai módszereket a következőkben mutatjuk be.

Potenciometria

A potenciometria az oldatba merített elektródok felületén kialakuló elektródpotenciálok közti különbség mérésén alapul. A méréshez két elektródot használunk, egy indikátor- és egy referenciaelektródot. Az előbbin mérhető potenciál függ a mérendő anyag koncentrációjától, míg az utóbbi egy konstans viszonyítási alapot szolgáltat.

Potenciometriás elven működő mérés például az analitikai gyakorlatban rendszeresen alkalmazott pH-mérés. Az eljárásban egy speciális üvegelektródot és egy vonatkoztatási elektródot használunk.

Ugyancsak ebbe a csoportba sorolhatók az ionszelektív elektródokkal végzett ion meghatározások is. A vízanalitikában legelterjedtebb a fluorid-ion ionszelektív elektródával történő meghatározása.

Coulometria

A coulometriás analitikai módszerek során azt a töltésmennyiséget mérjük, amelyet felhasználunk egy redoxi reakcióban, vagy egy reagens termelésére. A meghatározandó komponens az elektród felületén reakcióba lép, vagy az elektrolízis során termelt reagenssel reagál.

Ez utóbbi módszer a coulometriás titrálás, mely eljárást a vízanalitikai gyakorlatban az adszorbeálható szerves halogénvegyületek (AOX) mérésére használják. Jelentőségét az adja, hogy ezen vegyületek a vizek klór alapú fertőtlenítőszerrel való fertőtlenítése során képződnek és közöttük sok toxikus, mutagén, karcinogén hatású vegyület található, melyek össz mennyiségére kaphatunk egy durva becslést a módszerrel.

Konduktometria

A vizes oldatok (vízminák, vizes kivonatok, de nedvességtartalmuk okán a talajok is) vezetnek az elektromosságot, vezetőképességük mértéke az oldott ionok mennyiségének függvénye. Egy minta vezetőképességének meghatározása során az ún. fajlagos vezetőképességet mérjük, mely egy 1 cm élhosszúságú kocka szemközti lapjai között mért ellenállás reciproka. Fontos, hogy a vezetőképesség értéke a hőmérséklettől is függ, eltérő hőmérsékleteken mért értékeket csak megfelelő korrekció után tudunk összehasonlítani.

A vezetőképességet a vízanalitikában az oldott sótartalom jellemzésére használjuk, régebben 20, újabban 25°C-ra vonatkoztatva.

Molekulaspektroszkópai módszerek

Az ultraibolya (UV), látható (VIS) és infravörös (IR) abszorpciós spektrofotometria a molekulák által elnyelt ultraibolya, látható és infravörös sugárzás mérésén alapszik. Az elektronspektrumok alapján a vegyületek szerkezete tanulmányozható.

A mennyiségi meghatározás alapja minden fényelnyelésen alapuló módszernél a Lambert-Beer törvény, mely kimondja, hogy a mintába belépő fénysugár intenzitása a minta abszorpciója következtében csökken. A csökkenés mértéke az anyagi minőség, a fénysugár mintában megtett útja és az abszorbeáló anyag koncentrációjának egyértelmű függvénye.

A vizsgálat a látható tartományban színes vegyületet eredményező reakció végrehajtásán alapszik. A vizsgálat során ismert koncentrációjú oldatokkal (analitikai mérőpontok) végrehajtjuk az adott, vizsgálandó paraméterre jellemző színeképző reakciót. Meghatározzuk azt a hullámhosszt, melynél a színes vegyület fényelnyelése a legnagyobb (abszorpciós maximum). A kimért hullámhosszon elvégezzük az analitikai mérőpontok fényelnyelésének mérését. A kapott abszorbancia értékeket a koncentráció függvényében ábrázolva jutunk az analitikai mérőgörbéhez, melyről a minta keresett összetevőjének koncentrációja közvetlenül leolvasható, vagy az egyenes egyenletének ismeretében számítható.

A vízanalitikai gyakorlatban látható (VIS) tartományban történő vizsgálatokkal határozzuk meg például az ammónium-, nitrit-, nitrát-, foszfát-, fluorid-ionokat, a vas- és mangántartalmat. A vizsgálatok kimutatási határa néhány tized vagy század mg/l.

A spektrofotometriás eljárás érzékenysége különböző mintaelőkészítési módszereket, így például extrakcióval végrehajtott dúsítást (fenolindex), vagy desztillációt (cianid) követő méréssel közel egy nagyságrenddel növelhető. Ezen módszereknél 0,002-0,004 mg/l kimutatási határ érhető el.

Az ultraibolya tartományban történő mérést a vízanalitikai gyakorlatban az UV-olajindex meghatározására alkalmazzuk. Az olajszennyezés analitikai meghatározását nehezíti, hogy egyaránt tartalmaz alifás, aliciklusos és aromás vegyületeket. Az ultraibolya tartományban történő mérés döntően az aromás vegyületek mérésére korlátozódik. A módszer a gázkromatográfiás módszerek terjedése és nagyobb érzékenysége miatt ma már nem használt széles körben.

Az infravörös spektroszkópia környezetvédelmi analitikai alkalmazása az infravörös sugárzás (0,8-30 μm) elnyelésén alapuló abszorpciós módszereket alkalmazza például a levegővizsgálatok terén.

Az összes szerves széntartalom (TOC) mérése az infravörös spektrofotometria legelterjedtebb vízanalitikai alkalmazása. A vizek szervesanyag tartalmának jellemzésére a kémiai oxigénigény különböző módszerekkel történő mérése mellett (KOIps, KOIk) az összes szerves széntartalom (TOC) meghatározása is alkalmas. A módszer alapja az, hogy a szervesanyagok oxidációja során szén-dioxid keletkezik, melynek mennyiségét IR-spektrofotometriás eljárással mérjük és belőle a széntartalom számítható. Az oxidáció 950-1 050°C-on katalizátor jelenlétében szintetikus levegőáramban történik, a szerves szénvegyületek az oxidációt megelőzően savas közegből történő kilevegőzéssel távolíthatók el.

Kromatográfiás módszerek

A kromatográfia egy elválasztási módszer, segítségével egy komplex keverék (pl. egy környezeti minta) különböző alkotói valamilyen tulajdonságuk alapján időben vagy térben szétválogatásra kerülnek, ezáltal egymás után egyszerűbben, érzékenyebben, kevesebb zavaró hatás mellett határozhatóak meg. A vizsgálandó minta alkotóinak elválasztása egy helyhez kötött állófázis és az ezzel érintkező mozgófázis alkotta rendszerben valósul meg. A vizsgálandó komponensek különböző típusú és mértékű kölcsönhatásokat alakítanak ki az állófázissal. Míg a mozgófázis adott sebességgel halad, a komponensek sebességét befolyásolják a fellépő kölcsönhatások, így az állófázist időben elkülönülve hagyják el. Az elkülönített alkotókat ezután valamilyen kémiai vagy fizikai tulajdonságuk alapján tudjuk detektálni. A detektálás során az a célunk, hogy valamilyen, a vizsgálandó minta koncentrációjával (időegység alatt a detektorba áramló mennyiségével) arányos jelet kapjunk.

Az állófázis lehet szilárd vagy folyadék, de mindenképpen helyhez kötött.

A mozgófázis (eluens) halmazállapotától függően csoportosíthatók a módszerek:

- gázkromatográfia – a mozgófázis gáz halmazállapotú
- folyadékkromatográfia – a mozgófázis folyadék halmazállapotú.

A mérendő anyagok tulajdonságai alapján különféle detektorokat választhatunk.

Gázkromatográfiás vizsgálatoknál az alábbi detektorokat alkalmazzák leggyakrabban:

- hővezetőképességi detektorok
- láng-ionizációs detektorok
- elektronbefogási detektorok
- tömegspektrometriás detektorok.

Folyadékkromatográfiánál a detektálás legelterjedtebb módszerei:

- UV, UV - VIS spektrofotometria
- fluoreszcens spektrofotometria
- elektrokémiai módszerek
- vezetőképesség mérési módszerek
- tömegspektrometriás detektorok.

Egyes detektorok specifikusak, ilyen például az elektronbefogási detektor, ami halogéntartalmú vegyületek érzékeny meghatározására alkalmas, vagy a fluoreszcens detektor, mellyel gerjeszthető vegyületek vizsgálhatóak. Más típusok ezzel szemben általánosnak tekinthetők, a vizsgálható alkotók köre jóval szélesebb. Ilyen például a láng-ionizációs, a vezetőképességi, vagy a tömegspektrometriás detektor. Utóbbi igen érzékeny, univerzális módszer. Az analitikai technikák fejlődése és a lakosságot érdeklő, aggasztó környezetegészségügyi kérdések kapcsán az ilyen érzékeny és univerzális eljárások egyre nagyobb jelentőséggel bírnak. Hátránya, hogy beszerzése és fenntartása költségesebb, valamint nagyobb szakértelmet igényelhet.

Érdekesség: Tömegspektrometriás detektálás esetén a kromatográfiás elválasztást követően az időben elkülönített alkotók egyenként kerülnek a tömegspektrométer ionforrásába, ahol ionizáció történik. Az egyes molekulákból képződő ionokat a tömegspektrométer szétválasztja, méri az ionok mennyiségét és létrehozza a tömegspektrumot (mely az adott komponensből képződő ionokat, és azok egymáshoz viszonyított relatív mennyiségét ábrázolja). Ez a tömegspektrum egy-egy molekulára jellemző. Az egyes tömegspektrumokkal elvégezhető lehet ismeretlen komponensek azonosítása is, számítógépes spektrumgyűjtemény, spektrumkönyvtár segítségével. Ez a mindennapi analitikai gyakorlatban nem jellemző feladat, de egyes környezetegészségügyileg jelentős kérdések felderítésében, (pl. ismeretlen eredetű szennyezések azonosítása, vízzel érintkező anyagokból kioldódó komponensek felmérése) szerepet kaphat.

A kromatográfiás mérések eredményeként egy ún. kromatogramot kapunk, amelyen a detektor által szolgáltatott jelet láthatjuk az idő függvényében. A kromatogram minőségi és mennyiségi információ hordozója is: az alkotó időbeli megjelenése (retenció idő) az anyagi minőség jellemzője, a csúcsok alatti terület pedig arányos az alkotó mennyiségével.

A környezetanalitikában a gázkromatográfiás, gázkromatográfiás-tömegspektrometriás módszerek számtalan, kis mennyiségben jelen levő természetes eredetű alkotó vagy szerves mikro-szennyező meghatározására használhatók. Leggyakoribb vizsgálatok közé tartoznak a fertőtlenítési melléktermékek (trihalogén-metánok (THM-ek) és egyéb klórtartalmú szerves vegyületek), benzol és egyéb aromás szerves vegyületek (toluol, xilolok stb.), a fenol és klórfenol vegyületek, a növényvédőszer, policiklusos aromás vegyületek (PAH), üzemanyag szennyezés (benzin, gázolaj, motorolaj) mérése.

A folyadékkromatográfia egyik speciális válfaja az **ionkromatográfia**.

Az ionkromatográfia jelentősége, hogy a szervesetlen anionok meghatározását egymással párhuzamosan, egy mérésből, akár zavaró mátrixban is lehetővé teszi. Vízanalitikai jelentősége, hogy kisebb mintatérfogat szükséges és alacsonyabb kimutatási határ érhető el, mint a hagyományos eljárásokkal. Az anionok jellemzően 1 mg/l alatti koncentrációban is meghatározhatóak ezzel az eljárással.

Atomspektroszkópiai módszerek (elemanalitika)

Az elemanalitikai eljárások a környezeti mátrixok bizonyos elemeinek koncentrációját vizsgálja. Ide tartoznak fémek (pl. ólom, higany), félfémek (pl. bór, arzén) és nemfémek (pl. szelén) is. Az elemanalitikai vizsgálatok során általában nem szempont, hogy az adott elem milyen vegyületet alkotva, illetve milyen formában (pl. Cr(III) vagy Cr(VI)) van jelen a mintában, de ez is vizsgálható a megfelelő mintaelőkészítési eljárás megválasztásával. A különböző elemek meghatározását különböző optikai és atomspektroszkópiai módszerekkel, valamint tömegspektrometriás módszerrel végezhetjük.

Az elterjedten alkalmazott módszerek az alábbiak:

- induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrometria (ICP-OES vagy ICP-AES (azonos technika, mindkét rövidítés használatos)),
- láng-atomabszorpciós módszer (FAAS)
- elektrotermikus atomabszorpciós, vagy grafitkemence atomabszorpciós módszer (ETA-AAS vagy GF-AAS (azonos technika, mindkét rövidítés használatos))
- hidridképzés-atomabszorpciós módszer (Hydride-AAS)
- hideggőzös atomabszorpciós módszer (CV-AAS)
- emissziós lángfotometriás módszer (F-OES)
- induktív csatolású plazma tömegspektrometriás módszer (ICP-MS). *(Az ICP-MS technika valójában nem atomspektroszkópiai, hanem tömegspektrometriai eljárás, azonban gyakorlati alkalmazását tekintve célszerű itt tárgyalni.)*

Az atomspektroszkópiai módszerekben a vizsgálandó elemek szabad atomjait, ionjait gerjesztjük, és a gerjesztéshez kapcsolódó fénykibocsátást vagy fényelnyelést mérjük. A szabad atom-, illetve ion-állapotba vitel történhet egyenáramú ívkisülésben, lángban, induktív csatolású plazmában, grafitkemencében, kvarckemencében stb. A szabad atomok, illetve ionok gerjesztése az adott atom vagy ion elektronszerkezetére visszavezethető vonalas színeképet eredményez. Minden elem csak a rá jellemző néhány hullámhosszon bocsátja ki, illetve nyeli el az elektromágneses sugárzást. Az egyes elemek spektrumvonalait azonosítva meghatározhatjuk a mintában előforduló elemeket. Az emissziós (kibocsátás) módszereknél a vonalintenzitás, az abszorpciós (elnyelés) módszereknél az adott vonalon mért fényelnyelésből számított abszorbancia az adott elem mintabeli koncentrációjával arányos.

Az induktív csatolású plazma optikai emissziós spektroszkópia (ICP-OES vagy ICP-AES)

A környezetvédelmi analitika egyik hatékony módszere, szimultán multielemes üzemmódban nagyszámú elem egyidejű meghatározását teszi lehetővé. A nagyhőmérsékletű plazmában gerjesztett elemek fénykibocsátása alapján történik a vizsgálat.

Atomabszorpciós módszerek

A módszerekben (FAAS, GF-AAS vagy ETA-AAS) a mintaoldatból lángban, grafitkemencében vagy elektromosan fűtött kvarckemencében nagy hőmérsékleten előállított szabad atomok (atomizálás) fényelnyelését mérjük a kiválasztott elem egy adott, jó hatásfokkal gerjeszthető elektronátmenetének megfelelő hullámhosszon, monokromatikus fénnel.

Az FAAS módszerben az atomizálás előkevert, lamináris lángban (acetilén- levegő, levegő-propán, dinitrogén-oxid-acetilén, argon-hidrogén) történik. A mintát aeroszollá porlasztva juttatjuk a lángba. A lángban a minta komponensei elpárolognak, disszociálódnak, kialakul az oldatkoncentrációval arányos szabad atom koncentráció. A láng - gázok a mintát jelentősen meghígítják, a kimutatási határok elemtől függően 1,0-500 µg/l-től kezdődnek. Ivóvízben lévő toxikus fémek mérésére sokszor nem kielégítő az érzékenysége. A módszer a vízanalitikában a makroelemek, az alkáli – és alkáli – földfémek mérésére (Ca, Mg, K, Na, Li,) alkalmas.

A GF-AAS vagy ETA-AAS, azaz elektrotermikus atomizálás, grafitkemence atomabszorpciós módszer az FAAS módszernél két-három nagyságrenddel alacsonyabb kimutatási határokat biztosít több elem esetében. A grafitkemence atomizálóban ugyanis sokkal kisebb mértékű a minta hígulása. Az eljárás során 10-20 µl oldatot juttatunk az elektromos árammal fűthető grafitcsőbe. A felfűtést több lépcsőben végrehajtva a minta komponenseit elpárologtatjuk, és az atomabszorpciós meghatározást lehetővé tevő szabad atomos állapotba hozzuk, majd a kiválasztott rezonanciavonalon történő fényelnyelést mérjük. A kimutatási határok értékei 0,1 µg/l-től kezdődnek.

Gázkifejlesztéses mintabeviteli módszerek

A higany és a kémiai reakcióval szobahőmérsékleten gázalmazállapotba vihető elemek (pl. As, Se, Sb, Sn) az oldatporlasztásos módszernél sokkal jobb hatásfokkal juttathatók be az atomizáló készülék egységeibe, ezzel jelentősen növelve az FAAS, ICP-OES vagy ICP-AES, ICP-MS módszerrel elérhető kimutatási határokat ezen elemekre.

Higany meghatározás (CV-Hg-AAS)

Az oldatban redukált higany szabad atomos állapotú, így külön atomizálás nélkül, szobahőmérsékleten mérhető atomspektrometriás elven. A redukciót ón(II) kloriddal végezhetjük. A keletkező higanygőzt levegővel vagy argonnal visszük a detektorba és vagy közvetlenül, vagy arany-amalgámképzéssel tovább dúsítva végezzük a meghatározást.

Hidrides módszerek (Hydride-AAS)

As, Se és Sb meghatározására terjedt el a vízanalitikában. AAS vagy ICP készülékkel kapcsolva alkalmazható a mérésre.

Induktív csatolású plazma tömegspektrometriás (ICP-MS) módszer

Az ICP-OES módszerben használt ionforrást használja ez a módszer (induktív csatolású argon plazma). Az ionforráson keresztül a tömegspektrométerbe bevitt minta ionjai tömeg/töltés hányados szerint időben elválasztva kerülnek detektálásra. A detektálás elvéből

következően a szelektivitás nagyon kedvező, a tömegspektrumok egyszerűbbek, mint az optikai spektrumok és mérhetők az izotóparányok is. A módszer szelektivitását rontja, hogy egy adott tömegszámhoz több elem izotópja is tartozhat. Másrészt a képződő molekulaionok okozhatnak zavaró hatást. A minta-előkészítésnél alkalmazott sav megválasztása lényeges, mert ez is felelős lehet a molekulaionok képződéséért. A híg salétromsavas közeg a legkedvezőbb. A készülékbe csak kis oldott anyag koncentrációjú minta vihető, mert a mintavevő kónusz és a belső terek elszennyeződhetnek.

A módszer kimutatási határai hasonlóak vagy kedvezőbbek a GF-AAS vagy ETA-AAS módszerénél, és mintegy két nagyságrenddel jobbak az ICP-OES és a FAAS módszerénél.

A leggyakrabban használt elemanalitikai módszerek összehasonlítását tartalmazza az VIII. táblázat.

VIII. táblázat **A környezetanalitikában leggyakrabban használt elemanalitikai módszerek jellemzői**
(a táblázatban szereplő értékek közelítőek, a nagyságrendek összehasonlítása lényeges;
piros színnel jelölve a legkedvezőbb érték)

		ICP-MS	FAAS	GF-AAS	ICP-OES
kimutatási határok (µg/l)	Pb	0,00001-0,0001	10	0,04	1
	Se	0,001-0,1	500	0,65	5
	K	0,001-0,1	2	0,02	0,5
	jellemző	0,00001-0,1	1-100	0,01-1	0,1-10
mérési tartomány (nagyságrend)		8-10	2-4	1-2	5-6
oldott anyag tűrés		0,2%	0,5-10%	>20%	2-15%
meghatározható elemek száma		>75	~60	~50	~70
mintaigény (ml)		5	5	0,1	5
mérési idő		gyors	gyors	lassú	gyors
szimultán meghatározás (egy mérés alatt több elem vizsgálata)		igen	nem	nem	igen
beszerzési/ üzemeltetési költség		nagyon magas/ nagyon magas	alacsony/ alacsony	közepes/ alacsony	magas/ magas

Mintavétel és mintaelőkészítés az elemanalitikai vizsgálatokhoz

A mintavétel és a mintaelőkészítés a vizsgálandó közegtől függ. Ebben a rövid bekezdésben nem kerülnek részletesen bemutatásra – az egyébként analitikai szempontból kulcsfontosságú – lépések és részletek, pusztán néhány kiemelt gondolat és általános elv. A gyakorlatban mind a mintavételre, mind a mintaelőkészítésre számtalan szabvány áll rendelkezésre a vizsgált elem-től, közegtől és a vizsgálat céljától függően.

Vízminták előkészítése és mintavétele

Vizek esetében általánosságban elmondható, hogy az elemanalitikai vizsgálatra szánt mintát megfelelő (térfogat, tárolhatóság stb.) műanyag edénybe kell venni. (Természetesen akad kivétel is, például a higany vizsgálatához megfelelő minőségű üvegedényt kell használni.) Attól függően, hogy csak a vízmintában oldott formában lévő komponensek mennyiségének, vagy a teljes oldott és oldatlan komponensek mennyiségének meghatározása a cél, a minta szűrésére kerül sor (0,45 µm átmérőjű szűrőn). A minták – megfelelő körülmények és megfelelő tartósítás esetén – hosszú ideig tárolhatók. A tartósítás során, nagy tisztaságú salétromsavval a minta pH-ját 2 alá kell csökkenteni, savas közegben ugyanis a fémek jellemzően oldott formában maradnak, nem képeznek csapadékot. (A higany itt is kivétel, salétromsav mellett kálium-dikromát hozzáadását is igényli.).

Szilárd minták előkészítése és mintavétele (talaj, hulladék stb.)

A szilárd minták esetében a cél egy folyékony halmazállapotú kivonat készítése, aminek utána a fentebb bemutatott technikákkal már vizsgálható az elemtartalma. A szilárd mintákban a különböző elemek nagyon sokféle formában, vegyületeként, különböző kötésekkel kötődve vannak jelen, ezeket szükséges felbontani. Erre többféle megoldás közül lehet választani: desztillált vizes kioldódás, savas oldatba történő kioldódás, melegítés, nagy nyomású vagy mikrohullámú roncsolással történő feltárás, illetve ezek kombinációja. A környezetanalitikai gyakorlatban igen elterjedt, hogy mikrohullámú roncsoló segítségével, savval (pl. királyvízzel) nagy hőmérsékleten és nagy nyomáson történik a minta feltárása (ún. roncsolása). Ennek hatására a szilárd fázisban lévő elemek az oldatba kerülnek és mérhetővé válnak.

Levegőminták előkészítése és mintavétele

A levegő különböző elemtartalmának (elsősorban nehézfém-tartalmának) meghatározásakor leggyakrabban valamilyen levegőben található szilárd szemcsékhez (por) kötődő elemtartalom vizsgálatot kell érteni. Ez lehet szálló- vagy ülepedőpor, illetve még ezen belül is el lehet különíteni mérettartományokat. A mintavétel lehet aktív (mikor ismert térfogatú levegő kerül átszívásra bizonyos típusú szűrőn) vagy passzív (mikor ismert időtartamra bizonyos típusú szűrő kerül kihelyezésre a vizsgálandó területen). Ezt követően a szűrőn összegyűlt részecskék vizsgálatára kerül sor. Ezek feltárása legtöbbször a szilárd mintáknál bemutatott mikrohullámú roncsolásos eljárással egyezik meg, hiszen itt is ugyan az a cél: oldott állapotba hozni a vizsgálni kívánt komponenseket.

Ellenőrző kérdések – Kémiai analitika

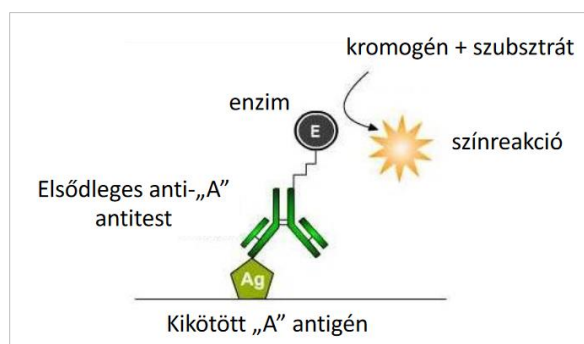
1. Melyek a kémiai analitika lehetséges céljai?
2. Ezek közül a környezetanalitikában melyeknek van elsődlegesen szerepe?
3. Mik a környezetanalitika legfontosabb céljai?
4. Milyen környezeti elemek tartoznak a környezetanalitika tárgykörébe?
5. A kémiai analitikában alkalmazott módszereket hogyan csoportosíthatjuk?
6. Mik a megfelelő módszer kiválasztásának legfontosabb szempontjai?
Soroljon fel legalább négyet.
7. Milyen klasszikus analitikai eljárásokat ismer?
8. Milyen műszeres analitikai eljárásokat ismer?
9. Mi a kromatográfiás elválasztás alapelve?
10. Milyen feladatok kapcsán lehet érdemes a költségesebb nagyműszeres, azon belül is tömegspektrometriás technikákat alkalmazni?
11. Nevezzen meg három, a környezetanalitikában elterjedt elemanalitikai technikát.

Immunológiai módszerek

Vízanalitikában elsősorban a kékalgákban megjelenő toxinok kimutatásában van jelentősége. A folyadék kromatográfia mellett jut szerephez, vannak gyorsan kivitelezhető változatai is.

ELISA (Enzyme Linked Immunosorbent Assay) módszer:

A legelterjedtebben alkalmazott, antigén-antitest kölcsönhatáson alapuló nem radioaktív immunoassay az ELISA (59. ábra). A vizsgálat egy szilárd fázisú enzimimmunpróba (EIA) típusát használja egy ligandum (általában egy fehérje) jelenlétének kimutatására folyékony mintában a mérendő analit ellen irányuló antitestek segítségével. A reakció általában egy 96 lyukú lemezen (ELISA plate) játszódik le, számos típusa (direkt, indirekt, szendvics stb.) létezik. Az ELISA legegyszerűbb formájában (direkt ELISA) a vizsgálandó mintából származó antigéneket egy felülethez rögzítik. Ezután egy megfelelő (az antigénre specifikus) antitestet visznek a reakciótérbe, amelyre előzetesen egy enzimet kötöttek. Az enzimmel kötött antitest kapcsolódik a mintából származó antigénhez. A nem kötődött antitestek kimosódnak. Az utolsó lépésben az enzim szubsztrátját tartalmazó anyagot adnak a reakcióhoz. Az enzim és a szubsztrátja közötti reakció leggyakrabban színváltozást eredményez, amelynek erőssége arányos a megkötődött antitestek mennyiségével. A színváltozást egy speciális fotométerrel, ELISA reader segítségével lehet meghatározni (ld.: *Molekulaspektroszkópiai módszerek*). Az ELISA-t analitikai módszerként használhatjuk a vízanalitikában, például nagyméretű alga toxin molekulák kimutatására.



59. ábra **A direkt ELISA sémája**

(forrás: PTE-KK, Immunológiai és Biotechnológiai Intézet, Gyakorlati jegyzet)

Ökotoxikológiai módszerek

A toxikológiai tesztek segítségével kimutatható az élő szervezetekre káros hatású (nem feltétlenül ismert összetételű) anyagok jelenléte a vizsgált környezeti mintában. *Az ökotoxikológia részletesebben az „Ökotoxikológiai vizsgálatok a környezeti kockázatbecslésben” c. fejezetben kerül bemutatásra. Ebben a részben elsősorban az ökotoxikológia gyakorlathoz tartozó fogalmak, szabványok, és vizsgalattípusok bemutatása a cél.*

A toxicitás mérésére szolgáló biológiai módszerek

1. Biokémiai eljárások: általában enzimek vagy enzimrendszerek aktivitásának gátlásával határozzák meg a mérgező anyag mennyiségét.
2. Élőlénytesztek: különböző rendszertani csoportokba tartozó élőlények, izolált szervek vagy természetes állományok reakcióját vizsgálják a mérgező anyag különböző koncentrációinak hatására, egy kontrollcsoporttal szemben. A kontrollcsoport egyedei nincsenek kitéve az adott hatás(oknak), de egyéb körülményekben megegyeznek a kezelt csoporttal. A vizsgált hatás lehet pusztulás, alaktani, szaporodásbiológiai, táplálkozásbiológiai vagy egyéb élettani reakció. Csak többféle teszt együttes értékelése alapján lehet megállapítani a vizsgált minta veszélyességét. (Az állati tesztek segítségével például az idegrendszert károsító anyagok mutathatók ki hatékonyan, míg a növényi tesztekkel például a fotoszintézis-gátlók vagy a szöveti differenciálódásra ható anyagok.)
 - a) akut tesztek: időtartamuk 6-96 óra
 - b) krónikus tesztek: időtartamuk 20-30, ritkán akár 200 nap.
3. Mutagén hatást kimutató tesztek: a DNS-nek a vizsgálati anyag hatására bekövetkező örökletes változásait mutatja ki.
4. Karcinogén hatást kimutató tesztek: a vizsgálati minta rosszindulatú daganat képződését előidéző képességét mutatja ki (megjegyzésként: minden karcinogén mutagén, de nem minden mutagén karcinogén). Ez azt jelenti, hogy a DNS örökletes megváltozása nem feltétlenül vezet rosszindulatú daganat kialakulásához.
5. Hormonháztartást zavaró anyagok kimutatása: a környezetünkben számtalan mesterséges és természetes anyag van, amelyek képesek megzavarni az élőlények hormonháztartását. Vizsgálatok segítségével kimutatható, hogy egy anyagnak vagy keveréknek van-e hormonháztartást zavaró hatása, és az milyen mértékű. Egyik fontos ilyen vizsgálat a YES (Yeast Estrogen Screen) teszt, amely az ösztrogén rendszert megzavaró molekulák kimutatására alkalmas, egy módosított élesztőtörzs segítségével.

A leggyakrabban használt toxikológiai fogalmak:

Dózis-hatás összefüggés: azt az összefüggést írja le, hogy a növekvő dóziséjú szennyező anyag hogyan befolyásolja a célszervezetre gyakorolt hatást. (60. ábra).

LC (letális koncentráció): azt a méreganyag-koncentrációt fejezi ki, amely az élőlények pusztulását okozza. Ebben az esetben az élőlények szervezetébe jutó mennyiség nem ismert.

LC₅₀ (közepes letális koncentráció): azt a koncentrációértéket fejezi ki, amelynél az élőlények fele elpusztul. LC₉₀ az a koncentráció, ahol a célszervezetek 90%-a elpusztul.

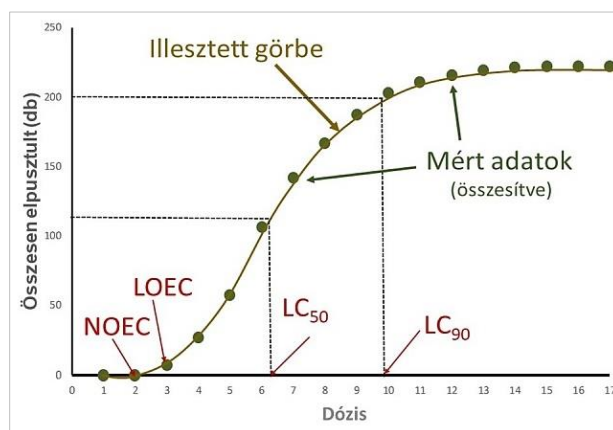
EC (effektív koncentráció): az LC-hez hasonló fogalom, azzal a különbséggel, hogy nem pusztulást, hanem valamilyen egyéb élettani hatást (pl. szaporodást, növekedést) vizsgálunk.

NOEC: Ártalmatlan koncentráció: az a legnagyobb koncentráció, amely még nem okoz hatást.
LOEC (Lowest Observable Effect Concentracion): az a legkisebb koncentráció, amelyeknél már mutatkozik hatás a célszervezeten.

Dilutio (hígítás): szennyvizek, környezeti és ismeretlen összetételű minták esetében a mérgezőképeességet a hígítással fejezzük ki.

Például a $dil\ TL$ ($Toxic\ Level$)_m azt a hígítási értéket jelenti, amelynél a tesztszervezetek fele elpusztul, vagy a vizsgált élettani folyamat intenzitása a felére csökken; a $dil\ TL_0$ az a hígítás, amelynél károsodás nem mutatható ki; a $dil\ TL_{100}$ pedig az a hígítás, amelynél az összes tesztszervezet elpusztul, illetve az életjelenségek megszűnnek.

A vizsgált minta *hígítási igénye* az a vízmennyiség, amely az ártalmatlan koncentráció eléréséhez szükséges. A vizsgált anyag *biztonságos koncentrációja* az az érték, amelynél a tesztszervezetek még, vagy már nem károsodnak. Közelítő értéke általában $0,1 \times LC_{50}$. Ha csak a $dil\ TL_m$ ismert, akkor a *biztonságos hígítás* $10 \times dil\ TL_m$.



60. ábra Dózis-hatás összefüggés

(forrás: Dr. Bakonyi Gábor: Bevezetés az ökotoxikológiába, Egyetemi jegyzet, Szent István Egyetem 2020)

Általánosan alkalmazott, akut víztoxikológiai vizsgálati módszerek:

Víztoxikológiai tesztek során közvetlen vizes közeg toxicitását határozzuk meg. Ez lehet valamilyen környezeti minta, amelyből nem kell kivonatot készíteni, vagy valamilyen ismert kémiai anyag. A tesztszervezetekre gyakorolt hatást vetjük össze a kontrollal.

1. Daphnia-teszt (MSZ EN ISO 6341:2013)

- tesztszervezet: egynapos Daphnia (ágascsapú rák)
- a teszt időtartama: 48 óra
- vizsgált hatás: a mozgásképeség gátlása
- az eredmény megadása: EC_{50} , TL_m vagy $dil\ TL_m$.

2. Halteszt (MSZ 22902-3:1990)

- tesztszervezet: szivárványos guppi
- a teszt időtartama: 48 óra
- vizsgált hatás: pusztulás
- az eredmény megadása: LC_{50} , TL_m vagy $dil\ TL_m$.

3. Algateszt (MSZ EN ISO 8692:2012)

- tesztszervezet: egysejtű zöldalga
- a teszt időtartama: 72óra
- vizsgált hatás: a szaporodás változása (gátlás, illetve serkentés)
- az eredmény megadása: EC₅₀, TL_m vagy dil TL_m.

4. Csíranövényteszt (MSZ 22902-4:1990)

- tesztszervezet: fehér mustár magjai
- a teszt időtartama: 72 óra
- vizsgált hatás: a gyökérnövekedés gátlása
- az eredmény megadása: EC₅₀, TL_m vagy dil TL_m.

Egyéb közegek ökotoxikológiai vizsgálati módszerei

Léteznek szárazföldi és talaj-ökotoxikológiai vizsgálatok, amelyek célja annak meghatározása, hogy a különböző szennyező anyagok milyen hatással vannak a talajlakó szervezetekre és a talaj ökoszisztémájára. Ezek a tesztek különböző szervezeteket használnak bioindikátorként, például egysejtűeket, fonálférgeket, gyűrűsférgeket és ugróvillásokat. Az egysejtűek, mint például az amőbák és ciliáták, érzékenyek a szennyező anyagokra, és változásaik jelzik a talaj egészségi állapotát. A fonálférgek (Nematoda) szintén fontos bioindikátorok, mivel széles körben elterjedtek és gyorsan reagálnak a talajminőség változásaira. A gyűrűsférgek (Annelida), mint a földigiliszták, kritikus szerepet játszanak a talaj tápanyagciklusában, és jelenlétük vagy hiányuk jelentős ökológiai információt hordoz. Az ugróvillások (Collembola) érzékenyek a talajszennyezésre, különösen a peszticidekre és nehézfémekre, így hasznosak a talajszennyezés korai felismerésében. Ezek a tesztek standardizált protokollok alapján történnek, (például OECD irányelvek szerint), hogy összehasonlítható és reprodukálható eredményeket biztosítsanak.

A tesztszervezeteket a folyékony, iszapszerű, valamint a szilárd hulladékok kivonatából kapott folyékony fázis különböző arányú hígításaival kezeljük. A mérgező hatásra, vagyis a hulladékok környezetkárosító hatására a kontrollhoz viszonyított hatás mértékéből következtetünk.

Az ökotoxikológiában a víztoxikológiai módszerekhez hasonló, de azokkal nem egészen azonos vizsgáló módszereket alkalmaznak (pl. a Daphnia-teszt a víztoxikológiában 1 napos állatokkal, míg az ökotoxikológiában 1-4, illetve 4-6 napos állatokkal zajlik).

Az ökotoxikológiai vizsgálati szabványok két részre bonthatók: az egyik szabványsorozat a veszélyes hulladékok (ez lehet folyékony és szilárd) vizsgálatának szabályait írja elő, a másik a települési szilárd hulladékok kivonatának vizsgálatát.

A veszélyes hulladékok vizsgálatára vonatkozó szabványok: MSZ 21978-13:1985 – Daphnia-teszt; MSZ 21978-3:1986 – halteszt; MSZ 21978-2:1986 – algateszt; MSZ 21978-8:1985 – csíranövényteszt, MSZ 21978-30:1988.- *Azotobacter agile* teszt.

A települési szilárd hulladékok vizsgálatára vonatkozó szabványok: MSZ 21976-18:1993 – Daphnia-teszt; MSZ 21976-17:1993 – csíranövényteszt.

Ezekon kívül léteznek egyéb ökötoxikológiai vizsgálatok, például a környezetvédelmi talajvizsgálatoknál alkalmazott MSZ 21470-88:1993 számú *Pseudomonas fluorescens* talajtoxicitási teszt.

Veszélyes hulladékok vizsgálata: *Azotobacter agile* teszt és a MSZ 21470-88:1993. Környezetvédelmi talajvizsgálatok: *Pseudomonas fluorescens* talajtoxicitási teszt.

Nagy érzékenységgű, újabb ökötoxikológiai módszerek: Thamnotoxteszt: (MSZ 20359:2003)

- tesztorganizet: a *Thamnocephalus platyurus* evezőlábú rák egy napnál fiatalabb lárvái. A teszt nagy előnye a fent említett Daphnia-teszttel szemben, hogy törzstenyészet folyamatos laboratóriumi fenntartását nem igényli, mivel a lárvák a kereskedelemben kapható cisztákból 16 óra alatt kikeltethetők.
- a teszt időtartama: 24 óra (azaz egy nap alatt eredményt ad)
- a vizsgált hatás: pusztulás
- az eredmény megadása: LC₅₀, TL_m vagy dil TL_m.

Ostracodtox kit: (ISO 14371:2012)

- édesvízi üledékek toxicitásának megállapítására használható direkt érintkezésen (nem kell kivonatot készíteni) alapuló érzékeny vizsgálat
- tesztorganizet a *Heterocypris incongruens* üledéklakó rák
- kereskedelmi forgalomban kapható tesztkit, nem kell fenntartani a tenyészetet
- szubkrónikus vizsgálat 6 napos
- 2 végpontja van, az egyik a növekedés gátlás, a másik a pusztulás.

Mintavétel és mintaelőkészítés az ökötoxikológiai vizsgálatokhoz

Folyékony minták esetében legtöbbször nem szükséges különösebb mintaelőkészítés a vizsgálat előtt. Szennyvizeknél esetleg előfordulhat, hogy le kell szűrni a mintát a teszt beállítása előtt. Hogyha egy természetes vízmintában nagyon alacsony az oldott oxigén koncentrációja, akkor a mintát át lehet levegőztetni a teszt előtt, vagy a teszt közben is. Így elkerülhetjük, hogy a minta toxicitása helyett az oxigén hiánya okozza a hatást. Szilárd mintákból általában valamilyen vizes kivonatot képezünk, amellyel már meg lehet csinálni a vizsgálatot.

Erre többféle szabvány létezik, kiválaszthatjuk azt, amelyik a céljainknak leginkább megfelel. Vízben jól oldódó kémiai anyagoknál egyszerűen elkészítjük a megfelelő koncentrációjú oldatot, ez már felhasználható vizsgálatához. Abban az esetben, hogyha vízben nem oldódik a vizsgálandó anyag, akkor valamilyen oldószer segítségével vihetjük vizes oldatba. Ebben az esetben nagyon fontos, hogy készítsünk úgynevezett oldószeres kontrollt is, hogy lássuk, hogy az oldószernek milyen hatása van a tesztorganizetünkre.

Ellenőrző kérdések – Ökotoxikológia

1. Milyen fő biológiai módszerek léteznek a toxicitás mérésére?
2. Mit jelent az LC₅₀ kifejezés?
3. Melyek a leggyakrabban használt mutatók, amelyek egy minta toxikusságát jellemzik?
4. Melyek a leggyakrabban használt tesztorganizmusok?
5. Milyen élőlényt használnak a YES teszthez?
Milyen jellegű anyagokat mutathatunk ki a segítségükkel?
6. Mi az oldószeres kontroll? Mikor szükséges ilyet alkalmazni?

Mikrobiológiai vizsgálati módszerek

A higiénés mikrobiológia alapelvei

A környezeti elemek mikrobiológiai vizsgálata ún. indikátor mikroorganizmusok, mikroorganizmus csoportok vagy lehetséges kórokozók kimutatását, és legtöbbször számszerű meghatározását jelenti.

A ma leginkább elfogadott nomenklatura szerint az index (vagy indikátor) mikroorganizmusok valamilyen szennyezés hatását, és közvetett módon az egészséget fenyegető kórokozók jelenlétének lehetőségét jelzik, sőt számszerű kimutatási eredményük alapján az általuk okozható fertőzési kockázat valószínűségére is következtetni lehet. Általában a fekális szennyezettség és a széklet-száj úton terjedő (enterális) kórokozók jelzésére alkalmazzuk ezt a koncepciót.

A nemzetközi szakirodalomban ezeket ma már inkább index mikroorganizmusoknak nevezik, és indikátorként egy konkrét behatás, például egy vízkezelési eljárás hatásának a mérésére alkalmazott mikroorganizmusokat definiálnak.

A magyar szaknyelvben azonban egyelőre még nem terjedt el az ilyen megkülönböztetés, és továbbra is az „indikátor” jelzőt használják az index mikroorganizmusokra is.

Ahhoz, hogy egy mikroorganizmust vagy mikroorganizmusok egy csoportját indexként (indikátorként) vehessünk figyelembe a klasszikus meghatározás szerint az alábbi feltételek teljesülése szükséges:

- azonos az élőhelyük azokkal a mikroorganizmusokkal, amelyek jelzésére kívánjuk felhasználni őket;
- az élőhelyükön (pl. az állati szervezet bélcsatornáján) kívül nem képesek szaporodni;
- a környezetben hasonló módon viselkednek a jelzett kórokozókkal és a természetes és mesterséges behatásokkal szembeni érzékenységük hasonló;
- számuk élőhelyükön és a szennyezett környezetben sokszorosan meghaladja a jelezni kívánt kórokozókét;
- kimutatásuk egyszerű és olcsó, nagy tömegben végzett kvantitatív vizsgálatra alkalmas.

A felsorolt feltételek teljes mértékben egyetlen mikroorganizmus csoport esetében sem teljesülnek tökéletesen, és például a fent említett fekális szennyezettséggel a környezetbe kerülő enterális kórokozók közül csak egy viszonylag szűk csoport- az enterális kórokozó baktériumok olyanok-, amelyekre többé-kevésbé megfelelő indikátorokkal rendelkezünk.

Ilyenek az *Escherichia coli* és a fekális enterococcusok. A patogén protozoonok vagy az enterális vírusok jelenlétének jelzésére nem áll rendelkezésünkre alkalmas mikroorganizmus, bár korábban ivóvízben a *Clostridium perfringens* a protozoonok előfordulásának, illetve az eltávolítási hatások indikátorának tekintették. Az újabb javaslatok szerint a vízben előforduló protozoonokra nem mikrobiológiai jellegű indikátorként a zavarosság alkalmazható, elsősorban a flokkulációt és szűrést alkalmazó tisztítási technológiák esetén. A fertőtlenítési technológiák vírus-eltávolítási hatásfokának jellemzésére használhatóak a szomatikus colifágok. Ezek olyan baktériumokat fertőző vírusok, amelyek elsősorban az *E. colit* és közeli rokonait fertőzik, de jelenlétük nem jelez feltétlenül fekális szennyeződést.

A mikrobiológiai technikák fejlődésével ma már lehetőség van a környezeti kórokozók többségének közvetlen kimutatására is. Molekuláris biológiai technikákkal vírusokat és protozoonokat is lehetséges kimutatni, amelyeknek elsősorban járvány kivizsgálása esetében van jelentősége.

A vízhygiénében számos nem fekális szennyezettséget jelző indikátornak is fontos szerepe van. A *Pseudomonas aeruginosa* ivóvízhálózatokban vagy medencés fürdőkben azt jelzi, hogy a rendszerben fennáll a biofilmképződés, valamint a hálózati utószaporodás kockázata, emellett elsősorban kórházi ivóvízhálózatok közvetítésével vagy melegvizes medencékben megbetegedést is okozhat.

Közfürdőkben a bőr eredetű baktériumok (staphylococcusok és micrococcusok) feldúsulása jelzi a medence túlzott terhelését vagy a nem megfelelően működő vízkezelési technológiát.

Mintavétel és mintaelőkészítés mikrobiológiai vizsgálatokhoz

Vízminták esetén a mintavétel módját és gyakoriságát elsődlegesen a vizes közeg jellege (pl. csapvíz, medencevíz) és a keresett mikroorganizmus (tenyésztési idő, feldolgozási térfogat stb.) határozza meg, a különböző vonatkozó jogszabályok és szabványok pedig hatósági és szakmai kereteket szabnak a folyamatoknak. Lényeges, hogy a vizsgálatok során csak a mintában található mikrobákat mutassuk ki, így minden esetben steril mintavételi edényzetet kell használni, a mintavétel során is törekedni kell arra, hogy a minta ne szennyeződjön (pl. a mintavevő keze vagy a környezetből bekerülő egyéb anyagok által). Ez víztípustól függően megoldható a víz folyatásával, a mintavételi csap előzetes szanitálásával, vagy felszíni víz esetén a mintavételi edényzet adott vízzel történő átöblítésével. A minta a teljes víztérfogat része, valós eredmények eléréséhez fontos, hogy a minta összetétele a feldolgozásig ne változzon. Mivel élő szervezetek kimutatása a cél, mikrobiológiai minták esetén fontos a minták mielőbbi, legfeljebb 24 órán belüli feldolgozása. Kezelt vizek (pl. ivóvíz, medencevíz) esetében a fertőtlenítőszer semlegesítése szükséges (pl. klóros fertőtlenítő esetén tioszulfáttal), hogy a mikrobák ne károsodjanak. A minták szállításához és tárolásához fénytől és sugárzástól védett, hűvös környezetre van szükség.

A környezeti higiénés mikrobiológiai vizsgálati módszerek alapjai

A környezeti higiénés mikrobiológiában alkalmazott módszerek többsége egy adott baktériumcsoport szelektív kitenyésztésén és megszámlálásán alapul, azonban a legrégebb óta alkalmazott vízbakteriológiai indikátor az ún. összcsíraszám (másnéven heterotróf telepszám) esetében szelekció nélkül az összes, az adott körülmények (tápanyagok, inkubációs hőmérséklet és idő) között telepet képző mikroorganizmus (baktérium és gomba) számának meghatározása a cél.

A **szelektív** módszerek olyan gátló anyagok és körülmények (pl. inkubációs hőmérséklet, anaerobizmus) alkalmazásán alapulnak, melyeket egy adott mikroorganizmus csoport még tolerálni képes, mások viszont már nem. Emellett sok esetben antimikrobiális anyagokat használnak a kimutatást zavaró mikroorganizmusok visszaszorítására.

A **differenciáló** módszerek hagyományosan a mikroorganizmusok adott táptalajon mutatott telepmorfológiáján vagy specifikus biokémiai reakcióin alapulnak, amelyek segítségével a keresett faj vagy csoport elkülöníthető az egyéb mikroorganizmusoktól. Ilyen klasszikus reakció például tejcukorból savképzés kimutatása sav-bázis indikátor segítségével a coliform baktériumok esetén, vagy vas kicsapódás a szulfátredukáló mikroorganizmusoknál.

A modern szabványok elsősorban a kromogén vagy fluorogén szubsztrátanalógok használatán alapulnak, amelyek közvetlenül az enzimaktivitást mutatják ki a színtelen szubsztrátból színes termék képződésével. A kromogén vagy fluorogén tápközegek alkalmazása csökkenti a vizsgálat idő- és anyagigényét, mivel már az első izolálásnál lehetőség nyílik akár többféle enzim jelenlétének kimutatására. A legtöbb rutin analitikában alkalmazott módszer szelektív és differenciáló egyben. Megjegyzendő, hogy ezek a módszerek sohasem működnek annyira tökéletesen, hogy egy táptalajon kizárólag a kimutatni kívánt mikroorganizmus legyen képes növekedni. A legtöbb esetben szükség van a típusos telepek további vizsgálatára is (megerősítő vizsgálatok).

A vizsgálati módszerek lehetnek kvalitatívak („minden vagy semmi” típusú tesztek, amikor csak azt vizsgáljuk, hogy az adott mikroorganizmus jelen van-e a vizsgált mintában vagy nincs) vagy kvantitatívak, amikor az adott csoportba tartozó mikroorganizmusok számát is meg kívánjuk határozni. Utóbbi esetben többféle módszer áll rendelkezésünkre.

A tápagon történő tenyésztési módszerek esetén az agar lemezöntés vagy a közvetlen szélesztés módszerét akkor alkalmazzuk, ha a mintában várhatóan nagy számban lesz jelen a keresett mikroorganizmus és egy lépésben meghatározható (nincs szükség szelekcióra vagy a módszer biztosítja a keresett mikroorganizmus szelekcióját, illetve differenciálását). Az **agar lemezöntés** során a megfelelő mintarészletet összekeverjük a steril, felolvasztott táptalajjal, majd megdermedés után inkubáljuk. Az inkubációt követően az összes, vagy szelektív-differenciáló módszerek esetén a típusos telepeket megszámláljuk és a számot egységnyi mintatérfogatra (1 ml, 100 ml stb.) vonatkoztatjuk.

A **szélesztési** módszer esetében szilárd táptalaj felszínén egyenletesen eloszlatunk változó térfogatú (leggyakrabban 100 µl, maximum 500 µl) mintát. A módszer előnye, hogy a kifejlődött telepek tovább vizsgálhatóak, ugyanakkor a kimutatási határ a kis feldolgozott térfogat miatt nagyon alacsony (a szélesztést koncentrálnálási lépések előzhetik meg, bonyolultságuk miatt azonban ezeket ritkán használják).

A **membránszűrés** módszert olyankor alkalmazzuk, amikor a keresett mikroorganizmus várhatóan nincs vagy csak kis számban van jelen a mintában, és ezért annak koncentrálására van szükség a kimutatáshoz, illetve a számszerű meghatározáshoz. Ebben az esetben a minta megfelelő mennyiségét (100 ml, 1 liter stb.) egy olyan, általában cellulóz-észter anyagú kis (0,2-0,45 µm átmérőjű) pórusokkal ellátott, vékony membránszűrő lapon szűrjük át, melyeken a víz és az oldott anyagok átjutnak, a baktérium- és gombasejtek viszont fennakadnak.

Ezután a szűrőlapot megfelelő összetételű, (általában szelektív-differenciáló) táptalajra helyezzük, ahol az inkubáció során a táptalajból a szűrőlap felszíne felé irányuló diffúzió révén biztosított a mikroorganizmusok szaporodása. A leolvasás során a jellemző küllemű telepeket számláljuk meg. Szükség esetén megerősítő vizsgálatok alkalmazása után adjuk meg az

eredményt egységnyi mintatérfogatra. A membránszűrési módszer előnye, hogy a kimutatási határ igen alacsony is lehet (az átszűrt mintatérfogattól függően), ugyanakkor a baktériumok egy része rosszul növekedik membránfilteren.

A tápagon tenyésztéssel meghatározható telepszám viszonylag szűk határok között mozog. Így általában csak olyankor alkalmazható, ha a keresett mikroorganizmusok száma nagyjából előre becsülhető, vagy azt egy rögzített határértékhez viszonyítva kívánjuk vizsgálni (azaz a meghatározás statisztikai értelemben vett pontossága nem elsődleges szempont). Amennyiben a kimutatott telepszám kisebb, mint 4, a meghatározás pontossága olyan csekély, hogy csak egy „minden vagy semmi” teszt eredményeként értékelhető.

A megfelelő pontossággal vizsgálható telepszám felső határa módszerenként változó: amennyiben a keresett mikroorganizmus telepei relatíve kicsik a felső határ 100-200 telep/filter körüli (telepmikroszkóp alkalmazása esetén tovább növelhető), míg nagy és nehezen elkülöníthető telepek esetén ez a határ akár 15-20-ig is lecsökkenhet. Nagyszámú egyéb mikroorganizmus jelenléte esetén a kimutatandó szervezetek elkülönítése nehezzé, sőt akár lehetetlenné is válhat, ezek a szervezetek elnyomhatják a keresett baktérium telepeit. Ilyen esetekben a mintát értékelhetetlennek kell tekinteni. A membránszűrést kvalitatív vizsgálat esetén is alkalmazzuk, ekkor ennek a célja kizárólag a vízminta koncentrációja. Az MSZ EN ISO 8199 szabvány részletesen leírja, hogy mely csíraszám tartományok tekinthetők értékelhetőnek az egyes módszerek esetében.

Várhatóan nagyszámú egyéb mikroorganizmus előfordulása esetén (pl. fürdővíz vagy szennyvíz vizsgálatok), vagy ha a csíraszám nagyon tág határok között változhat, kerülhet sor a **csőhígításos vagy határhígításos** módszer alkalmazására, melyet angol rövidítéssel MPN-módszernek (Most Probable Number, azaz a legvalószínűbb szám alapján) is neveznek. Ebben az esetben a szelektív-differenciáló tenyésztést a minta többféle hígításával és/vagy több párhuzamos leoltással, folyékony táptalajban végezzük. Ebben az esetben is van mód megerősítő vizsgálatok végzésére, azonban az elkülönült telepek hiánya miatt jóval bonyolultabb. Emiatt a modern szabványok MPN módszerek esetében általában nem alkalmaznak további megerősítő vizsgálatokat.

A számszerű eredményt a pozitív és negatív edények száma/aránya alapján kész statisztikai táblák (ún. MPN táblázatok) vagy egyszerű számítógépes program segítségével kapjuk meg.

Az eredmény pontossága a párhuzamos leoltások számától és a pozitív és negatív edények arányától függ (30-40 párhuzamos leoltás és 1:1-hez közeli arány esetén a pontosság már eléri az egyetlen membránszűrő alkalmazásával elvégzett közvetlen telepszám meghatározáson alapuló meghatározását). A mikroorganizmusok anyagcseréje és szaporodása tekintetében is előnyösebb a folyadékkultúrában történő tenyésztés, mint a membránszűrőn történő. Az MPN módszereknek (elsősorban ezek kevésbé munka- és anyagiigényes ún. miniatürizált változatai) egyre elterjedtebbek a higiénés mikrobiológiában. Ezek nagyszámú (mikrotiter lemezen akár 96) párhuzamos észlelést tesznek lehetővé. Az alkalmazott hígításoktól függően 3-5 nagyságrend tartomány is lefedhető.

A legfontosabb rutin vízmikrobiológiai vizsgálati módszerek

A legtöbb vízmikrobiológiai paraméter vizsgálatára többféle alternatív módszer is rendelkezésre áll, azonban minőségellenőrzési célra csak a vonatkozó szabványokban előírt módszerek alkalmazása engedhető meg. Az ivóvíz vizsgálatára alkalmazandó módszereket az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet 3. sz. melléklete határozza meg. A rendelet előírása szerint alternatív módszer csak akkor használható, ha arról bebizonyították, hogy legalább olyan megbízható, mint az előírt módszer és használatát a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ az Európai Bizottsággal engedélyeztette.

(Heterotróf) telepszám

A vízminőség vizsgálata során a telepszám általában párhuzamosan 36°C-on (48 órás inkubációval) és 22°C-on (72 óra inkubációval) határozható meg, mivel a kétféle hőmérséklet különböző csoportokba tartozó mikroorganizmusok szaporodását támogathatja. A vizsgálat körülményeit az MSZ EN ISO 6222:2000 szabvány írja elő. A tiszta ivóvízben az így kimutatható mikroorganizmusok száma jellemzően igen alacsony, bár a rendszer sajátosságaitól (nyersvíz csíraszama, hőmérséklete, szervesanyag-tartalma, fertőtlenítés módja) függően változó lehet. Emiatt egységes határérték nem adható meg, a higiénés értékelés alapját a telepszám változás adja. A heterotróf összes telepszámba tartozó mikroorganizmusok általában nem jelentenek közvetlen egészségkockázatot. Fontos megjegyezni, hogy a paraméter nem az összes baktérium-sejtszámot jellemzi, mivel a fenti tenyésztési körülmények csak a mikroorganizmusok egy szűkebb (aerob, magas tápanyagot kedvelő) csoportjának megfelelőek.

A szokottnál kiugróan nagyobb telepszám, illetve annak kedvezőtlen, trendszerű változása azonban a kezelés és fertőtlenítés hiányosságairól, a vízellátó rendszer külső (csőrepedés, környezeti kommunikáció) vagy belső (hálózati utószaporodás) szennyezettségéről tájékoztat. Ezért mind a telepszám hirtelen, nagyobb mértékű változása, mind fokozatos, de tartós növekedése megfelelő intézkedések szükségességére hívja fel a figyelmet.

Az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet csak a 22°C-os telepszám rendszeres ellenőrzését írja elő, azonban tartályban forgalmazott, és 20°C-nál melegebb vizek esetén a 36°C-os telepszám vizsgálata is kötelező.

Coliform baktériumok és *E. coli*

Az *Escherichia coli*, mint az ember és a melegvérű állatok bélflórájának obligát tagja, már több, mint 100 esztendeje célpontja a vizek széklet eredetű szennyeződésének kimutatását célzó vizsgálatoknak. Korábban a kimutatás módszertani nehézségei miatt az *E. coli* helyett a hozzá hasonló (az aerob baktériumok között a tejcukor fermentáció viszonylag ritka képességével rendelkező) és az esetek többségében ugyancsak a székletből származó ún. coliform baktériumokat, majd később ezeknek egy szűkebb, a laktózt megemelt hőmérsékleten is bontó csoportját, az ún. termotoleráns vagy fekál coliformokat is vizsgáltuk. Mivel azonban ma már egyértelmű bizonyítást nyert, hogy a vízben található coliformok gyakran nem fekális eredetűek (még a termotoleráns coliformok sem), és mivel az *E. coli* kimutatására már egyszerű módszerek állnak rendelkezésre, csak az utóbbiakat tekintjük (a fekális enterococcusokkal együtt) a székletből eredő szennyezettség és így közvetlen egészségkockázat indikátorának.

A coliformok számszerű meghatározására irányuló vizsgálatok a vízmikrobiológiában háttérbe szorulnak; egyedül az ivóvíz ellenőrző vizsgálatában van jelentőségük, azonban itt sem a korábbi szerepükben, hanem a heterotróf telepszámmal együtt, az ivóvíz és a vízellátó rendszer általános bakteriológiai szennyezettségének indikátoraként. Kimutatásuk módszereit az MSZ EN ISO 9308 szabványsorozat tartalmazza. A vizsgált víz jellegétől függően három módszer áll rendelkezésre a kimutatásra: az MSZ EN ISO 9308-1:2015 szabvány a membránszűrési módszert, az MSZ EN ISO 9308-2:2014 egy ivó- és fürdővizek vizsgálatára kidolgozott MPN módszert, míg az MSZ EN ISO 9308-3:2000 a várhatóan szennyezettebb felszíni- és szennyvizekre is alkalmazható MPN módszert írja le.

Membránszűrési módszer esetében egy kromogén szubsztrátanalógokat tartalmazó szelektív táptalajon vizsgáljuk a baktériumtelepek glükuronidáz és galaktozidáz enzim képességét. A coliform és *E. coli* gyanús telepekből megerősítő reakciót (oxidáz teszt esetleg indolképzés kimutatása) végzünk. A módszer csak nagyon tiszta vizek esetében használható (pl. ivóvíz vagy fertőtlenített medencevíz), 24 óra alatt ad eredményt.

Az MSZ EN ISO 9308-2:2014 szabvány szerint végzett MPN módszer esetében a tömény mintából vagy annak egy hígításából egyszerre minimum 51 párhuzamos tenyésztést végzünk mikromódszer segítségével. Ebben az esetben is fluorogén és kromogén szubsztrátok galaktozidáz és glükuronidáz enzimmel végzett bontását vizsgáljuk, így további biokémiai reakciók nélkül elkülöníthetők a coliform szervezetek és az *E. coli*. A módszer alsó kimutatási határa megegyezik a tenyésztéssel, vagy még érzékenyebb is annál, ezen felül nagy előnye, hogy a tápközeg szelektivitása miatt magas háttérflóra jelenlét mellett is képes kimutatni a keresett szervezetet, megerősítő biokémiai reakciókat nem igényel. Kevesebb mint 24 óra alatt ad eredményt.

Az MSZ EN ISO 9308-3:2000 módszer a mikrotiter lemezen, lemezenként akár több hígításban végezhető tenyésztési módszert írja le. Ebben az esetben kizárólag az *E. coli* baktériumok kimutatása történik glükuronidáz aktivitás alapján fluorogén szubsztrátanalóg segítségével. Az alsó kimutatási határ ugyan meglehetősen magas (15/100 ml), így ivóvíz esetén nem alkalmazható, a felső azonban tág határok között változtatható, a minta feltételezett szennyezettségétől függően.

Fekális enterococcusok

Az *Enterococcus* baktériumcsoport legelterjedtebb képviselői (*E. faecalis*, *E. faecium* stb.) jelentős számban (10^5 - 10^7 /g) fordulnak elő az ember és a melegvérű állatok bélcsatornájában; ezért, valamint relatíve jelentős környezeti rezisztenciájuk alapján az *E. coli* mellett a legalkalmasabb és leggyakrabban alkalmazott „fekális indikátorok”. A legújabb adatok szerint például természetes fürdővíz esetén az *E. coli*-nál is jobb indikátorai a fürdéssel kapcsolatos, fekális szennyezésből eredő egészségkockázatoknak.

Kimutatási módszereit az MSZ EN ISO 7899 szabványsorozat tartalmazza: az MSZ EN ISO 7899-1:2000 egy miniatűr MPN módszert ír le, amely specifikus enzimreakción alapul. A 2. rész az ún. m-*Enterococcus* módszert adja meg, amely egy szelektív membránszűrési módszer.

Alapja az enterococcusok rezisztenciája a nátrium-azid olyan koncentrációjára, amely minden Gram-negatív és a legtöbb Gram-pozitív baktérium szaporodását is gátolja, továbbá e baktériumok epe-tűrése és az a képessége, mellyel a színtelen eszkulint fekete színű eszkuletinné hidrolizálják.

A nátrium-azid tartalmú táptalajon $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ -on 48 óra alatt kinövő, a rózsaszíntől a sötétbordó színig terjedő telepek közül azok az enterococcusoké, amelyek az eszkulin-epe agarra áthelyezett membránfilteren szürkére vagy feketére színezik a táptalajt. Az izoláláshoz használt ún. Slanezt-Barley médium szelektivitása kiemelkedő, ezen a táptalajon elvértve lehet megfigyelni egyéb mikroba növekedését.

A szulfit redukáló anaerob spórás baktériumok és a *Clostridium perfringens*

Az ember és az állatok vastagbelében uralkodó anaerob körülmények között a bélflóra általában állandó és viszonylag jelentős számban képviselt lakói a clostridiumok, közöttük is elsősorban a *C. perfringens*. Több *Clostridium* faj ismert patogenitásáról és toxintermelő képességéről, ami révén számos betegség (botulizmus, gázgangréna, ételmérgeзések, haemorrhagiás colitis) kórokozói is lehetnek. A széklettel rendszerint a környezeti behatásokra rendkívül rezisztens spóráik ürülnek, amelyek így viszonylag sokáig jelezhetik a fekális szennyeződés hatását, akár annak eliminációját követő hosszabb idő múlva is. A *Clostridium perfringens* a korábban fekális szennyeződés hosszabb távú indikátorának, illetve a protozoonok eltávolítására vonatkozó technikai indikátornak tekintették, de egyik funkciójában sem bizonyult megbízható indikátornak.

Az anaerob spórás *Clostridium* genus legtöbb faja a szulfit aniont kénhidrogénné (szulfiddá) redukálja, és az utóbbinak fémekkel történő reakciói (rendszerint a vassal képzett fekete csapadék) alapján telepeik megfelelő táptalajban kimutathatók és megszámlálhatók.

Számos fajuk (köztük a szempontunkból a legjelentősebb *C. perfringens*) képes oxigén jelenlétében is szaporodni, bár csak viszonylag alacsony parciális nyomás esetén.

A lemezöntéses módszer esetében nem szükséges anaerob légkör generálása, a tápközeg alacsony redoxpotenciálja teszi lehetővé a nem túl szigorúan anaerob szervezetek növekedését. A szulfitredukáló anaerob spórás szervezetek kimutatására ma már elsősorban membránszűrési módszereket alkalmaznak.

A jelenleg érvényes szabvány az MSZ EN ISO 14198:2017 szabvány, miszerint a vízminta koncentrációja membránszűréssel történik, majd a filtert TSC (Tryptose Sulfite Cycloserine) agaron inkubáljuk. A *Clostridium perfringens* elkülönítése a többi szulfitredukáló szervezettől a savas foszfatáz enzim termelése alapján történik.

A membránszűrési módszerek hátránya, hogy az inkubáció idejére anaerob légkört kell biztosítani. Ez anaerob edényben katalizátorok segítségével történhet, vagy nagyobb mintaszám esetén anaerosztátban, gázadagolókkal.

Pseudomonas aeruginosa

A fekális szennyezést jelző baktériumokkal szemben a *Pseudomonas aeruginosa* a vizek természetes mikrobaközösségének alkotója. Szennyezés tehát nem szükséges a megtelepedésükhöz, csupán megfelelő körülmények (pangó vezetékszakaszok, tápanyagtartalom, nagy felület, például vízkő vagy korrózió miatt). A fekális indikátorokkal ellentétben képes a vízben szaporodni, jelenléte biofilm képződésre utal. A biofilm sokféle baktérium közösségéből és nagyrészt az ezeket körülvevő mátrix anyagból áll. Bármilyen élő és élettelen felületen kialakulhat, a biofilmbe szerveződött baktériumok pedig a szabadon élő formáknál jóval ellenállóbbak a környezeti behatásokkal szemben (hő, fertőtlenítőszer, antibiotikum). Megfelelő körülmények között akár több cm vastag lehet, a vízvezeték belső terének nagy részét is kitöltheti. Vízügyi rendszerekben elősegíti a korróziót, ronthatja a berendezések hatásfokát és elősegítheti patogén baktériumok megtelepedését, ami elsősorban egészségügyi intézményekben okoz gondot.

A *Pseudomonas aeruginosa* kimutatását az MSZ EN ISO 16266:2008 szabvány tartalmazza. A membránszűrési módszer szerint a tenyésztés cetrimid-nalidixinsav tartalmú agaron történik, az azonosítás alapja a fluoreszkáló pigment termelés és acetamidből ammóniaképzés.

A baktérium vizsgálatára a jogszabály szerint ivóvízből, palackozott vizekből és medencevízből van szükség. Nem megfelelően kezelt medencevízben erősen elszaporodhat, különböző súlyosságú (bőrkiütés – szepszis) tüneteket okozhat. Kórházi vízügyi rendszerekben elsősorban a szaniterekhez kötötten fordul elő, infekciókontroll részeként a vizsgálata javasolt lenne, de a gyakorlatban nem alkalmazzák.

***Legionella* fajok**

A *Legionella* fajok a *Pseudomonas aeruginosa*hoz hasonlóan hálózati utószaporodásra képes szervezetek. Meleg (20-50°C), pangó vizekben nagymértékben elszaporodhat, onnan a levegőbe jutva pedig súlyos tüdőgyulladást okozhat az arra érzékenyeknél. *Legionella* kolonizáció és fertőzés szempontjából leginkább veszélyeztetettek az egészségügyi intézmények használati melegvíz-rendszerei, a melegvízes aeroszolképző medencék (pl. jakuzzik, élménymedencék), valamint a nedves hűtőtornyok.

A *Legionella* fajok kimutatását az MSZ EN ISO 11731:2017 és az MSZ EN ISO 11731-2:2008 (visszavont) szabvány írja le. Ezek a fajok a természetben egysejtűekben élnek, ezért nehezen tenyésztethetők. A tenyésztésükhöz szabad aminosavakat, vas sókat, valamint aktív szén tartalmazó táptalaj szükséges, a háttér mikrobiótát antibiotikumokkal és savas kezeléssel szorítjuk vissza. A jellegzetes morfológiájú telepek megerősítése cisztein igényük alapján történik.

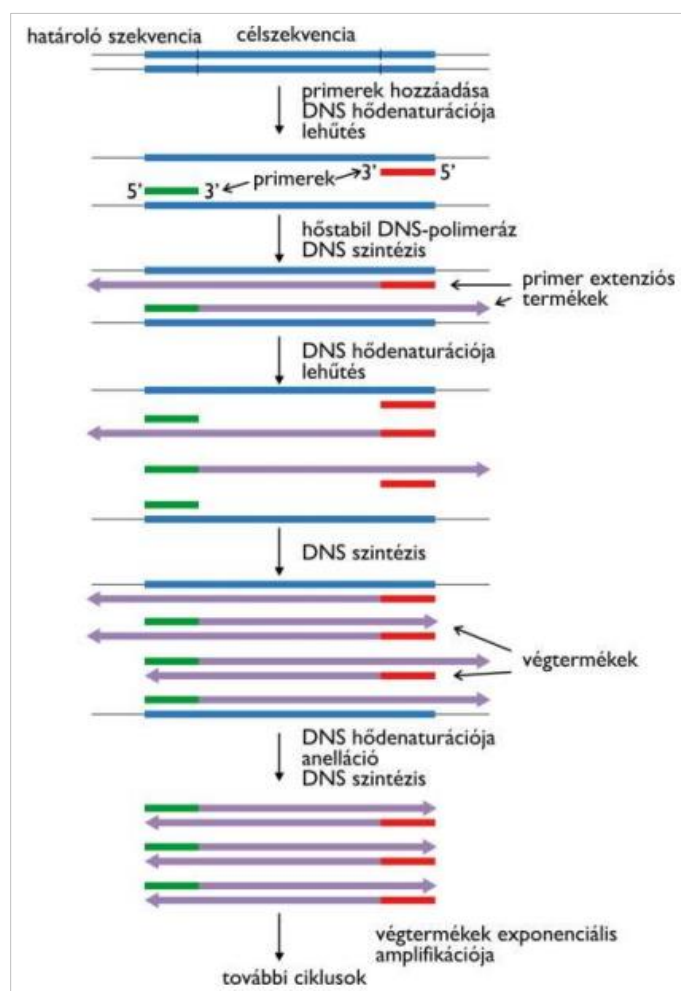
A magas kockázatú létesítményekben a *Legionella* rendszeres ellenőrzését a 49/2015. (XI.6.) EMMI rendelet szabályozza. Ennek értelmében a magas kockázatú létesítmények hideg és meleg vízrendszerét évente, az aeroszolképző melegvízes medencéket és nedves hűtőtornyokat pedig havonta monitorozni kell.

Egyéb, gyakran vizsgált mikroorganizmusok

Medencevízben vizsgálendő paraméterek közé tartozik a *Staphylococcus* és az összes coccus. Mindkettő kimutatása membránszűréssel történik: Vogel-Johnson, illetve sós-véres agaron. Elsősorban járványgyanú esetén vizsgálendő a *Salmonella* jelenléte, ahol a membránszűrési koncentrációt táplevesben végzett dúsítás, majd bizmut agarra történő szélesztés, végül megerősítés követ.

Molekuláris kimutatási módszerek

A nukleinsav kimutatásán alapuló módszereket már több évtizede ismerik és használják víz-minták vizsgálatára, a vizek rutinszerű ellenőrzésére azonban nem terjedt el. Ebben az esetben a mintát valamilyen módszerrel (szűréssel vagy felülethez kötéssel) koncentrálik, a sejteket feltávják, majd a szennyező anyagok, fehérjék és egyéb sejtalkotók eltávolítása után kivonják a minta nukleinsav tartalmát. A keresett mikroorganizmus genomjának egy jellemző szakaszát polimeráz láncreakció (PCR) által megsokszorozzák, így az agaróz vagy poliakrilamid gélben kimutathatóvá válik (61. ábra).



61. ábra A polimeráz láncreakció sémája

(forrás: A biokémia és molekuláris biológia alapjai

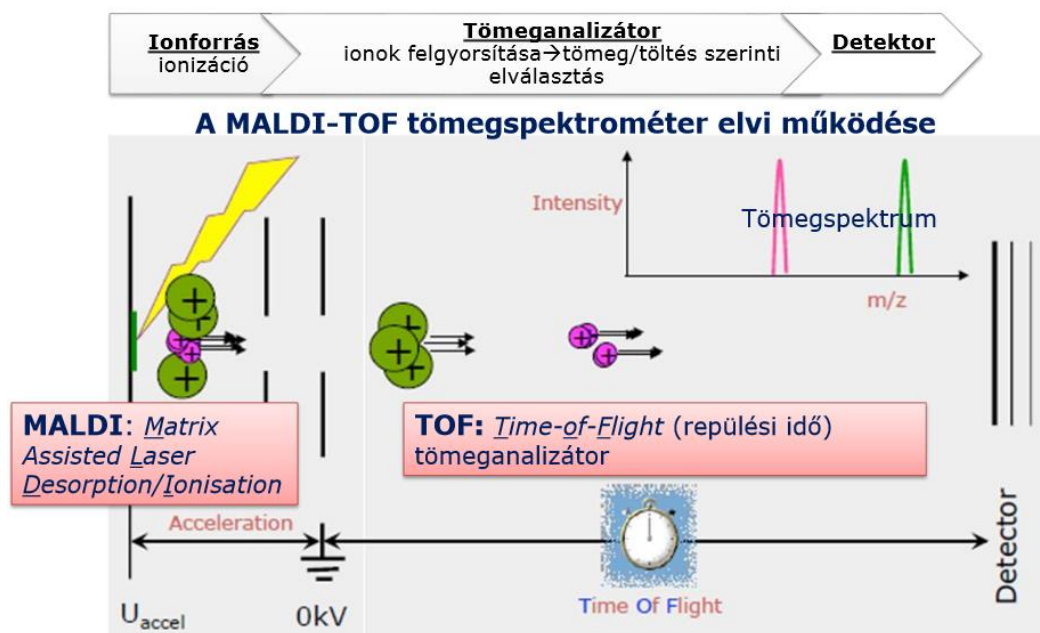
/szerk.: Nyitrai László és Pál Gábor/ ELTE elméleti e-tankönyv)

A hagyományos PCR esetén minőségi (jelenlét/hiány) vizsgálatokra van lehetőség. Kvantitatív polimeráz láncreakció (qPCR) alkalmazásakor azonban mennyiségi meghatározásra is lehetőség nyílik. A minta előkészítése ez esetben is koncentrációval és a nukleinsav kivonásával kezdődik, a genom-szakasz felszaporítása mellett azonban fluoreszcens jel is keletkezik, így valós időben követhetők a folyamatok, és a mintával párhuzamosan futó standard koncentrációjával összevethető a mintában található specifikus örökítőanyag mennyisége.

A molekuláris módszerek előnye, hogy nem igénylik a keresett szervezet tenyésztését, így tápközegen nem tenyészthető baktériumok, vírusok és protozoonok is vizsgálhatóak. Egy esetleges járvány esetében akár órák alatt kimutathatóvá válnak akár veszélyes szervezetek is, amiknek a tenyésztése problémát okozna. Az alsó kimutatási határ a koncentrálási módszertől függően nagyon alacsony is lehet (akár néhány kópia/egy liter minta). Elvileg bármilyen mikroba kimutatható, aminek ismerjük a genomját és fel tudjuk tární a sejtet.

Ugyanakkor a módszer hátránya, hogy általában nem ad információt a mikroba élet- és fertőzőképességéről (bár már létezik módszer a sérült sejtmembránú baktériumok kiszűrésére). Másik nagy hátránya, hogy ezzel a módszerrel csak egy- vagy néhány, előre meghatározott szerkezetet kereshetünk, míg tenyésztéssel módszerrel előzetes feltételezések nélkül kereshetünk egyszerre akár nagyon sokféle baktériumot.

A baktériumok azonosítása telepmorfológiai, biokémiai, élettani és molekuláris (pl. szekvenálás) módszerekkel is lehetséges. Ezek többségének kiindulási alapja a mintából kifejlődött egyedi, tiszta baktériumtelep, de a végleges azonosításhoz ezt követően még további órák, esetleg napok szükségesek. A szabványos módszerek kiegészítéseként (kutatásban, vagy kórházi gyakorlatban is) egyre gyakoribb a MALDI-TOF MS (mátrix-asszociált lézer deszorpció/ionizációs-repülési idő tömegspektrométer) (62. ábra) használata. A módszer lényege, hogy a baktériumtelepet egy ún. mátrix anyaggal (pl. α -ciano-4-hidroxi-fahéjsav) elegyítjük, majd beszáradás után az arra alkalmas készülékben lézerrel sugározzuk be az elegyet. A sugárzás hatására töltéssel rendelkező, apró részecskék képződnek a mintából, azonban a mátrix megvédi a minta makromolekuláit (fehérjék, nukleinsavak), így azok töltésük és tömegük szerint egymástól elválasztva jutnak el a detektorig. A különböző tömeg/töltés arányú fehérjékből egy jellemző mintázatot kapunk, amelyet egy előre felvett adatbázisban található mintázathoz hasonlíthatunk. Baktériumok esetében a sejt belüli fehérjemolekulák képezik az azonosítás alapját, és akár faj szintű meghatározás is lehetséges. A berendezéssel 96 minta (baktérium izolátum) azonosítása kb. 30-45 percet vesz igénybe. Bár a berendezés nagyon drága, az egy mintára eső fogyóanyagköltség minimális, mindössze néhány Ft. A fentiek miatt a módszert a klinikai laboratóriumok nagy része már szinte kizárólagosan alkalmazza, és a környezeti laboratóriumok esetében is széleskörű elterjedés várható a közeljövőben.



62. ábra A MALDI-TOF MS működési elve

(forrás: Gorka Ágnes, Lovász Csaba és Volk Gábor: A MALDI-TOF tömegspektrometria alkalmazási és fejlesztési lehetőségei a patogén mikroorganizmusok vizsgálatában)

Ellenőrző kérdések – Mikrobiológia

1. Mit jelent az index (indicator) mikroorganizmus fogalma? Az ellenőrző higiénés mikrobiológiai vizsgálatok esetében miért ezeket vizsgáljuk a kórokozó mikroorganizmusok helyett?
2. Melyek a leggyakoribb tenyésztésen alapuló mintafeldolgozási módszerek?
3. Melyike(ke)t alkalmazná várhatóan nagy egyéb szennyezőket tartalmazó minta esetén?
4. Mi a legfontosabb különbség egy Clostridium és egy E. coli tenyésztési körülményében?
5. Mire utalhat, ha Pseudomonas aeruginosa van a mintában?
6. Mely vizes rendszerek a leginkább kockázatosak Legionella szempontjából?
7. Mi az előnye és mi a hátránya a PCR technikáknak a tenyésztéses vizsgálatokhoz képest?

Mikroszkópos vízbiológiai vizsgálati módszerek

Mikroszkópos vízbiológiai vizsgálatokkal igen gyorsan választ kapunk olyan kérdésekre, melyek környezet-egészségügyi hatáskörbe tartoznak, nevezetesen például olyan víz okozta járványokra derülhet fény, amikor nem bakteriális kórokozók voltak a felelősek a járvány kialakulásáért vagy szennyvízre, felszíni vízre, illetve talajra jellemző élőlények megjelenése jelzi a víz szennyezettségét. Mikroszkópos biológiai vizsgálattal elsősorban indikátor szervezeteket keresünk. Az indikátor szervezet megléte vagy számának változása valamilyen problémára utalhat, de maga a szervezet sokszor nem is patogén. Legtöbbször valamilyen technológiában bekövetkező változásra utal a megjelenésük, vagy elszaporodásuk. A mikroszkópos vizsgálatokhoz nem szükséges tenyésztési idő, mint a bakteriális vizsgálatokhoz, a kémiai vizsgálatokhoz képest szintén egyszerűbbek, azonban nagy szakértelmet kívánnak. A fentiekre tekintettel egyértelmű, hogy a vízbiológiai monitoring kiépítésével fokozható az ivóvízellátás higiéniés biztonsága.

Fogalom meghatározások

Környezet-egészségügyi szempontból, valamint a vizek felhasználását figyelembe véve a következő kategóriákat definiálhatjuk:

Vízi ökoszisztéma: a víz élő rendszer, melyet fizikai, kémiai és biológiai tényezők összessége és egymásra hatása alakít ki.

Trofitás: a vízi ökoszisztéma termőképessége, vagyis elsődleges szervesanyag-termelő képesség. A termelést elősegítő vagy lehetővé tevő tényezők közül a legfontosabbak a fény, a hőmérséklet, a szervesanyag tápanyagok és a zöld növények jelenléte.

Szaprobitás: a vízi ökoszisztéma szervesanyagbontó képessége. A lebontást lehetővé tevő vagy elősegítő tényezők a hőmérséklet, hozzáférhető szervesanyagok és a lebontást végző szervezetek.

Toxicitás: a víz mérgező képessége, ami mesterséges vagy természetes eredetű (pl. élőlények által termelt toxinok) mérgek jelenlétére utal. Ezek a vízi ökoszisztéma élőlényeinek működését csökkentik vagy elpusztítják őket.

Vizsgálati módszerek és indikációk

Ivóvíz esetében az 5/2023. (I. 12.) Korm. rendelet alapján rendszeresen kell mikroszkópos biológiai vizsgálatot végezni.

A mikroszkópos biológia nagy előnye, hogy a mikrobiológiai vizsgálatokkal ellentétben szinte azonnali eredményt ad. Emiatt problémakutatásra, illetve előrejelzésre is alkalmas lehet az alábbi esetekben:

- vízszennyezés eredetének elemzése (pl. szennyvíz, felszíni víz, ivóvíz elkülönítése),
- technológiai ellenőrzés (víznyerő, tározó berendezések állapota, víztisztítás hatékonysága, másodlagos szennyezés),
- organoleptikus problémák okának feltárása,
- árvízi vízbetörés jelzése,
- patogén protozoon – *Cryptosporidium*, *Giardia* – által történt szennyeződés illetve toxin-termelő kéalgák (cianobaktériumok) jelenlétének felderítése.

A kormányrendelet az alábbi élőlénycsoportok előfordulására ad meg parametrikus értékeket:

Vas és mangánbaktériumok, kénbaktériumok, szennyezettségjelző baktériumok, cianobaktériumok és algák, gombák, házas amőbák, egyéb véglények, Nematoda, egyéb férgek, egyéb (gerinctelen) szervezetek.

Közegészségügyi szempontból fontos vizek vizsgálata.

Nagy tisztaságú víz esetén:

- művese állomások által működtetett víztisztító rendszer hatékonyságának, megfelelő működésének ellenőrzésére, a meghibásodások feltárására,
- természetes fürdővizek minősítésében kékalga virágzás esetében.

Egyéb humán szempontból fontos vizek:

Szennyvizeknél:

- **ellenőrző vizsgálat** esetén a tisztítóba táplált és az elfolyó tisztított szennyvizet vizsgáljuk, a tisztító berendezések működését ellenőrizzük,
- **tájékoztató vizsgálat** esetén a szennyvízben levő szervezetek minőségét, a szennyvíz szaprobiológiai jellegét és szennyezettségét vizsgáljuk,
- **részletes vizsgálat** során a szennyvíztisztító technológiai berendezéseiben levő szennyvizeket, a műtárgyak élőbevonatát és a szennyvíztisztító műtárgyakban keletkezett fénékiszapot vizsgáljuk. Vizsgáljuk a szennyvíz biológiai tisztulási képességét.

Felszíni vizeknél:

- felszíni vizek minősítésénél, osztályba sorolásánál,
- szaprobitási index meghatározásakor.

A mikroszkópos vízbiológiai vizsgálatok módszerei

A rutinszerűen végezhető mikroszkópos vízbiológiai módszereket a MSZ 448/36-85 szabvány alapján végezzük.

A minta feldolgozását a mintavétel napján meg kell kezdeni. A mintát hűtőtáskában kell szállítani. Részletes vizsgálat esetén helyszíni szemlével kötjük egybe a mintavételt. Natív mintákat vizsgálunk mikroszkóppal, ha további vizsgálatok is szükségesek, a mintákat fixáljuk.

A vízminta mennyisége

Ivóvíz és nagy tisztaságú víz (például művese állomások) technológiai mintáinak vizsgálatához legalább 1 liter mintát használunk. Szennyvíz vizsgálatához a legalább 100 cm³-es folyadék üveget 2/3-áig töltjük vízmintával. Felszíni vízminta vizsgálatához a vizsgálati módszertől függően 250-500 cm³ mintát veszünk.

A vízminta tömörítése

Membránszűrő készülékkel 0,45 µm pórus átmérőjű membránon keresztül szűrjük a mintát. A szervezetek számának meghatározásához a vizsgálandó minta térfogatát a következőképpen állítjuk be: A teljes mennyiségű mintát átszűrjük, a membránfilteren összegyűlt üledéket 10 cm³ szeszton-mentes vízzel, ecsettel lemossuk, centrifugáljuk és a minta térfogatát 0,1-1,0 cm³-re állítjuk be.

Mikroszkópos vizsgálat

A szervezetek számának meghatározását Bürker-kamrával, borításos eljárással, Kolkwitz-kamrával vagy fordított mikroszkóppal végezzük el. A szervezetek minőségi meghatározásához határozókönyveket használunk.

A vizsgálati eredmények alapján minősítjük a mintát.

Patogén protozoonok (egysejtűek) vizsgálata

A világszerte komoly problémákat, víz által is terjedő járványokat okozó egysejtűek közé tartozik a *Cryptosporidium parvum* és a *Giardia intestinalis*. Ezeket a protozoonokat a hagyományos víztisztítási technológia nem távolítja el az ivóvízből, sőt a klóros fertőtlenítés is hatástalan rájuk.

Magyarország potenciálisan veszélyeztetett ivóvizei a felszíni víztározókból, a felszíni vizekből, illetve a karsztforrásokból nyert ivóvizek. Ezeknek a kórokozóknak a specifikus vizsgálata is mikroszkópos vizsgálattal történik előzetes dúsítási eljárás után.

A dúsítás első lépése egy különleges szűrővel történik, melyen keresztül akár 500-1 000 liter víz is átszűrhető szükség esetén. A dúsítás következő lépéseként immunomágneses szeparációt használunk, melynek során a protozoonokkal specifikusan reagáló antitestek (ellenanyagok) mágneses gyöngyökhöz kötötten összegyűjtik mágnes segítségével a vizsgálandó egysejtűeket. Az így dúsított mintát szintén ellenanyaghoz kötött fluoreszcens festékkel (FITC) festjük, melyet epifluoreszcens mikroszkóp segítségével vizsgálunk. Pozitív kontrollhoz viszonyítva határozzuk meg, azaz azonosítjuk a protozoonokat.

Ellenőrző kérdések – Mikroszkópos biológia

1. Melyek a legfőbb előnyei a mikroszkópos biológiai vizsgálatnak?
2. Közegészségügyi szempontból milyen vizek mikroszkópos biológiai vizsgálata fontos?
3. Ivóvízből milyen mennyiségű vizet használunk a vizsgálatra?
4. Mely nehezen eltávolítható egysejtű élőlények jelentenek potenciális veszélyt az ivóvízre?
5. Hogyan kell beszállítani a laboratóriumba a vízmintát, amelyből mikroszkópos biológiai vizsgálatot csinálnak?
6. Melyik kormányrendelet szabályozza a vizsgálandó mikroszkópos biológiai paramétereket?
7. Mit jelent a víz toxicitása?

ÖKOTOXIKOLÓGIAI VIZSGÁLATOK A KÖRNYEZETI KOCKÁZATBECSLÉSBEN

Dr. Vargha Béla

Az ember tevékenysége során gyakran közvetlen úton pusztítja, fizikailag is megsemmisíti a tartós fennmaradását biztosító környezetét. Ezzel, – bár látszólag életteret nyer– végső soron a jövőbeni mozgásterét veszíti el, szűkíti lehetőségeit és csökkenti a jövő nemzedékek esélyeit és kilátásait. De nemcsak közvetlenül, hanem közvetett módon, a különböző szennyező anyagok kibocsátása által terheli, szennyezi, károsítja környezetét, veszélyeztetve mind a saját, mind pedig környezete élőlényeinek egészségét és fennmaradásának lehetőségét. A jelentős környezetátalakítás, -pusztítás, és -szennyezés jóvátehetetlen és helyrehozhatatlan károkat okozhat, és visszafordíthatatlan folyamatokat eredményezhet.

A környezetbe juttatott szennyező és természetidegen anyagok elsődleges károsító hatásai közvetlenül, vagy közvetett úton (valamilyen közvetítő közeg által) hatnak az emberi szervezetre, a másodlagos hatások pedig a környezetet károsítva, az élőhelyre, a legkülönbébb élő szervezetekre, az ökológiai rendszerek szerkezetére és működésére hatva az emberi lét szempontjából alapvetően fontos környezet egészségét veszélyeztethetik.

A másodlagos hatások rendszerint kevésbé feltűnőek és hosszabb idő után jelentkezve tapasztalhatók, amikor is az eredeti állapot visszaállítása, vagy helyreállítása már meglehetősen kétséges és bizonytalan.

Mindezek szükségessé teszik, hogy a környezetbe kerülő anyagoknak a környezet élőlényeire gyakorolt, s az ökológiai rendszerekre kifejtett hatásait felmérjük és értékeljük.

Az ökotoxikológia helye a környezeti kockázatbecslésben

Alapvető érdekünk annak megítélése, hogy ha egy szennyező anyag kijut a környezetbe, ott milyen koncentráció kialakulása várható és ez a becsült koncentráció vajon jelent, vagy jelenthet-e veszélyt a környezet élőlényeire.

Ahhoz, hogy a környezeti kockázatot becsülni tudjuk egyrészt meg kell határozni, vagy fel kell mérni a szennyezőanyag-kibocsátás mértékét, a szennyező tulajdonságai alapján a várható környezeti viselkedését, változását, átalakulását, esetleges lebomlását, hozzáférhetőségének alakulását, az egyes környezeti elemekben történő eloszlását, vagyis összességében meg kell ismerni a környezet élőlényeinek kitettségét, az expozíció mértékét, azt a várhatóan kialakuló környezeti koncentrációt, amellyel a környezet élőlényei kapcsolatba és hatás alá kerülnek.

Ezen túlmenően meg kell ismerni a szennyező anyagnak a környezet élőlényeire gyakorolt hatását, amely a különféle tesztszervezetekkel történő dózis-válasz (lásd „*Ökotoxikológiai módszerek*” c. alfejezet) vizsgálatok eredményein alapul, s amely a rendelkezésre álló vizsgálati adatok mennyisége és minősége alapján meghatározott biztonsági (bizonytalansági vagy alkalmazási) faktorok segítségével pontosítható.

A különböző tesztszervezetek válaszainak értékeléséhez az ökotoxikológiai vizsgálatok elvégzése útján juthatunk.

Az ökotoxikológiai vizsgálatok jellemzői

Ha egy adott szennyező anyagnak a környezet élőlényeire, különösen pedig, ha az ökológiai rendszerek szerkezetére és működésére gyakorolt hatásait akarjuk vizsgálni és értékelni, meg lehetőségen nehéz és összetett helyzet elé kerülünk.

Pontosan még azt sem ismerjük, hogy hány faj él a Földön, ezért meglehetősen körülményes felbecsülni a szennyező anyag hatása alá kerülő élőlényeket. Az exponált fajok száma akár ezres, vagy tízezres nagyságrendű is lehet, s a rájuk valószínűsített hatást kell becsülnünk a néhány (3-5) tesztszervezettel elvégzett, rendszerint laboratóriumi vizsgálat eredménye alapján.

A mesterséges közegben, az eredmények összehasonlíthatósága érdekében előírt, szigorúan meghatározott és állandó környezeti feltételek mellett, teljesen természetidegen körülmények között, néhány faj rendszerint azonos korú és tulajdonságú egyedeinek, jobb esetben populációinak válaszreakcióiból kell következtetnünk a különböző fajok ezreire gyakorolt hatásokra, sőt az ökológiai rendszerekben működő különböző befolyásoló és szabályozó tényezők ismerete nélkül kell vonatkoztatnunk a rendszer szerkezetére és működésére gyakorolt hatások valószínűségére.

Mindezen nehézségek azonban nem jelentik azt, hogy az ökotoxikológiai vizsgálatok elvégzését és eredményeik felhasználását mellőzhetjük, sőt kiemelt erőfeszítéseket kell tennünk fejlesztésükre és bővítésükre. Tesztvizsgálataink – korlátozott környezeti realitásuk ellenére is – nélkülözhetetlenek a környezeti kockázat becslésénél.

Az ökotoxikológia a szennyező anyagok környezetre, a környezet élőlényeire gyakorolt hatásának vizsgálata szupraindividuális (egyed feletti) biológiai szerveződési szinten, az adott környezeti elem ökológiai szempontból fontos és jelentős, érzékeny és jellemző egyedeit, populációit felhasználó, tesztszervezeteket és -rendszereket alkalmazó bioindikációs módszer, amely a vizsgálati végpont szerinti hatást méri kísérleti körülmények között.

Az ökotoxikológiai vizsgálatok a környezet egyes elemeinek élőlényeire, s az ökológiai rendszerek általuk meghatározott működésére gyakorolt hatások megismerésére irányulnak, s végső soron minden élőlény, így az ember létfeltételeit is biztosító ökológiai folyamatok védelmét szolgálják.

Az ökotoxikológiai tesztekkel szemben támasztott alapvető elméleti követelmények ökológiai szempontokon alapulnak. Ennek megfelelően szükséges, hogy az alkalmazott tesztek összességükben képviseljék mindhárom ökológiai funkcionális csoportot (termelők, fogyasztók, lebontók) és legalább a legnagyobb rendszertani egységeket, értékeljék mind a letális, mind a szubletális hatásokat, vegyék figyelembe az időben később jelentkező károsításokat, több faj egyedeit, populációit együttesen és egyidejűleg, egymásra hatásukban is vizsgálják és lehetőleg természetes közegben is történjenek tesztelések.

A rendszerek szerkezetének vizsgálata történhet egy fajt tartalmazó egyszerű biotesztekkel, vagy szaporodási tesztekkel, valamint több faj egyedeit egyidejűleg alkalmazó összetettebb vizsgálatokkal (pl. tápláléklánc, mikrokozmosz), a rendszer működése pedig az egyes ökoszisztéma-funkciók (pl. produkció, mineralizáció) tanulmányozása által.

Az egyes ökotoxikológiai tesztek jellemzői eltérőek. Az egyszerű tesztek gyorsak, pontosak, jól ismételhetők és könnyen szabványosíthatók. Ahogyan növekszik a vizsgálatok bonyolultsága és összetettsége, úgy nő a költség-, hely-, idő- és térszükséglet, a variabilitás és a bizonytalanság, a mérés és hatásbecslés nehézsége, viszont a hitelesség, az alkalmazhatóság és a környezeti realitás is.

Az általánosan alkalmazott ökotoxikológiai vizsgálatok rendszerint egy fajt tartalmazó, alacsony biológiai szerveződési szinttel és csekély környezeti realitással rendelkező egyszerű tesztek (pl. alga-teszt, csíranövény-teszt, Daphnia-teszt, Azotobacter agile-teszt).

A gyakorlati munkában jelenleg alkalmazott teszteket magában foglaló ökotoxikológiai vizsgálati rendszerünkre jellemző, hogy a magasabb biológiai szerveződési szintek hiányoznak, még a legnagyobb rendszertani egységek sem képviseltek maradéktalanul, a szárazföldi/talaj tesztek alkalmazása meglehetősen szegényes, s az értékelés is elsősorban a vízi tesztsszervezetekkel végzett vizsgálatok eredményein alapul.

A vizsgálati adatok értékelését nehezítik a felül- és alulbecslés hibái, amelyek többek között a nem természetes vizsgálati közeg, az eltérő környezeti helyzetek, a természetes rendszer szabályozó funkciójának figyelmen kívül hagyása, illetve a kevés vizsgálati fajszám, a fajok közötti kapcsolatok hatásának mellőzése, a több anyag egyidejű és együttes hatásának figyelmen kívülisége, valamint az állandó és optimális vizsgálati körülmények és a tesztsszervezetek csökkent genetikai diverzitása következtében adódnak.

Az egyes vizsgálati módszerek szabványosítása mindinkább alapvető követelményként jelentkezik.

Ez a pontosság, ismételhetőség, és az egyes vizsgálati eredmények összehasonlíthatóságának lehetősége céljából előírja és meghatározza a vizsgálatok elvégzésének módját, kivitelezésének részletes körülményeit (többek között például meghatározott állandó hőmérséklet, a tesztsszervezetek azonos kora és hasonló/megegyező érzékenysége), amely laboratóriumi szakmai módszertani szempontból helyes és indokolt, mivel biztosítja a módszer azonosságát, állandóságát, a szabványosítás alapvető céljainak elérését. Nem tekinthetünk el viszont a szabványosítással összefüggő ökológiai szakmai szempontok érvényesülésének kérdésétől sem, amely már egyáltalán nem ilyen pozitívan egyértelmű. A meghatározott és állandó környezeti feltételek és egyéb fent részletezett előírások következtében a szabványosított eljárások környezeti realitása csekély, az alkalmazhatóság, az eredmények vonatkoztatási lehetősége eléggé bizonytalan és korlátozott. Ezen ellentétek feloldása komoly kihívást jelent és meglehetősen reménytelennek látszik.

A laboratóriumi vizsgálati eredményekből a valós környezeti viszonyokra történő vonatkoztatás, az extrapoláció szintén sok bizonytalanságot hordoz magában. Az adott vizsgálati eredményekből való következtetést megnehezítik az egyes fajok/taxonok, a különböző válszok, az akut és krónikus hatások közötti különbségek.

További nehézséget jelentenek az egyes laboratóriumok, a laboratóriumi és a szabadföldi viszonyok, a különböző szabadföldi viszonyok, a közvetlen és a közvetett hatások, az egyes biológiai szerveződési szintek, a tér-idő viszonyok közötti eltérések, különbözőségek.

A felsoroltakon túlmenően még fennáll az egyéb anyagok jelenlétéből származó esetleges additív (összeadó, összegző), szinergista (erősítő) és antagonisztikus (gyengítő, ellentétes) hatások figyelembe vételének kérdése is.

A károsító hatást nem mutató koncentráció becslése az ökotoxikológiai vizsgálatok eredményei alapján

A dózis-válasz felmérésben a kiindulási alapot az egyszerű, rövid idejű ökotoxikológiai tesztek eredményei jelentik. Az előírt és alkalmazott ún. standard tesztek – elsősorban a vízi szervezetek vonatkozásában – kellőképpen kidolgozottak és rendelkezésre állnak, eredményeik információval szolgálnak a vizsgált anyag közvetlen – a tesztszervezetre gyakorolt – toxikus, károsító hatásáról.

Rendszerint alapadatokkal dolgozunk, de minden olyan rendelkezésünkre álló adatot, vizsgálati eredményt figyelembe kell venni, amelyek a módszer, a vizsgálat végzése és az eredmények értékelése szempontjából megbízhatóak, s a cél szempontjából megfelelőek, relevánsak. A vizsgálati adatok közül kiválasztjuk a legalacsonyabb, legkisebb értéket adó eredményt és a továbbiakban ezzel az értékkel dolgozunk. Annak a koncentrációnak a megállapítása, amely alatt a kérdéses/vizsgált anyag valószínűleg nem okoz elfogadhatatlan hatásokat, a talált/mért legalacsonyabb vizsgálati érték felmérési/biztonsági faktorról való korrigálásával történik.

A felmérési vagy biztonsági faktorok alkalmazásának célja az egyetlen, vagy néhány fajon végzett egyszerű, vagy összetettebb laboratóriumi vizsgálati eredményből a számtalan fajból álló ökológiai rendszerekre, a természetes/szabadszíni körülményekre történő viszonyítás, extrapolálás.

Az alkalmazásra kerülő biztonsági faktor értéke a rendelkezésre álló vizsgálati adatok mennyiségének és minőségének a függvénye. Amennyiben rendelkezünk szabadszíni vizsgálati eredményekkel, akkor a faktor értéke 1, ha jó minőségű krónikus vizsgálatok eredményei állnak rendelkezésünkre, akkor 10, ha a krónikus adatok szegényesek, akkor 100, csak akut vizsgálati eredmények birtokában pedig 1 000. Bizonyos esetekben (pl. ha nagy különbség van az egyes fajok érzékenységeiben) a faktor értéke 10 000 is lehet.

A biztonsági faktorok értékeinek megállapítása kísérleti eredményeken nyugvó empirikus megközelítésen alapszik. Az akut és krónikus vizsgálati adatok közötti különbséget 10-szeresnek, a krónikus és a szabadszíni vizsgálatok eredményei közötti eltérést szintén 10-szeresnek, s az egyes fajok érzékenysége közötti különbséget ugyancsak 10-szeresnek ítélve ezen értékek összeszorozásával alakították ki az alkalmazásra javasolt biztonsági faktorokat.

Míg az első esetben a 10-es érték jól megalapozott és helyessége valószínűsíthető, a második esetben ez már kissé bizonytalannak tűnik, az utóbbi esetében pedig az ajánlott 10-es szorzó realitása erősen megkérdőjelezhető, tekintettel arra, hogy az egyes fajok érzékenysége között bizonyos – azonos – anyagok esetében akár 10 000-szeres különbség is lehet.

A számításba vehető és a kockázat becslésében felhasználásra kerülő ún. PNEC érték a fentiek szerint tehát a legalacsonyabb értékű vizsgálati eredmény biztonsági faktorról elosztott értéke.

A környezeti kockázat becslése

Ha rendelkezésünkre áll az adott szennyező anyag becsült környezeti koncentrációja (PEC érték) és az ökotoxikológiai vizsgálatok során nyert adatok alapján a szennyező anyagra vonatkozó valószínűsíthetően károsító hatást nem okozó koncentráció (PNEC érték), akkor a két érték egymáshoz viszonyítása alapján megbecsülhetjük a környezeti veszélyt.

Ha a becsült környezeti koncentráció értéke nem haladja meg a valószínűsíthetően károsító hatást nem okozó koncentráció mértékét – vagyis amennyiben a $PEC / PNEC$ hányados értéke nem nagyobb 1-nél – akkor nem kell veszéllyel számolni és további pontosító vizsgálatokat sem szükséges végezni.^{41 42 43}

Ellenőrző kérdések- Az ökotoxikológia helye a környezeti kockázatbecslésben

1. Mi kell ahhoz, hogy egy szennyező anyag környezeti kockázatát becsülni tudjuk?
2. Melyek a fő követelmények az ökotoxikológiai vizsgálatoknál?
3. Mely tényezők nehezíthetik az ökológiai tesztek értékelését?
4. Miért használunk biztonsági faktort az ökotoxikológiai eredmények extrapolálása során?
5. Milyen tényezők határozzák meg, hogy milyen biztonsági faktorokat alkalmazunk?

Ajánlott irodalom:

⁴¹ Bakonyi Gábor: Bevezetés az ökotoxikológiába. Egyetemi jegyzet. Gödöllő, 2020.

⁴² Gruiz Katalin és mtsi.: Környezettoxikológia. Vegyi anyagok hatása az ökoszisztémákra. Műegyetemi Kiadó, 2001.

⁴³ Vargha Béla: Bioindikáció – ökotoxikológia. A környezetbe kerülő anyagok hatásvizsgálata. Balaton Akadémia Könyvek 69. Keszthely, 2009.

TALAJHIGIÉNE, HULLADÉKGAZDÁLKODÁS

TALAJSZENNYEZÉS

Dr. Szabó Zoltán, Dr. Barna Szilvia

Történelmünk során a talaj egészségügyi szerepét változó fontosságúnak ítélték. Már az ókori bölcssek is jelentőséget tulajdonítottak a talaj minőségének, ezért arra intették az embereket, hogy vizes, bűzös területen ne telepedjenek le és szükségleteiket a lakóháztól távol végezzék. A későbbiekben azonban sem az orvosi tudományban, sem a hétköznapi gyakorlatban nem tulajdonítottak a talajnak egészséget befolyásoló hatást. A XIX. században, a Max von Pettenkofer által is képviselt miazma elmélet a kiterjedt járványokat a talaj káros kigőzölgéseire vezette vissza és ezzel eltúlozta a talaj szerepét a betegségek terjesztésében. Századunk elejére, a mikrobiológiai és kémiai kutatások eredményei a miazma elméletet ugyan megcáfolták, de napjainkra a talaj szennyezettségének és minőségének szerepe egyes betegségek kialakulásában nyilvánvalóvá vált.

A talaj egészségügyi jelentőségének változó megítélésében szerepet játszik az, hogy hatása sok esetben nem érvényesül olyan közvetlenül, mint a levegő, a víz vagy az ételmyszer esetében, igen gyakran közvetett úton fejt ki hatását. A talaj közegészségügyi fontosságának megismeréséhez szükséges azoknak az expozíciós utaknak az ismerete, amelyeken keresztül az emberi egészségre gyakorolt hatások érvényesülnek.

1. A talaj **betegségek terjesztésének okozója** lehet, mert jelentős szerepe van a bélférgesség kialakulásában, sebfertőzések fellépésében. Hasonlóan közvetlen károsító hatása van a szennyezett talaj lenyelésének. Újabb vizsgálatok szerint minden ember „eszik” talajt minden nap, a gyermekek kb. kétszer annyit, mint a felnőttek.
2. A talaj vízdoldható sótartalma alapvetően meghatározza a **vizek összetételét**. A talajban lévő makroelemek (Ca, Mg, Fe, K, Na) és mikroelemek (Mn, Cu, B, I, F, As, Cd, Hg, Cr stb.) a talaj minőségétől függő mértékben a vízzel kioldódnak és a különböző vízrétegek vizében megjelennek. Ennek megfelelően a talaj egyes összetevőinek hiánya vagy túlzott jelenléte a vizek anyagkoncentrációinak változásában jelentkezik. Az ivóvízként felhasznált vízzel a talaj anyagai az emberi szervezetbe jutnak, így minőségüktől és mennyiségüktől függően ártalmat okozhatnak. Fertőzött talajokból életképes patogén mikroorganizmusok is bekerülhetnek az ivóvízbe és járványt idézhetnek elő.
3. A talaj szolgáltatja a **növényzet számára a szükséges tápanyagokat**. A talaj egyes elemeinek hiánya vagy a szükségesnél nagyobb mennyiségben való jelenléte a növényi felvétel révén a táplálékláncba kerülve érvényesíti hatását. Bizonyított, hogy a növények még nagymolekulájú talajszennyező vegyületeket is képesek felvenni a talajból, mint pl. a PCB-eket, a DDT-t, a benz(a)pirént, amelyek így szintén a táplálékláncba jutnak. Nem hagyható figyelmen kívül, hogy egyes növények meghatározott elemeket, illetve vegyületeket felhalmoznak és emberi fogyasztásra kerülve különösen káros hatást fejthetnek ki.

4. A légmozgások hatására a talajfelszín pora a levegőbe jut és **levegőszennyezést** okoz. A belélegzett porral az emberi szervezetbe jutnak a talajban lévő szennyező anyagok. Levegőszennyezést idéznek elő a talajból kiáramló gázok is; például radon vagy metán, amelyek veszélyeztetik az ember egészségét.
5. Rendkívül nagy jelentősége van annak, hogy a talaj **természetes hulladékbefogadó**, és erre a célra az emberiség évezredek óta használja is. A talaj hulladékártalmatlanító képessége azonban korlátozott és a nem megfelelő hulladék elhelyezésének súlyos egészségügyi következményei lehetnek.
6. Jelentős a talaj **mezoklímát befolyásoló hatása**. A talaj minősége alapvető a növényi élet szempontjából; a növényzet hőszabályzóként hat és kedvezőbb életkörülményeket alakít ki az ember számára.

Szennyező források

A talaj szennyezése folyamat, amelynek során a talajra olyan anyagok kerülnek, amelyek ott korábban ilyen mennyiségben nem, vagy egyáltalán nem fordultak elő, és jelenlétük valamilyen szempontból káros. Ebből következik, hogy a szennyezettség fogalma eltérhet környezetvédelmi, mezőgazdasági stb. szempontból.

Tisztának nevezhetjük azt a talajt, amely mennyiségben és minőségben csak olyan anyagokat és élő szervezeteket tartalmaz, amelyek a talaj biológiai egyensúlyát nem károsítják, a talaj használatát tartósan nem korlátozzák, valamint sem közvetlenül, sem közvetve egészségkárosodást nem idéznek elő. Ennek megfelelően **szennyezett az a talaj, amely a fenti kritériumokat nem elégíti ki**.

A talaj szennyezettségének megítélésénél figyelembe kell venni, hogy az alapvetően eltér a víz és a levegő szennyezettségétől. A víz és a levegő mozgó közegek, amikben a szennyezés felhígul, és a körülményektől függően bizonyos idő múlva a szennyezés helyéről eltávozik. Ezzel szemben a talaj álló közeg, így a talajba jutott szennyező anyagok hatásukat ugyanazon a helyen hosszú időn keresztül folyamatosan fejtik ki. A talajszennyezéseknél az adott helyen a víz, a levegő és a növényzet szennyezésére hosszú időn keresztül kell számítani.

A szennyezettség mértéke függ a szennyező anyag mennyiségétől és minőségétől, valamint a behatás idejétől. Meghatározó a szennyezett terület kiterjedése is. Kis talajfelületen kialakult erős talajszennyezések sokszor kevésbé veszélyesek, mint a nagy területre kiterjedő, kisebb mértékű szennyezések.

Szennyező anyagok rendkívül sokféle úton juthatnak a talajba. Elsők között kell megemlíteni a különböző hulladékok elhelyezését (települési szilárd és folyékony hulladékok, az ipar és a szolgáltatás nem veszélyes hulladékai, mezőgazdasági hulladékok), a szennyvíz és szennyvíz-iszap mezőgazdasági felhasználását, a peszticidek és műtrágyák alkalmazását, de jelentős szennyezést idéznek elő a levegőből kiülepedő ipari és közlekedési anyagok, a gondatlan anyagkezelés és nem utolsósorban a haváriák, mint a 2010-ben Kolontáron bekövetkezett vörösiszap katasztrófa.

Szennyezők, amelyeket a talaj öntisztuló képessége ártalmatlanítani tud

Ide soroljuk a patogén mikroorganizmusokat, a talaj természetes alkotóivá lebomló szerves anyagokat, hulladékokat. Ilyenek a fekália, trágya, kommunális szennyvíz, a természetes mezőgazdasági termelés szerves hulladékai, élelmiszeripari hulladékok stb.

A talajban lebomló, az öntisztulási folyamatokat nem gátló szennyezők nagyon sok esetben valamilyen élő szervezetből származnak, így ezek a természetes nagy anyagcsere-körforgás részei. Ezek a szennyezők akkor jelentenek veszélyt az emberre, ha patogén mikroorganizmusokat tartalmaznak, illetve feltehetően tartalmaznak. A talaj szennyezettségének vizsgálatánál és megítélésénél a patogén mikroorganizmusok jelenléte mellett a higiénés indikátor mikroorganizmusok mennyiségi előfordulását vesszük figyelembe. A jellemzők egy része, mint a Salmonella, illetve a bélféregpete pozitivitás, közvetlenül a fertőzés veszélyét jelzik. A higiénés indikátor baktériumok magas száma az egyéb patogén és fakultatív patogén mikroorganizmusok életben maradásának lehetőségére, illetve friss fekális eredetű szennyezésre utalnak.

Régebbi szennyezést jelez például a deformált Ascaris peték jelenléte, valamint a Clostridiumok és a termofil baktériumok emelkedett száma. A szennyezettség értékelésénél sok esetben vírusok kimutatására is szükség lehet.

A lebomló szervesanyagok jelenlétének megállapításához a kémiai mutatók közül elsősorban a fehérjék lebomlását jelző nitrogén vegyületeket használjuk, így a szerves nitrogén, az ammónium-, a nitrit- és a nitrát-ion tartalmat, ezen kívül a klorid tartalmat. A nagy mennyiségű ammónium-ion jelenléte friss, míg a nitrát-ion tartalom emelkedése régebbi szennyezésre utal.

Az elbírálás alapját elsősorban a parazitológiai és bakteriológiai mutatók képezik, a kémiai jellemzők értékei ezeket alátámasztják. A kémiai mutatók inkább a lebomlási folyamatok intenzitásáról, sebességéről és a mineralizáció mértékéről adnak tájékoztatást.

A talaj lebomló szerves anyagoktól származó szennyezettségének értékeléséhez a szennyező forrás ismeretére is szükség van. Ilyen szennyező források a szennyvízleürítő helyek, pöcegödörök, szennyvízöntözési területek, szemétkerülő helyek, szennyvízszikkasztó berendezések stb. A talajon folyamatosan elhelyezésre kerülő anyagok mennyiségéből és minőségéből következtetni lehet a szennyezettség mértékére és kiterjedésére, valamint a lebomlás várható idejére.

Szennyezők, amelyeket a talaj öntisztuló képessége nem, vagy csak nagyon lassan tud ártalmatlanítani

Ide tartoznak azok a szennyezők, amelyek a talajban nem vagy nagyon lassan bomlanak le és azok, amelyek átalakulása során természetidegen, gyakran a kiindulási anyagoknál toxikusabb bomlástermékek keletkeznek, amelyek gátolják az öntisztulás folyamatait. Az ipari hulladékok között jelentős mennyiségben fordulnak elő ilyenek: például a fémfeldolgozó ipar nehézfémeket és cianidot tartalmazó iszapjai, vegyipari hulladékok, salakok, különböző mértékben halogénezett alifás és aromás szerves vegyületek, szerves oldószerek, levegőből kiülepedő szennyezők, továbbá egyes peszticidek.

A kőolaj eredetű hulladékok világszerte a legelterjedtebb szennyezők közé tartoznak. A felsorolt szerves szennyezők lebomlását döntően gátolja, hogy ezek a vegyületek vízben kevésbé vagy rosszul oldódnak. Mivel a biodegradációs mikrobiológiai folyamatok leginkább vizes oldatban mennek végbe, a mikroorganizmusok a szennyező anyagok lebontását csak a vízzel érintkező határfelületen képesek végezni, ami alacsony szinten limitálja a folyamat intenzitását. A talaj oxidációs állapotától függően a különböző toxikus fémek és félfémek vegyületei az egyes talajokban különböző anionos vagy redukált formában lehetnek jelen, ami eltérő talaj toxicitásokat, növényi felszívódási tulajdonságokat eredményez.

Levegőből kiülepedő szennyező anyagok

A talajszennyezők igen fontos részét képezik a levegőből kiülepedő szennyező anyagok. A füstgázokból kiülepedő szennyezések megkülönböztetett figyelmet érdemelnek, mivel a levegőszennyezés tovaterjedésével nagy területet érinthetnek. A szél hatására a szennyezett talajról felszálló por másodlagos légszennyezést idéz elő, a szennyezett területen termesztett növények a talajból felvehetik a különböző komponenseket és a megengedhetőnél nagyobb károsanyag tartalom jelentkezhet a növényekben (pl. ólomkórház).

Hazai másodlagos ólomkohó és ólomhulladék feldolgozó üzem is súlyos környezetszennyezést idézett elő Budapest XXII. kerületében. A talaj mintázása az élelmezési célú növények mintavételéhez kapcsolódott, a minták többsége az uralkodó szélirányba eső, az üzemtől 1 500 m-es sávban lévő kiskertek felső termőrétegéből származtak. A gyárban alkalmazott különböző technológiáknak megfelelően, a talajminták analízise több fémre kiterjedt, nem csak az ólomra. A szennyező forrástól különböző távolságokban mért fémtartalmak alapján igen jelentős a talaj ólom, cink, kadmiumtartalma, azonban a többi mért fém esetében is rendszeres határérték túllépés volt tapasztalható. A területen termesztett növényekben az ólom és a kadmium rendszeresen túllépte a megengedhető szintet.

Sávós/vonalas talajszennyezés

A közúti közlekedés következtében az üzemanyagokból policiklusos aromás szénhidrogének (PAH vegyületek), a fékbetétek és a súrlódó felületek kopásából cink és réz, a gumiköpenyek porladásából és egyes fém alkatrészek kopásából kadmium kerül a porba, ami leginkább az út mellett ülepszik ki. Célzott vizsgálatok eredményei szerint a nagy forgalmú közutak mellett 25 m-es sávban valószínű a talaj háttérszennyezettségéhez képest magasabb szennyezettség kialakulása, így ilyen helyeken indokolt lehet termesztési és legeltetési korlátozások érvényesítése.

A talaj megváltozott mikroelem koncentrációja jelentkezik a talajvíz összetételében, a növények mikroelem tartalmában, sőt a felszálló porral a másodlagos levegőszennyezésben is. Mindezen tényezők hatására **mesterséges biogeokémiai övezet** jön létre. A mesterséges biogeokémiai övezetek behatárolását és közegészségügyi értékelését a kémiai szennyezők alapján kell elvégezni. Ezeknek a területeknek a közegészségügyi vizsgálata és megítélése mindig csak komplex vizsgálatok alapján történhet.

Hulladékoktól származó talajszennyezés

A hulladékok – elsősorban egyes ipari hulladékok – szintén tartalmazhatnak az egészségre káros, a talajban nem, vagy csak hosszú idő alatt lebomló komponenseket.

Ezen hulladékok nem megfelelő kezelésük és elhelyezésük során okozhatnak talajszennyezést. Az így szennyezett területek általában nem olyan nagy kiterjedésűek, mint a levegőszennyezéstől eredőek, azonban az adott helyen nagyfokú szennyezettséget hoznak létre.

A TALAJ- ÉS TALAJVÍZSZENNYEZÉSEK KÁRMENTESÍTÉSE, A KÁRMENTESÍTÉSI PROGRAM, HATÁRÉRTÉKEK

Szennyezett területek tisztításának programja

Az állami felelősségi körbe tartozó szennyezett területekre kidolgozott **Országos Környezeti Kármentesítési Program (OKKP)** 2000-ben kezdte meg működését. A program végrehajtásának alapját képezi a szennyezett területek számbavétele, a szennyezettség mértékének megállapítása és a területek rangsorolása. A rangsorolást pontszámok alapján végzik, amiket a szennyezés minőségére, a terület kiterjedésére és a bekövetkezett, vagy várható vízszennyezésre vonatkozó pontok összegzésével állapítanak meg.

A szennyezett terület kármentesítésének szakaszai:

- tényfeltárás, megvalósíthatósági tanulmány készítése,
- gyorsintézkedés,
- környezeti kárfelszámolás,
- utóellenőrzés.

Néhány példa a kármentesítési programba tartozó és lakóterületen előforduló szennyezésre:

- Budapesten és környékén a gázgyári masszával szennyezett barlangok,
- Békéscsabán a Békés Megyei Patyolat Vállalat perklóretilén tartalmú hulladékából eredő talaj és talajvízszennyezés,
- Kecskeméten a volt Kéziszerszámgéár területén felhalmozott cianid és bárium tartalmú hulladék,
- Nyírlugoson a régi malom által okozott fenolszennyezés,
- Gyöngyösoroszin nehézfémeket tartalmazó zagy tárolója,
- Sajószentpéter környezetében ismeretlen hulladékokat tartalmazó lerakótelep,
- Szekszárdon a vízmű védőterületét veszélyeztető triklóretilén szennyezés stb.

Az OKKP tervezésekor a szakértői becslések és az 1995-1996-ban elvégzett adatgyűjtések 30-35 ezer potenciálisan szennyezett területtel számoltak. Az 1996-2002 között elvégzett adattisztítás és a 2002-2004-ben a környezetvédelmi hatóságok által elvégzett területi azonosítások eredményeként 15 ezer terület helyszíni azonosítása történt meg. Az **OKIRFAVI KÁRINFO (Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer, Felszín alatti víz környezetvédelmi nyilvántartási rendszer, Kármentesítési információs alrendszere)** nyilvántartásban 2022-ben 365 db kármentesített, 744 db tényfeltárt (igazoltan szennyezett) és 193 db potenciálisan szennyezett területről van adat.

2021-2022-ben 11 db kármentesítési nagyprojekt keretében valósult meg beavatkozás uniós támogatásból (KEHOP 3.3.0.). Állami felelősségvállalással az OKKP keretében 13 alprogramban 2021-ben 133, 2022-ben pedig 122 helyszínen folyt kármentesítési tevékenység.

Gyakran előforduló káros szennyező anyagok

A leggyakrabban előforduló szennyező anyagcsoportok az alábbiak:

Szénhidrogének

A szénhidrogének egy része biológiailag könnyen bomlik és viszonylag kevésbé mérgező vegyületek. Kockázatosabbak az aromás vegyületek és a policiklusos aromás szénhidrogének (PAH), amelyek biológiai lebonthatósága korlátozott, számos közülük rendkívül ellenálló. Ebbe az anyagcsoportba tartoznak a kőolaj és a kőolaj frakciók, amelyek számos esetben szennyezték a talajt és a talajvizet (pl. katonai repülőterek).

Illékony és nem illékony halogénezett szerves vegyületek

Általában erősen mérgező vegyületek, amelyek az ökoszisztémát és az embert egyaránt veszélyeztetik. Perzisztensek, az élő szervezetben való felhalmozódási hajlamuk nagy. Gyakori szennyezést okozó vegyületek például triklóretilén, perklóretilén, peszticidek, pliklórozott bifenilek (PCB).

Nehézfémek, félfémek és vegyületeik

(Ag, As, B, Be, Cd, Co, Cr, CrVI, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Sb, Pb, Zn)

Elemi formában ritkán, főleg vegyületeikkel okoznak talaj- vagy talajvízszennyezést. Egyesek a szervezetben kumulálódnak, mint például az As, Cd és Hg.

Mérgező és komplex cianidok

A mérgező cianidokból 4,5 pH mellett hidrogén-cianid szabadul fel, rendkívül mérgező gáz. A komplex cianidok kevésbé mérgezők, de lassú bomlás során, savas közegben itt is számítani kell HCN felszabadulásra például borászati kékalj (berlini kék) esetében.

A környezetbe kijutott kockázatos anyagok a szennyező forrástól jelentős távolságra terjedhetnek. A terjedésre a szennyező anyag fizikai és kémiai tulajdonságai (fajsúly, oldékonyság, adszorpció, diszperzió) mellett hatással vannak az éghajlati, biológiai, földtani, vízföldtani, áramlási stb. adottságok is. A különböző kockázatos anyagok egymással kölcsönhatásba kerülhetnek, aminek következtében az anyagok eredeti tulajdonságai megváltozhatnak és ezek kedvező vagy kedvezőtlen hatással lehetnek a szennyeződés terjedésére.

Talajtisztítási eljárások

Az eredményes remediáció gyakran több módszer együttes alkalmazásával oldható meg.

A tisztítási technológia alapját képező szennyezőanyag tulajdonságok az alábbiak lehetnek:

- illékonyság,
- oldhatóság vízben, vagy szerves oldószerekben,
- kémiai- illetve hőhatásra történő bomthatóság, vagy stabilitás,
- biológiai lebomthatósági tulajdonságok.

A szennyezett földtani közeg és felszín alatti víz esetében nem az eredeti, vagy az azt megközelítő állapot helyreállítása az egyetlen kockázatcsökkentési lehetőség.

A beavatkozás sürgősségétől, a szennyezett terület nagyságától és a beavatkozás költségeitől függően más lehetőségek közül is lehet választani:

- a területet **nem kezelik**, de kivonják a használatból vagy módosítják a területhasználatot,
- **lokalizálják** (izolálják) a szennyezett területet, aminek eredményeként a szennyezett területre további szennyező anyag nem kerülhet és a szennyeződés elvileg a természeti elemekre (levegő, víz) nem terjedhet tovább,
- **talajcsere**, amikor a szennyezett földtani közeget kitermelik és arra alkalmas helyen lerakják, majd a munkagödröt tiszta talajjal töltik fel.

A beavatkozás sürgősségét a terület érzékenysége és a kockázatos anyag(ok) veszélyessége (toxicitás, mobilitás stb.) együttesen határozzák meg. Több szennyezett terület esetén a fontossági (prioritási) sorrendet az alábbi szempontok figyelembevételével lehet meghatározni:

- emberi környezet veszélyeztetése,
- üzemelő és távlati vízbázisok veszélyeztetettsége,
- szennyező anyag gyors terjedése,
- felszíni befogadó közelsége,
- vízgazdálkodási, környezet- és természetvédelmi szempontból megkülönböztetett területek közelsége,
- műemléki terület.

Tisztítási technológiák

A tisztítási technológiák sorában **in situ** és **ex situ** eljárásokat különböztethetünk meg.

- **In situ** (eredeti helyen) megoldások. Ide tartozik valamennyi olyan technológia, amikor a szennyezett földtani közeget nem termelik ki és tisztítás után a felszín alatti vizet visszanyeletik és szikkasztják a munkaterületen belül.
- **Ex situ** (nem az eredeti helyen) megoldások:
 - **Ex situ on site**: a szennyezett közeget (talajt, vizet) az eredeti helyéről ugyan kitermelik, de nem szállítják el, a tisztítást a munkaterületen végzik.
 - **Ex situ off site**: a szennyezett közeget kitermelik és egy távolabbi tisztító telepre szállítják. A tisztított talajt rendszerint visszaszállítják a kitermelés helyére, a tisztított vizet befogadóba vagy csatornába vezetik.

Határértékek

A talaj és talajvíz szennyezettség megítélésének kiinduló alapja a vonatkozó határértékekkel való összevetés. A földtani közegek és a felszín alatti vizek szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet rendelkezik. **A természetes háttérre (A), illetve szennyezettségre (B) kiterjedő határérték rendszer számos szervetlen és szerves komponensre tartalmaz előírást.**

Cselekvési irányok

A talajvédelem cselekvési irányait 2021-ben elfogadott **Talajvédelmi Cselekvési Terv** (<https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/1237425/Talajvedelmi+Cselekvesi+terv.pdf>) rögzíti. Ennek lényege, hogy a talajt olyan fenntartható módon kell használni, amely megóvjaa az ökológiai, gazdasági és társadalmi feladatok elvégzéséhez szükséges képességét, megőrzi a talaj funkcióit a jövő generáció igényeinek kielégítése érdekében. A hosszú távú közösségi érdekek és a rövid távú egyéni érdekek összehangolása állami feladat.

A cselekvési terv kijelöli a talajvédelem négy legfontosabb elemét is:

- ésszerű talajhasználat, a jó minőségű földek megőrzése, a már leromlóban lévő földek állapotának javítása,
- a talajdegradációs folyamatok megszüntetése,
- a talaj vízháztartásának, nedvességforgalmának fenntartása, javítása, illetve
- a talajba juttatott anyagok, tápanyag-tartalmú kommunális és ipari melléktermékek kontrollja.

Kiemelten fontos cél, hogy az új beruházások tervezésénél elsőbbséget biztosítsunk a barnamezős területeknek, mivel így nemcsak a termőföldek talaját őrizzük meg, hanem a rozsdaovezetek felszámolásával és revitalizációjával javítjuk a környezet minőségét.

A HULLADÉKOK TÖRVÉNYI SZABÁLYOZÁSA

Dr. Szabó Zoltán

Előzmények

Az Európai Unióban először 1975-ben tették közzé a hulladékokra vonatkozó 75/442/EGK keret direktívát, amelyet a 91/156/EGK irányelv egészített ki, majd 2008. november 19-én életbe lépett az EU hulladék keretirányelve „A hulladékokról és egyes irányelvek hatályon kívül helyezéséről” szóló Európai Parlament és a Tanács 2008/98/EK irányelve.

Magyarország Európai Unióhoz történő csatlakozásának alapvető követelménye volt az EU jogszabályokban foglalt kötelezettségek hazai jogba emelése, harmonizációja, valamint a jogszabályok alkalmazása és végrehajtása már a csatlakozás időpontjában.

Emellett kiemelkedő fontosságú volt az a tény is, hogy az EU-hoz történő csatlakozási tárgyalások környezetvédelmi átvilágítási fordulóján a hulladékgazdálkodás témaköre az egyik legfontosabb területnek minősült. A korábbi ígéreteknek megfelelően a magyar delegáció biztosította a Bizottságot a törvény közeljövőben történő megjelenéséről.

Ez a hulladékgazdálkodás vonatkozásában a hulladékokról szóló 75/442/EGK tanácsi keretirányelvnek és a végrehajtását szolgáló bizottsági határozatoknak, továbbá kapcsolódó irányelveknek megfelelő tartalmú, valamint a közösségi hulladékgazdálkodási stratégiáról szóló 97/C 76/01 tanácsi állásfoglalás elveinek, az alapvető szakterületi normákat rögzítő kerettörvény mielőbbi hatályba léptetése volt. A törvény alapot kellett adjon a hatékony működéshez szükséges végrehajtási rendeletek kidolgozásának, a teljesítést garantáló intézményi háttér kiépítésének, a hatósági, ellenőrzési és informatikai rendszerek kialakításának, valamint a hulladékok kezelését végző országos hálózat elvi alapjai rögzítésének.

Magyarországon már az Európai Unió csatlakozást megelőzően több mint két évtizede szorgalmazták a közegészségügyi szakemberek a hulladékkezelés alapelveinek keretrendeletben vagy törvényben való összefoglalását, azonban erre nem került sor. A legsürgetőbb érv a hulladékgazdálkodási törvény megalkotására a szabályozási hiányosságokból is adódó rendetlenség, a hulladékok kezelési gyakorlatának környezetet veszélyeztető volta, a természeti erőforrásokkal való takarékoság hiányai, az aránytalanul nagy hulladékkeletkezési hányad, a hulladékhasznosítás csekély mértéke és a környezetkímélő hulladékártalmatlanítási kapacitások szűkössége. Egyes hulladékokkal kapcsolatos tevékenységekről, illetve egyes hulladékokról különböző magyar jogszabályok rendelkeztek ugyan, de hiányzott az átfogó, minden hulladékfajtát és ehhez kapcsolódó tevékenységi kört lefedő keretjogszabály.

A hulladékgazdálkodás törvényi szinten történő szabályozását számos további nemzetközi előírás és kötelezettségvállalás is sürgette. Többek között ennek ígérete alapján fogadta el csatlakozási kérelmünket 1996-ban az OECD, és ezt tartalmazta kötelezettségként a Magyar Köztársaság csatlakozásáról a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezethez szóló 32/1996. (IV. 30.) OGY határozattal megerősített Csatlakozási Nyilatkozat is.

Hazánkban a hulladékgazdálkodás törvényi szinten történő egységes szabályozását első alkalommal a hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvény 2001. január 1-i hatályba lépése teremtette meg, majd ennek a jogszabályi háttérnek a modernizálására, megreformálására a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény bevezetésével került sor⁴⁴.

A törvényen kívül több száz különböző szintű jogszabály rendelkezik a hulladékot érintő szabályokról, de maga a hulladéktörvény hatálya sem terjed ki minden hulladéktípusra. Külön rendeletek írják elő a veszélyes hulladékok, a speciális szabályozást igénylő hulladékfajták kezelésének szabályait, a települési hulladékokra vonatkozó előírásokat, a hulladéklerakást és a közszolgáltatás, az adatszolgáltatás és a nyilvántartás rendjét.

2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról

A 2012. évi CLXXXV. törvény (továbbiakban: törvény) a már említett 98/2008/EK Hulladék Keretirányelvet ültette át a hazai viszonyainkra, megújítva a magyar hulladékgazdálkodási ágazatot számos új fogalommal, elvvel és intézkedéssel.

A törvény:

- lehetővé tette a környezetvédelmi és közérdekűségi szempontok érvényesítését a teljes hulladékgazdálkodási tevékenység során;
- a közszolgáltatási díjszámítás terén a törvény új díj-megállapítási modellt vezetett be;
- melléktermékekre vonatkozó bejelentési kötelezettséget írt elő;
- a lerakásra kerülő hulladék mennyiségének csökkentése érdekében – mint hatékony gazdasági szabályozó eszközt – bevezette a hulladéklerakási járulékot, valamint a hulladékhierarchiának megfelelő a hulladékképződés megelőzésére és csökkentésére intézkedéseket fogalmazott meg;
- ezen felül a törvény szakpolitikai célkitűzései között szerepel a rendelkezésre álló hasznosítási kapacitás minél több hulladékáram tekintetében történő növelése.

A törvény főbb céljai:

- az emberi egészség és a környezet védelme,
- a környezetterhelés mérséklése,
- a természeti és épített környezet megóvása,
- a fenntartható fejlődés biztosítása,
- a környezettudatos fogyasztói magatartás kialakítása,
- a természeti erőforrásokkal való takarékos gazdálkodás,
- az erőforrás felhasználás hatásainak csökkentése, hatékonyságának javítása,
- a hulladékképződés, illetve a képződő hulladék káros hatásainak megelőzése, mennyiségének és veszélyességének csökkentése,
- a használt termékek újra használata,
- a fogyasztási láncban szereplő anyagok termelési-fogyasztási körforgásban tartása,
- a hulladék minél nagyobb arányú anyagában történő hasznosítása,
- a nem hasznosuló, vissza nem forgatható hulladék környezetkímélő ártalmatlanítása.

⁴⁴ <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1200185.tv>

Törvény/I. Fejezet/ Általános rendelkezések

A törvény hatálya kiterjed:

- minden természetes és jogi személyre, jogi személyiséggel nem rendelkező szervezetre, akik vagy amelyek a hulladék képződésével, gyűjtésével, begyűjtésével, szállításával, tárolásával, előkezelésével, hasznosításával és ártalmatlanításával összefüggésben jogokkal és kötelezettségekkel rendelkeznek;
- a hulladékokra vonatkozó általános előírásokra (kivéve a külön jogi szabályozás alá eső hulladékokat);
- a hulladékképződés megelőzését szolgáló tevékenységekre;
- a hulladékgazdálkodási tevékenységekre és létesítményekre.

A törvény hatálya nem terjed ki olyan hulladéktípusokra, amelyekre a 2008/98/EK irányelvvel kívül más uniós jogszabályok a törvényben foglaltaktól eltérően rendelkeznek, így pl.:

- szennyvízre;
- állati melléktermékekre és a nem vágás következtében elpusztult és ártalmatlanításra kerülő állatokra;
- radioaktív hulladékokra;
- hatástalanított robbanóanyagokra;
- a természetes állapotában meglévő ki nem termelt szennyezett talajra, és a levegőbe kibocsátott légnemű anyagokra;
- 100 kilotonna tervezett mennyiséget el nem érő geológiai tárolásra;
- építési tevékenység során kitermelt anyagokra, szennyezett talajra;
- a felszíni vizekben áthelyezett üledékekre, iszapra.

A törvénnyel összefüggő hulladékgazdálkodási jogszabályok

Alapvető fontosságú, hogy az előzőleg hatályban lévő, hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII. törvényben, majd a jelenleg hatályos hulladékokról szóló 2012. évi CLXXXV. törvényben a további jogalkotási feladatokra utaló felhatalmazással lehetőség nyílt a hulladékgazdálkodás részletes szabályozó rendszerének kialakítására, valamint a jogharmonizáció eszközeit alkalmazva egyes elavult rendelkezések módosításával és/vagy hatályon kívül helyezésével egy fenntartható, egységes és EU-konform magyar hulladékgazdálkodási szabályrendszer kialakítására.

A törvényi felhatalmazás alapján megjelent fontosabb jogszabályok

- 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól
- 225/2015. (VIII. 7.) Korm. rendelet a veszélyes hulladékkal kapcsolatos egyes tevékenységek részletes szabályairól
- 72/2013. (VIII. 27.) VM rendelet a hulladékjegyzékről
- 12/2017. (VI. 12.) EMMI rendelet az egészségügyi szolgáltatóknál képződő hulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- 13/2017. (VI. 12.) EMMI rendelet a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás körébe tartozó hulladékkal kapcsolatos közegészségügyi követelményekről

- 442/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet a csomagolásról és a csomagolási hulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- 45/2004. (VII. 26.) BM-KvVM együttes rendelet az építési és bontási hulladék kezelésének részletes szabályairól
- 11/2017. (VI. 12.) EMMI rendelet a lakossági gyógyszerellátás során képződött gyógyszerhulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- 145/2012. (XII. 27.) VM rendelet a hulladékolajjal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységek részletes szabályairól
- 144/2012. (XII. 27.) VM rendelet a PCB, valamint a PCB-t tartalmazó berendezések kezelésének részletes szabályairól
- 445/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet az elem- és akkumulátorhulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységekről
- 29/2014. (XI. 28.) FM rendelet a hulladékégetés műszaki követelményeiről, működési feltételeiről és a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről
- 246/2014. (IX. 29.) Korm. rendelet az egyes hulladékgazdálkodási létesítmények kialakításának és üzemeltetésének szabályairól
- 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről
- 439/2012. (XII. 29.) Korm. rendelet a hulladékgazdálkodási tevékenységek nyilvántartásba vételéről, valamint hatósági engedélyezéséről
- 180/2007. (VII. 3.) Korm. rendelet az országhatárt átlépő hulladékszállításról
- 2011. évi LXXXV. törvény a környezetvédelmi termékdíjról
- 310/2013. (VIII. 16.) Korm. rendelet a hulladékgazdálkodási tervekre és a megelőzési programokra vonatkozó részletes szabályokról.

A törvényben foglalt alapelvek

A hulladékokról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény tartalmának ismeretét feltételezve e helyen csak a legfontosabb elvi megállapításokat ismételjük meg és elsősorban a hatósági feladatokkal foglalkozunk.

Az újra használat és az újra használatra előkészítés elve: a hulladékképződés megelőzése érdekében a termékek újra használatát, a hulladék újra használatra előkészítését, az újra használati hálózatok kiépítését jogi, gazdasági és műszaki eszközökkel kell elősegíteni.

A kiterjesztett gyártói felelősség elve: a gyártó felelős a termék és a technológia jellemzőinek a megelőzés és a hulladékgazdálkodás követelményei szempontjából történő kedvező megválasztásáért (pl. a felhasznált alapanyagok megválasztása, a termék élettartamának és újra használhatóságának felelőssége, a termékből képződő hulladék hasznosításának és ártalmatlanításának megtervezése, a visszavitt termék visszaváltása, a termékből származó hulladék átvétele, gyűjtése), amelyek e tevékenységekért vállalt pénzügyi felelősséget is magukban foglalják.

Az önellátás elve: az Európai Unió tagállamaival együttműködésben biztosítani kell, hogy Magyarország területén a hulladék ártalmatlanítására, valamint a vegyes hulladék hasznosítására alkalmas hulladékgazdálkodási létesítmények önálló hálózata jöjjön létre, és működőképes legyen.

A közelség elve: biztosítani kell, hogy a hazai hálózat lehetővé tegye a hulladék egyik legközelebbi, a célnak megfelelő hulladékgazdálkodási létesítményben a leginkább alkalmas technológiák segítségével történő hasznosítását vagy ártalmatlanítását.

A szennyező fizet elve: a hulladéktermelő, a hulladékbirtokos vagy a hulladékká vált termék gyártója felelős a hulladék kezeléséért, a hulladékgazdálkodás költségeinek megfizetéséért.

A biológiailag lebomló hulladék hasznosításának elve: elő kell segíteni, hogy a hasznosítás után a természetes szervesanyag-körforgásba minél nagyobb tisztaságú anyag kerülhessen vissza, valamint a hulladéklerakókon lerakásra kerülő települési hulladék biológiailag lebomló tartalma csökkenjen.

A költséghatékony hulladékgazdálkodási közszolgáltatás biztosításának elve: a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás körébe tartozó feladatok ellátása a legkisebb mértékben tegye szükségessé a hulladékgazdálkodási közszolgáltatási díj és a hulladék ártalmatlanítása után fizetendő díj emelését, és az ártalmatlanítás díja ne eredményezhesse a hulladéklerakási járulék közszolgáltatóra vagy a lakosságra történő áthárítását.

A keresztfinanszírozás tilalmának elve: a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás díját úgy kell megállapítani, hogy az fedezetet nyújtson a hulladékgazdálkodási közszolgáltatás indokolt költségeire és ráfordításaira, valamint a közszolgáltató e tevékenységével kapcsolatos ésszerű nyereségére, de nem tartalmazhatja a hulladékgazdálkodási közszolgáltatáson kívül eső egyéb gazdasági tevékenységeinek költségeit.

Törvény/II. Fejezet/ A hulladéokra vonatkozó általános szabályok

A környezet és az emberi egészség védelme

Minden hulladékgazdálkodási tevékenységet úgy kell megtervezni és végezni, hogy az a környezetet a lehető legkisebb mértékben terhelje, illetve ne okozzon környezetszennyezést, azaz ne jelentsen kockázatot a környezeti elemekre.

Emellett lényeges, hogy a hulladékgazdálkodási tevékenység ne veszélyeztesse az emberi egészséget és ne okozzon lakosságot zavaró (határértéket meghaladó) zajt vagy bűzt.

Mindezek elérése érdekében előnyben kell részesíteni a következőket:

- anyag- és energiatakarékos, hulladékszegény technológiák alkalmazását,
- az anyag termelési-fogyasztási körfolyamatban tartását,
- a legkisebb tömegű és térfogatú hulladékot, továbbá a kevesebb szennyező anyagot,
- illetve kisebb környezetterhelést eredményező termékek előállítását,
- a hulladékként kockázatot jelentő anyagok kiváltását.

Hulladékhierarchia

A hulladékképződés megelőzése és a hulladékgazdálkodás során az alábbi tevékenységek elsőbbségi sorrendben történő alkalmazására kell törekedni:

- a hulladékképződés megelőzése,
- a hulladék újra használatra előkészítése,
- a hulladék újra feldolgozása,
- a hulladék egyéb hasznosítása, így különösen energetikai hasznosítása, valamint
- a hulladék ártalmatlanítása.

Melléktermék

Az előállítási folyamat során keletkező olyan hulladékot, amelynek további felhasználása biztosított, az előállítását követően közvetlenül felhasználható, az előállítási folyamat szerves részeként állítják elő, a környezetet és az emberi egészséget hátrányosan nem érinti, és további használata jogszerű mellékterméknek lehet tekinteni, azaz kikerül a hulladékok köréből, így termékként forgalmazható (pl. bútorgyártási laptáblák során nem szennyeződött bútortáblák vágási maradéka tűzifa formájában).

A hulladékstátusz megszűnése

Egy hasznosítási műveleten átesett anyag vagy tárgy azonban csak akkor nem tekintendő hulladéknak, ha a következő feltételek **együttes teljesülése** áll fenn:

- meghatározott célra rendeltetésszerűen, általános jelleggel használják,
- rendelkezik piaccal vagy van rá kereslet,
- megfelel a rendeltetésére vonatkozó műszaki követelményeknek és a rá vonatkozó jogszabályi előírásoknak, szabványoknak,
- használata összességében nem eredményez a környezetre vagy az emberi egészségre káros hatást (a szennyező anyagok az előírt határértékek alatt vannak, káros környezeti hatás nem áll fent).

A hulladékstátusz megszűnésére vonatkozó feltételeknek való megfelelés igazolását, és időszakos ellenőrzését jogszabályban meghatározott tanúsító szervezet végezheti.

Törvény/III. Fejezet/ Hulladékgazdálkodási tevékenységek

A hulladékgazdálkodási tevékenységek körébe tartozik: a hulladék gyűjtése, szállítása, kezelése, ártalmatlanítása, az ilyen műveletek felügyelete, a hulladékgazdálkodási létesítmények és berendezések üzemeltetése, valamint a hulladékkezelő létesítmények utógondozása.

A hulladék gyűjtése

Itt a hulladék telephelyen belüli gyűjtésére hívjuk fel a figyelmet. A törvény értelmében a telephelyen belüli gyűjtés, bár meghatározott feltételekkel, de környezetvédelmi engedély nélkül végezhető. Az ilyen gyűjtőhelyek ellenőrzése, ennek következtében, fokozott gondosságot igényel.

A hulladék kereskedelme, közvetítése, szállítása, behozatala, kivitele és átszállítása

A hulladék kereskedelmét, közvetítését és szállítását csak hulladékgazdálkodási engedély birtokában lehet végezni.

Hulladék Magyarország területére az 1013/2006/EK európai parlamenti és tanácsi rendeletben, valamint az országhatárt átlépő hulladékszállításról szóló kormányrendeletben előírtak szerint hozható be, azonban ártalmatlanításra szánt veszélyes hulladékot, valamint ártalmatlanításra szánt háztartási hulladékot és a háztartási hulladék égetéséből származó maradékanyagot hazánk területére behozni nem lehet.

A hasznosításra vagy ártalmatlanításra szánt hulladék behozatalára, kivitelére és átszállítására is a környezetvédelmi hatóság adhat engedélyt.

A hulladék hasznosítása és ártalmatlanítása

A hulladék hasznosítása és ártalmatlanítása szintén csak hulladékgazdálkodási engedéllyel végezhető, oly módon, hogy összességében a legjobb környezeti eredményt biztosítsa, mind a hulladék hasznosítása (beleértve a hulladékok keverését, illetve hulladék égetőműben történő égetését is), mind a hasznosításra nem kerülő hulladékot ártalmatlanítása során.

A hulladék kereskedelmi, közvetítési, szállítási hasznosítási és ártalmatlanítási tevékenységekről pontosan vezetett, nyomon követhető adminisztrációt kell vezetni.

Törvény/IV. Fejezet/ A hulladékgazdálkodás egyes szereplőinek kötelezettségei

A hulladék birtokosára és a hulladék kezelőire egyaránt érvényesek a vonatkozó kötelezettségek, továbbá magára a kezelésre vonatkozó adatokat is nyilván kell tartani és arról adatot szolgáltatni. Mint már említettük, a hulladékkezelés körébe tartozó minden tevékenység engedélyköteles és az alkalmazott technológia, berendezés, eszköz stb. minősítéshez vagy alkalmassági vizsgálathoz köthető.

Általános szabályok az EU hulladék stratégiának megfelelően

- a hulladékképződés megelőzése (mennyiség és veszélyesség csökkentése)
- a hulladék hasznosítása (a hulladék anyag és energia tartalmának hasznosítása, ennek érdekében szelektív gyűjtés bevezetése)
- ártalmatlanítás csak a nem hasznosítható hulladékok esetén.

Fenti szabályok betartása elengedhetetlen a körforgásos gazdaság célkitűzéseinek megvalósulásához.

A hulladék keletkezésében szereplők kötelezettségei

A gyártók és a forgalmazók kötelezettségei – összhangban a kiterjesztett gyártói felelősségi rendszerre vonatkozó alapkövetelményekkel - kiterjednek a termékeik és a termékeik csomagolásával kapcsolatos előírások betartására, továbbá a termékeik forgalmazásával együtt járó, törvény vagy kormányrendelet által előírt betét- vagy letéti díj, illetve termékdíj megfizetésére.

A hulladék birtokosai köteles gondoskodni a hulladék kezeléséről, amelyet elvégezhet saját üzemeltetésű hulladékkezelő létesítményben vagy berendezéssel, illetve átadhat más hulladékkezelőnek, szállítónak, kereskedőnek és közszolgáltatónak egyaránt.

A hulladékgazdálkodás költségeit – a szennyező fizet elvvel összhangban – az eredeti hulladéktermelő, illetve a hulladék tényleges vagy korábbi birtokosa fizeti meg.

Törvény/V. Fejezet/ A hulladékgazdálkodási közszolgáltatásra vonatkozó általános szabályok

Az állami hulladékgazdálkodási közfeladatra vonatkozó rendelkezések

Az illetékes miniszter jogosult a hulladékgazdálkodás országos céljainak kijelölésére és a hulladékgazdálkodás fejlesztési irányainak jóváhagyására és a hulladékgazdálkodási közszolgáltatási díjak megállapítására. Emellett ellátja a körforgásos gazdaságra való áttéréshez kapcsolódó szakmapolitikai feladatokat, a hulladékgazdálkodás ágazati, szakmapolitikai felügyeletét és az elhagyott hulladék felszámolására vonatkozó jogszabályokban meghatározott feladatok koordinációját.

Az állam kormányrendeletben meghatározott termékekre vonatkozóan kötelező visszaváltási díjas rendszert alakít ki és működtet a kötelezően visszaváltási díjas termékek újrahasználata, valamint e termékekből származó hulladék országos, egységes, integrált hulladékgazdálkodási rendszerének megvalósítása érdekében.

A hulladékgazdálkodási feladatok ellátásának 35 évre szóló koncesszióját 2023-ban a MOL Hulladékgazdálkodási Zrt (MOHU) nyerte el. A MOHU saját tevékenysége mellett alvállalkozókat foglalkoztat a feladatok teljesítéséhez. A kötelező visszaváltási díjas rendszert is a koncessziós társaság működteti.

A települési önkormányzatra vonatkozó szabályok

A települési önkormányzat az állammal és a koncessziós társasággal együttműködve gondoskodik a tulajdonában álló, hulladék kezelését szolgáló létesítmények útján – az átvett hulladék kezeléséről. A települési önkormányzat a köztisztasági feladatok ellátása körében eleget tesz a közterületen elhagyott hulladék felszámolásával összefüggő kötelezettségének, illetve önkormányzati rendeletben állapítja meg az elhagyott hulladék felszámolásához szükséges helyi intézkedések körét.

Az ingatlanhasználóra vonatkozó szabályok

Az ingatlanhasználó köteles a hulladékgazdálkodási közszolgáltatást igénybe venni, amiért törvényben meghatározott hulladékgazdálkodási közszolgáltatási díjat fizet.

A közszolgáltatás körébe tartozó hulladékot a közszolgáltató szállítóeszközhöz rendszeresített gyűjtőedényben kell gyűjteni, és a kukát a hulladékszállítás napján reggel az utcára ki kell helyezni a közszolgáltató részére. Az ingatlanhasználó emellett jogosult hulladékgyűjtő pontra is leadni a külön gyűjtött települési hulladékokat.

Az ingatlanhasználó köteles a zöldhulladékot a közszolgáltatás körébe tartozó többi hulladéktól elkülönítetten gyűjteni, és a közszolgáltatónak úgy átadni, hogy a zöldhulladék komposztálhatósága biztosítható legyen.

A hulladékgazdálkodási közszolgáltatási résztevékenységet ellátó koncessziós társaságra vonatkozó szabályok

A hulladékgazdálkodási közszolgáltatási résztevékenységet ellátó koncessziós társaság a koncessziós területen gondoskodik a hulladékgazdálkodási közszolgáltatási résztevékenység folyamatos ellátásáról. Feladatát a hulladékhierarchia figyelembe vételével látja el oly módon, hogy a hulladékgazdálkodási tervekben foglalt környezetvédelmi, megelőzési, hasznosítási és ártalmatlanítási célkitűzések teljesüljenek. Évente legalább 1 alkalommal gondoskodnia kell a lomtalanítás megszervezéséről, majd a lomtalanítás során a számára átadott vagy közterületre helyezett lomhulladék átvételéről, összegyűjtéséről, elszállításáról. Mindemellett a hulladékgazdálkodási közszolgáltatással kapcsolatos bejelentések intézése, panaszok kivizsgálása, orvoslása és a közszolgáltatással kapcsolatos általános tájékoztatásnyújtás biztosítása érdekében ügyfélszolgálatot működtet.

Törvény/VI. Fejezet/ Az egyes hulladékfajtákra vonatkozó általános szabályok

A termelési hulladék

A termelési hulladékot a háztartási hulladéktól elkülönítetten kell gyűjteni. Törekedni kell arra, hogy a termelési hulladék a képződés helyétől az elérhető leggazdaságosabb módon és legrövidebb időn belül kerüljön hasznosító vagy ártalmatlanító létesítménybe.

A veszélyes hulladék

A hulladék veszélyes hulladéknak minősül, ha az a hulladékjegyzékről szóló miniszteri rendeletben meghatározott hulladékjegyzékben veszélyes hulladékként szerepel. A hulladék akkor is veszélyes hulladéknak minősül, ha az nem veszélyes hulladékként szerepel a hulladékjegyzékben, de a hulladékgazdálkodási hatóság megállapítja, hogy rendelkezik ezen törvény 1. mellékletben meghatározott veszélyességi jellemzők valamelyikével. Az ilyen ismeretlen összetételű és a hulladékjegyzékben közelebbről meg nem határozott típusú hulladékot a hulladékgazdálkodási hatóság döntéséig veszélyes hulladéknak kell tekinteni.

A hasznosításra vagy ártalmatlanításra kerülő veszélyes hulladék a gyűjtést követően a hasznosítás vagy az ártalmatlanítás megkezdéséig az előkezeléssel együtt összesen legfeljebb 1 évig tárolható.

A veszélyes hulladék kezelésének részletes előírásait a veszélyes hulladékkal kapcsolatos egyes tevékenységek részletes szabályairól szóló 225/2015. (VIII.7.) Kormányrendelet tartalmazza.

A hulladékolaj

A hulladékolajat a hulladékbirtokos elkülönítetten gyűjti, kivéve, ha a helyes gyakorlatra tekintettel az műszaki szempontból nem megvalósítható. A hulladékolaj kezelője a hulladékolajat elsősorban regenerálja, vagy a környezet és az emberi egészség védelmére, valamint a hulladékhierarchiára vonatkozó előírásoknak megfelelően olyan hulladékkezelési műveletet alkalmaz, amely a regenerálással egyenértékű, vagy annál jobb környezeti eredményt biztosít.

A biohulladék

A hulladékbirtokos a biohulladékot annak képződése helyén elkülönítve gyűjti, és gondoskodik újra feldolgozásáról, vagy elkülönített, más hulladékokkal össze nem kevert gyűjtésével gondoskodik annak hasznosításáról. A biológiai lebomlás és komposztálhatóság szempontjából hasonló tulajdonságokkal rendelkező hulladék, amely megfelel a komposztálással és biológiai lebomlással hasznosítható csomagolásra vonatkozó európai szabványoknak, vagy bármely azokkal egyenértékű nemzeti szabványnak, a biohulladékkal együtt gyűjthető. A biológiailag lebomló hulladék képződésének megelőzésére vonatkozó tevékenységek, a biológiailag lebomló hulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységek részletes szabályait és a biohulladékból előállított komposzt osztályozásának szabályait az 559/2023. (XII. 14.) Korm. rendelet tartalmazza.

Törvény/VII. Fejezet/ A hulladék jogellenes elhelyezésével, illetve elhagyásával kapcsolatos szabályok

A szennyező fizet elve alapján a hulladék gyűjtésére és kezelésére vonatkozó, törvényben foglalt előírások megsértése esetén a hulladék tulajdonosát vagy birtokosát terheli minden felelősség, kivéve, ha az illegális hulladékkezelési tevékenységet elkövető személye bizonyítható.

Törvény/VIII. Fejezet/ A hulladékgazdálkodási tevékenységekhez kapcsolódó kötelezettségek

Hulladékgazdálkodási tevékenység a környezetvédelmi hatóság által kiadott hulladékgazdálkodási engedély vagy nyilvántartásba vétel alapján végezhető.

A hulladék termelőjének vagy birtokosának a hulladékot típus és jelleg szerint a hulladékjegyzékről szóló miniszteri rendeletben meghatározottak szerint be kell sorolnia. Amennyiben a hulladék az előbb említett jogszabály szerint nem sorolható be, azt a környezetvédelmi hatóság végzi el. A hulladékgazdálkodás egyes szereplőinek a kezelésükben lévő hulladékkal kapcsolatos, nyomon követhető nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettsége van.

A hulladéklerakó üzemeltetőjének, valamint egyes ártalmatlanítási művelet végzőjének a hulladéklerakás csökkentése, valamint az e törvényben meghatározott hasznosítási arányok teljesítése érdekében hulladéklerakási járulékot kell fizetnie, kivéve bizonyos, a törvényben foglalt rekultiváció vagy kármentesítés tevékenységek esetén.

A hulladékkezelő létesítmény üzemeltetőjének a kezelésre kerülő hulladék mennyiségével arányosan, biztosítékot nyújtó céltartalékot kell képeznie, illetve a tevékenységével okozható, előre nem látható környezeti károk felszámolását finanszírozó környezetvédelmi biztosítással kell rendelkeznie.

Törvény/IX. Fejezet/ A hulladékgazdálkodás tervezése

Az Országos Hulladékgazdálkodási Terv (OHT)

A Hulladék Keretirányelv előírja, hogy a tagállamok illetékes hatóságainak hulladékgazdálkodási tervet kell készíteniük.

A hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény alapján a hulladékgazdálkodás országos tervezése az Országos Hulladékgazdálkodási Terv (OHT) keretén belül valósul meg. A jelenleg érvényes, a 2021-2027 időszakra vonatkozó Országos Hulladékgazdálkodási Terv (Bázisév: 2018) elfogadása az 1704/2021. (X. 6.) Korm. határozattal valósult meg.

Az OHT részét képezi a Cselekvési Program és az Országos Megelőzési Program.

Az OHT a vonatkozó jogszabályok, a hulladékgazdálkodási tervekre és a megelőzési programokra vonatkozó részletes szabályokról szóló 310/2013. (VIII. 16.) Korm. rendelet, az egyes tervek, illetve programok környezeti vizsgálatáról szóló 2/2005. (I. 11.) Korm. rendelet, valamint a kormányzati stratégiai irányításról szóló 38/2012. (III. 12.) Korm. rendelet előírásai figyelembevételével készült.

Cselekvési Program (CsP)

A hulladék kezelésének racionalizálása és hatékonyságának növelése érdekében a CsP meghatározza:

- a hulladékképződés csökkentését szolgáló rövid és hosszú távú intézkedéseket;
- a gyűjtési és szállítási rendszerek fejlesztését szolgáló rövid és hosszú távú intézkedéseket;
- a hasznosítással és az ártalmatlanítással kapcsolatos célkitűzések megvalósítását biztosító fejlesztéseket, intézkedéseket, figyelemmel az egyes hasznosítási és ártalmatlanítási rendszereknek a tervezési területre vonatkozó környezetvédelmi programokban, a területfejlesztési koncepciókban és programokban, a településfejlesztési koncepcióban és integrált településfejlesztési stratégiában, valamint terület- és településrendezési eszközökben foglaltakkal való összehangolásának követelményére;
- az egyes célkitűzések, fejlesztések, beruházások megvalósításhoz szükséges eszközöket, előkezelő, hasznosítási és ártalmatlanítási eljárásokat, berendezéseket és létesítményeket;
- az egyes fejlesztések, beruházások megkezdésének prioritási rendjét, továbbá a fejlesztések, beruházások, intézkedések végrehajtásának, megvalósításának sorrendjét;
- az egyes célkitűzések megvalósításához szükséges becsült költségeket. A támogatások az állami támogatási szabályok figyelembevételével kerülnek majd megállapításra.

A CsP részét képezik a kutatásfejlesztési és innovációs tevékenységek, amelyek célja a hulladékok gyűjtési rendszerének optimalizálása, az egyes hulladékok újra feldolgozási arányának növelése, a nem hasznosítható hulladékok környezetkímélő ártalmatlanítását lehetővé tevő korszerű technológiák kialakítása.

Országos Megelőzési Program (OMP)

Az OMP a hulladékképződés megelőzésére irányuló célkitűzéseket, feladatokat, intézkedéseket, illetve az intézkedések által elért eredmények nyomon követésére és értékelésére, továbbá a tervezett intézkedések hatékonyságának ellenőrzésére szolgáló egyedi minőségi és mennyiségi mutatókat foglalja magába.

Az OMP átfogó célja olyan intézkedések bevezetése, amelyek elősegítik az erőforrás-használat és a szükségleteken alapuló, racionális gazdasági növekedés harmonizálását, csökkentik az anyagfelhasználást és a hulladék képződését, hozzájárulnak a hatékonyabb erőforrás-gazdálkodás megvalósításához, és a termékek életciklusának növeléséhez, elősegítik az életciklusuk során a környezetre a lehető legkisebb hatást gyakorló megoldások alkalmazását.

Törvény/X. Fejezet/ A hulladékgazdálkodással kapcsolatos egyes hatósági tevékenységek

Hatósági hatáskörök, hatósági felügyelet és ellenőrzés

A kormányhivatalok alá tartozó környezetvédelmi hatóságok gyakorolják a hatósági jogkört a hulladékgazdálkodási kérdésekben, amelynek részei a hatósági engedélyezés, a nyilvántartásba vétel, az ellenőrzés és bírságok kiszabása.

A környezetvédelmi hatóságok jogköre kiterjed minden a hulladékgazdálkodással kapcsolatos tevékenység engedélyezésére, ebbe beleértendő a hulladék gyűjtése, begyűjtése, tárolása, szállítása, előkezelése, hasznosítása és ártalmatlanítása egyaránt. Az engedélyek megadásához minden esetben szükséges a megfelelő dokumentumok benyújtása, amelyek bizonyítják az alkalmazni kívánt technológiák alkalmasságát, illetve az elérhető legjobb eljárásnak való megfelelést (BAT).

A környezetvédelmi hatóság fontos feladata a hulladékkal kapcsolatos tevékenységek ellenőrzése, amely magában foglalhat laboratóriumi vizsgálatokat és az adminisztratív kötelezettségek teljesítését. A helyszíni ellenőrzést meghatározott rendszerességgel kell végezni, amelyet bejelentést követően tesznek meg, de ettől függetlenül rendkívüli ellenőrzésre is sor kerülhet például panaszbejelentés kivizsgálásának érdekében. Abban az esetben, amikor súlyos környezetvédelmi vagy közegészségügyi veszély áll fenn, a helyszíni ellenőrzés bejelentés nélkül is végrehajtható.

A helyszíni ellenőrzés alapidokumentuma a nyilvántartó lap, amelynek adattartalma különböző attól függően, hogy milyen hulladékról van szó (pl. települési-, termelési veszélyes- és nem veszélyes hulladék.). A termelési hulladékok mennyisége és minősége meghatározásának alapja az anyagmérleg, a nyilvántartást technológiánként és hulladékokként kell vezetni. A keletkező hulladékokat a környezetvédelmi felügyelőségeknek be kell jelenteni, azonban a bejelentőlap nem pótolja a nyilvántartó lapot, mert annál szűkebb adattartalommal rendelkezik, elsősorban a helyspecifikus adatokra vonatkozóan.

A hulladék minőségének, gyűjtésének, tárolásának, előkezelésének, illetve a hasznosítási technológiának, a környezet szennyezésének értékelése megkívánhatja helyszíni tájékoztató vizsgálatok vagy mintavételt követő laboratóriumi vizsgálatok elvégzését is.

A laboratóriumi vizsgálatok hosszabb időt igényelnek, amire számítani kell a helyzet értékelésének és az eredmények hasznosításának szempontjából.

A hulladékgazdálkodási engedélyhez vagy nyilvántartásba vételhez kötött tevékenységet folytatók a környezetvédelmi hatóság részére éves felügyeleti díjat fizetnek, amely a környezetvédelmi hatóság bevételeit képezi, és a felügyeleti tevékenységével kapcsolatos működési költségeinek fedezetére használhat fel.

A hulladékgazdálkodással kapcsolatos szabályok megsértésének jogkövetkezménye többek között a hulladékgazdálkodási bírság, súlyosabb esetben a hulladékgazdálkodási tevékenység felfüggesztése, illetve végleges megvonására is sorra kerülhet.

Hulladékgazdálkodási információk publikus felületen történő közzététele

Az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer publikus felületén közzé kell tenni a hulladékgazdálkodási engedélyben vagy a nyilvántartásban szereplő adatokat.

A hulladékgazdálkodási tevékenységekre vonatkozó adatokat tevékenység fajtánként és hulladéktípusonként kell megadni. A képződő és a kezelt hulladékok mennyiségére vonatkozó összesített adatokat területi bontásban és térképi megjelenítéssel kell megjeleníteni. A települési hulladék képződésére és kezelésére vonatkozó összesített adatokat külön is fel kell tüntetni.

Törvény/XI. Fejezet/ Záró rendelkezések

A hulladéklerakókról, a hulladék újra feldolgozásával kapcsolatos célok teljesítéséről, továbbá az OHT-ról, a területi hulladékgazdálkodási tervekről, az OMP-ről, a területi hulladékgazdálkodási programokról valamint ezek lényeges módosításáról az Európai Bizottság felé történő jelentéstételi előírások teljesítése miniszteri hatáskörbe tartozik.

TELEPÜLÉSI HULLADÉKOK

Dr. Szabó Zoltán

A **települési hulladék** a háztartási és a háztartási hulladékhoz hasonló hulladék, amely nem foglalja magában a termelésből, a mezőgazdaságból, az erdőszetből, a halászatból származó hulladékot, a nem közművel összegyűjtött háztartási szennyvizet, a szennyvíziszapot, továbbá az elhasználódott járműveket, és az építési-bontási hulladékot.

Háztartási hulladék a háztartásokban képződő vegyes és elkülönítetten gyűjtött hulladék, amely magában foglalja a papír- és kartonpapír, üveg-, fém-, és műanyag hulladékot, biohulladékot, fa- és textil hulladékot, csomagolási hulladékot, elektromos és elektronikus berendezések hulladékait, elem és akkumulátor hulladékot, továbbá a lomhulladékot.

Háztartási hulladékhoz hasonló hulladék az a vegyes, illetve elkülönítetten gyűjtött hulladék, amely a háztartáson kívül képződik, és jellegében, összetételében a háztartási hulladékhoz hasonló.

Az EU tagországok gazdasági gyakorlatára jelenleg a lineáris gazdasági modell a jellemző. Ennek során a termékeket az elsődleges nyersanyagokból állítják elő, amelyek a felhasználást követően hulladékká válnak. A hulladékok anyag- és energiatartalma csak kis hányadban hasznosul, így kikerül a rendszerből. A folyamatosan növekvő elsődleges nyersanyag és energiaigény kielégítése hosszú távon nagymértékben csökkenti a rendelkezésre álló természeti erőforrások mennyiségét. Mindezek ellensúlyozására az EU-ban elsődleges prioritás a hulladék mennyiségének csökkentése és a körforgásos gazdaságra való átállás.

A körforgásos gazdasági modellben a nem megújuló anyagok zárt körben mozognak. Fontos feladat az egyes termékcsoportok környezetbarát tervezése, aminek célja, hogy az egyes termékek minél tartósabbak, javíthatóak és egészen vagy részenként újrahasználhatóak legyenek. Cél, hogy a termékek, alapanyagok és erőforrások használata minél teljesebb mértékű legyen és a képződő hulladék mennyisége minimálisra csökkenjen. További cél a termék és részei életciklusának végén keletkező hulladékok hasznosíthatóságának biztosítása.

Magyarországon az egy főre jutó települési hulladék mennyisége 78,5 %-a az EU tagországok átlagának. A hulladék mennyiségének csökkentése és a körforgásos gazdaságra való átállás hazánkban is fontos stratégiai kérdés. A körforgásos gazdaság megvalósítását célzó, hulladékgazdálkodással kapcsolatos európai uniós módosított irányelvek jogharmonizációs kötelezettségeit Magyarország már teljesítette.

A települési hulladék mennyiségére vonatkozó adatgyűjtés az OKIR EHIR rendszerbe érkező alapadatok alapján történik (IX.táblázat).

IX. táblázat **Települési hulladék képződött mennyisége 2010-2018 között**

Év	Települési hulladék mennyisége (t/év)
2010	4 033 106
2011	3 808 878
2012	3 987 496
2013	3 737 799
2014	3 794 764
2015	3 711 969
2016	3 720 912
2017	3 767 876
2018	3 745 724

(forrás: OKIR EHIR)

A települési hulladék a teljes hulladék mennyiségének az elmúlt években összesen mintegy 20-26 %-át jelentette. A települési hulladékok kezelési módjai az anyagában hasznosítás, a lerakás és az energetikai hasznosítás (X.táblázat).

X. táblázat **Települési hulladék kezelése 2010-2018 között (tonna/év)**

Települési hulladék	2010	2018
Anyagában történő hasznosítás	788 786	1 393 808
Energetikai hasznosítás	406 426	501 289
Lerakással történő ártalmatlanítás	2 837 894	1 850 627
Összesen	4 033 106	3 745 724

A települési hulladék kezelésének kedvező változását jelzi, hogy a települési hulladék lerakással történő ártalmatlanítási aránya a 2010. évi 70%-ról 2018-ra 49,5%-ra csökkent, míg az anyagában hasznosított települési hulladék mennyisége a 2010. évi 19,5%-ról 2018-ban 37%-ra nőtt. Az anyagában történő hasznosítás arányának további növekedése várható, mivel az OHT 2025-re 50%-os újra használatra előkészített és újra feldolgozott települési hulladékarányt ír elő. A települési hulladék energetikai hasznosítással történő kezelésének aránya 2010-2018 között 10-16% között változott.

Az OHT 2014-2020. időszakában befejeződtek a települési hulladék lerakására szolgáló korszerű, a vonatkozó jogszabályi előírásoknak megfelelő műszaki védelemmel ellátott és kialakított hulladéklerakók létesítési munkái.

A komposztálásra kerülő hulladék mennyisége az elmúlt időszakban növekedett a települési hulladék körében. A teljes kezelt települési hulladék mennyiségéhez képest a komposztálással kezelt települési hulladék mennyiségének az aránya a 2010. évi 3,67%-ról 2018-ra 8,29%-ra növekedett.

A települési hulladék exportja jellemzően az elkülönítetten gyűjtött frakciók (papír, műanyag, fém stb.) tekintetében jelentősebb. A 2018. évi adatok alapján az export mennyisége 10,6%.

Cselekvési irányok

Az újra használatra előkészített és újra feldolgozott települési hulladék arányának 2025-re el kell érnie az 50%-ot, míg a lerakott települési hulladék mennyiségének 2035-re 10% alá kell csökkennie. Az élelmiszerhulladék képződésének mértékét minél nagyobb mértékben kell korlátozni.

Fő feladatok és intézkedések

- A hulladék képződésének megelőzéséhez kapcsolódó, fenntartható tervezési követelmények megfogalmazása és bevezetése.
- A hulladékkezelő létesítmények hálózatának rendszerszerű korszerűsítése.
- A meglévő települési hulladék előkezelő rendszerek fejlesztése, átalakítása.
- Az anyagában nem hasznosítható hulladékok energetikai hasznosításához kapcsolódó technológiák fejlesztése.
- A települési hulladékgyűjtő szigetek közegészségügyi karbantartásának folyamatos biztosítása.
- A települési hulladék hasznosító kapacitások fejlesztése technológiafejlesztéssel és/vagy új technológiák kiépítésével.
- A települési hulladék egyes frakcióinak újra használatra való előkészítését szolgáló fejlesztések végrehajtása.
- A biohulladék és háztartási sütőolaj kötelező elkülönített gyűjtését szolgáló rendszer kiterjesztése.
- A textilanyagok kötelező elkülönített gyűjtését szolgáló rendszer kialakítása, működtetése.
- Az élelmiszer hulladék mennyiségének csökkentését elősegítő intézkedések megvalósítása, és az élelmiszerhulladéokra vonatkozó jelentéstételi kötelezettség bevezetése.
- A csomagolási hulladék elkülönített gyűjtésének, újra feldolgozásának növelését elősegítő intézkedések megvalósítása.
- A meglévő csomagolási papír, műanyag, üveg, fém és zöld hulladék elkülönített gyűjtését szolgáló rendszer működtetése, fejlesztése.
- A műanyag és üveg italpalackok, valamint fém italos dobozok kötelező visszaváltási rendszerben történő gyűjtésének lehetővé tétele.
- A hulladékok jogellenes elhelyezésének, illetve elhagyásának megelőzése, a már elhelyezett, illetve elhagyott hulladékok felszámolása és visszahelyezésük megakadályozása.
- Az illegális hulladékégetés visszaszorítása.
- A lakosság szemléletformálása, tájékoztatása a hulladék megelőzésére, hasznosítására és ártalmatlanítására vonatkozó előírásokról és lehetőségekről.

BIOHULLADÉKOK

Dr. Szabó Zoltán

A Hulladéktörvény a biológiailag lebomló hulladék és a biohulladék fogalmának meghatározásán túl előírásokat is tartalmaz a biológiailag lebomló hulladék kezelésével kapcsolatban. A biológiailag lebomló hulladék hasznosításának elve szerint elő kell segíteni a biológiailag lebomló hulladék elkülönített gyűjtését és hasznosítását annak érdekében, hogy a természetes szervesanyag körforgásba minél tisztább anyag kerüljön vissza, és a hulladéklerakókon lerakásra kerülő hulladék biológiailag lebomló tartalma csökkenjen.

Komposztálás, biogáz előállítás és stabilizálás

Az elkülönítetten gyűjtött biohulladék ellenőrzött körülmények között, oxigén jelenlétében mikro- és makroorganizmusok segítségével történő autotermikus és termofil biológiai lebontását **komposztálásnak** nevezzük. A folyamat végterméke a komposzt, amely olyan természnövelő anyag, amely a növények tápanyagellátásának, illetve a talaj tápanyag-szolgáltató képességének javítására szolgál.

Amennyiben a lebontás oxigén kizárása mellett történik, anaerob biológiai lebontásról beszélhetünk. Az anaerob biológiai lebontás az elkülönítetten gyűjtött biohulladék ellenőrzött körülmények között, oxigén kizárása mellett történő lebontása, mikroorganizmusok (beleértve a metánképző baktériumokat is) segítségével, **biogáz előállítás** céljából, szilárd lebontási maradék keletkezése mellett.

A biológiai kezelés harmadik típusa a **stabilizálás**, ami a biohulladék bomlóképségeinek csökkentése olyan mechanikai-biológiai eljárással, aminek következtében a szagemisszió minimalizálódik a légzési intenzitás egyidejű csökkenése mellett. A stabilizálás végterméke a stabilizált biohulladék, azaz a komposztálásra vagy anaerob biológiai lebontásra alkalmatlan biohulladék mechanikai-biológiai kezeléséből származó olyan anyag, amelynél a stabilizálást követően további biológiai lebomlás már nem várható.

A leginkább elterjedt **komposztálás** első fázisában mezofil baktériumok, sugárgombák és élesztők végzik a könnyen hasznosítható zsírok, fehérjék és szénhidrátok lebomlását.

Kedvező nedvességtartalom és levegőztetés mellett a szerves anyagok lebomlásánál a hőfejlődés mértéke meghaladja a hőleadását. Amint a hőmérséklet 40-50°C-ra emelkedik, a komposztálást beindító mezofil mikroorganizmusok elpusztulnak. Helyüket a termofil baktériumok veszik át, melyek általában 70°C-ig képesek szaporodni és hőt fejleszteni. Ebben a fázisban a komposzt hőmérséklete eléri a 60–70°C-t, mely hőmérsékleten a kórokozó mikroorganizmusok és parazita bélféregpeték – néhány spórás baktérium kivételével – elpusztulnak. A hőmérséklet további emelkedésével a termofil baktériumok is elhalnak.

A szerves anyag lebomlás és hőtermelés leállása után megkezdődik a komposzt lehűlése, aminek folyamán főleg sugárgombák és gombák szaporodnak a még hasznosítható szerves maradványokon. A humusz anyagok és egyéb stabilizált szerves anyagok szintézise ebben a fázisban történik.

A komposztálási folyamatot az alábbi fő tényezők határozzák meg:

- **a bomló anyagok minősége;** a könnyen bontható anyagokban élénk mikrobiológiai tevékenység alakul ki, ennek megfelelően gyors és nagy hőfejlődés jön létre. A nehezen bomló anyagokban a mikroorganizmusok lassabban szaporodnak el, ennek következtében a mineralizációs folyamatok elhúzódóak, a hőfejlődés lassabb. Toxikus anyagok jelenléte a folyamatot lassíthatja, illetve meg is gátolhatja.
- **a C/N és C/P arány;** a mikroorganizmusok szaporodásához elegendő mennyiségű nitrogén és foszfor szükséges, ellenkező esetben a bomlás nem éri el a kielégítő intenzitást. A C/N arány megkívánt értéke 30:1, míg a C/P arány 500:1 körül van. A szükséges nitrogén és foszfor mennyisége a C, az N és a P kémiai kötésiformájának függvényében változhat.
- **az anyag aprózottsága, homogenitása;** a kisebb hulladékdarabok a mikroorganizmusok számára jobban hozzáférhetőek, ezért a technológiában a komposztálás előtt gyakran aprítanak. Fontos az is, hogy a különböző fizikai, kémiai sajátosságú anyagok minél homogénebb halmazt alkossanak. Így a hulladék különböző pontjain C/N arány és a nedvességtartalom nem lesz túlságosan eltérő.
- **a levegőellátottság;** ez határozza meg a lebomlási folyamat aerob, illetve anaerob jellegét. Az aerob folyamatok nem bűzösek, a hőmérséklet gyorsan emelkedik, ami biztosítja a patogén mikroorganizmusok elpusztulását. Az anaerob lebomlás során bűzös anyagok keletkeznek, amelyek vonzzák a legyeket és a rágcsálókat. A hőmérséklet itt alacsonyabb, és a folyamat elhúzódó. Hangsúlyozni kell azonban, hogy nincs csak aerob vagy anaerob lebomlás, ezek a folyamatok párhuzamosan, egymást kiegészítve mennek végbe. A komposztálás jellegét az aerob és anaerob folyamatok aránya határozza meg.
- **nedvességtartalom;** a kiszáradás gátolja a mikroorganizmusok tevékenységét, míg a nagy nedvességtartalom anaerob körülmények kialakulásához vezet. Kedvező a nedvességtartalom, ha a bomló anyag állandóan nedves tapintású (40-60 % víztartalom).
- **pH érték;** a komposztálásban részt vevő mikroorganizmusok pH-tartománya 4-9 közé esik. Savas viszonyok között a gombák, míg lúgos viszonyok között a baktériumok tevékenysége kifejezettebb. A pH értéke a komposztálás folyamán is változik. A könnyen hasznosítható szerves anyagok lebomlásánál keletkező szerves savak a pH-t 4-5-re csökkentik. A szerves savak degradációja a termofil fázisra esik, amikor a komposzt pH-ja 8,0-8,5-re emelkedik.
- **hőmérséklet;** a komposztáláshoz a hulladékokat olyan formában kell lerakni, hogy minél kisebb hőveszteség mellett a szükséges levegőellátás is biztosítva legyen.

A biológiailag lebomló hulladék képződésének megelőzésére vonatkozó tevékenységeket, a biológiailag lebomló hulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységek részletes előírásait és a biohulladékból előállított komposzt osztályozásának alapelveit az 559/2023. (XII. 14.) Korm. rendelet szabályozza.

A rendelet hatálya kiterjed:

- a biológiailag lebomló hulladék képződésének megelőzésére;
- a biológiailag lebomló hulladékra;
- a stabilizált hulladékra;
- a vegyes hulladékra;

- az erjesztési maradékra;
- a komposztra;
- a házi és közösségi komposztálásra;
- a telepi komposztálásra;
- a komposztálható bioműanyagokra ;
- a telepi komposztáláshoz felhasználható segédanyagokra;
- a stabilizálásra;
- a biogáz előállításra;
- a biogáz előállításához felhasználható segédanyagokra és
- a biológiailag lebomló hulladék hulladékstátuszának megszűnésére.

A rendelet hatálya nem terjed ki:

- a szennyezett földtani közeg, kitermelt szennyezett talaj kármentesítési eljárásban történő biológiai ártalmatlanítására;
- a mező- és erdőgazdálkodási tevékenység során képződő, a felszínen és a felszín alatt visszamaradó növényi maradványokra, a biogáz előállításához felhasználható segédanyagokra;
- a hulladéklerakóban természetes módon képződő biogázra és
- a sütőolajból és zsírból képződő hulladéokra.

A rendelet alkalmazásában

biogáz előállítás: olyan hasznosítási művelet, amelynek során a biológiailag lebomló anyag, hulladék ellenőrzött körülmények között, anaerob környezetben, mikroorganizmusok segítségével lebomlik, és a lebomlás eredményeképpen biogáz és erjesztési maradék képződik;

biológiai kezelés: a biogáz-előállítás, a zöldhulladék előkezelése, a komposztálás, valamint a stabilizálás;

házi komposztálás: a zöldhulladéknak és a konyhai zöldhulladéknak vagy más növényi eredetű szerves anyagnak saját célra történő olyan feldolgozása, amelynek során házi komposzt képződik; **higiénizáció:** a biológiailag lebomló hulladékban a fertőző mikrobák vegetatív formájának minimálisra csökkentése a fertőzés kizárása érdekében;

komposzt: az 1. melléklet szerinti hulladék, továbbá háztartásokban képződő zöldhulladékból és a konyhai zöldhulladékokból - segédanyagok felhasználásával - komposztálás során előállított, magas szervesanyag-tartalmú, növényi tápanyagban gazdag – külön jogszabályban meghatározott – humuszszerű anyag, amelynek megszűnt a hulladékstátusza;

koncesszió hatálya alá tartozó biológiailag lebomló hulladék: zöld növényi hulladék, valamint a konyhai zöld- és élelmiszer-hulladék;

konyhai élelmiszer-hulladék: a háztartásokban képződő emberi fogyasztásra szánt konyhai étel és élelmiszer, amely hulladékká vált, és amely nem minősül konyhai zöldhulladéknak;

konyhai zöldhulladék: konyhai zöldhulladéknak tekinthető a háztartások növényi eredetű konyhai hulladéka, amely nyers zöldség- és gyümölcs maradványokat, kávézaccot (filter, kapszula és egyéb csomagolóanyag nélkül), teafüvet (filter és egyéb csomagolóanyag nélkül), fűszereket, gyógynövényeket, tojáshéjat tartalmaz;

közösségi gyűjtés: a lakóközösség által a zöldhulladék és konyhai zöldhulladék lakóépületekhez közvetlen közeli helyen történő elkülönített gyűjtése;

közösségi komposztálás: olyan házi komposztálás, ahol a komposztálás előkezelését, komposztálást, komposzt felhasználását társasházak, lakásszövetkezetek, a lakóközösségek közösen végzik;

légzési intenzitás: a biológiailag lebomló hulladék szervesanyag-tartalmának oxigénfogyasztása [$\text{mg O}_2/\text{g}$ szárazanyag];

minősített termék komposzt: az 1. melléklet szerinti hulladék, továbbá segédanyagok felhasználásával telepi komposztálás során előállított, magas szervesanyag-tartalmú, növényi tápanyagban gazdag humuszszerű, a termésmenvelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló miniszteri rendelet alapján forgalomba hozatali engedéllyel rendelkező termésmenvelő és talajjavító anyag, amely elhagyta a hulladéktárost;

nyitott komposztálási rendszer: a komposztáló telepen alkalmazott olyan komposztálási technológia, amelynek alkalmazása során a komposztálási egység levegővel történő közvetlen érintkezése biztosított, és a komposztálási egység nincs letakarva, körülhatárolva műszaki vagy építészeti elemekkel;

stabilizálás: olyan előkezelési művelet, amelynek során a biológiailag lebomló hulladékot tartalmazó vegyes hulladék biológiai bomló képességét mechanikai és biológiai eljárások szükség szerinti kombinációinak alkalmazásával csökkentik, és ennek következtében a légzési intenzitás mértéke csökken és a higiénés feltételeknek megfelelő stabilizált hulladék jön létre, amelynek a légzési intenzitása (AT_4) $10 \text{ mg O}_2/\text{g}$ szárazanyag tartalom érték alá csökken;

stabilizált hulladék: komposztálásra vagy anaerob biológiai lebontásra alkalmatlan biohulladék mechanikai-biológiai kezeléséből származó olyan anyag, melynél a stabilizálást követően a 4 nap utáni (AT_4) légzési intenzitási érték $10 \text{ mg O}_2/\text{g}$ érték alá, a dinamikus légzési intenzitás érték $1\,000 \text{ mg O}_2/\text{kg VS} \cdot \text{h}$ érték alá csökken;

telepi komposztálás: a komposztáló telepen végzett olyan hasznosítási művelet, amelynek során a biológiailag lebomló hulladék, továbbá a hozzáadott segédanyagok oxigén jelenlétében, mikroorganizmusok és egyéb élő szervezetek segítségével autotermikus és termofil biológiai folyamatok útján lebomlik, és ennek eredményeképpen biológiailag stabil, szerves és szervetlen komponenseket, kórokozókat legfeljebb a 2. melléklet szerinti koncentrációban tartalmazó komposzt jön létre;

zárt komposztálási rendszer: a komposztáló telepen alkalmazott olyan komposztálási technológia, amelynek alkalmazása során a komposztálási folyamat zárt egységben, műszaki vagy építészeti elemek alkalmazásával valósul meg.

VS (= volatile solids)

⁴⁵ https://www.academia.edu/119196842/A_new_liquid_phase_method_and_its_comparison_to_two_solids_phase_microbial_respiration_activity_methods_to_assess_organic_waste_stability

A rendelet szerint - amennyiben ez műszakilag megvalósítható - a növényi eredetű szervesanyagok házi vagy közösségi komposztálását kell megvalósítani. A koncessziós társaság legalább ötévente, országos szinten adatot gyűjt a házi és közösségi komposztálás során képződő komposzt mennyiségéről és felhasználásáról.

A biológiailag lebomló hulladék elkülönített gyűjtésére vonatkozó szabályok

A biológiailag lebomló hulladékot a hulladékbirtokos a képződés helyén, kizárólag erre a célra rendszeresített hulladékgyűjtő edényzetben elkülönítetten és a környezet veszélyeztetését kizáró módon, önkéntesen gyűjti. A koncessziós társaság e célra rendszeresített hulladékgyűjtő edényzetet biztosít a hulladékbirtokos részére a konyhai zöldhulladék és a konyhai élelmiszerhulladék gyűjtésére.

Tilos a háztartásokból származó elkülönítetten gyűjtött élelmiszerhulladék takarmányozási célú felhasználása.

A koncesszió hatálya alá tartozó biológiailag lebomló hulladék gyűjtése, szállítása hulladékgazdálkodási engedély birtokában végezhető.

A koncessziós társaság elsősorban házhoz menő gyűjtést biztosít, illetve az ellátott lakosság számát figyelembe vevő méretű hulladékgyűjtő pontokat alakít ki, ahol a házhoz menő gyűjtés nem biztosított.

A környezetben tartósan megmaradó szerves szennyező anyagokról szóló 2019/1021/EU rendelet I. és II. mellékletében szereplő anyagokat tartalmazó biológiailag lebomló hulladék nem komposztálható, erjesztési maradékká nem alakítható.

A zöldhulladék és konyhai zöldhulladék elkülönített közösségi gyűjtésére vonatkozó szabályok

Közösségi gyűjtés a koncessziós társaság által meghatározott, a helyi közösséggel egyeztetett területen vagy a lakóközösség által fenntartott magánterületen, de kizárólag kijelölt, az ingatlanon belül elkerített helyen végezhető, amihez a szabad és akadálymentes hozzáférést folyamatosan biztosítani kell.

Közösségi gyűjtés helyén veszélyes összetevőket tartalmazó zöldhulladék, házi komposztálási körülmények közötti biológiai lebomlásra alkalmasságról tanúsítvánnyal nem rendelkező műanyag, valamint a zöldhulladékon és a konyhai zöldhulladékon kívül más hulladék nem helyezhető el.

A közösségi gyűjtésre szolgáló helyen az ingatlan tulajdonosa vagy az adott közösség, lakóközösség által írásbeli megállapodásban megbízott személy gondoskodik a kijelölt hely tisztántartásáról, karbantartásáról, az ehhez szükséges személyi és tárgyi feltételek biztosításáról, valamint az üzemelés rendjéről tájékoztató tábla kihelyezéséről.

A közösségi gyűjtés végét a gyűjtés megkezdését megelőzően és befejezését követően be kell jelenteni a koncessziós társaság részére.

Ha a zöldhulladéknak és a konyhai zöldhulladéknak más felhasználása nem lehetséges, akkor az összegyűjtött hulladékot elsősorban telepi komposztálás vagy biogáz-előállítás, és legvégső esetben biomassa erőműben energetikai hasznosítás útján kell hasznosítani.

A házi komposztálásra, a közösségi komposztálásra és a telepi komposztálásra vonatkozó szabályok

A komposztokra vonatkozó fizikai, kémiai és biológiai követelményeket nem mezőgazdasági felhasználás esetén a 2. melléklet tartalmazza.

A közösségi és házi komposztálással kapcsolatos feladatok megvalósításáért a komposztálás megvalósítására szolgáló ingatlan tulajdonosa felelős.

A közösségi komposztálással kapcsolatos feladatok megvalósításáról a lakóközösség által megbízott személy vagy szervezet gondoskodik, úgymint:

- a gyűjtésre szolgáló hely tisztántartásáról, karbantartásáról, és az ehhez szükséges személyi és tárgyi feltételek biztosításáról,
- a használatra vonatkozó feltételeket tartalmazó tájékoztató tábla kihelyezéséről,
- a képződő komposzt felhasználásáról,
- a képződő komposzt mennyiségére és felhasználására vonatkozó adatoknak a koncessziós társaság részére történő megküldéséről.

A házi vagy közösségi komposztálással állati melléktermék és állati melléktermékekből származó termék, valamint házi komposztálási körülmények közötti biológiai lebomlásra alkalmasságról tanúsítvánnyal nem rendelkező műanyag, továbbá veszélyes összetevőket tartalmazó zöldhulladék, valamint a zöldhulladékon kívül más hulladék nem használható fel.

Telepi komposztálás kizárólag hasznosításra vonatkozó hulladékgazdálkodási engedéllyel, komposztáló telepen végezhető. A biológiailag lebomló hulladékból történő telepi komposztálásra az 1. melléklet szerinti hulladéktípusok és segédanyagok, továbbá segédanyagként felhasználható hulladékfajták használhatók fel.

A telepi komposztálás során a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló 50/2001. (IV. 3.) Kormányrendeletben meghatározott követelmények betartása mellett, szennyvíziszap felhasználható.

Kizárólag a telepi komposztálás során kezelhető komposztálható bioműanyag.

A telepi komposztálás, a stabilizálás és a biogáz-előállításra vonatkozó műszaki szabályokat és üzemeltetési feltételeket a 3. melléklet tartalmazza.

A komposztáló téren végzett telepi komposztálás:

- nyitott komposztálási rendszerben;
- zárt komposztálási rendszerben vagy
- a nyitott és zárt komposztálási egységek kombinációjában végezhető.

A stabilizálásra vonatkozó szabályok

Stabilizálásra az 1. melléklet szerinti hulladéktípusok és segédanyagok, továbbá segédanyagként felhasználható hulladékfajták használhatók fel. Stabilizálást szilárd burkolattal ellátott területen kell végezni. A stabilizálás során nyert stabilizált hulladék kizárólag a hulladékgazdálkodási hatóság által meghatározott hasznosítási vagy ártalmatlanítási műveletek elvégzéséhez használható fel.

A hulladéklerakó üzemeltetése során a stabilizált hulladék takaróréteggént vagy annak rekultivációjához a felső záróréteg részét képező kiegyenlítő- és fedőréteggént felhasználható.

A hulladéklerakó rekultivációja során az adott területen felhasználható stabilizált hulladék mértéke nem haladhatja meg az 500 tonna/hektár szárazanyag-mennyiséget.

A stabilizáláshoz biztosítandó műszaki feltételeket a 3. melléklet tartalmazza.

A biogáz előállításra vonatkozó szabályok

Biológiailag lebomló hulladékból történő biogáz-előállításra az 1. melléklet szerinti hulladéktípusok – ideértve a telepi komposztálásra alkalmas bioműanyagokat – használhatók fel. Biológiailag lebomló hulladékból történő biogáz előállítás nedves vagy száraz fermentációs eljárással végezhető. A biogáz-előállításhoz biztosítandó műszaki feltételeket a 3. melléklet tartalmazza.

A hulladékstátusz megszűnésére vonatkozó szabályok

Mezőgazdasági célú felhasználás esetében a biológiailag lebomló hulladék hulladékstátusza akkor szűnik meg, ha az abból előállított komposzt és erjesztési maradék

- a terménynövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló miniszteri rendeletben és
- az uniós terménynövelő anyagok forgalmazására vonatkozó szabályok megállapításáról szóló 2019/1009 EK rendeletben meghatározott követelményeket is teljesíti.

Nem mezőgazdasági célú felhasználás esetében a biológiailag lebomló hulladék hulladékstátusza akkor szűnik meg, ha az abból előállított komposzt és erjesztési maradék a 2. melléklet szerinti követelményeket teljesíti.

A komposztot, valamint az erjesztési maradékot az adott üzem üzemeltetője akkor adhatja át másnak felhasználásra, ha a hulladékstátusz megszűnésére vonatkozó feltételeknek való megfelelést a 4. melléklet szerinti megfeleléségi nyilatkozat útján igazolja, kivéve, ha hulladékstátuszban további kezelésre adja át.

A megfeleléségi nyilatkozatot átvevőnként és ügyletenként, egyedi átadásonként kell kiállítani, amely így a következő megfeleléségi nyilatkozat kiállításáig tanúsítja a benne foglalt adatokat. A megfeleléségi nyilatkozatból 2 példányt készít az (1) bekezdés szerinti üzemeltető, aki az első példányt igazolásként megőrzi, a másodpéldányt a felhasználónak az elszállításkor átadja vagy – igazolható módon – eljuttatja. A megfeleléségi nyilatkozatot az üzemeltetőnek és a felhasználónak legalább 5 évig meg kell őriznie.

Nem mezőgazdasági célú felhasználás esetében a komposzt e rendelet szerinti fizikai, kémiai, biológiai és higiénés mikrobiológiai tulajdonságainak megfeleléségét a komposztáló/biogáz előállító telep üzemeltetője a komposztból/erjesztési maradékból vett reprezentatív minta útján

ellenőrzi. Az akkreditált mintavételt és a minta előkészítését szabvány alapján kell elvégezni.

A komposztáló/biogáz előállító telepen előállított komposztból/erjesztési maradékból a következő esetekben és gyakorisággal kell tételenként mintát venni:

- ha a telep kapacitása nem haladja meg a 10 000 tonna/tárgyév biológiailag lebomló hulladék mennyiséget, akkor az előállított komposztból/erjesztési maradékból évente legalább egy alkalommal;
- ha a telep kapacitása több, mint 10 000 tonna/tárgyév biológiailag lebomló hulladék, akkor az előállított komposztból/erjesztési maradékból évente legalább két alkalommal, vagy
- ha a telep technológiája megváltozik.

A minta laboratóriumi vizsgálatát szabvány szerinti vagy azzal egyenértékű módszerrel, a vizsgálatra akkreditált laboratóriumban kell elvégezni. A vizsgálat eredményeit tartalmazó laborvizsgálati jegyzőkönyvet legalább 5 évig meg kell őrizni.

A szerves szennyező vegyületekre vonatkozó vizsgálatokat abban az esetben kell elvégezni, ha a felhasznált anyagok közül egy vagy több az 1. melléklet szerint kockázatos anyagnak minősül. Amennyiben a komposzt nem teljesíti a hulladékstátusz megszűnésére vonatkozó, a 2. melléklet szerinti követelményeket, úgy azt továbbra is hulladékként kell kezelni és be kell sorolni a hulladékjegyzékről szóló miniszteri rendelet szerint, majd ezt követően érvényes hulladékgazdálkodási vagy egységes környezethasználati engedéllyel rendelkező hulladékkezelőnek kell továbbadni.

A komposztokra/erjesztési maradékokra vonatkozó fizikai, kémiai és biológiai követelmények nem mezőgazdasági felhasználás esetén

A biológiailag lebomló hulladékból előállított komposzt/erjesztési maradék hulladékstátusza a következő kategóriákba sorolt felhasználási területre vonatkozó határértékek teljesítésével szűnik meg (XI.táblázat).

XI. táblázat **Komposzt/erjesztési maradék hulladékstátusza kategóriák szerint**

A	B	C
I. kategória	II. kategória	III. kategória
Ha a biológiailag lebomló hulladékból előállított anyagot olyan területen használják fel, ahol az az emberi egészséget közvetlenül veszélyeztetheti (lakóövezeti és pihenő zöldterületen, játszótéren), akkor a terméknövelő anyagok engedélyezéséről, tárolásáról, forgalmazásáról és felhasználásáról szóló 36/2006. (V. 18.) FVM rendelet 3. számú melléklet 4. pontjában meghatározott követelményeket is teljesítenie kell.	Ha a biológiailag lebomló hulladékból előállított anyagot az erdőről, az erdő védelméről és az erdőgazdálkodásról szóló törvény hatálya alá eső területen az ott szabályozott módon vagy egyéb külterületi, faállománnyal borított területen használják fel, akkor a komposztnak az 1.1. és az 1.2. pontban meghatározott követelményeket is teljesítenie kell.	Ha a biológiailag lebomló hulladékból előállított anyagot a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről szóló 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet szerinti rekultivációhoz, tájsebek feltöltéséhez, továbbá bezárt zagytározókban használják fel, akkor komposztnak az 1.1. és az 1.2. pontban meghatározott követelményeket is teljesítenie kell.

XII. táblázat Fizikai és biológiai tulajdonságok

A	B	C
Tulajdonság	II. kategória	III. kategória
Szerves anyag tartalom	Legalább a szárazanyag tartalom 15%-át teszi ki.	Legalább a szárazanyag tartalom 15%-át teszi ki.
Komposztérettség	Az önhevülési teszt során az elért legmagasabb hőmérséklet nem haladhatja meg a 30°C-ot.	–
Kórokozók	a) Salmonella sp 2x5 g negatív, b) Fekál coliform szám 500/g, c) Fekál streptococcus szám 500/g, d) Humán parazita bélféreg peteszám 25 g negatív.	–

XIII. táblázat Toxikus elem tartalom

A	B	C
Toxikus elemek	Koncentráció (mg/kg sz.a.) II. kategória	Koncentráció (mg/kg sz.a.) III. kategória
Arzén (As)	5	60
Cink (Zn)	2 000	2 000
Higany (Hg)	5	10
Kadmium (Cd)	5	10
Kobalt (Co)	50	300
Összes króm (Σ Cr)	350	800
Króom VI. (Cr VI.)	1	–
Molibdén (Mo)	10	100
Nikkel (Ni)	100	250
Ólom (Pb)	400	600
Réz (Cu)	750	400
Szelén (Se)	50	20

XIV. táblázat Szerves szennyeződések

A	B	C
Szerves szennyeződések	Koncentráció II. kategória	Koncentráció III. kategória
Összes jelző poliklórozott bifenil tartalom (PCB7: PCBs 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180) (mg/kg sz.a.)	0,5	5
Összes policiklusos aromás szénhidrogén tartalom (PAH16: naftalin, fluorén, fenantrén, antracén, fluorantén, pirén, benzo[a]antracén, krizén, benzo[b]fluorantén, benzo[k] fluorantén, benzo[a]pirén, indeno[1,2,3- cd]pirén, dibenzo[a,h]antracén, benzo[GHI]perilén) (mg/kg sz.a.)	5	40
Összes alifás szénhidrogén (TPH) (mg/kg sz.a.)	1 000	5 000

A telepi komposztálásra, a stabilizálásra és a biogáz előállításra vonatkozó műszaki előírások

Telepi komposztálás

A komposztálás során a következő hőmérsékleteket, valamint keverési és forgatási gyakoriságokat kell biztosítani a komposztáló téren:

- nyílt komposztálási egységben legalább 5 keverés, forgatás esetén a higiénizáció biztosítása érdekében 55°C-os hőmérsékletet legalább 14 napig kell fenntartani
- nyílt komposztálási egységben legalább 2 keverés, forgatás esetén a higiénizáció biztosítása érdekében 65°C-os hőmérsékletet legalább 7 napig kell fenntartani
- zárt komposztálási egységben a higiénizáció biztosítása érdekében 60°C-os hőmérsékletet legalább 7 napig kell fenntartani.

A komposztáló telep üzemeltetője az intenzív érés befejeztével a komposztot az utókezelő téren addig utóérleli, amíg annak önhevülési vizsgálat során a hőmérséklete nem haladja meg a 30°C-ot. Az utóérést megelőzheti rostálás vagy frakcionálás.

Stabilizálás

Stabilizálás során legalább a következő feltételeket kell biztosítani:

- a pszichrofil, mezofil és termofil mikroorganizmusok hőmérsékleti igénye szerinti szakaszokat;
- a biológiailag lebomló hulladék számára nagyfokú biológiai aktivitást és megfelelő nedvességtartalmat, a megfelelő pH-viszonyok kialakulását;
- a higiénizáció érdekében az elérhető legjobb szerkezetet, levegőzést és homogenizációt.

A vegyes hulladék stabilizálását addig kell végezni, amíg a légzési intenzitása (AT4) 10 mg O₂/g szárazanyag tartalom érték alá nem csökken.

Biogáz előállítás

Az egyes fermentációs eljárások esetében a következő táblázat szerinti minimális hőmérsékleti értékeket és tartózkodási időket kell biztosítani (XV. táblázat).

XV. táblázat Minimális hőmérsékleti érték és tartózkodási idő

A	B	C
Biogáz üzemi rendszer	Hőmérsékleti értékek	A hőmérsékleti értékek fenntartásának időtartama
Nedves fermentációs eljárás	33–38°C	legalább 25–35 nap
Száraz fermentációs eljárás	33–38°C	legalább 20–30 nap

Az optimális szén/nitrogén arány: 15–30:1, míg a megfelelő pH-tartomány: pH=7–9.

AZ EU HULLADÉKLERAKÁSI DIREKTÍVÁJA, AZ EBBŐL ADÓDÓ FELADATOK

Dr. Szabó Zoltán

Az EU az 1999/31/EK irányelvben foglalta össze a hulladéklerakással kapcsolatos követelményeket, különös figyelmet szentelve az engedélyezési eljárásokra, a telepítésre, üzemeltetésre és a lerakó utógondozására.

Ezen direktívában megjelenő követelményeket emelte át a 20/2006. (IV. 5.) KvVM rendelet, amely a hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakókkal kapcsolatos egyes szabályokkal és egyes feltételekkel foglalkozik.

A rendelet hatálya kiterjed:

- a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény (Ht.) hatálya alá tartozó, lerakással ártalmatlanítható hulladékra;
- a hulladék lerakására, valamint a hulladéklerakó létesítésével, üzemeltetésével, rekultivációjával és utógondozásával kapcsolatos tevékenységre, valamint ezek engedélyezésére;
- a műszaki védelem nélkül létesített hulladéklerakó felülvizsgálatára, üzemeltetésére, rekultivációjára.

A rendelet hatálya nem terjed ki:

- iszap (beleértve a szennyvíziszap külön jogszabály szerinti mezőgazdasági felhasználását, a kotrási műveletből származó iszapot és egyéb iszapokat) talajon történő szétterítésére;
- a tereprendezésre vagy építési célokra alkalmas inert hulladéknak hulladéklerakóban történő hasznosítására;
- a külön jogszabály szerinti nem veszélyes kotrási iszap vízparti elhelyezésére, továbbá nem veszélyes iszap felszíni vízbe történő elhelyezésére;
- az ásványi nyersanyag kutatása, kitermelése, tárolása és feldolgozása során keletkező hulladék elhelyezésére, amennyiben jogszabály eltérően rendelkezik.

A hulladéklerakási rendelet – az EU-val összhangban – három hulladéklerakót különböztet meg:

- **inert hulladék** lerakására szolgáló hulladéklerakót (A kategória)
- **nem veszélyes hulladék** lerakására szolgáló hulladéklerakót, (B kategória) ezen belül:
 - szerves, nem veszélyes hulladék lerakására szolgáló hulladéklerakót,
 - vegyes összetételű jelentős szerves és szerves anyagtartalommal egyaránt rendelkező, nem veszélyes hulladék lerakására szolgáló hulladéklerakót
- **veszélyes hulladék** lerakására szolgáló hulladéklerakót (C kategória).

Hulladéklerakással kizárólag előkezelt hulladék ártalmatlanítható, kivéve az inert hulladékot, valamint azt a hulladékot, amelynek előkezelés nélkül történő lerakását – olyan kezelési technika hiányában, amely csökkentené a hulladék mennyiségét vagy annak az emberi egészségre vagy a környezetre való veszélyességét – a környezetvédelmi hatóság engedélyezte. A rendelet tiltja a hulladék keverését és hígítását.

Tilos hulladéklerakóban lerakni:

- a) folyékony hulladékot;
- b) nyomás alatt lévő gázt;
- c) a lerakás körülményei között a Ht. 1. sz. melléklete szerinti: robbanásveszélyes (H1), oxidáló (H2), tűzveszélyes (H3-A és H3-B), maró, korrozív (H8), kórházi vagy más humán-egészségügyi, illetve állat-egészségügyi intézményből származó fertőző (H9) hulladékot;
- d) hulladékká vált gumibroncsot, kivéve a kerékpár-gumibroncsot és az 1400 mm külső átmérőnél nagyobb gumibroncsot, továbbá 2006. július 1. után tilos lerakni az aprított hulladék gumibroncsot;
- e) előkezelés nélküli szennyvíziszapot;
- f) bármely hulladékot, amely nem felel meg a rendelet 2. sz. mellékletében meghatározott átvételi követelményeknek;
- g) olyan vegyi anyagokat, amelyek kutatási és fejlesztési vagy oktatási tevékenységből származnak, amelyek nem azonosítottak, illetőleg újak, és amelyek emberre, illetőleg környezetre gyakorolt hatása nem ismert (pl. laboratóriumi maradék).

A szerves, nem veszélyes hulladéklerakóba helyezhető el

- szerves, nem veszélyes hulladék, beleértve az A kategóriájú hulladéklerakóban lerakható hulladékot is;
- előkezelt, stabil, nem reakcióképes és nem veszélyes hulladékként kezelhető, eredetileg veszélyes hulladék.

A vegyes összetételű, nem veszélyes hulladéklerakóba helyezhető el

- vegyesen gyűjtött települési hulladék;
- előkezelt szennyvíziszap;
- egyéb nem veszélyes hulladék, beleértve a szerves, nem veszélyes hulladéklerakóban lerakható hulladékot is.

A hulladéklerakó létesítését a környezetvédelmi hatóság engedélyezi. A hulladéklerakó kialakításának részletes követelményeit a rendelet 1. sz. melléklete tartalmazza.

A hulladéklerakók helyének kijelölésekor

- veszélyes hulladéklerakó esetében min. 1 000 m;
- nem veszélyes hulladéklerakónál min. 500 m;
- inert hulladéklerakónál min. 300 m védőtávolságot kell betartani.

A hulladéklerakó telepítésénél figyelembe kell venni a lerakásra kerülő hulladékfajtákat és azok mennyiségét, a településrendezési tervet, a geológiai és hidrogeológiai viszonyokat, a biológiailag lebomló szervesanyag tartalom csökkentésére vonatkozó tervet, a területszennyezés érzékenységi, valamint a levegővédelmi, a közegészségügyi, természetvédelmi stb. hatóságok szempontjait.

A csurgalék- és csapadékvizeket össze kell gyűjteni, minőségüket ellenőrizni és csak az előírt minőségű vizek vezethetők befogadóba.

XVI. táblázat A hulladéklerakó kialakításánál előírt szigetelési követelmények

Hulladéklerakó kategória	Szivárgási tényező (m/s)	Vastagság (m)
Inerthulladék-lerakó (A kategória)	$k \leq 1,0 \times 10^{-7}$	$k \leq 1,0 \times 10^{-9}$
Nem veszélyeshulladék-lerakó (B1b és B3 alkategória)	$k \leq 1,0 \times 10^{-9}$	$k \leq 1,0 \times 10^{-9}$
Veszélyeshulladék-lerakó (C kategória)	$k \leq 1,0 \times 10^{-9}$	>5

A nem veszélyes hulladék lerakók, vagyis a települési hulladék lerakók esetében előírt az épített szigetelőréteg, a szivárgóréteg és gázelvező réteg, új lerakóknál pedig a geofizikai monitoringrendszer. A rendelet a hulladéklerakók szigetelésre vonatkozó műszaki előírásokat részletesen ismerteti.

A hulladéklerakók engedélyében pontosan meg kell adni, hogy az adott lerakó milyen hulladékot fogadhat, ettől eltérő minőségű hulladékot vissza kell utasítani. Az engedélyben a települési szilárd hulladéklerakó esetében szerepeltetni kell a biológiailag lebontható szervesanyag tartalom csökkentésére vonatkozó – egy adott időszakra vonatkozó - követelményeket (2012. évi CLXXXV. törvény 92.§ (2)).

A hulladéklerakó üzemeltetését a környezetvédelmi hatóság által jóváhagyott üzemeltetési terv szerint kell végezni. A tervnek tartalmaznia kell:

- a hulladék átvételi szabályait és nyilvántartásának rendjét;
- a lerakás technológiai előírásait beleértve a hulladéklerakó-gáz, a csurgalékvíz, a kommunális szennyvíz és a szennyvíziszap, valamint a csapadékvíz kezelésének rendjét;
- a lerakás irányításának és ellenőrzésének szabályait;
- a lerakott hulladék nyilvántartási rendjét;
- a biztonsági létesítmények és intézkedések ellenőrzésének rendjét;
- a környezeti monitoringrendszer üzemeltetésének és az észlelt adatok nyilvántartásának rendjét (a mérési, megfigyelési és ellenőrzési rendszer).

A jelentési kötelezettségnek megfelelően az üzemeltetőnek adatokat kell szolgáltatni:

- a meteorológiai viszonyokról (csapadék, hőmérséklet, uralkodó szélirány stb.);
- a kibocsátási adatokról (csurgalékvíz mennyisége és összetétele, felszíni víz mennyisége és összetétele, potenciális gázemisszió (mérése naponta);
- felszín alatti víz szintjéről és minőségéről;
- mechanikai változásokról a hulladéklerakóban;
- a lerakott települési hulladék biológiailag lebomló szervesanyag mennyiségének ellenőrzéséről;
- az utógondozás időszakában szükséges egyéb ellenőrzésekről (közlekedési utak, üzemi utak állapotának ellenőrzése, kerítés ellenőrzés, növényzet karbantartása).

A hulladék átadása és átvétele

A hulladék átvételi követelményeinek való megfelelés bizonyítása a lerakásra szánt hulladéknak a rendelet 2. számú melléklet szerint végrehajtott:

- a) alapjellemzéséből,
- b) megfelelőségi vizsgálatából,
- c) helyszíni ellenőrző vizsgálatából áll.

Az alapjellemzés, valamint a megfelelőségi vizsgálat elvégzéséről, és az eredmények jegyzőkönyvben történő rögzítéséről a termelő, amennyiben a termelő nem ismert, a hulladék tulajdonosa, birtokosa (együtt: a hulladék átadója) köteles gondoskodni. Az alapjellemzésben, megfelelőségi vizsgálatban rögzített adatok helytállóságaért a hulladék átadója felelős, amit a jegyzőkönyv cégszerű aláírásával igazol. A jegyzőkönyv egy példányát a hulladék átadója köteles a hulladék átvevőjének átadni, illetve a hulladék előkezelését végző gazdálkodó szervezetnek átadni. Az alapjellemzést a lerakásra szánt valamennyi hulladékfajtára el kell készíteni. **Az alapjellemzéshez, megfelelőségi vizsgálatához szükséges mintavételt és laboratóriumi vizsgálatokat erre akkreditált laboratórium végezheti.**

A hulladék átadója a hulladéknak a hulladéklerakón való átvételét megelőzően az alapjellemzéssel, azt követően megfelelőségi vizsgálattal igazolja az üzemeltető számára, hogy a hulladék az adott hulladéklerakón átvehető. A hulladéklerakó üzemeltetője az engedélyében előírt feltételek mellett azt a hulladékot veheti át, amely megfelel az alapjellemzésnek, rendszeresen keletkező hulladék esetén a megfelelőségi vizsgálatnak. Több létesítményben rendszeresen keletkező hulladék esetében is átvehető a hulladék megfelelőségi vizsgálattal, ha a megfelelés jellemzésére használandó kritikus paramétereknek az egyes létesítményekben keletkező hulladék esetében mért értékei – az ezekből számított átlagértékhez képest – legfeljebb $\pm 20\%$ -kal térnek el.

A hulladéklerakó üzemeltetője a 2. számú melléklet 1.3. pontja szerinti helyszíni ellenőrző vizsgálatot köteles végezni annak megállapítása érdekében, hogy a lerakásra szánt hulladék azonos-e az alapjellemzésben, megfelelőségi vizsgálatban és a kísérő dokumentumokban leírt hulladékkal. A helyszíni ellenőrző vizsgálatokat gyorsesztek is szolgálhatják. A vizsgálati eredményeket és a mintákat legalább egy hónapig meg kell őrizni. Ha az alapjellemzés, a megfelelőségi vizsgálat, továbbá a helyszíni ellenőrző vizsgálat alapján a hulladék eleget tesz a hulladéklerakó átvételi követelményeinek, a hulladék az adott hulladéklerakóban lerakható, ellenkező esetben a hulladék átvételét a hulladéklerakó üzemeltetőjének meg kell tagadnia.

A hulladéklerakó üzemeltetője az átvett hulladék megnevezéséről, azonosító kódjáról és mennyiségéről elismervényt állít ki. Az üzemeltető a hulladék átvételének megtagadását – az indoklást alátámasztó adatokat, információkat, valamint a szükség szerint elvégzett mérések eredményeit is tartalmazó – jegyzőkönyvben köteles rögzíteni, a jegyzőkönyv egy példányát a hulladék átadójának, valamint a hulladéklerakó helye szerint illetékes környezetvédelmi hatóságnak megküldeni. Ha a hulladéklerakó üzemeltetője a hulladék átvételét megtagadja, a hulladék átadója köteles a hulladékot az arra engedéllyel rendelkező hulladéklerakóba, illetve más hulladékkezelő létesítménybe vagy a saját telephelyére szállítani.

A hulladéklerakó bezárása

Az üzemeltető a hulladéklerakó ideiglenes vagy végleges bezárására irányuló döntését a hulladék átvételi tevékenységének megszüntetését megelőző 30 nappal köteles bejelenteni a környezetvédelmi hatóságnak. Az ideiglenesen bezárt hulladéklerakó üzemeltetője a tevékenységét akkor folytathatja tovább, ha a környezetvédelmi hatóság a hulladéklerakó további működését jóváhagyta.

Engedély nélkül működő hulladéklerakó üzemeltetőjét a környezetvédelmi hatóság a hulladéklerakó bezárására kötelezi. Engedélytől eltérően működtetett hulladéklerakó üzemeltetőjét a környezetvédelmi hatóság az engedélyben foglaltak teljesítésére kötelezi, és erre határidőt állapít meg. Amennyiben az üzemeltető a környezetvédelmi hatóság által előírt követelményeket határidőn belül nem teljesíti, a környezetvédelmi hatóság az üzemeltetőt a hulladéklerakó bezárására kötelezi.

Amennyiben a környezetvédelmi hatóság a bezárást követően a hulladéklerakó rekultivációjának szükségességét állapítja meg, az üzemeltetőt rekultivációra és utógondozásra kötelezi.

A hulladéklerakó rekultivációja, utógondozása

A hulladéklerakó rekultivációjára és utógondozására irányuló kérelemnek tartalmaznia kell a 4. számú mellékletben meghatározott követelmények szerint elkészített rekultivációs tervet. A környezetvédelmi hatóság az utógondozási időszak meghatározásakor figyelembe veszi azt az időtartamot, ameddig a hulladéklerakó még kockázatot jelenthet a környezetre. Az utógondozási időszakban a rekultivált hulladéklerakó karbantartásáért, megfigyeléséért és ellenőrzéséért az üzemeltető felelős (3. számú melléklet).

A hulladéklerakót átmeneti felső záróréteg rendszerrel kell lezárni, mindaddig, amíg a hulladéktest biológiailag lebomló szerves összetevőinek stabilizálódása be nem következik, valamint intenzív gázképződés vagy a lerakó süllyedése várható.

A végleges felső záróréteg rendszer akkor építhető ki, ha a stabilizálódási folyamat a hulladéktestben gyakorlatilag befejeződött.

A VESZÉLYES HULLADÉKOKKAL KAPCSOLATOS JOGSZABÁLY ÉS A HULLADÉKJEGYZÉK

Dr. Szabó Zoltán

A veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek szabályai és a hulladékok jegyzéke

A veszélyes hulladékkal kapcsolatos egyes tevékenységek részletes szabályait a 225/2015. (VIII. 7.) Korm. rendelet ismerteti.

A hulladék veszélyességének megállapítása

A hulladékok besorolásával kapcsolatos előírásokkal a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény 63. §-a rendelkezik.

A veszélyes hulladék gyűjtése

A hulladékbirtokos a veszélyes hulladékot kizárólag a lakóingatlan területén, a társasházi, a lakásszövetkezeti, illetve az üdülőingatlanok közös használatú helyiségeiben, átvételi helyen, speciális gyűjtőhelyen, hulladékgyűjtő udvaron, munkahelyi gyűjtőhelyen, üzemi gyűjtőhelyen, valamint kezelés során képződő másodlagos hulladék esetén hulladékkezelő létesítményben gyűjtheti.

A veszélyes hulladékot a hulladékbirtokos gyűjtőedényben, konténerben, a hulladék biztonságos gyűjtését lehetővé tevő helyiségben vagy szilárd burkolattal ellátott fedett területen a hulladék fizikai, kémiai jellegének megfelelően, a környezet veszélyeztetését, szennyezését, károsítását, valamint az emberi egészség veszélyeztetését, károsítását kizáró módon, elkülönítetten gyűjti.

Hulladékgazdálkodási engedély nélkül egymással reakcióképes veszélyes hulladékot nem lehet ugyanabban a gyűjtőedényben vagy konténerben gyűjteni.

A veszélyes hulladékok gyűjtésénél és tárolásánál alkalmazandó műszaki védelem szerkezeti elemei nem kerültek meghatározásra a korábbi rendelethez képest.

A veszélyes hulladék szállítása

A veszélyes hulladékot a képződés helyétől a hulladékkezelő létesítménybe történő elszállításig, illetve a hulladékkezelő részére történő átadásig a 225/2015. (VIII. 7.) Korm. rendelet 1. melléklet 1. pontja szerinti szállítási lappal kell dokumentálni. A szállítási lapot akkor kell használni, ha a szállítást hulladékgazdálkodási engedély vagy nyilvántartásba vétel alapján végzik. A szállítási laphoz egyedi sorszámtartományt kell igényelni. Sorszámtartományt az igényelhet, aki legalább székhellyel és Környezetvédelmi Ügyfél Jellel (a továbbiakban: KÜJ) rendelkezik. A sorszámtartományt az igénylőnek a hulladékgazdálkodásért felelős miniszter 30 napon belül adja ki.

Az igénylést elektronikus úton a hulladékgazdálkodásért felelős miniszter által vezetett minisztérium központi elektronikus postafiók címére kell megküldeni a következő adattartalommal: név, székhely címe, telephely címe, (ha van) a hulladékgazdálkodási engedély vagy nyilvántartásba vétel száma, (ha van) a hulladékgazdálkodási engedély érvényességi ideje, KÜJ, és (ha van) Környezetvédelmi Területi Jel (a továbbiakban: KTJ).

Minden igénylő csak egy sorszámtartománnyal rendelkezhet. A sorszámtartomány részét képező azonosítótól kötőjellel elválasztott sorszámot (a továbbiakban együtt: sorszám) a szállítási lap minden példányán fel kell tüntetni. A veszélyes hulladék elszállítását megelőzően a hulladék átadója a veszélyes hulladék szállításával kapcsolatos adatok dokumentálása érdekében a szállítási lapon a hulladékra és a hulladék átadójára vonatkozó adatokat kitölti. A szállító a szállítóra vonatkozó adatokat tölti ki. A szállítási lapot hulladék átadónként és szállítmányonként kell kitölteni. Több típusú veszélyes hulladék ugyanattól az átadótól történő átvétele és szállítása esetén a szállítási lapon a további hulladéktípusra vonatkozó adatokat is meg kell adni. Ebben az esetben a szállítási lapon a hulladéktípusra vonatkozó mezők bővíthetők. A veszélyes hulladék azonosítására a hulladékjegyzékről szóló miniszteri rendeletben meghatározott azonosító kódokat kell alkalmazni.

A veszélyes hulladék szállítása esetén a szállítási lapból 4 példányt kell készíteni. A szállítási lap 1. példányát a hulladék átadója, a további 3 példányt a hulladék szállítója őrzi meg. Ha a hulladék átadója és a szállító személye megegyezik, a szállítási lapból 3 példányt kell készíteni. A hulladék átadója gondoskodik arról, hogy a veszélyes hulladékot tartalmazó elsődleges vagy másodlagos csomagoláson, illetve a veszélyes hulladékon jól láthatóan és olvashatóan a szállítási lapon szereplő sorszám és a hulladék azonosító kódja fel legyen tüntetve. (Ha a szállító vagy a hulladékkezelő környezetének, egészségének, személyi és tárgyi eszközeinek megóvása, illetve a veszélyes hulladék speciális kezelése indokolja, a szállítót, a hulladékkezelőt a veszélyes hulladék képződésének lényeges körülményeiről a szállítási laphoz mellékelt külön lapon a hulladék átadója tájékoztatja. A külön lapból legalább 2 példányt kell készíteni, amelyből egyet a hulladék átadója, egyet pedig a szállító, illetve a hulladékkezelő őrizz meg. Ha a szállító, illetve a hulladékkezelő a külön lapon történő tájékoztatást nem igényli, a külön lap kitöltésétől el lehet tekinteni).

A veszélyes hulladék szállítója a veszélyes hulladék szállítását azt követően kezdi meg, hogy a kitöltött szállítási lap további példányait birtokba vette, és ellenőrizte, hogy a szállítási lapon meghatározott adatok a hulladékon, illetve a hulladék csomagolásán feltüntetett jelölésnek megfelelnek, a hulladék csomagolása és a jármű állapota lehetővé teszi a biztonságos szállítását. A veszélyes hulladék szállítását a veszélyes hulladék biztonságos és környezetszennyezést kizáró szállítására alkalmas járművel, módon és feltételekkel kell végezni.

A veszélyes hulladék szállítója a szállítmány átadását követően az átadás tényét a szállítónál lévő valamennyi szállítási lap példányán igazoltatja. Az átvevő a szállítási lap egy példányát a szállítónak visszaadja, amelyet a szállító igazolásként megőrizz. Az átvevő a szállítási lapra vonatkozó egy példányát bizonylatként megőrizz, a másik példányt a veszélyes hulladék átvételét követő 30 napon belül a hulladék átadójának visszajuttatja.

A kitöltött szállítási lapot a hulladék átadójának, a szállítónak, az átvevőnek (kereskedőnek és hulladékkezelőnek) 10 évig meg kell őriznie.

Hulladékátvétel megtagadása

A hulladékkezelő vagy a kereskedő a veszélyes hulladék átvételét abban az esetben tagadhatja meg, ha

- a hulladék átadásának előre egyeztetett időpontja, a hulladék mennyisége, típusa, fajtája, jellege nem egyezik a hulladék átadójával megkötött szerződésben vagy a fuvarokmányban és a szállítási lapon foglaltakkal;
- a hulladék kezelése az adott hulladékkezelő létesítményben biztonságosan nem lehetséges;
- vagy a veszélyes hulladék szállításának módja – így különösen a hulladék csomagolásának állapota, a gyűjtőedény vagy a konténer nem megfelelő állapota – miatt a hulladék szállítóeszköztől történő levétele, tárolása az emberi egészségre, a testi épségre vagy a környezetre súlyos veszélyt jelent, és a szállítmány visszaszállítása összességében kisebb környezeti és egészségügyi kockázatot jelent.

Ha a hulladékkezelő vagy a kereskedő a veszélyes hulladék átvételét megtagadja, a szállító a szállítási lap hulladékkezelő vagy kereskedő részére átadandó példányán az átvétel megtagadásának indokát, helyét és időpontját részletesen rögzíti. Ha a szállítási lapon a részletes rögzítés céljára szolgáló hely nem elégséges, külön lapot kell használni. A hulladékkezelő vagy a kereskedő és a szállító a szállítási lap mindkét példányát aláírja, a hulladékkezelő vagy a kereskedő az egyik példányt bizonylatként megőrzi, a másik példányt a szállító a hulladék átadójának vagy a kereskedőnek átadja. Külön lap használata esetén az aláírással hitelesített külön lapot a szállítási lap mindkét példányához csatolni kell.

A hulladék átadója az előző bekezdés szerinti esetben a veszélyes hulladék átvételének megtagadását az átvétel megtagadásától számított 8 napon belül a hulladék átadásának helye szerint illetékes környezetvédelmi hatóságnak bejelenti, egyúttal a szállítási lap bizonylatként megőrzött, valamint a részére visszajuttatott példányát (adott esetben a külön lappal együtt) a környezetvédelmi hatóság részére bemutatja.

A gyűjtőjáráttal történő szállítással kapcsolatos szabályok

A hulladék átadója a gyűjtőjáratot üzemeltető részére alkalmanként legfeljebb 2 tonna mennyiségű veszélyes hulladékot adhat át, azonban a korábbiakhoz képest kivételek nem kerültek meghatározásra.

A gyűjtőjárat üzemeltetője a gyűjtőjárat üzemeltetése során összegyűjtött veszélyes hulladékot a hulladékkezelőnek átadja. Kivétel a hulladékjegyzékről szóló miniszteri rendeletben meghatározott 16 06 azonosító kóddal rendelkező elem- és akkumulátorhulladék, ami kereskedőnek is átadható.

Gyűjtőjáráttal történő szállítás esetén a gyűjtőjárat üzemeltetője a szállítási lapot hulladéktípusonként 1-1 példányban tölti ki. A szállítási lapból 2 példányt abban az esetben kell készíteni, ha a gyűjtőjárat üzemeltetője a veszélyes hulladékot az összegyűjtést követően közvetlenül a hulladékkezelőhöz vagy kereskedőhöz szállítja.

A veszélyes hulladék közvetítése

Veszélyes hulladék közvetítését kizárólag olyan közvetítő szervezet végezheti, amely közvetítő tevékenység végzésére törvény, kormány-, illetve miniszteri rendelet alapján jogosult.

A veszélyes hulladék tárolása és kezelése

A Kormányrendelet nem határozza meg a veszélyes hulladék tárolásának idejét, azonban a hulladéktörvény 58. § (3) bekezdésében foglalt határidőn – 1 éven – belül gondoskodni szükséges a veszélyes hulladék ártalmatlanításáról.

Ha a veszélyes hulladék kezelése során másodlagos hulladék képződik, a hulladékkezelő a másodlagos hulladékot (mint hulladéktermelő) gyűjti, és gondoskodik annak további kezeléséről. A hasznosítási műveletek során képződő másodlagos hulladék együttes tömege nem lehet több mint a hasznosításra átadott, azonos típusú hulladék tömege.

A környezethasználat feltételeit megállapító – a környezet védelmének általános szabályairól szóló törvény szerinti – engedély lejárt, visszavonása, megsemmisítése vagy hatályon kívül helyezése esetén a hulladékbirtokos a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységet a környezet szennyezését és veszélyeztetését kizáró módon beszünteti, és – a Ht. 31. § (2) bekezdés szerinti módon – gondoskodik a birtokában levő veszélyes hulladék kezeléséről.

A hulladék minősítése

Hulladékminősítést kell kérvényezni mindenkinek, aki olyan hulladékkal végez hulladékgazdálkodási tevékenységet vagy olyan hulladéknak a tulajdonosa:

- amelynek összetétele és származása ismeretlen;
- amely a hulladékjegyzékről szóló miniszteri rendeletben meghatározott hulladékjegyzékben nem veszélyes hulladékként szerepel, de a hulladék tulajdonságai alapján feltételezhető annak veszélyessége;
- amely a hulladékjegyzékről szóló miniszteri rendeletben meghatározott hulladékjegyzékben veszélyes hulladékként szerepel, de a hulladék törvény 1. sz. mellékletben meghatározott veszélyességi jellemzők egyikével sem rendelkezik, vagy amelynek adott hulladéktípusként történő, a környezetvédelmi hatóság által elvégzett besorolását a hulladékbirtokos vitatja.

A hulladék minősítésére vonatkozó kérelmet és annak mellékleteit elektronikus adathordozón kell benyújtani az országos illetékességgel hulladékgazdálkodási feladatkörében eljáró Pest Vármegyei Kormányhivatalnál (a továbbiakban: országos hulladékgazdálkodási hatóság).

A minősítés tárgyát képező hulladékból reprezentatív mintát kell venni. A mintavételt akkreditált laboratórium végezheti el. A mintavételnél a kérelmet előterjesztő hulladékbirtokosnak jelen kell lennie.

A laboratórium a mintát 3 részre osztja, amelyből a hulladékbirtokos 1 mintarészt kap, a 2. és 3. mintarész a laboratóriumnál marad. A laboratórium a 2. mintarészt a mérések elvégzésére használja fel, a 3. mintarészt referenciamintaként a későbbi bizonyítás érdekében megőrzi.

A mintákat legalább a minősítési eljárás befejezéséig meg kell őrizni.

A mintavételt nemzeti szabvány vagy azzal egyenértékű műszaki megoldás, ennek hiányában az Európai Szabvány (EN) vagy a Nemzetközi Szabványosítási Szervezet (ISO) által kiadott szabványok előírásai szerint kell elvégezni.

A mintavétel körülményeit jegyzőkönyvben kell rögzíteni.

A jegyzőkönyv minimális tartalmi elemeit a 2. melléklet 1. pontja határozza meg.

A mintavételt követően az akkreditált laboratórium 30 napon belül mintavizsgálatot végez.

A hulladék veszélyes vagy nem veszélyes hulladékként történő minősítésének eldöntéséhez a veszélyes hulladék veszélyességi jellemzőinek meghatározásához szükséges vizsgálatok körét a laboratórium annak mérlegelésével állapítja meg, hogy a veszélyes hulladék milyen tevékenység során képződött. A veszélyességi jellemzők meghatározására nemzeti szabványokat vagy az azokkal egyenértékű műszaki megoldásokat, ennek hiányában az Európai Szabvány (EN), illetve a Nemzetközi Szabványosítási Szervezet (ISO) által kiadott szabványokat kell alkalmazni.

A hulladék veszélyességének megállapítása érdekében a fizikai és kémiai, valamint ökotoxikológiai vizsgálatokat minden esetben el kell végezni. A fertőzőképességi vizsgálatokat minden szervesanyag-tartalmú, illetve szerves anyaggal feltételezhetően szennyeződött hulladék esetében el kell végezni. A toxikológiai és mutagenitási vizsgálatok elvégzésére az előbb felsorolt vizsgálatok kifogásolható mértékű káros hatást nem jelző eredményei esetében kerül sor.

A laboratórium a mintavizsgálat eredményeit tartalmazó dokumentumot a mintavizsgálatot követő 8 napon belül az országos hulladékgazdálkodási hatóság részére megküldi, amely gondoskodik annak a kérelmezővel és a Hulladékminősítő Bizottsággal való megismertetéséről.

A hulladékminősítésre irányuló eljárásban a környezetvédelemért felelős miniszter által normatív utasításban létrehozott Hulladékminősítő Bizottság szakértőként jár el.

Az országos hulladékgazdálkodási hatóság a minősítés tárgyában a döntését a kérelem benyújtását követő 60 napon belül hozza meg.

Az országos hulladékgazdálkodási hatóság döntése a közigazgatási hatósági eljárás és szolgáltatás általános szabályairól szóló törvényben meghatározottakon túlmenően legalább a következőket tartalmazza:

- a) a Hulladékminősítő Bizottság szakértői véleményének és a vélemény indokolásának összefoglalását, a szakértői vélemény keltezését, a tagok nevét;
- b) a minősített hulladék hulladékjegyzék szerinti típusának megnevezését, azonosító kódját, megjelenési formáját, halmazállapotát, veszélyessége esetén a veszélyességi jellemzőjét; új hulladéktípus esetén a hulladék megnevezésére vonatkozó javaslatot;
- c) a minősített hulladék kezeléséhez alkalmazandó kezelési technológiára vonatkozó javaslatot;
- d) a mintavételre és a laboratóriumi vizsgálatra felkért akkreditált laboratórium nevét, címét;
- e) a minősítést megalapozó vizsgálatok körülményeit és eredményeit;
- f) a minősítési eljárás során készített jegyzőkönyvek megállapításainak összefoglalását.

Az országos hulladékgazdálkodási hatóság a minősítés eredményét a határozathozatalt követő 15 napon belül az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer publikus felületén közzéteszi.

A hulladékok jegyzékével kapcsolatos előírásokat a 72/2013. (VIII. 27.) VM rendelet tartalmazza. A hulladékjegyzékben a csillaggal (*) megjelölt hulladéktípusok a Ht. szerint veszélyes hulladéknak minősülnek, kivéve a Ht. 59. § (1) bekezdése alapján a háztartásban képződő vegyes hulladék.

Az egyes hulladéktípusok veszélyességi jellemzőinek értékelésekor a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény (a továbbiakban: Ht.) 1. sz. mellékletében meghatározott kritériumokat kell alkalmazni.

Veszélyességi jellemzők

- HP 1 „**Robbanásveszélyes**”: olyan hulladék, amely képes kémiai reakció révén gázt fejleszteni olyan hőmérsékleten és nyomáson, továbbá olyan sebességgel, hogy környezetében ezzel kárt okoz. Beleértendő a pirotechnikai hulladék, a robbanásveszélyes szerves peroxid hulladék és a robbanásveszélyes önreaktív hulladék. *Határérték nincs megadva.*
- HP 2 „**Oxidáló**”: olyan hulladék, amely – általában azzal, hogy oxigént biztosít – más anyag égését okozza, vagy elősegíti. *Határérték nincs megadva.*
- HP 3 „**Tűzveszélyes**”: tűzveszélyes folyékony hulladék, tűzveszélyes öngyulladó folyékony és szilárd hulladék, tűzveszélyes szilárd hulladék, tűzveszélyes gázhalmazállapotú hulladék, vízzel reakcióba lépő hulladék, egyéb tűzveszélyes hulladék. *Határérték van.*
- HP 4 „**Irritáló – bőrirritáció és szemkárosodás**”: olyan hulladék, amely a bőrrel vagy szemmel érintkezve bőrirritációt vagy szemkárosodást okozhat. *Határérték van.*
- HP 5 „**Célszervi toxicitás (STOT)/aspirációs toxicitás**”: olyan hulladék, amely egyszeri vagy ismétlődő expozíciót követően célszervi toxicitást okozhat, vagy amely aspiráció következtében akut toxikus hatást okoz. *Határérték van.*
- HP 6 „**Akut toxicitás**”: olyan hulladék, amely szájon át vagy bőrön át kapott dózis, illetve belélegzés folytán akut toxicitást okozhat. *Határérték van.*
- HP 7 „**Rákkeltő (karcinogén)**”: olyan hulladék, amely rákot okoz, vagy növeli annak incidenciáját. *Határérték van.*
- HP 8 „**Maró**”: olyan hulladék, amely a bőrrel érintkezve bőrirritációt okozhat. *Határérték van.*
- HP 9 „**Fertőző**”: olyan hulladék, amely életképes mikroorganizmusokat vagy azok toxinjait tartalmazza, amelyek közismerten vagy megalapozott feltételezések szerint betegséget okoznak az emberben vagy más élő szervezetekben. *Határérték EU tagállami hatáskör.*
- HP 10 „**Reprodukciót (szaporodást) károsító**”: olyan hulladék, amely a felnőtt hím- és nőnemű egyedek szexuális működésére és termékenységére gyakorol káros hatást, valamint az utódokban fejlődési toxicitást okoz. *Határérték van.*
- HP 11 „**Mutagén**”: olyan hulladék, amely mutációt, vagyis a sejt genetikai anyagának végleges mennyiségi vagy szerkezeti változását okozhatja. *Határérték van.*

- HP 12 „**Akut mérgező gázokat fejlesztő**”: olyan hulladék, amely vízzel vagy savval érintkezve akut mérgező gázokat fejleszt. *Határérték HP6 szerint.*
- HP 13 „**Érzékenységet okozó**”: olyan hulladék, amely egy vagy több olyan anyagot tartalmaz, amelyek közismerten a bőr és a szaglószervek érzékenységét okozzák. *Határérték van.*
- HP 14 „**Környezetre veszélyes (ökotoxikus)**”: olyan hulladék, amely közvetlenül vagy közvetve veszélyt jelent vagy jelenthet egy vagy több környezeti elemre. *Határérték nincs megadva, 67/548/EGK tanácsi irányelv VI. melléklete.*
- HP 15 „Olyan hulladék, amely képes a fent felsorolt olyan veszélyességi tulajdonságot mutatni, amellyel az eredeti hulladék nem rendelkezik”: *Határérték HP 1- HP 14 előírások figyelembe vételével.*

EGÉSZSÉGÜGYI INTÉZMÉNYEKBE KELETKEZŐ HULLADÉKOK TÍPUSAI, OSZTÁLYOZÁSA ÉS KEZELÉSE

Dr. Szabó Zoltán

Az egészségügyi hulladékok típusai, osztályozása

Az egészségügyi intézményekben keletkező hulladékok egy része a veszélyes hulladékok körébe tartozik, mert hordozza azokat a tulajdonságokat, amelyek közvetlenül vagy közvetve károsíthatják az ember egészségét, szennyezhetik a környezetet. Ezek a hulladékok két nagy csoportra oszthatók: egyrészt a fertőző, másrészt az anyagi tulajdonságaik miatt veszélyes hulladékokra.

A **fertőző vagy potenciálisan fertőző** hulladékok elsősorban a betegellátást végző személyek egészségét veszélyeztetik, de hozzájárulhatnak a kórházi belső fertőzések kialakulásához és fennmaradásához. Megbetegedést okozhatnak a hulladékkezelést végző személyeknél, sőt a beteglátogatóknál is. Veszélyt jelentenek a szemét guberálókra és nem utolsósorban, a környezetet is szennyezhetik. Mindezek indokolják a fertőző hulladékok elkülönített kezelését.

E hulladékcsoportban külön kell említeni az ún. „éles”, sérülést okozó eszközöket, amelyeknek teljesen szelektív gyűjtését több ok teszi szükségessé. Elsősorban az ápoló személyek számára jelentenek fertőzésveszélyt, de sérülést szenvedhetnek a nem megfelelő gyűjtő/csomagoló anyagok használatánál a hulladékkezelést végzők is. Ezen túlmenően, amennyiben az „éles” eszközök égetéssel kerülnek ártalmatlanításra, a keletkező salak nehézfém vegyületeinek koncentrációja túllépi az eltűrhető szintet és a salakot veszélyes hulladékként kell lerakással ártalmatlanítani.

Ha ártalmatlanítási módként fertőtlenítést alkalmaznak, az „éles” eszközöket tartalmazó fertőtlenített hulladék nem kerülhet szeméttégetőbe, mert sérülést okozhat a markoló és a rostély tisztításánál. A fertőtlenített hulladékot, ilyen esetben szeméttelepre se lehet lerakni a guberálás veszélye miatt.

Az **anyagi tulajdonságaik miatt** veszélyes hulladékok jelentős többségét a hulladékjegyzék tartalmazza. Ezeknél az anyagoknál a tűz- és robbanásveszély és/vagy a mérgező/maró tulajdonság, valamint a várható környezetszennyezés miatt szükséges az elkülönített kezelés.

Az egészségügyi intézményekben a vegyi hulladékok között is szelektív gyűjtést szükséges megvalósítani a gyógyszerek és a citosztatikumok esetében, amelyek különleges veszélyt jelenthetnek.

Az egészségügyi intézményekben keletkező hulladék kezeléséről az 12/2017. (VI. 12.) EMMI rendelet előírásai az irányadók.

A rendelet hatálya kiterjed:

- minden egészségügyi szolgáltatást nyújtó jogi személyre, jogi személyiség nélküli szervezetre (ide értve a kutató, megelőző intézményeket is) és minden természetes személyre, aki egészségügyi szolgáltatás nyújt;
- a speciális egészségügyi veszélyes hulladék gyűjtésére rendszeresített eszközök forgalmazójára, gyártójára, valamint importőrére;
- a hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény (a továbbiakban: Ht.) szerinti gyűjtőre, közvetítőre, kereskedőre, szállítóra és hulladékkezelőre, aki vagy amely egészségügyi szolgáltatótól hulladékot gazdasági tevékenysége körében kezelés céljából átvesz, összegyűjt;
- az a) pont szerinti egészségügyi szolgáltatónál az általa nyújtott ellátás során képződő egészségügyi hulladékokra és gyógyszerhulladékokra; valamint
- a lakosságnál képződő olyan gyógyszerhulladékokra, amelyet az a) pont szerinti egészségügyi szolgáltatók közül a járó-, illetve a fekvőbeteg-szakellátást nyújtó egészségügyi szolgáltatóknál gyűjtik.

A rendelet – a veszélyes hulladékokra vonatkozó EU jogszabálynak megfelelően – a hulladék fogalmat a hatálya alá tartozó hulladékok felsorolásával adja meg. A hulladékok csoportosítása kifejezi azok különböző veszélyességét, másrésztől igazodik a gyakorlatban megvalósítható szelektív hulladékgyűjtéshez.

Nyilvántartás

Az egészségügyi intézményekben keletkező hulladékokról nyilvántartó lapot kell vezetni, amit évente a területileg illetékes népegészségügyi járási (fővárosi kerületi) hivatalnak kell megküldeni, melyet a járási (fővárosi kerületi) hivatal minden év március 1-jéig megküld a vármegyei kormányhivatalnak.

Az adatokat a vármegyei kormányhivatal összesíti, majd az összesített nyilvántartást minden év április 1-jéig megküldi az országos tisztifőorvosnak és tájékoztatásul az országos környezetvédelmi hatóság részére.

Ez a nyilvántartási és jelentési kötelezettség nem érinti az egészségügyi intézményekben keletkező hulladékokra vonatkozó más jogszabályban előírt nyilvántartási és a környezetvédelmi hatósághoz történő bejelentési kötelezettséget.

A hulladékok csoportosítása

Az egészségügy területén keletkező hulladékokat veszélyesség szempontjából az alábbiak szerint csoportosítjuk:

- **egészségügyi hulladék:**
az egészségügyi szolgáltatónál és az egészségügyi ellátás során humán biológiai anyagból vagy vegyi anyagból, továbbá a kísérleti állatokból származó állati eredetű melléktermékből, illetve ilyen anyagokat tartalmazó eszközökből, tárgyakból képződő hulladék, tekintet nélkül annak veszélyes vagy nem veszélyes jellegére, ide nem értve a gyógyszerhulladékot;
- **egészségügyi veszélyes hulladék:**
az egészségügyi szolgáltatónál és az egészségügyi ellátás során képződő egészségügyi hulladék veszélyes hulladéknak minősülő része. Egészségügyben keletkező veszélyes hulladékok a gyógyítási, ápolási, laboratóriumi, kutatási tevékenységek során keletkező anyagok és eszközök, gyógyszer, vegyszer hulladékok, illetve ezek bomlástermékei, amelyeket a felhasználó eredeti rendeltetése szerint már nem használ fel, s amelyek anyagi tulajdonsága, fizikai, kémiai jellemzője miatt az emberi egészségre, a környezet elemeire potenciális vagy tényleges károsító hatást fejthetnek ki. Ideértjük a speciális egészségügyi veszélyes hulladékot is;
- **gyógyszerhulladék:**
 - a. az egészségügyi szolgáltatónál az egészségügyi ellátás során képződő, lejárt felhasználhatósági idejű vagy más okból fel nem használt vagy fel nem használható humán gyógyszerből származó hulladék a fogyasztói csomagolással együtt, valamint
 - b. a lakosságnál képződő hulladékká vált injekciós tű, injekciós fecskendő, tűvel ellátott injekciós fecskendő, infúziós szerelék.

A 72/2013. (VIII. 27.) VM rendelet a hulladékjegyzékről *-gal jelöli a veszélyes hulladékokat a listában (XVII. táblázat). Az egészségügyi intézmények működéséhez, üzemeltetéséhez szükséges tevékenység során keletkező egyéb *-gal jelölt hulladékok is ide tartoznak, amelyek kezelésére szintén a veszélyes hulladékokra vonatkozó 225/2015. (VIII. 7.) Korm. rendelet vonatkozik.

XVII. táblázat **Kiemelten nevesített veszélyes hulladékok**

Hulladék kód	A hulladék megnevezése
18 01 06*	veszélyes anyagokat tartalmazó vagy abból álló vegyszerek
18 01 08*	citotoxikus és citosztatikus gyógyszerek
18 01 10*	fogászati célra használt amalgám hulladéka

Különleges kezelést igénylő (fertőző) hulladékok

Kódszám: 18 01 03*

Fertőző egészségügyi hulladékok azok, amelyek fertőző megbetegedés kórokozóját tartalmazzák vagy tartalmazhatják.

Ide tartoznak:

- ca) használt éles, hegyes eszközök, amelyek szúrt vagy vágott sérülést okozhatnak (injekciós tűk, injekciós fecskendők tűvel, infúziós és transzfúziós szerelékek, vágó, szűrő, éles eszközök, ampullák, tárgylemezek, egyéb eszközök);
- cb) vér és vérkészítmények, műtéti és más orvosi beavatkozás során visszamaradó, fel nem ismerhető emberi testrészek és szervmaradványok, váladékok, laboratóriumi és kórbonctani vizsgálati anyagok, illetve azok maradványai;
- cc) betegápolási hulladékok. Ez a csoport két részre bontható az alábbiak szerint:
 - fertőző egységek és elkülönítők összes hulladéka, továbbá a járványügyi szempontból különösen veszélyes és/vagy ellenálló, külön jogszabályban meghatározott fertőző betegségek ellátása során keletkező mikroorganizmusokkal szennyezett vagy feltételezhetően szennyezett hulladékok;
 - a nem fertőző betegellátás során keletkező vérrel, váladékkal szennyezett hulladékok például kötszerek, rögzítések, egyszer használatos ruha, lepedő, tampon, katéter, pelenka, egyéb hasonló betegellátási hulladékok. A Rendelet meghatározása szerint az egészséges csecsemők pelenkái, továbbá az átmenetileg inkontinenssé vált vagy időskoruk miatt inkontinens ellátottak inkontinencia betétei, ezek települési hulladékként kezelhetők (pl. szociális otthonokban, utókezelő egységekben a kórházhygiénikus véleményének alapján).
- cd) légszűrő berendezések mikrobiológiai szűrőbetétjei;
- ce) fertőző kórokozókat tartalmazó kísérleti állatok tetemei és hulladékai;
- cf) gésebészeti és mikrobiológiai hulladékok, ha nincsenek sterilizálva;
- cg) citosztatikummal szennyezett anyagok és eszközök: ágynemű, ruhanemű, kötszer, kesztyű, vizeletgyűjtő tasak egyéb eszközök. Ezek a hulladékok ugyan fertőző hulladékként kezelendők, de egyben vegyileg is veszélyes hulladékok.

Emberi testrészek és szervmaradványok

A halva született és elvetélt magzatokra, csonkolt testrészekre, emberi szervekre, szervmaradványokra a temetőkről és a temetkezésről szóló 1999. évi XLIII. törvényben és ennek végrehajtásáról szóló 145/1999. (X. 1.) Korm. rendeletben foglaltak az irányadók.

Az egészségügyi hulladékok kezelése, a veszélyes hulladékok gyűjtése

Az egészségügyi hulladékok közül a veszélyes és nem veszélyes hulladékot egymástól, valamint az egészségügyi szolgáltató telephelyén képződő háztartási hulladékhoz hasonló hulladéktól az egészségügyi szolgáltató által kialakított munkahelyi gyűjtőhelyen, illetve üzemi gyűjtőhelyen **elkülönítetten kell gyűjteni a hulladék fajtájának vagy típusának megfelelő gyűjtőedényben.**

A veszélyes hulladékok elkülönített gyűjtése több szempontból lényeges része a kórház technológiának. Fontos szerepe van a kórházi iatrogén fertőzések kialakulásának megelőzésében, a munkahelyi balesetek számának csökkentésében, valamint a környezetszennyezés mérséklődésében.

Az egészségügyi hulladékok kezelésére vonatkozó rendelet a veszélyes hulladékok gyűjtésére vonatkozóan az alábbiakat rendeli:

- a. Az éles vagy hegyes eszközöket szilárd falú, szúrásálló edényzetben, a fertőző hulladékot folyadékzáró, mechanikai sérülésnek ellenálló olyan gyűjtőedényben kell gyűjteni, amely a lezárást követően roncsolás mentesen nem nyitható ki.
- b. A speciális egészségügyi veszélyes hulladékot tartalmazó gyűjtőedényen a sárga – fertőzésveszély – színkódot és a 12/2017. (VI. 12.) EMMI rendelet 1. melléklete szerinti nemzetközi biológiai veszély jelet kell alkalmazni.
- c. Az egészségügyi veszélyes hulladék közül a nem fertőző betegek ellátásából származó, nem éles vagy hegyes hulladék elhelyezésére hulladékgyűjtő zsákot lehet alkalmazni. A hulladékgyűjtő zsákot tartó tartálynak jól záródónak, továbbá lábbal nyithatónak és zárhatónak kell lennie.
- d. A speciális egészségügyi veszélyes hulladék gyűjtésére kizárólag a 12/2017. (VI. 12.) EMMI rendelet 2. mellékletben meghatározott minőségi követelményeknek megfelelő hulladékgyűjtő eszközök forgalmazhatók, illetve alkalmazhatók.
- e. A speciális egészségügyi veszélyes hulladék hűtés nélkül legfeljebb 48 óráig vagy hűtött körülmények között – legfeljebb 5 °C-on – addig, amíg a gyűjtőedény megtelik, de legfeljebb 30 napig.
- f. A speciális egészségügyi veszélyes hulladékot tartalmazó lezárt gyűjtőedényt a hulladék fertőtlenítéséig vagy égetéssel történő kezeléséig tilos kinyitni.

Az otthoni betegellátás során keletkező elhasznált fecskendőket, infúziós szerelvényeket és tűket a védőkupak visszahúzása nélkül megfelelő vastagságú és méretű dobozokba kell gyűjteni, majd a járó-, illetve fekvőbeteg szakellátást nyújtó egészségügyi szolgáltatók (pl. kórházak, magánklinikák, szakrendelők stb.) telephelyén üzemeltetett speciális hulladékgyűjtő helyekre szállítani és leadni.

A lakosságnál képződő, lejárt felhasználhatósági idejű, illetve más okból fel nem használt, vagy fel nem használható gyógyszerekből származó hulladékot a fogyasztói csomagolással együtt bármelyik gyógyszerértárban a vásárlók számára biztosított területen kihelyezett gyógyszerhulladék gyűjtődobozokba lehet leadni (11/2017. (VI. 12.) EMMI rendelet).

A veszélyes hulladékok szállítása

Mivel csak néhány kórház rendelkezik a követelményeket kielégítő hulladékártalmatlanító berendezéssel, ezért a legtöbb helyről a veszélyes hulladékot elszállítják.

A kórházak a veszélyes hulladékok elszállításával nagyjából az erre a tevékenységre szakosodott cégeket bízzák meg. Ennek oka, hogy ezek a cégek általában teljeskörű szolgáltatást nyújtanak, azaz az átvett hulladékot nemcsak elszállítják, hanem az ártalmatlanításról is gondoskodnak, és a megfelelő gyűjtőeszközöket is forgalmazzák.

A veszélyes hulladékok ártalmatlanítása

A vonatkozó rendelet általános megállapításai az alábbiak:

- A speciális egészségügyi veszélyes hulladék **kizárólag égetéssel vagy fertőtlenítéssel** kezelhető. Kezelés előtt a hulladék nem tömöríthető.
- Fertőző hulladékot lerakóhelyre vinni nem szabad.
- A fertőtlenítéssel kapcsolatos ellenőrző vizsgálatokat akkreditált laboratóriumban kell elvégezni. A fertőtlenítéssel kapcsolatos mikrobiológiai ellenőrző vizsgálatokat az akkreditált mintavételt követően a népegészségügyi feladatkörében eljáró fővárosi és vármegyei kormányhivatal (a továbbiakban: vármegyei kormányhivatal), a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ akkreditált laboratóriuma végzi.
- A hulladékfertőtlenítő gép mikrobiológiai fertőtlenítő hatását a berendezés üzembe helyezésekor, folyamatos üzemeltetés esetén félévenként, valamint meghibásodást követő műszaki javítás után, illetve az ellenőrző hatóság részéről felmerült kifogás esetén kell önellenőrző vizsgálatokkal igazolni.
- Fertőtlenítő berendezés alkalmazásakor a hulladékot aprítani kell.
- Ha a hulladékfertőtlenítő berendezés különleges edény használatát kívánja meg, a fertőtlenítési ciklus befejezése után a kiürített, tisztított csomagolóeszköz ismételt használható.
- Fertőzött kísérleti állatok tetemei, váladékai és az alom csak olyan hulladékégetőben ártalmatlanítható, amely rendelkezik az ilyen típusú hulladékok kezelésére vonatkozó engedéllyel.

Égetés

Egyes egészségügyi veszélyes hulladékok csak égetéssel ártalmatlaníthatók, ilyenek pl. a kísérleti állati tetemek, a humán biológiai anyagok és a citosztatikumokkal szennyezett hulladékok. A kórházi fertőző hulladék rendkívül összetett, inhomogén, a gyűjtéskor és ezt követően nem homogenizálható, szélsőséges tulajdonságokkal jellemezhető. A legfontosabb komponensek: kötszerek, műanyagok, testrészek, szervmaradványok, váladékok, éles eszközök (természetesen a higany tartalmú eszközök nem égethetők), amelyek közül káros emissziót a műanyagok és az éles eszközök okozhatnak.

A hulladékok égetése során alapkövetelmény a tökéletes égés. A PVC tartalmú hulladékokból keletkező sósav és esetleg dioxin, valamint egyéb komponensek kibocsátásának megakadályozására az egészségügyi hulladékégető berendezéseket megfelelő füstgáztisztító berendezéssel látják el.

A hulladékégetéssel kapcsolatos további megoldandó kérdés a keletkező égetési maradékok kezelése. A keletkező salak és füstgáztisztítási maradékok ártalmatlanítása a veszélyes hulladékokra vonatkozó előírások szerint történik.

Fertőtlenítés

A fertőző hulladékok fertőtlenítésére kizárólag hőhatáson, illetve vegyi hatáson alapuló eljárások alkalmazhatók.

A fertőtlenítés általános elterjedését a hulladéklerakásra vonatkozó jogszabály megnehezíti, mivel a lerakásra kerülő hulladék biológiailag lebontható szervesanyag tartalmát fokozatosan csökkenteni kell, ugyanakkor a fertőző hulladék ilyen anyagokat 60-90 %-ban tartalmaz. Emiatt a hulladék fertőtlenítő berendezéseket leginkább ott érdemes telepíteni, ahol a hőhasznosítást megvalósító települési hulladék égetőmű is működik (pl. Budapest).

A fertőtlenítéssel ártalmatlanító berendezések előnyei és hátrányai

Előnyök:

- A legtöbb országban elfogadott és engedélyezett technológia a fertőzésveszélyes hulladékok kezelésére.
- Könnyen érthető és elfogadott a kórházi személyzet és a lakosság körében is.
- Elkülönített hulladékgyűjtéssel elérhető, hogy a fertőtlenítést követően lakossági jellegű, nem veszélyes hulladék képződjön.
- A beruházási költsége az égetéshez képest kicsi.
- Nem jelentkezik füstgázkibocsátás.

Hátrányok:

- A nagyobb fémdarabok tönkreteszhetik az aprítót.
- Kellemetlen szaghatást eredményezhet, ami műszaki megoldással csökkenthető, de teljes kiküszöbölése a gyakorlatban körülményes és költséges.
- Veszélyes anyagoknak (formaldehid, fenol, citotoxikus anyagok, higany), a hulladékba kerülésével a fertőtlenített hulladék veszélyes marad és szennyezheti a levegőt, vizet és a talajt.
- Ha a technológiának nem része a szárítás, a fertőtlenített hulladék nehezebb a rákondenzálódott gőz miatt, mint a kiindulási.
- A közvetlen hőátadást gátló körülmények rontják a fertőtlenítés hatásfokát (nem megfelelő vákuumozás, nagyobb darab hulladék kis hővezetéssel, szigetelt edények).

Az általános gyakorlat szerint a fertőzésveszélyes hulladékok 40-45%-át égetéssel ártalmatlanítják, 55-60%-át gőzös eljárással fertőtlenítik, majd lerakják (kb. 40%-át) vagy szintén égetésre viszik (kb. 60%-át), mint települési hulladékot.

OHT cselekvési irányok

A keletkező hulladékok mennyiségének a csökkentése, valamint annak hatékonyabb visszagyűjtése, kezelése, ártalmatlanítása.

Hasznosítás

Az egészségügyi veszélyes hulladékok legnagyobb részt fertőző hulladékok, amelyek közvetlen hasznosíthatósága nem megvalósítható. A sterilizálás követheti egy olyan előkezelési folyamat, aminek során megtörténik a teljes hulladékmennyiség anyagminőség szerinti szétválasztása. A válogatás során kapott frakciók alkalmasak az anyagában történő hasznosításra (üveg, fém, műanyag), égetéssel történő hasznosításra vagy ártalmatlanításra, illetve a maradék pedig nem veszélyes hulladéklerakóban történő lerakásra.

Hulladékcsökkentés, a nem égetéses eljárások fejlesztése

A veszélyes hulladékégetőkben keletkező salak és pernye is veszélyes hulladéknak minősül és azok megfelelő ártalmatlanítása további költségekkel jár. A nem-égetéses eljárások esetén már a nem veszélyes hulladék további kezelése és hasznosítása biztosítja az anyagkörforgást és a hulladékcsökkentést.

Speciális gyűjtőhelyek

Növelni kell a lakosságnál képződő gyógyszerhulladék elkülönített gyűjtésére szolgáló speciális hulladékgyűjtő helyek számát.

WHO által javasolt stratégia a kockázatok csökkentésére

Rövidtávra

- PVC-mentes eszközök használata,
- kutatás a kis kapacitású hulladékégető berendezések emissziójának csökkentésére.

Középtávra

- hasznosítás fejlesztése (műanyag, üveg, fém stb.),
- további erőfeszítések a szükségtelen injekciózás és így a hulladék mennyiségének csökkentésére,
- az alacsony koncentrációjú tetraklór-dibenzo-dioxin (TCDD) és tetraklór-dibenzofurán (TCDF) emisszió egészségkárosító hatásának kutatása,
- kockázatelemzés az egészségügyi hulladék és az égetés hatásainak elemzésére.

Hosszútávra

- nem égetéses eljárások fejlesztése az egészségügyi hulladék ártalmatlanításának érdekében.

SZENNYVIZEK ÉS SZENNYVÍZISZAPOK MEZŐGAZDASÁGI FELHASZNÁLÁSÁNAK FELTÉTELEI

Dr. Szabó Zoltán

A települési szennyvizek, szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági elhelyezésénél a talaj természetes szűrőképességének és öntisztulásának kihasználásával történik a szennyező anyagok megkötése, lebomlása, illetve a kórokozók eliminálása. A felhasznált mezőgazdasági terület növénykultúrája mellett bizonyos mértékű víz- és tápanyag utánpótlásban is részesül.

A szennyvízöntözés, illetve szennyvíziszap elhelyezés következtében fellépő környezetkárosodás és egészségveszélyeztetés elkerülése egyrészt a környezetbe kerülő szennyező kémiai anyagok mennyiségének minimalizálásával, másrészt a fertőzésveszélyt csökkentő előkezeléssel, illetve közvetlen emberi fogyasztásra nem kerülő növénykultúrákban való felhasználással lehetséges.

A települési szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználására vonatkozó előírásokat, határértékeket először a 9003/1983. MÉM-EüM-OVH Szennyvízelhelyezési Szabályzat, illetve az ennek korszerűsítéseként kiadott MI-08-1735-1990. Szennyvizek és szennyvíziszapok termőföldön történő elhelyezése c. MÉM ágazati irányelv tartalmazta.

Az EU jogharmonizációs munka részeként került sor a 86/278/EGK irányelv – a környezet, és különösen a talaj védelméről a szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználásával kapcsolatban – átvételére a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet kiadásával.

A rendelet célja, hogy a szennyvizek, szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági területen való szakszerű felhasználásával elkerülhetővé váljanak a talajra, a felszíni és felszín alatti vizekre, valamint az emberek egészségére, a növényekre és az állatokra gyakorolt káros hatások.

A szennyvíztisztító műben tisztított szennyvíz, illetve kezelt szennyvíziszap mezőgazdasági területen történő felhasználásának szabályozása mellett a rendelet előírásai a gyűjtött és kezelt települési folyékony hulladékok mezőgazdasági felhasználásának feltételeire is vonatkoznak. Így a rendelet alkalmazásában az iszapok körébe tartoznak a települési szennyvíz tisztítása során keletkező és az ehhez hasonló összetételű szennyvizeket kezelő egyéb szennyvíztisztító művekből származó iszapok és a települési folyékony hulladékok. Mezőgazdasági területen csak kezelt szennyvíziszap, illetve tisztított szennyvíz helyezhető el. Tisztítatlan szennyvíz, nyersiszap, valamint a kezeletlen települési folyékony hulladék vagy más kezeletlen iszap a mezőgazdaságban nem használható fel.

Kezelt iszapok a biológiai, kémiai, illetve hőkezeléssel, tartós (legalább 6 hónapig tartó) tárolással, vagy más kezeléssel nyert olyan iszapok, melyek szennyezőanyag tartalma határérték alatti, és a kezelés hatására a fekál coliform és a fekál Streptococcus szám ml-ben mért mennyisége az eredeti érték tíz százaléka alá csökken.

Szennyvíz a szennyvíz tisztítókban a szennyező anyagok eltávolítása, illetve lebontása után keletkező, a határértékeknek megfelelő szennyezőanyag tartalmú víz.

A szennyvizek, szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági felhasználása engedélyhez kötött tevékenység, amit talajtani szakvélemény alapján a közegészségügyi, állategészségügyi, környezetvédelmi és vízügyi szakhatóság, valamint a települési önkormányzat jegyzőjének hozzájárulásával az illetékes talajvédelmi hatóság határozatban engedélyez. A szakhatóságok hozzájárulásukat a külön jogszabályban meghatározott talajtani szakvélemény ismeretében adják. A jegyző hozzájárulását adja a hatósági engedély kiadásához, ha a tevékenység a település feladataival összhangban van. Az engedély kiadásához, ha a földhasználója és a tulajdonosa nem azonos, akkor a földtulajdonos hozzájárulása is szükséges. A szennyvíz és szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználása adott mezőgazdasági területre legfeljebb öt éves időtartamra engedélyezhető.

A szennyvizek, szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági felhasználását megalapozó talajtani szakvélemény elkészítéséhez a mezőgazdasági terület talajának és talajvizének, valamint a kijuttatandó szennyvíz vagy szennyvíziszap jellemzőit kell meghatározni.

A talajvédelmi hatóság a talaj, a talajvíz, a szennyvíz, a szennyvíziszap és szennyvíziszap komposzt vizsgálatát a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről szóló 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben meghatározott jellemzőkre is kiterjesztheti az abban foglalt (B) szennyezettségi határértéknek megfelelő egyedi határérték megállapításával. Egyes mutatók (állati-növényi zsiradék, összes alifás szénhidrogén (TPH), policiklusos aromás szénhidrogének (PAH-ok), poliklórozott bifenilek (PCB-k)) vizsgálatai elhagyhatók, ha a szennyvíz, szennyvíziszap ezeket az anyagokat nem tartalmazza. A szennyvizek, szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok mintavételét, valamint vizsgálatait csak a mintavételre, illetve a vizsgálatokra akkreditált laboratóriumok végezhetik el.

Mivel termőföldön szennyvíziszap nem tárolható, a felhasználásra kijelölt mezőgazdasági területre csak az azonnal felhasználható és bedolgozható szennyvíziszap mennyiség szállítható ki. Amennyiben a munkafolyamatok szervezése ezt indokolja, hatóságilag engedélyezett gyűjtőtároló létesíthető. A szennyvíziszapot a talaj felszíne alá kell juttatni; ha a kijuttatás a talaj felszínére történik, azt azonnal be kell dolgozni.

Szennyvíz, szennyvíziszap felhasználása tilos a zöldségnövények és a talajjal érintkező gyümölcsök termesztése esetében a termesztés évében, valamint az azt megelőző évben. Termő szőlő és bogyógyümölcs-, valamint intenzív, alacsony törzsű gyümölcs ültetvényekben elhelyezés csak a vegetációs időn kívül lehetséges.

Hagyományos művelésű magas törzsű gyümölcsfák esetében a kijuttatás és a betakarítás között legalább hat hét várakozási idő szükséges. Szántóföldi, illetve takarmánynövények termesztésére használt területen szennyvíziszap csak a betakarítás és a következő vetés közötti időszakban használható fel.

Tilos a szennyvíziszap felhasználása a rét és legelő művelési ágban hasznosított mezőgazdasági területen, valamint védett természeti területen, továbbá, ahol ökológiai gazdálkodást folytatnak. Szennyvizek, szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok nem használhatók fel olyan talajon, amelynek pH-értéke 5,5-nél alacsonyabb, a leiszapolható rész kisebb, mint 10 százalék, vagy nagyobb, mint 80 százalék (durva homok, illetve nehéz agyag), vagy a termőréteg vastagsága 60 centiméternél kevesebb. Ha a talaj pH-értéke 5,5-6,2 közötti, a felhasználás csak meszezés egyidejű alkalmazásával lehetséges.

A talajvíz évi átlagos szintje nem lehet 150 cm-nél magasabb, és a talajvízszint legmagasabb átlaga nem érheti el a 100 centimétert. Fagyott, hóval borított, továbbá vízzel telített területen tilos a kijuttatás.

A felszíni vizek külön jogszabályban meghatározott parti sávjában és hullámterében, árvíz és belvíz, valamint a fakadó és szivárgó vizek által veszélyeztetett és vízjárta mezőgazdasági területeken szennyvíz és szennyvíziszap nem használható fel. Az ivóvízbázisok védőterületén a szennyvíz és szennyvíziszap elhelyezésének külön jogszabályban – a vízbázisok, a távlati vízbázisok, valamint az ivóvízellátást szolgáló vízi létesítmények védelméről szóló 123/1997. (VII. 18.) Korm. rendeletben – megállapított előírásokkal együttesen kell alkalmazni. Tilos a szennyvíz, szennyvíziszap felhasználása azokon a karsztos területeken, ahol a felszínen vagy 10 méteren belül a felszín alatt mészkő, dolomit, mész- és dolomitmárga képződmények találhatók.

Szennyvizek, szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági felhasználása esetén legalább háromszáz méter védőtávolságot kell tartani a lakott területtől, illetve a lakóépülettől, valamint az erdőművelési ágban lévő területtől. Ha a felhasználásra kijelölt mezőgazdasági terület olyan földterülettel érintkezik, ahol tilos a szennyvíz és szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználása, legalább háromszáz méter védőtávolságot szintén be kell tartani.

A szennyvizek, szennyvíziszapok és szennyvíziszap komposztok mezőgazdasági hasznosíthatóságának határértékeit, a talajhatárértékeket és az évenként kijuttatható toxikus elemek mennyiségét szintén szabályozza a rendelet.

A talajtani szakvélemény összeállításánál figyelembe kell venni:

- a felhasználásra kerülő szennyvíz, szennyvíziszap és szennyvíziszap komposzt kémiai összetételét;
- a hasznosítandó mezőgazdasági terület talaja kémiai összetételét;
- a toxikus anyagok talajban megengedett maximális koncentrációit;
- az egy adott évben kijuttatható toxikus elem és káros anyag mennyiségeket.

A szennyvíz, szennyvíziszap és szennyvíziszap komposzt mezőgazdasági felhasználása során úgy kell eljárni, hogy az ne eredményezze a talajban és a felszín alatti vízben a (B) szennyezettségi határértéknél kedvezőtlenebb állapot kialakulását.

A mezőgazdasági területen kijuttatott összes nitrogén mennyisége a kiegészítő szerves trágyázást is figyelembe véve nem haladhatja meg évente a 170 kg/ha értéket.

A szennyvíztisztító mű üzemeltetője a mezőgazdasági felhasználásra kerülő szennyvizet, szennyvíziszapot és szennyvíziszap komposztot legalább hathavonta, de minden kijuttatási időszak előtt köteles megvizsgáltatni. A szennyvíz, szennyvíziszap vagy szennyvíziszap komposzt minőségének kedvezőtlen változása esetén a talajvédelmi hatóság elrendelheti hat hónapnál rövidebb időtartamon belül is vizsgálatok elvégzését. Ha a talajvédelmi hatóság az ellenőrzései során észleli, hogy az engedélytől eltérő tevékenységet folytatnak, és ezzel a mezőgazdasági terület veszélyeztetése következhet be, előzetes felszólítást követően korlátozza, vagy felfüggeszti a tevékenység folytatását. A talajvédelmi hatóság elrendelheti új vizsgálat végzését, és ettől függően dönt a korlátozás feloldásáról, illetve a tevékenység folytatásáról.

A talajvédelmi hatóság megtiltja a tevékenység folytatását, elrendeli a szennyező források felszámolását a szennyvíz, szennyvíziszap vagy szennyvíziszap komposzt határértékeinek túllépése esetén, továbbá ha megállapítja, hogy a felhasználás engedély nélkül történt.

A talajvédelmi hatóság haladéktalanul tájékoztatja a környezetvédelmi hatóságot, ha talaj vagy talajvíz szennyezettségi szintje meghaladja a (B) szennyezettségi határértéket.

Szennyvíziszap mennyisége

A csatornázás és szennyvíztisztítás fejlődésének eredményeként még jó ideig növekedhet az évente keletkező szennyvíziszap mennyisége (XVIII. táblázat).

XVIII. táblázat **Az évente keletkező szennyvíziszap mennyisége**

Év	Szennyvíziszap (szárazanyag t/év)
2013	179 378
2016	225 351
2023	237 870
2027	250 390

Hazánkban a települési szennyvíziszapok 38%-át, mintegy 68 000 tonna iszap szárazanyagnak megfelelő iszapmennyiséget hasznosítanak a mezőgazdaságban. A jelenlegi hasznosítási módok közül másik fontos megoldás a tájsebek kezelésénél, a rekultiváció során szükséges biológiai fedőréteg kialakítása. A települési szennyvíziszapok energetikai (égetéses) hasznosítása jelenleg elhanyagolható mértékű.

Környezetbiztonsági és környezet-egészségügyi szempontból fontos, hogy mindig álljon rendelkezésre annyi kapacitás, ami váratlan helyzetekben is lehetővé teszi az iszapok környezet- és költségkímélő hasznosítását.

KÖRNYEZET-EGÉSZSÉGÜGYI KOCKÁZATBECSLÉS

KÖRNYEZETI VEGYI ANYAGOK KOCKÁZATBECSLÉSE

Dr. Dura Gyula, Demeter Zoltán, Hofer Ádám, Dr. Pándics Tamás

Bevezetés

A vegyi anyagok a környezetbe kerülve az ökoszisztémát és benne az embert veszélyeztethetik. A veszélyeztetés mértéke kockázatbecsléssel határozható meg, amelyhez a környezettudományok, a természettudományok, az orvosi tudományok és sok más szakterület ismereteit használja fel. Multidiszciplináris jellegéből következik, hogy csak összehangolt, jól áttekinthető, egyeztetett elveken nyugvó, jól ellenőrizhető eljárással végezhető.

A kockázatbecslés a veszélyes anyagokra vonatkozó azon tudományos ismeretek és adatok összegyűjtése, rendszerezése, elemzése és integrálása, amelyek alapján a vegyi anyagok meghatározott körülmények között az emberre, az ökoszisztémákra és a környezeti elemekre gyakorolt lehetséges káros hatása megítélhető. Ha a kockázatbecslés eredménye, megbízhatósága megfelel az elvárásoknak, akkor a társadalmi-gazdasági következmények figyelembevételével a kockázatkezelés szakmai-tudományos alapját képezi. Ha a kockázatbecslés nem végezhető el kellő pontossággal az információk hiányossága miatt, akkor további vizsgálatokra, kutatásokra és adatgyűjtésre van szükség.

A kockázatbecslés alapvető célja, hogy az emberi tevékenységből a környezetet, az ökoszisztémát és az ember egészségét érintő veszélyeztetettségre vonatkozó tudományos igényű ismeretek a közvélemény, a társ-szakterületek és a döntéshozók számára értelmezhető módon kerüljenek bemutatásra.

A kockázat eredete

A kockázatot végső soron emberi igények és szükségletek okozzák, amelyek kielégítése bizonyos tevékenységek formájában történik. Az emberi tevékenységek, például növényvédelmi munkák, ipari termelés, utazás gépkocsival stb. anyag- és energiafelhasználással járnak, és olyan szituációhoz vezethetnek, amelyekben az ember és környezete vegyi terhelésnek van kitéve (expozíciós helyzet). Az emberi tevékenység célja előnyök létrehozása, de ennek elkerülhetetlen velejárója a kockázati helyzet kialakulása. Ezért nem szabad a kockázatot az előnyöktől elválasztva vizsgálni, továbbá célszerű a tervezett és a nem tervezett tevékenységek között különbséget tenni.

Ez utóbbi teszi lehetővé a véletlenszerű baleseti kockázat és a kevésbé váratlan kockázat (engedélyezett kibocsátásból származó kockázat) elkülönített kezelését. A fentiekén kívül figyelmet kell fordítani a helytelen tevékenységi forma megválasztásából eredő gyakran felhalmozódó jellegű károokra, a közvetlen és közvetett gazdasági hatásokra is.

Az ok-okozati következmények láncolata alkalmas modellt képezhet a kockázat keletkezésének leírására és elemzésére.

A vegyi kockázatok jelentőségének megítélése

Mivel a környezeti kockázati problémák nem egyenértékűek, a környezeti vegyi kockázatok értékelése során figyelembe vesszük a következőket:

- *A kockázati probléma társadalmi jelentősége*
Ez magába foglalja a tevékenység várható haszna és a kockázat mértéke közötti összefüggést, a más forrásokból származó kockázatok halmozódásának lehetőségét, a kockázat igazságosságának kérdését (azaz kinek származik előnye az adott tevékenységből, a kockázat egyenlőtlenül oszlik-e meg a lakossági csoportok között), a tevékenység következményeinek átháríthatóságát például az egyénről a közösségre.
- *A kockázat természetére, mértékére vonatkozó ismeretek*
Ez a lépés a kockázat keletkezésére vonatkozó ok-okozati összefüggések elemzésén alapul, a közvetlen és a közvetett, a tervezett és a nem szándékos hatások összevetését jelenti. Például a növényvédő szerek előírás szerinti alkalmazása esetén sem zárhatók ki közvetlen (szermaradványok) és közvetett (rezisztencia kialakulás) nem kívánatos hatások. A növényvédő szerek helytelen felhasználása, tárolása esetén szintén bekövetkezhetnek közvetlen (hal-, vad-, méhpusztulás) és közvetett (talajvíz-szennyezés) káros hatások.
- *A lehetséges hatások időbeli (esetleg a következő nemzedéket érő) és térbeli (háztartási, helyi, regionális) kiterjedése*
A kockázat időbelisége. A következmények értékelésében az időtényezőnek jelentős szerepe van. Általában az előnyök előbbi realizálását, viszont a nem kívánt következmények minél későbbi bekövetkezését részesítjük előnyben. Ebből következik, hogy a jelenlegi, illetve azonnali előnyöknek nagyobb az értéke, mint a későbbieknek, s ugyanez mondható el a hátrányokról is csak fordított előjellel, azaz a jelenlegi, illetve azonnali hátrányokat, veszteségeket súlyosabbnak tekintjük, mint a későbbieket. A gazdaságban ismert és használt diszkontálás tehát mind az előnyökre, mind pedig a hátrányokra értelmezhető. A diszkontálás pszichológiailag mind a múlt, mind pedig a jövőre vonatkoztatva érvényes.

Kétségtelen tehát, hogy az időtényező befolyásolja a kockázat értékelését, a kockázat diszkontálásának formájában. Természetesen a diszkontálás nem végezhető el olyan pontossággal, mint a gazdasági jelenségek körében, továbbá a diszkontálás meghatározása is nehéz, mert több tényező befolyásolja a következményeket.

A kockázat térbeli megítélése három vetületben jelentkezik: a földrajzi eloszlás, a kockázatviselők azonosítása és a kockázat szóródása tekintetében. A kockázat földrajzi eloszlása közismert, hogy az embereket jobban érdeklik a fizikai szomszédságukban bekövetkező események, mint a távolabbiak. Ennél fogva nemcsak az időbeli, hanem a térbeli távolság is befolyásolja a következmények megítélését. A földrajzi kockázateloszlást nem lehet teljesen elválasztani a kockázat viselő(k) azonosításának problémájáról.

Ezen kívül a modern tömegkommunikációs eszközök rövidítik a földrajzi távolságokat, melyek hatására kitágulhatnak az érdeklődések fizikai határai és az értékek nem látható módon változhatnak. A földi távolságokon kívüli tartományban a következmények értéke a közvetlen tömegkommunikációs csatornák útján növekedhet is.

- *Azonosítható és statisztikai kockázatviselők*

Az egyik legjelentősebb megkülönböztetés az, hogy a több embert érintő kockázat, (a populációs szintű kockázat) az esetek többségében személytelenített jellegű, azaz nem azonosított személyeket érint. Ha a kockázatviselő egyén vagy csoport azonosítható, szemben a pusztán statisztikai jellemzéssel, a társadalom akkor is nagyobb figyelmet szentel az azonosítható kockázatviselők kockázatának, mint a statisztikainak, ha egyébként a valószínűségek és következmények azonosak. Ha tehát a kockázat vállalója, mint egyén, várhatóan közvetlenül megtapasztalhatja a következményt, akkor ezt általában magasabbra értékeli, mint ha csupán egyik tagja lenne annak a csoportnak, amelynek vagy egyetlen, vagy néhány tagja a szóban forgó következményt megtapasztalja. Különösképpen fontos ez a megállapítás a halál kockázatának megítélésében. A halál statisztikai valószínűsége soha nem konkrétan meghatározott személyre, vagy személyekre vonatkozik, és éppen ezért újabban megkülönböztetik az azonosítható halált a statisztikai haláltól. Meghatározott személy vagy személyek halálának kockázata nagyobb súlyú, mint ha ugyanakkora valószínűséggel azonosítás nélkül adnánk meg a halál kockázatát valamilyen csoportra. Ez a megkülönböztetés nem csak az emberi egészségre, hanem bármilyen kockázatra érvényes.

- *A kockázat kontrollálhatósága*

A technika fejlődése új kockázatokat indukál, egyúttal ellát bennünket olyan eszközökkel, eljárásokkal, melyekkel a már meglévő kockázatok és az új kockázatok is ellenőrizhetőek. Nehéz objektíven megítélni, hogy több kockázatot ellenőriz-e a tudomány és a technika, mint amennyit kivált és így az állásfoglalások szükségképpen szubjektív értékítéletet jelentenek. Tény azonban, hogy a kockázatok csökkentésére, mérséklésére és kontrollálására irányuló társadalmi igény egyre növekszik, legalább is a fejlett országokban.

A kontrollálhatóságnál kell kiemelnünk, hogy a kontroll észlelt és nem pedig a tényleges mértéke tekinthető kockázati tényezőnek. Ezekben az esetekben a kockázatfigyelést módszeres kontroll eljárással végzik. Ma még sok olyan eset van, melyeknél a kockázatot kontrollálás nélkül fogadják el. Természetesen vannak olyan esetek is, mikor a rendszer konstrukciója során egyes kitüntetett részek megtervezésében érvényesítik a fokozott biztonságot vagy előírások és ellenőrzés útján folyik a kockázat ellenőrzése. A kríziskezelés is egyfajta kontrollt jelent. Az eredeti angol elnevezés (crisis management) legalább két jelentéssel bír.

Az egyik, arra a vezetési stílusra utal, amelyik kevés figyelmet fordít a problémákra, mindaddig, amíg azok el nem érik a krízis határt, feltételezve, hogy az olyan problémák, melyek nem okoznak krízist maguktól is megoldódnak. A másik jelentése lényegesebb a kockázati kontroll szempontjából, amely azokra a módszerekre vonatkozik, melyekkel az emberi és természeti eredetű katasztrófák következményei enyhíthetők. A legtöbb területen a kockázat kontrolljának uralkodó módszere az előírás és a végrehajtás ellenőrzése, és ritkábban találunk valódi kockázat-kezelési rendszereket.

- *Kockázatvállalás*

A kockázat elfogadásának szintje, vagyis az a kockázati szint, amelyet a kockázat vállalója még éppen elfogad, függ a bekövetkezés valószínűségétől és a következményre vonatkozó ismeretektől, a következmény értékének nagyságától, valamint jellegétől. Egy bizonyos következmény bekövetkezésének elfogadható valószínűségét nevezzük kockázatvállalási szintnek. Ha ezt a következmények teljes halmazára meghatározzuk, akkor a kockázatvállalási hasznosságfüggvényt kapjuk. A kockázatvállalásra való hajlandóság és a status quo között is figyelemre méltó összefüggést találtak. A status quo értéke – vagyis az adott helyzet értéke egy adott időpontban az értékelő egyén számára – lehet pozitív, negatív vagy közömbös (ekkor nincs értékelés). A kockázatvállalási hajlandóság fordított arányban van a status quo értékével, vagyis minél pozitívabb a status quo értéke, annál kisebb a kockázatvállalási hajlandóság.

Itt kell megmagyaráznunk a merészségi hatást is, amely a csoportnormákkal kapcsolatos konfliktusok minimalizálásával függ össze. A merészségi hatás azt a tendenciát jelöli, hogy bizonyos csoportok döntéseikben szélsőségesebb és kockázatosabb álláspontot foglalnak el.

A merészségi hatást azzal a nyomással magyarázzák, amellyel egy csoporton belüli egyén rendelkezik, és amelyik legalább egyenlő vagy meghaladja a csoport átlagát. Ebben az esetben a trend nem a konformitás lesz, hanem a „rálicitálás” vagyis az egymás felülmúlásának irányzata.

Az említett szempontok határozzák meg, hogy az adott környezeti problémát stratégiai, taktikai vagy operatív szintű kérdéseknek tekintünk.

A kockázat definíciója

A kockázat definíciójának két fő eleme van: „nem kívánatos következmények lehetősége vagy valószínűsége” és „a következmények természete és súlyossága”. A kockázat az egészség, a környezet és anyagi javak károsodásának – bizonyos esetekben bekövetkező – valószínűsége, a károsodás természetével és nagyságával kombinálva. A tudományos irodalom többféle definíciót ad a kockázatra. Társadalomtudományi kutatók a hangsúlyt az önkéntességre helyezik (azok, akiket közvetlenül érinthet egy veszélyes szituáció, el tudják-e kerülni a kockázatot), továbbá fontosnak tartják a kockázat természetének szakmai ismeretét, illetve a közgondolkodásban való elterjedtségét (mennyire ismerik a potenciális érintettek a lehetséges hatásokat), a célokat (mi a kockázatot eredményező tevékenység célja), a károsodás helyreállíthatóságát. Természettudományos szemléletet tükröz az a megfogalmazás, mely szerint a kockázat egy adott környezeti hatás bizonyos mértékű káros következményének valószínűsége.

A kockázatbecslés elvei

1. A kockázatbecslés a megelőzés elvét érvényesíti, ezáltal a környezet- és egészségvédelmi stratégia kulcskérdésére ad választ. Ugyanis az ember, az élő szervezetek, az ökoszisztémák tűrési kapacitásának ismerete nélkül, a károsodás bekövetkezési valószínűségének, azaz a kockázat számszerű ismerete nélkül nem lehet tényleges megelőzésről beszélni.
2. A kockázatbecslés a fenntartható fejlődés elvét teszi kifejezhetővé, mert a kvantitatív jellegű előrejelzésével érzékelhetővé/érthetővé teszi, hogy a környezet fenntartható használata az emberi élet minőségének javításával és a természeti erőforrások teherbíró és megújuló képességének tiszteletben tartásával történhet.
3. A kockázatbecslés az elővigyázatosság elvét követi, oly módon, hogy az új technológiák és termékek alkalmazásával járó nemkívánatos hatásoknak nemcsak a kockázati értékét adja meg, hanem a káros hatások bekövetkezésének bizonytalanságát is, ezzel hangsúlyozza az elővigyázatosság elvének betartását.
4. A kockázatbecslés a partneri viszonyt igényli. A környezet- és egészségvédelmi stratégiák és programok feltételezik a környezet és egészség széles körében érintettek közötti hatékony és folyamatos együttműködést. A különböző szakterületek, intézményrendszerek, szakemberek és a lakosság közötti kommunikáció egyetemleges közös nyelve a kockázatbecslés.
5. A kockázatbecslés az ún. gazdaszemléletű környezet, és egészségvédelmet támogatja oly módon, hogy a költség/kockázat/haszonelemzést közvetlenül összefüggésbe tudja hozni a várható kockázatokkal, elősegítve a helyes gazdálkodási gyakorlatot.
6. A vegyi kockázat az expozíció és a káros biológiai hatás függvénye.
7. A kockázat mért vagy előrejelzésekkel nyert adatok alapján határozható meg. A kockázat a közvetlen, illetve közvetett kitettség (expozíció) mértéke és a vegyi anyag káros hatást már nem okozó mennyisége arányával fejezhető ki.
8. A kockázatbecslés nemzetközi szervezetek (WHO, OECD, ECHA, SAICM) által elfogadott/ajánlott, lényegében harmonizált eljárásmodja szakmai biztosítékot jelent ahhoz, hogy a kockázatbecsléssel garantálni lehessen az ember és a környezet azonos szintű védelmét különböző helyzetekben.
9. A kockázatbecslés négy alapvető lépésből áll: a veszély azonosítása; a dózis (koncentráció) – válasz (hatás) értékelése; az expozíció becslése; és a kockázat mennyiségi, esetenként minőségi jellemzése.
10. Az expozíció becslése során figyelembe kell venni valamennyi környezeti elemet és az élőlények azon populációit (beleértve az emberi népességcsoportokat), amelyekről ismert vagy a szennyező anyagról rendelkezésre álló információ alapján feltételezhető, hogy a szennyezőanyag hatásának ki vannak, vagy ki lehetnek téve.

11. Ha egy szennyező anyagra vonatkozóan kockázatbecslést már végeztek, és az újra vizsgálatra került, az ezt követő kockázatbecslésnek figyelembe kell vennie az előző kockázatbecslés(ek)e)t.
12. A környezet- és egészségvédelmi jogi szabályozással kapcsolatos döntések elvi alapját a kockázatbecslés eredményeinek kell képeznie (pl. a környezetminőségi határértékek megállapítása a környezet-, víz-, kémiai biztonság területén) annak érdekében, hogy a vegyi szennyezettségből származó kockázat kezelhető, illetve csökkenthető legyen.

A kockázatbecslés főbb összetevői

Az egészség veszélyeztetettségének értékelése olyan koncepcionális szintézist igényel, amely lehetővé teszi a szennyező forrástól az expozíciós utakon át az embert érő vegyi terhelés számszerű kifejezését és a környezeti- és egészségkockázat valószínűségének megállapítását.

A kockázatbecslésre vonatkozó definíció négy összetevőt különböztet meg:

- i. a veszélyesség azonosítása (okoz-e károsodást az adott vegyi anyag)
- ii. az expozíció értékelése (különböző expozíciós szituációban az adott vegyi anyag milyen mértékben érinti vagy terheli az élőlényeket)
- iii. a dózis-válasz összefüggés, a toxikometriai értékelés (dózis és a károsodás súlyossága illetve előfordulási gyakorisága közötti összefüggés ismerete)
- iv. a kockázat jellemzése (adott populáción belül a káros hatás előfordulási valószínűségének, illetve a környezet és az egészség elviselhető szinthez viszonyított veszélyeztetettségének megállapítása).

A veszélyesség azonosítása

A vegyi anyagok veszélyességének meghatározására különböző eljárásokat dolgoztak ki, amelyeket két véglet közé lehet helyezni. Az egyik adott anyag egy-egy fizikai (pl. robbanás-veszély), kémiai (pl. maró hatás), biológiai (pl. heveny mérgezőképesség) tulajdonsága alapján osztályoz. A másik véglet szerint a fentiekén kívül meg kell határozni (méréssel vagy számításokkal) az anyag környezetben való viselkedését, lebomlását, átalakulását, a környezeti közegek közötti mozgását, vándorlását, kötődését, és a továbbiakban a környezeti közegekben várható koncentrációk és az élőlényekre gyakorolt káros hatást okozó koncentrációkkal való összehasonlítása alapján határozható meg a veszélyesség. Az első megközelítés túlzottan leegyszerűsítő; a veszélyesség nem azonosítható a vegyi anyag egy-két tulajdonságával. Az utóbbi eljárás bár tudományosnak és vonzónak tűnik, de használata körülményes. Az említett nehézségekből az a következtetés vonható le, hogy a veszélyesség értékeléséhez célszerű egyidejűleg figyelembe venni a vegyi anyagok inherens (fizikai-kémiai) tulajdonságait, a károsító hatás hordozóit és a veszélyesség megállapításához rendelkezésre álló információ teljességét.

Az anyagok fizikai-kémiai jellemzői nemcsak a közvetlen fizikai veszélyességüket (oxidáló hatás, gyúlékonyság) határozzák meg, hanem biológiai aktivitásukat is. Szoros összefüggés áll fenn például a gőznyomás és az inhalációs toxicitás, az oldékonyság, az oktanol/víz eloszlási arány, a disszociációs tulajdonság és a biológiai felvétel, a felszívódás között.

A fizikai-kémiai mutatók (móltömeg, oldékonyság) lényegesen befolyásolják a környezetben való elterjedés és az ökototoxicitás mértékét. A fizikai-kémiai tulajdonságok, a toxicitás és az ökototoxicitás együttesen determinálják az anyag belső tulajdonságaiból eredő veszélyt, függetlenül a külső környezeti feltételektől.

A vegyi anyagok veszélyességének meghatározásakor meg kell különböztetni a szerkezetéből eredő belső tulajdonságokat azoktól a külső tényezőktől, amelyek közvetve befolyásolják a károsodás bekövetkezését.

Ezek a külső tényezők a vegyi anyag életciklusának jellemzői: a gyártási/forgalmazási mennyiségük, felhasználási szokások, a környezetben való előfordulás, szétszóródás mértéke, az élő szervezetekkel való érintkezés lehetőségei, alapvetően megváltoztathatják veszélyességüket, azt megsokszorozhatják vagy teljesen eliminálhatják. Ilyen külső tényezőknek tekintjük a környezetben való elterjedtséget, a perzisztenciát, a táplálékláncban való felhalmozódást. A vegyi anyagok veszélyességét abszolút értékben meghatározni körülményes lenne, de ezt a veszélyesség fogalma sem igényli.

A környezeti expozíció

A vegyi anyagok okozta, az egészségromlásban és az ökoszisztéma károsodásában megnyilvánuló nemkívánatos hatások megelőzésében, ellenőrzésében, csökkentésében az expozíció, a kitettség azonosításának és számszerűsítésének kulcsfontosságú szerepe van.

Az expozíció a szervezet és valamely vegyi anyag kapcsolataként, kontaktusaként definiálható. Az élő szervezet akkor tekinthető exponálnak, ha a szennyező anyaggal való érintkezés során az anyag átjut a környezet/szervezet határon, és bizonyos dózisban eljut a célponthoz (sejthez, sejtalkotóhoz, receptorhoz). A definícióhoz az is hozzátartozik, hogy a szervezet adott (x, y, z koordinátákkal meghatározott) helyen tartózkodik t -vel jelölt időben. A szennyező anyag ugyanezekkel a paraméterekkel leírható helyen és időben c koncentrációban van jelen. Az expozíciós szituáció annak leírására szolgál, hogy az élőlények, az ökoszisztémák hogyan érintkeznek a szennyezett közeggel.

A humán expozíció létrejöhet a munkahelyen (munkahelyi expozíció), fogyasztói termékek használatán keresztül (fogyasztói expozíció), illetve a környezeti közegek közvetítésével. Egy adott anyaggal kapcsolatos expozícióbecslés első lépésében meg kell határozni a hatásviselők expozíciójának valószínűségét. Az expozíciós szinteket vagy koncentrációkat a humán expozícióra vonatkozó három potenciális expozíciós kapu (lenyelés, belélegzés, dermális felszívódás) esetében mért adatokra és/vagy modellszámításokra kell alapozni. Ennek eredményeképpen a különböző alcsoportokra és forgatókönyvekre (szcenáriókra) több különböző expozíciós értéket kaphatunk. Bizonyos esetekben mindhárom expozícióbecslés hozzájárulhat egy, a kockázatok jellemzésében felhasználandó átfogó expozíciós érték kialakításához.

Expozíció alatt általában olyan külső kitettséget értünk, amely megadható úgy is, mint az anyag lenyelt mennyisége, vagy a bőrrel érintkezésbe kerülő és felszívódó összes mennyiség (amelyet a mg/cm^2 vagy mg/cm^3 egységben kifejezett kitettség becslésekből lehet kiszámolni), vagy a belélegzett (inhalált) mennyiség, vagy a levegőben lévő koncentráció.

Azokban az esetekben azonban, ahol az expozíciónak több kapuja is van, az emberi szervezetre gyakorolt (szisztémás) hatásokra vonatkozó adatokkal történő összehasonlítás érdekében a teljes terhelés meghatározására is szükség lehet. Az expozíció lehet egyszeri esemény vagy ismétlődő események sorozata, de jelentkezhet folyamatosan, illetve intermittáló jelleggel.

Minden egyes meghatározott expozíciós szintnek reprezentatívnak kell lennie az adott expozíciós szituáció tekintetében. Vizsgálni kell a kitettség időtartamát és gyakoriságát, az expozíciós kapukat, a viselkedésszerű szokásokat, az anyaggal folytatott tevékenységet. Ezen túlmenően az expozíció térbeli kiterjedését is figyelembe kell venni.

A bizonytalanságok miatt az expozíciós szintek meghatározásakor lehetőleg mind a mérési adatokat, mind a modellszámítások eredményeit fel kell használni. A modellszámítások alkalmazásakor lehetőség szerint figyelembe kell venni a hasonló expozíciós eseteket vagy hasonló tulajdonságú anyagokkal kapcsolatos mérési adatokat is. Amennyiben megfelelően mért és reprezentatív adatok is rendelkezésre állnak, akkor ezeket kell előnyben részesíteni.

Az expozíciós értékek előrejelzésének az ésszerűen feltételezett legrosszabb szituációt kell leírnia. Ugyanarra a szennyező anyagra több expozíciós forgatókönyv is létezik: például a dolgozók, illetve a fogyasztók/lakosság is érintett lehet a környezeten keresztül (pl. a levegőn, vagy a táplálékláncban stb. keresztül). Az ésszerűen feltételezett legrosszabb szituáció esetében figyelemmel kell lenni a környezeti elemek szélsőséges használatára, illetve az ésszerűen feltételezhető nem rendeltetésszerű használatokra.

Az expozícióbecslések során azonban nem szabad túlzásokba esni amiatt, hogy mindenben maximális értékeket használunk. A balesetek vagy visszaélések miatt fellépő expozíciós helyzeteket külön vesszük figyelembe.

Az expozícióbecsléseknél általános szabály, hogy a legjobb és leginkább reális információkat kell előnyben részesíteni. Legtöbbször azonban az is hasznos lehet, ha először elvégzünk egy „legrosszabb eseti” feltételezésekre alapuló expozícióbecslést és az előválasztott (default) értékeket a modellszámítások alkalmazásakor használjuk fel. Ez különösen a lakossági kitettségek vizsgálatakor lehet nagyon hasznos. Ezt a fajta megközelítést akkor is alkalmazhatjuk, ha nem állnak rendelkezésre részletes, mért adatok. Amennyiben a legrosszabb expozíciós esetre alapozott kockázat jellemzés eredménye azt mutatja, hogy a kérdéses anyag „nem veszélyes, nem ad okot aggodalomra”, akkor az adott hatás vagy embercsoport tekintetében le lehet zárni a kockázatbecslést. Ha azonban az eredmények szerint az anyag „veszélyes, aggodalomra ad okot”, akkor a becslési folyamatot lehetőség szerint reálisabb expozíciós előrejelzések segítségével tovább kell finomítani.

Ha az derül ki, hogy a kérdéses anyag „nem ad okot aggodalomra”, és ez az eredmény arra a feltételezésre épül, hogy humán expozíció egyáltalán nem jelentkezik, akkor ezt egy adott populáció tekintetében igen nagy körültekintéssel kell megindokolni. Egyszerű lehet a magyarázat fogyasztói expozíciók esetében (ahol például egyértelmű, hogy a kérdéses anyagot fogyasztói termékekben vagy termékként nem használják), de sokkal nehezebb lehet olyan expozíció esetében, ahol a kérdéses anyagot nagy mennyiségben gyártják, széles körben használják, és ha a vegyi anyag ubiquiter jellegű szennyező.

Az expozíció meghatározása 3 módon történhet:

1. **humán biológiai monitorozással (HBM)**, azaz a biológiai mintákból, szövetekből, testnedvekből történő kémiai-analitikai meghatározás révén, amelyet célszerű a biológiai károsodás kimutatásával együtt végezni;
2. a levegő, víz, talaj és az élelmiszerek **környezeti monitorozásán** alapuló szennyezettségi szintek mérésével;
3. a vegyi anyagnak a szennyező forrástól a célszervezetig megtett útjának **modellezésével**.

Az expozíció közvetlen mérése

A populáció vegyi anyag terhelését statisztikailag egyetlen ponttal (átlag, medián) jellemezni nem lehet, ahhoz ismerni kell a szennyező anyag tér és időbeli eloszlási gyakoriságát. Megoszlási görbe alapján határozható meg, hogy a lakosság, a populációt alkotó élőlények, az ökoszisztéma fajainak hányad része milyen koncentrációnak van kitéve. Az expozíció közvetlen meghatározása egy populáció valamennyi egyedének vizsgálatával a gyakorlatban lehetetlenség.

Azonban, ha az egyedek expozícióját mérni tudjuk, megfelelő valószínűséget biztosító mintavételezéssel az egész populációt jól jellemző koncentráció eloszlási gyakoriságot kaphatunk. A biológiai monitorozással (pl. vérólomszint) közvetlenül mérhető expozíció módszertani kérdéseinek fontosságára, a biológiai- valamint hatásmarkerek használatára és jelentőségére itt csak utalunk.

Az expozíció közvetett meghatározása

Az expozíció közvetett meghatározási módszerét gyakran kell igénybe venni. Ha az egyedek változtatják helyüket és ismerjük, milyen mikrokörnyezetben tartózkodnak, akkor az expozíció eloszlási görbét a mikrokörnyezetben előforduló koncentráció és az ott eltöltött idő alapján számíthatjuk ki:

$$E_i = \sum_{j=1}^n c_{ij} t_{ij}$$

ahol: c_{ij} j mikrokörnyezetben előforduló koncentráció,
 t_{ij} i egyed j mikrokörnyezetben eltöltött ideje.

A környezeti monitorozásból származó adatok felhasználása az expozíció értékeléséhez az első pillanatban lehetségesnek és kézenfekvőnek látszik. Azonban a levegő, az ivóvíz, a talaj, az élelmiszerek szennyeztségére vonatkozó adatokból nem lehet az aktuális, tényleges expozícióra közvetlenül következtetni. Ugyanis a fix mérőpontokon mért adatok és az embert ténylegesen érő szennyezettségi szituációk között nagy különbségek lehetnek.

Amennyiben az egyes környezeti közegekben mért adatokkal dolgozunk, ismerni kell, hogy mire vonatkozik, mit reprezentál a szennyező anyag koncentrációja. Állandó szennyező forrás esetén a vegyi anyag koncentrációja a környezeti közegben egyensúlyi állapot következtében állandó lehet.

Leggyakrabban azonban a szennyező anyag koncentrációja változik a szennyező emissziós forrástól függően és befolyásolja az anyag lebomlási sebessége, a hőmérséklet, nedvesség, légcseré stb. Az átlagolt környezeti koncentráció hasznos lehet az adatok tömörítése miatt is, de a vonatkoztatási idő (óra, nap, év) alapján meghatározhatja a biológiai hatás értékelésének kritériumait.

Az expozíció-bebecslés során a szituáció leírása (az ún. expozíciós forgatókönyv) az adatok és helyzetek kezelhetőségét segíti elő. Az expozíciós szituációk elemzésével érthetőbbé és érzékelhetőbbé válnak a jövőben bekövetkező környezeti változások és a döntési változatoktól függő következmények.

Az expozíciós forgatókönyv készítés tehát gondolkodásmódunkba építi az elképzelhető expozíciós helyzeteket, azok bizonytalanságait, és tartalmazza a számításokhoz szükséges adatokat. A becsült expozíció ugyanis nemcsak a környezet szennyezettségi szintjének függvénye, hanem azt az expozíciós szituációkban használt, dozimetriai jellegű humánfiziológiai értékek (testtömeg, belélegzett levegő, ivóvíz-, élelmiszerfogyasztás) is nagymértékben befolyásolják.

A szervezetbe jutott mennyiséget testtömeg és időegységre vonatkoztatva az átlagos napi bevitel érték formájában, mg/testtömeg kg/nap egységben fejezzük ki.

Az expozíciós paraméterek megválasztásával járó bizonytalanság elemzése érdekében ajánlatos a számításokat az adott környezetre a monitorozás, a környezet-analitikai vizsgálati eredmények révén jellemzőnek tartott paramétereken kívül, az ésszerűen legkedvezőtlenebb paraméterekkel is elvégezni (pl. maximális szennyezettségi értékek, erőteljes fizikai munkával járó fokozott légzés, a szennyezett környezeti elemekből való fokozott fogyasztás).

Ez a bizonytalansági elemzés nem tartalmazza a vegyi anyagok koncentrációinak mérési hibáit és adottnak veszi a szennyező anyagoknak a környezeti közegek közötti (pl. a talaj és a respirábilis részecskék közötti, a belső és külső légterek közötti szennyezettség stb.) megoszlási arányát is. Ugyanakkor szemléletesen jelzi azt, hogy az egyes expozíciós utak és a dozimetriai humánbiológiai értékek milyen arányban járulnak hozzá a szervezetet ért vegyi anyagterheléshez.

Expozícióbecslési modellek

A környezeti szennyezettség tér- és időbeli változásainak, a szennyezés terjedésének mérése többnyire körülményes, hosszadalmas, munka és költségigényes. Ilyenkor hasznos, sokszor az egyedüli rendelkezésre álló eszköz a modell. Az expozíciós modelleknek az a közös tulajdonságuk, hogy leírják a vegyi anyagok mozgását, sorsát a különböző környezeti közegek között. Környezetszennyező anyagok egészségkockázatának bebecslésére szolgáló modellek, illetve szoftverek használata könnyen kezelhetőségük miatt elterjedtté váltak az 1990-es években.

Két dolgot azonban mindenképpen figyelembe kell vennünk használatukhoz: az elméleti háttér pontos ismerete nélkül az előrejelzés eredményei gyakran nem értelmezhetők helyesen, a helyspecifikus paraméterek kellő ismerete és megfelelő alkalmazása nélkül a legjobb modell is hibás eredményt adhat.

Tökéletes expozícióbecslő program nem létezik. Ennek egyik oka lehet, hogy a környezet pontos leírásához igen bonyolult modellekre lenne szükség, egy ilyen modell akkor azonban nagyban akadályozná a program átláthatóságát és gyakorlati alkalmazhatóságát. Ezért szükség-szerű az egyszerűsítő modellek használata. A környezetbe kijutott szennyező anyag megoszlik az egyes környezeti elemek (pl. levegő, talaj, víz) között. Ezek a környezeti közegek gyakran inhomogének, s ha mi homogéneknek feltételezzük, máris elkövettük az első egyszerűsítést.

Az expozíciós modellek két fontos modulból állnak:

- (1) A környezetbe került szennyezőanyag eloszlását/megoszlását leíró rész, amelyben a szennyező anyag környezetbe került mennyisége alapján a modell megbecsüli a különféle környezeti közegekben (levegő, víz, talaj, bióta stb.) megoszlással létrejövő szennyező anyag koncentrációt.
- (2) Az expozíciós utak számbavételével az expozíciós forgatókönyv szerint a teljes átlagos napi dózis (bevitel) kiszámítása.

A környezeti modellek a vegyi anyagok fugacitása (mozgékony-sága) alapján leírják az egyensúlyi és a nem-egyensúlyi állapotot, figyelembe véve az anyagok átáramlási feltételeit, illetve az átfolyás nélküli rendszer körülményeit. Közös jellemzőjük, hogy a megadott feltételekre, illetve az időben változó körülményekre vonatkozóan jellemzik a vegyi anyagok sorsát mindenekelőtt fizikai-kémiai tulajdonságaik és a környezeti közegek jellemzői alapján. Az általános célú, nagy léptékű modellek általános környezeti (éghajlat, hidrogeológiai, talajtani) paraméterek alkalmazása révén a környezetbe került vegyi anyag összmen-nyiségéből kiindulva lehetőséget adnak az egyes környezeti elemekben várható koncentráció becslésére. A számításokkal, ha hozzávetőlegesen is, a vegyi anyagoknak környezeti közegek közötti megoszlása határozható meg.

A prognosztizált környezeti koncentráció (PEC) érték jelzi a levegőbe, vízbe, talajba, üledékbe, a környezet élő részébe (bióta) került szennyező anyagok mértékét és jelentőségét a potenciális expozíció szempontjából.

Egyetlen, mindent átfogó, tökéletes expozíciós modellt nem találunk, azt a céltól függően kell kiválasztani. Az expozíciós modellek olyan útmutatást adnak, amelyek révén érthetőbbé és érzékelhetőbbé válnak a jövőben bekövetkező környezeti események és a döntési változatoktól és a bizonytalanságoktól függő következmények. A modellezés elválaszthatatlan része a felhasználó szakértelme. Ugyanis, ha a modelltől csak választ várunk, akkor a felhasználó minden beavatkozásról lemond és kizárólag a modellkészítő gondolatát használná gépiesen.

Az expozíciós modellek használatában nem az a kérdés, hogy mennyire pontosak, talán nem is az, hogy felvázolja a jövőbeli trendeket, hanem az a legfontosabb, hogy bővíti ismereteinket és érthetővé teszi számunkra valamely komplex feltételezés dinamikus-an változó következményeit.

A környezet-szennyezettségi viszonyokat értékelhetjük egyrészt úgy, hogy a szennyezők mért koncentrációit összehasonlítjuk a meglévő környezetminőségi (levegő, víz, talaj, élelmiszer) határértékekkel, másrészt kockázatbecslési modellek használatával, amikor is a kiválasztott hatásviselőre nézve az expozíciót és a károsító hatást vetjük össze helyspecifikus expozíciós forgatókönyv szerint.

Mindkét eljárásnak meg van a maga szerepe a szennyezettség kockázatbecslésén alapuló környezeti és egészségügyi megítélésében. A környezetminőségi határértékek, irányértékek használata az előzetes kockázatbecslésben nélkülözhetetlen és fontos, hogy a szennyezettség összevethető legyen a jogszabályokban meghatározott értékekkel. Az eredetüktől függően az irányértékeknek fontos szerepük lehet a helyspecifikus kockázatbecslésben is.

Mindazonáltal a szennyezettségi irányértékek általában a legrosszabb eseteken vagy az ésszerűen feltételezhető legrosszabb körülményeken alapulnak, és ebből következően általában konzervatív értékeknek tekinthetők. A helyspecifikus modellek szerepe, különösen a részletes vizsgálatoknál az, hogy egy további eszközt jelentsenek a szennyezettségre vonatkozó ismereteinkben mutatkozó hiányosságok minimalizálásában. A modellek (ha megfelelően alkalmazták) javíthatják a kockázatbecslés tudományos megbízhatóságát, átláthatóságát és hasznos adatokat szolgáltathatnak a költséghatékonysággal kapcsolatban. A döntéshozóknak tudatában kell lenniük annak, hogy a szennyező források kockázatbecslése egy multidiszciplináris szakterület és nagy szerep jut benne a műszaki és a természettudományoknak; és mindezek mellett még a kockázat-kommunikációs szakemberek részvételét is igényli.

Általánosságban elmondható, hogy a modellek egy idealizált és egyszerűsített leképezései egy komplex rendszernek. A vegyi szennyezettség kockázatbecslésével kapcsolatban a modellek lehetővé teszik, hogy kvantitatív vagy szemikvantitatív összefüggéseket állíthassunk fel a szennyezőanyag kibocsátást, a transzportot, az átalakulást és az expozíciót illetően.

A modelleknek szilárd tudományos alapokon kell állniuk, de kellően rugalmasnak kell lenniük ahhoz, hogy megfelelően tudják kezelni a különféle helyek és régiók közötti különbségeket.

A szennyező források kockázatbecslésére alkalmas modellek felépítésének lényeges szempontjai a következők:

- a szennyezések leírására, a folyamatok elemzésére használt matematikai összefüggések megfelelősége,
- a modell átláthatósága, az operációs egységek egymáshoz kapcsolódása,
- a helyspecifikus tényezők alkalmazása, az érzékeny hatásviselők figyelembe vétele,
- bővíthetőség, kiterjeszthetőség, a legújabb tudományos eredmények beépíthetősége,
- a számítógépes modellek felhasználóbarát használata,
- a bizonytalanságok kezelésének lehetősége,
- az eredmények világos közlése, numerikus és grafikus megjelenítése.

A modell segíti a felhasználót annak tanulmányozásában, hogy a vegyi anyag fizikai-kémiai paraméterei hogyan befolyásolják az ember által felvett szennyezőanyag mennyiségét. A modell úgy kezeli a környezetet, mint egy sor egymással kölcsönhatásban lévő kompartment összességét.

A modell lehetővé teszi a felhasználó számára, hogy meghatározza egy anyagról:

- (a) az eredeti kompartmentben marad-e, illetve felhalmozódik-e ott;
- (b) fizikailag, kémiailag vagy biológiailag átalakul-e az eredeti kompartmentjében (hidrolízis, oxidáció stb.);
- (c) átjut-e transzport folyamat során egy másik kompartmentbe (kipárolgás, kicsapódás stb.);

Multimédia, sok-utasexpozíciós modellel megbecsülhető a humán átlagos napi bevitel mennyisége.

A dózis-válasz összefüggés elemzése, a kísérletes toxikológiai adatok kivetítése az emberi egészség szempontjából elviselhető dózisokra

A kockázatjellemzés talán legsajátosabb szakasza a dózis-válasz összefüggés elemzés, amely azzal foglalkozik, hogy az expozíció során a szervezetet ért vegyi anyag mennyisége milyen mértékű károsodást, betegséget okoz az élő szervezetben.

A kockázatbecslésnek ebben a szakaszában össze kell hasonlítani mindenekelőtt a kísérleti állatokon toxikusnak bizonyult dózisokat, illetve a rendelkezésre álló emberi mérgezési adatokat az expozíció során a hatásviselőt ért anyagmennyiséggel.

Az állatkísérletes adatok képzése, gyűjtése, felhasználása azon a széles körben elfogadott – korrekt – feltételezésen alapszik, hogy a kísérletes toxikológiai eredményekből releváns következtetést lehet az emberre nézve levonni. Így például az emberen daganatképző vegyi anyagokról – igen kevés kivétellel – állatkísérletben is kimutatták, hogy valamennyi vagy több fajon karcinogén. A heveny mérgezés tekintetében is nagyfokú hasonlatosság áll fenn. Ez látható az emlősök közötti anatómiai, élettani és biokémiai paraméterek hasonlatosságában is. Az extrapoláció általános elvét azonban a sok kivétel miatt rendkívül körültekintően kell alkalmazni, ezért a fajok közötti különbség értékelésére nagy hangsúlyt kell fordítani.

A különböző típusú toxikológiai vizsgálatok az alkalmazott módszereket illetően ugyan eltérnek, de arra irányulnak, hogy

- azonosítani lehessen mely szervek, szervrendszerek károsodnak adott anyagtól;
- ki lehessen mutatni a szervezet felépítésében, sejtjeiben, sejtalkotóiban bekövetkező szerkezeti, morfológiai, illetve molekuláris szintű elváltozásokat és funkcionális zavarokat,
- meg lehessen állapítani az expozíciós kapuk sajátosságait és a dózisokat, amelyek eltérést, funkciózavart, károsodást, betegséget, pusztulást okoznak;
- a károsodás természetét és a károsodáshoz vezető biológiai folyamatot (hatásmechanizmust) megismerjük;
- és végső soron azt a célt szolgálják, hogy adott vegyi anyag káros hatást nem okozó, (NOAEL- no observable-adverse-effect-level), illetve minimálisan okozó (LOAEL- lowest-observable-adverse-effect-level) szintje megállapítható legyen.

A dózis-válasz összefüggés értékeléssel kapcsolatos feladatról elmondható, hogy a veszélyesség azonosítása fázisban megjelölt vegyi anyag(ok) toxikológiai tulajdonságait, egészségkárosító hatásának dózis-függő mértékét kell megállapítani.

Az információkat szakkönyvekből, adatbázisokból kell kigyűjteni. Ez a feladat viszonylag egyszerűen megoldható, ha validált forrásból származó „elfogadható napi bevitel” értékkel rendelkezünk. Ha az információs forrásokban nem található nemzetközi szervezetek által levezetett/elfogadott/jóváhagyott ADI, RfD vagy TDI érték, benchmark dózis, akkor a kockázatbecslési tanulmány dózis-válasz fejezetében meg kell adni az elemi szakirodalmi forrásokból a toxikus/károsító hatás jellegét, a genotoxikus hatást vagy az érintett célszerveket/szervrendszereket.

Ismertetni kell a kísérletes adatok forrását (tesztobjektum, kísérleti állatfajok, a vizsgálat/expozíció időtartama, alkalmazott dózisok, koncentrációk) és az adott vizsgálatokban meghatározott toxikometriai értékeket.

A toxikológiai értékelésnek tartalmaznia kell az adott expozíciós dózis-szint lehetséges humántoxikológiai vonatkozásait és az alkalmazott biztonsági tényező értékét.

A kockázat jellemzése

A kockázatbecslés 4 lépésében először kiszámítjuk az egyéni kockázatot az expozíciós értékek alapján, utána vetíthető ki a kockázat az adott populációra. Végül megadjuk a kockázat értékelés bizonytalanságát a szennyező anyagok, az expozíciós utak, az érintett populáció vonatkozásában. A kockázat kissé egyszerűsítve a gyakoriság és a következmény összeszorzásával számítható ki.

KOCKÁZAT	=	GYAKORISÁG	x	SÚLYOSSÁG
[következmény/időegység]		[esemény/időegység]		x [következmény/esemény]

A vegyi anyagokkal való érintkezés során bekövetkező károsodás lehet küszöbdózissal jellemezhető és lehet genotoxikus hatás. Az előbbi determinisztikus jellegéből ered, hogy a nem-genotoxikus hatás jellemzésére kockázati hányadost használunk, amely a becsült expozíció mértékének és a toxicitás szempontjából megengedhető (viszonyítási) dózishoz aránya.

Az általános toxikus hatásokból eredő, – arányszám formájában kifejezett – kockázat megítélése nem korlátozódhat a tolerábilis szinthez való viszonyításra. A károsító hatás jellegét, mértékét és reverzibilitását is elemezni kell. A szisztémás toxikus hatás – szemben a genotoxikus hatással – ugyanis legtöbbször nem fenyegeti közvetlenül az életet, hanem az egyén életteni teljesítményét rontja.

Abban az esetben, ha a szennyező anyagok között az Egészségügyi Világszervezet (IARC), illetve az ECHA (CLP) besorolása szerint az anyag karcinogén, akkor a daganatképződés kockázatát külön értékeljük.

A kockázatbecslést hallatlanul sokféle célra és feladatra használják. Egy bizonyos szinten a kockázatbecslést mindnyájan naponta elvégezzük, jóllehet rendszertelenül, annak érdekében, hogy biztonságosan mozogjunk az életben.

Másik szélső esetként, a kockázatbecslés egy alaposan megszervezett, komplex tevékenység, amely fontos társadalmi döntésekhez szolgáltat alapvető adatokat. Ez jól illusztrálja a kockázatbecslés egyik fontos vonását: a változatosságát. Igen különböző megközelítések/módszerek léteznek.

Egy adott megközelítés/módszer választását a következő körülmények határozzák meg:

- a kockázatbecslés célja,
- a várható kockázat nagysága, az érintett hatásviselők köre,
- az adatok hozzáférhetősége és pontossága,
- az adott megközelítéshez/módszerhez szükséges szakértelem,

- azok a források, amelyek megfelelnek a célnak és azok, amelyek igénybe vehetők,
- a folyamat időkorlátai,
- a társadalmi – szakpolitikai összefüggések, amelyek figyelembevételével a becslés készül.

Ezen tényezők mélyebb megértése segíti az érdekelt feleket, hogy tisztában legyenek a kockázatbecslés korlátaival és abban, hogy a legmegfelelőbb kockázatbecslési módszert válasszák.

A jó menedzsment axiómája (alapigazsága), hogy a siker csak akkor valószínű, ha a célokat világosan meghatároztuk. Ez a kockázatbecslésre is vonatkozik. A kockázatbecslés sokféle célt szolgálhat. Bármely kockázatbecslésnél fontos a célok világos meghatározása, hogy a megfelelő kockázatbecslési eszközt kiválaszthassuk. Csak így érhetők el a prevencióval, a felkészültséggel vagy reagálással a helyreállítással kapcsolatos célok.

A kockázatbecslést befolyásolja a bizonytalanságok kezelése. Kevésbé szigorú, általánosabb megközelítés használata vagy az összehasonlító becslések során – mikor alternatívák között választunk – a bizonytalanságok kevésbé fontosak. Annak érdekében, hogy a kockázatbecslés a lehető leghatékonyabb legyen, a kockázatbecslőnek meg kell értenie, hogy az értékelést milyen összefüggések figyelembevételével kell végezni és azt milyen intézkedések megalapozására kívánják használni.

A kockázatbecslés értékét befolyásolják: az információk teljessége (az összes fontos kockázati komponenst figyelembe vették-e) az információk megbízhatósága (a bizonytalanságra vonatkozó ismeretek, az elemzés minősége), a kockázatbecslés gyakorlatias jellege (a célkitűzésnek megfelelt-e, lehet-e az eredményeket a valós életben hasznosítani), a becslés képes-e elősegíteni a megértést úgy, hogy az a különböző érdekeltsgű felek számára egyaránt használható legyen.

Annak érdekében, hogy a kockázatbecslést megfelelő módon használják a döntéshozási folyamatokban, a döntéshozóknak precíz tájékoztatást kell adni a kockázatbecslésben rejlő feltételezésekről, korlátokról és bizonytalanságokról és ezeknek a döntéshozási folyamatra gyakorolt hatásáról is.

A kockázatbecslési folyamat átláthatósága igen fontos. A kockázatbecslésen alapuló döntések során különös gondot kell fordítani az egészséget és a környezetet potenciálisan károsító hatásokra, a vagyoni és gazdasági érdekekre.

Az érdekelt feleknek tudatában kell lenniük a kockázatbecslési folyamat, valamint a használt megközelítési módok és módszerek erősségeivel és korlátaival. Ahol csak lehetséges, be kell vonni őket a kockázatbecslési folyamatba, mert ez bizalomépítő és elősegíti a nyílt és konstruktív párbeszédet.

A kockázatbecslés magában nem végpont, hanem a kockázatkezelés egyik eszköze és hozzájárul a kockázat elfogadhatósági kritériumainak kialakításához.

A kockázat elfogadhatóságával kapcsolatban, hogy mekkora az a kockázat, ami még elviselhető, minden érdekelt félnek ki kell alakítani álláspontját és konszenzusra kell jutni. A kockázatbecslés a döntéshozásnak nem az egyetlen, kizárólagos forrása. Ezek a kérdések már a kockázatkezelés társadalmi-gazdasági-politikai megítélése alá tartoznak.

A helyes kockázatbecslési gyakorlatról

A kockázatbecslés egyrészt széles kört felölelő holisztikus tudományként jellemezhető, másrészt viszont a helyi, helyspecifikus problémák kezeléséhez biztosít tudományos alapot. A vegyi kockázat modellezésének alapgondolata az, hogy a vegyi anyagok biológiai és környezeti hatását, annak folyamatát minél világosabban és érthetőbben lehessen bemutatni.

A hatóságok és a gazdaság szereplői hamar fel is ismerték a kockázatbecsléshez használható modellek hasznosságát a szabályozással, a veszélyesség meghatározásával vagy a monitorozással kapcsolatos döntések előkészítésében.

A kutatók a modellek kifejlesztése során a környezeti folyamatok jobb megértésére törekedve minél precízebb szimulációs eszközöket igyekeznek készíteni. A kutatók, a professzionális felhasználók tisztában vannak a modellek korlátaival és a kapott eredmények bizonytalanságaival. A döntéshozók viszont gyakran ugyanazt a modellt használják kockázatkezelési eszközként a környezeti folyamatok és a vegyi anyagok okozta káros hatások mély ismerete nélkül és nem biztos, hogy eléggé figyelembe veszik a modellezés korlátait.

A kockázatbecslést illetően a kutatók és a döntéshozók szemléletében fennálló különbségek, az igények és a lehetőségek közötti eltérések, továbbá a modellek sokfélesége és széleskörű használatuk elengedhetetlenné teszik a modellek és a modellezés minőségi követelményeinek megfogalmazását.

Áttekintve a leggyakrabban felmerülő kérdéseket, látszik, hogy a kockázatbecslést elrendelő hatóságok figyelme arra irányul, hogy

- milyen a probléma természete és kiterjedése;
- a kockázat kezelést megalapozó döntésben mennyire segít a részletes, kvantitatív kockázatbecslés;
- melyek és mekkorák a veszélyeztetett populációk;
- melyek a környezeti/ökológiai értékek;
- risk/benefit (kockázat/hasznos) aránya;
- milyen mértékű bizonytalanság fogadható el.

A kockázatbecslést végző szakemberek részéről leggyakrabban elhangzó kérdés a következőkre irányul:

- kockázatbecslés léptéke (helyi, regionális),
- a döntés előkészítés természete (egészségkárosodás megelőzése, környezetvédelmi politika, nemzeti vagy helyi fejlesztési tervek, rehabilitációs program),
- az érintett populációk érzékenysége,
- a károsodások reverzibilitása,
- az adatok hozzáférhetősége,
- az elemzés korlátai (feltételezések).

A fenti kérdések egyértelmű megválaszolása nélkülözhetetlen a kockázatbecslés megtervezéséhez, melynek során egyértelműen meg kell határozni:

- a kockázatbecslés elvégzésének indokait (mi teszi szükségessé elvégzését);
- a szennyezettség tér- és időbeli kiterjedését;
- az érintett foglalkozási/lakossági csoportokat;
- milyen környezeti/ökológiai értékek kezelése a cél;
- a kockázatbecslés mélységét, részletességét, több lépcsős eljárás alkalmazhatóságát;
- az eredményesség kritériumait;
- a szennyezettségi szintek, a célszervezetek és az értékelés végpontjai közötti összefüggéseket;
- a rendelkezésre álló adat- és információk igényeket.

A vizsgáló helyek, laboratóriumok minőségbiztosítása mindenekelőtt a szervezeti és működési feltételekkel foglalkozik, hogyan tervezik, végzik, értékelik a vizsgálatokat, elemzéseket és hogyan történik a nyilvántartás, a jelentések készítése. Hasonló alapokon áll a Helyes Modellezési Gyakorlat is, amelynek első lépése természetesen a modell kiválasztása.

A megfelelő modell kiválasztása során a legfontosabb tennivaló annak megállapítása, hogy a kockázatbecslési feladatban megfogalmazott kérdések megválaszolására az adott modell alkalmas-e és ha igen, milyen pontossággal. Meg kell győződni arról, hogy a kiválasztott modell az adott feladat szempontjából valamennyi lényeges és releváns hatásviselőket, expozíciós útvonalakat, kapukat, környezeti folyamatokat tartalmazza-e.

Az alkalmasnak tartott modell esetén a továbbiakban elemezni kell, hogyan illeszthetők be a modellbe az adott vegyi anyagra, a környezet szennyezésére vonatkozó adatok. Megfontolandó a tájékoztató jellegű, előzetes expozíció és kockázatbecslés során a „szabványosított, alapértelmezett” környezeti paraméterek használata, amely elősegíti az eredmények összehasonlíthatóságát.

A megfelelő modell kiválasztását és valamennyi szükséges adat összegyűjtését követően is könnyen félremagyarázható a modellel nyert eredmény, ha az előrejelzés folyamatát nem értjük és a modellbe épített valamennyi összefüggést részleteiben nem ismerjük.

A minőségi követelmények teljesítése érdekében a kockázatbecslést végzőnek különösen kell figyelnie arra, hogy

- a modell megfelelő tudományos háttérrel biztosít-e adott expozíciós szituáció megítélésére;
- rendelkezésre állnak-e azok az adatok, amelyek a lakosság és a környezeti elemek (beleértve a felszín alatti vízádot) adekvát védelméhez nélkülözhetetlenek;
- a kockázatbecslő figyelembe vette-e az adatok variabilitását és bizonytalanságát;
- kezelhető-e az egyidejűleg különböző úton a szervezetet érő vegyi anyag terhelés;
- a modell alapértelmezett paramétereinek megváltoztatása indokolt-e és megfelelő mértékben dokumentált-e.

Az adatigények megfogalmazása. A veszélyesség azonosítása során megnevezett vegyi anyagok tulajdonságait, kedvezőtlen környezeti és toxikus hatásait illetően, illetve az expozíciós szintekre vonatkozó adatok hiányossága általánosnak mondható. A kockázatbecsléshez meg kell határozni a szükséges adatok körét, a mennyiségi és minőségi elvárásokat.

- Általános követelmény, hogy az előzetes, tájékoztató jellegű kockázatbecslés nem igényelhet több adatot, mint amit a vegyi anyag ún. műszaki dossziéja tartalmaz.
- A kibocsátási, szennyezettségi vagy a vegyi anyag felhasználás körülményeit, mértékét mutató adatok minőségét és elfogadhatóságát még a kockázatbecslés előtt értékelni kell.
- A modellek általában alapértelmezésként tartalmazzák az általános expozíciós forgatókönyveknek megfelelő adatokat, beleértve a környezeti jellemzőket is. Ezeket – igény esetén – helyspecifikus mutatókkal könnyen helyettesíthetőkké kell tenni.

A kockázatbecslés során használt adatok szóródása (variabilitása) az adatok valódi heterogenitásából fakad. Például a toxicitási értékek, a dózis-válasz összefüggés jellemzői szóródnak egy populáción belül vagy a környezeti minták térben és időben változó szennyezettségi koncentrációi jelentősen különbözhetnek.

Az expozíciónak, az expozíciós szituációknak variabilitása, azok főbb tendenciái jellemezhetik az egyéni kockázat populáción belüli megoszlását.

A kockázatbecslés bizonytalansága ismereteink hiányosságát tükrözi és kiegészítő vizsgálatokkal csökkenthető. A bizonytalanságnak több forrása is van. Például a szennyező anyag káros biológiai hatásának mechanizmusát nem mindig ismerjük kellőképpen. Közismert a mérésekből eredő bizonytalanság, és ennek mértéke hagyományos statisztikai módszerekkel kifejezhető. A mintavételezésből eredő bizonytalansággal szintén számolni kell. A modellek a szennyező anyagok környezetben való viselkedését, átalakulását, transzportját leíró összefüggései önmagukban is hordoznak bizonytalanságot. Az adathiány áthidalását szolgáló feltételezések és közelítések ugyancsak hozzájárulnak a kockázatbecslés bizonytalanságához.

A bizonytalanságok különböző forrásainak ismertetése nélkül a kockázatbecslés eredményeit felhasználó, a döntés előkészítésével foglalkozó szakember nem feltétlenül tudja, mennyire konzervatív a kockázatbecslés.

Ezért célszerű a kockázatbecslés valamennyi szakaszában a formális bizonytalansági elemzést elvégezni, hogy rá lehessen mutatni azokra a pontokra, ahol javítani lehet a kockázatbecslés megbízhatóságán és támpontot lehessen adni a kockázat alul- vagy eltúlzó értékelésének elkerüléséhez.

A kockázatkezelés felelős döntéshozói is igénylik a bizonytalansági elemzést, hogy a kockázat ne egyetlen számértékkel legyen kifejezve, hanem leíró módon, a feltételezések indoklásával és a megbízhatóság közérthető magyarázatával is.

A kockázatbecslési szoftverekkel szemben támasztott minőségi elvárások között alapkövetelmény, hogy a tudományos-műszaki háttér szakmailag precízen legyen bemutatva. Az expozíciós és kockázatbecslési szoftverek minőségi szabályai között első helyen áll a modell javasolt alkalmazási területének meghatározása, illetve használata, korlátainak ismertetése. A szimulációs modellben használt matematikai összefüggéseket, egyenleteket a változókat, a paraméterek tartományait, a korrelációk fokát meg kell adni.

Az input paraméterek tartományát a lehető legkevésbé szabad korlátozni. Az eredmények megjelenítésében egyaránt helyt kell adni a táblázatos, szöveges, grafikus formáknak.

A kockázatbecslési szoftver futtatása közben a felhasználónak mindig tudnia kell, hogy a számítások során hol tart, a modell moduljai hogyan kapcsolódnak egymáshoz. A kockázatbecslési szoftverek használata természetesen bizonyos tudományos képzettséget feltételez. Azonban a legjobb szakemberek sem ismerhetik a több száz modell-paraméter jellemző tartományát. Ezért a minőségbiztosítás szempontjából lényeges, hogy a program figyelmeztető üzenetet adjon értelmetlen vagy a regressziós tartományon kívül eső adatok esetén, a paraméterek közötti kölcsönös függőség figyelembe legyen véve, a nyers és a számított adatok exportja és importja biztosított legyen.

Minthogy a modellek egyre bonyolultabbá válnak és a gyakorlati felhasználók alapképzettsége igen különböző, félő, hogy a vegyi anyagok hatásmechanizmusára vagy a környezetben való viselkedésére vonatkozó ismereteket, feltételezéseket nem kellőképpen veszik figyelembe vagy helytelenül értelmezik. Így a modellben eszközölt kis változtatások jelentősen befolyásolják az előrejelzett kockázatot.

A modellezésben való jártasság és az ismeretek szintje döntő módon határozza meg a becsült kockázati érték minőségét. Úgyis mondhatjuk, hogy a Helyes Modellezési Gyakorlat nélkül a kockázatbecslési modellek használata kockázatos lehet.

KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIA

DEMOGRÁFIAI ELEMZŐ MÓDSZEREK: VISZONYSZÁMOK, INDEXEK (DIREKT ÉS INDIREKT STANDARDIZÁLÁS), A HALANDÓSÁG VIZSGÁLATA

Dr. Páldy Anna

Demográfiai megfigyelés, adatforrások

A fejlett társadalmak már évszázadok óta *szervezetten* gondoskodnak a népesség demográfiai jellemzőinek és folyamatainak rendszeres megfigyeléséről, illetve folyamatos nyomon követéséről. A megfigyelési módozatok és az adatforrások a demográfia felosztásának megfelelően szintén két nagy csoportba sorolhatók, nevezetesen *a strukturális demográfia adatforrásaira, és a népmozgalmi jelenségekkel kapcsolatos adatgyűjtésekre.*

A strukturális demográfia adatforrásai

A fejlett országokban periodikusan megismételt – általában 10 évenkénti – népszámlálások (cenzusok) biztosítanak igen részletes adatokat a népesség egészéről. Mivel ezek az adatfelvételek minden egyes személyre kiterjednek, ezért a népszámlálásokat *teljeskörű adatfelvételnek* nevezzük.

Az összeírások tartalmazzák:

- a legfontosabb személyi jellemzőket (születési, iskolai végzettség és foglalkozási adatok);
- a háztartás, a család jellemzőit; illetve
- a lakás, a lakóépület adatait.

Két népszámlálás között nemcsak a népesség száma, hanem összetétele is változik. Ezekben az években úgynevezett *továbbszámítást* alkalmaznak extrapolációs, illetve interpolációs módszerekkel. A továbbszámításokhoz szolgáltatnak adatokat az úgynevezett *mikrocenzusok* is, amelyek a lakosság 1-5%-os reprezentatív mintáján végzett, kis népszámlálások. A minta reprezentatív jellege biztosítja, hogy az azokból szerzett ismeretek az egész lakosságra kiterjeszthetők legyenek.

A *reprezentatív minta* lényegi tulajdonsága, hogy a minta helyesen tükrözi az alapsokaság tulajdonságait. Ezért a reprezentatív mintavételi eljárások célja, hogy az alapsokaság minden eleme egyenlő eséllyel kerülhessen be a mintasokaságba.

Népmozgalmi adatforrások

A népmozgalmi adatokat a folyamatos, kötelező adatszolgáltatások biztosítják.

A *természetes népmozgalom* megfigyelésének szervezett alapja a *polgári anyakönyvezés*.

Epidemiológiai szempontból különös jelentősége van a halálokok pontosságának. A halálteki besorolás és osztályozás egységes alapját az Egészségügyi Világszervezet nemzetközi szakértői bizottsága által kidolgozott és periodikusan felülvizsgált besorolási és osztályozási rendszer képezi.

Hazánkban 1979. január 1. óta a Betegségek Nemzetközi Osztályozása IX. Revízió (BNO-IX.) volt érvényben. „A betegségek és az egészséggel kapcsolatos problémák nemzetközi statisztikai osztályozása. Tizedik revízió (BNO-10)” címen 1996. január 1. napjától került bevezetésre a BNO-10. A BNO legújabb változatát, a BNO-11-et 2019-ben fogadták el, és 2022. január 1-én lépett hatályba.

Magyarországon a népesség demográfiai adatainak közzétételéről a Központi Statisztikai Hivatal (KSH) gondoskodik. Rendszeres kiadványai segítségével (Demográfiai Évkönyv, Statisztikai Évkönyv, Területi és Megyei Évkönyvek és szakfolyóiratok stb., illetve az internet www.ksh.hu oldalról) nyomon követhetők a népmozgalmi változások, továbbá a népesség struktúrájának alakulása országos és területi szinten. A népszámlálások adatait szintén a KSH teszi közzé.

A népszámlálási kiadványok sorozatában az országos adatokat tartalmazó köteteken túlmenően, a vármegyei kötetek az egyes településekre nézve is teljes részletességgel tartalmaznak adatokat. Ma már ezen adatok, akár visszamenőleg, elektronikus adathordozókon is elérhetők. Az adatok tehát hozzáférhetőek, hasznosításuk területi és helyi érdek is.

Demográfiai elemző módszerek

A numerikus mutatók típusa

A népességgel, a népesség egészségi állapotával kapcsolatban megfigyelt jelenségek, folyamatok mérőszámai, azaz a numerikus mutatók körébe tartoznak az egyszerű számbavétellel kapott esetszámok, személyszámok – az úgynevezett abszolút számok – éppúgy, mint az azokból különböző statisztikai technikákkal származtatott mutatók (63. ábra).

Az alapadatokból származtatott mutatókat további két nagyobb csoportra oszthatjuk, nevezetesen a **viszonyszámok** és az **indexek** körére. A viszonszámok technikailag egyszerűbb mutatók, amelyek két alapadat egymáshoz való viszonyát mérik a következő formában:

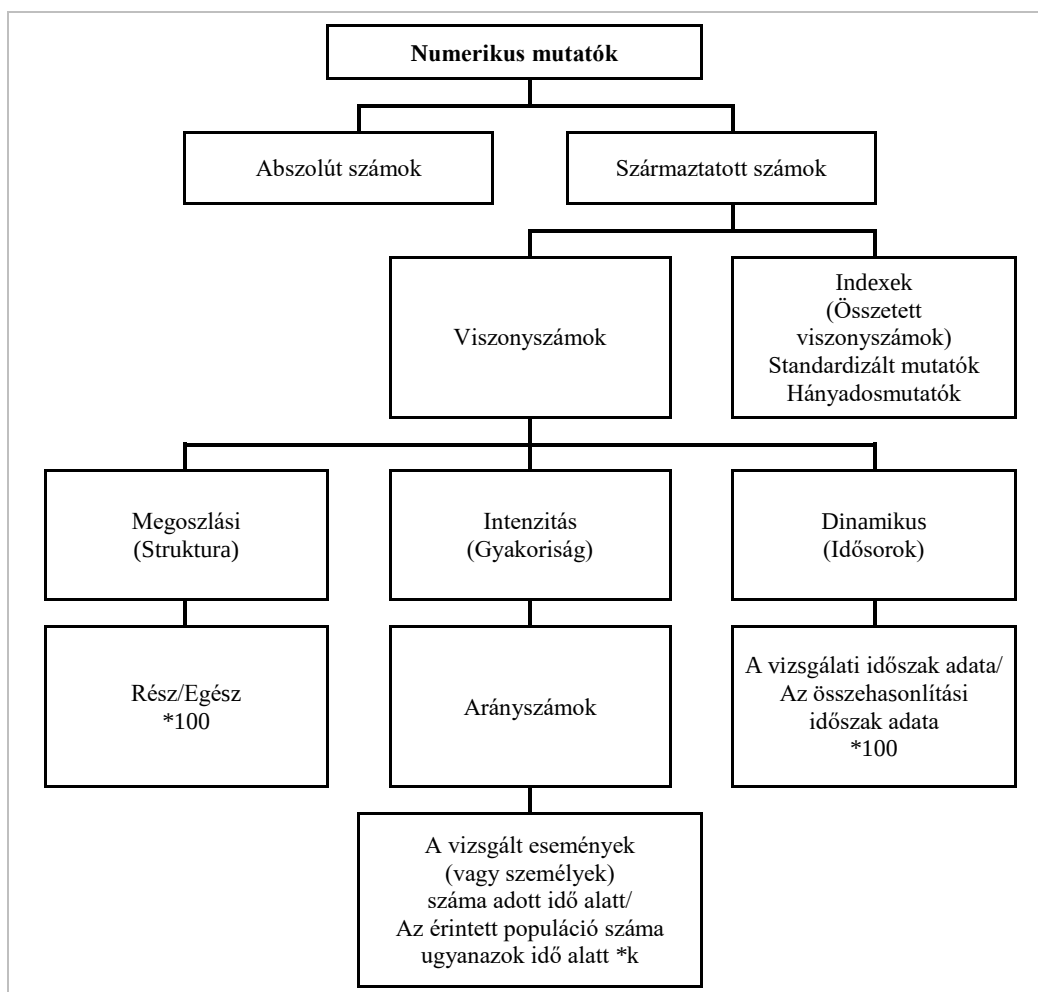
$$\text{Viszonyszám} = \frac{\text{viszonyított adat} \times k}{\text{viszonyítási alap}}$$

A viszonszámok három fajtája a **megoszlási**, az **intenzitási** és a **dinamikus viszonszámok**. Az indexek kisebb-nagyobb mértékben összetett mutatók, igen gyakran összetett viszonszámok. Mielőtt a konkrét demográfiai mutatókat tárgyalnánk, célszerűnek tartjuk a különböző mutatótípusok alkalmazási területeire, előnyeire és hátrányaira általánosságban is felhívni a figyelmet.

A megfigyelési adatok száma

A megfigyelt jelenséggel kapcsolatban szerzett információk legegyszerűbb számszerűsített formája a *megfigyelési adatok száma*. A megfigyelési adatok jelölhetik a népesség összességéhez vagy annak valamely meghatározott osztályához, csoportjához, kategóriájához tartozó *személyek számát*, de jelölhetik valamely meghatározott *esemény bekövetkezéseinek* számát is.

A megfigyelési adatok száma nyers, de alapvetően fontos információ. Nyers információ, mert önmagában igen kivételes esetekben ad tájékozódási lehetőséget arról, hogy a szóban forgó jelenség kedvezőnek vagy kedvezőtlennek tekinthető, előfordulása nőtt vagy éppen csökkent.



63. ábra A numerikus mutatók típusai
(Vargáné és Boján, 1996)

Ugyanakkor nélkülözhetetlen információ – *alapadat* –, hiszen kiindulási alapját képezi a jelenség, a vizsgálandó probléma elemzésének és az ellátás tervezésének.

Viszonyszámok

A legáltalánosabban alkalmazott *viszonyszámok* három nagy csoportjába tartozó mutatók – a *megoszlási*, az *intenzitási* és a *dinamikus viszonzyszámok* – mindegyike alapmutató azon a területen, amelyre kidolgozásra került. A gondot az okozza, ha eredeti szerepükről megfeledkezünk.

Megoszlási viszonzyszámok

A *megoszlási* viszonzyszámokat belső arányok, struktúrák mérésére alkalmazza a demográfia is, többnyire százalékos formában. Ezért is nevezzük gyakran a megoszlási viszonzyszámokat strukturális viszonzyszámoknak. A megoszlási viszonzyszámok általános alakja:

$$\text{RÉSZ/EGÉSZ} \times 100$$

A megoszlási viszonzyszámok definíciójából következik, hogy

- értékük meghatározott terjedelemben változhat százalékos formában 0,0% és 100,0% között és együtthatós formában 0,0 és 1,0 között (ebből következően a „részek” arányának összege mindig 100,0% vagy együtthatós esetben 1,0);
- mivel a számláló (rész) és a nevező (egész) dimenziója mindig azonos, a megoszlási viszonzyszámok dimenzió nélküli mennyiségek.

Intenzitási viszonzyszámok

Az *intenzitási viszonzyszámok* statisztikai értelmezésben a vizsgált jelenség előfordulási gyakoriságát (intenzitását) mérik a megfigyelt közegben. A demográfiában a „megfigyelt közeg” általában a népesség vagy annak valamely csoportja, és ilyenkor a demográfia az általa alkalmazott intenzitási viszonzyszámokat sajátosan arányszámoknak nevezi. Az arányszámok általános alakja:

$$\frac{\text{az események száma adott idő alatt} \times k}{\text{az alapnépesség átlagos száma ugyanazon idő alatt}}$$

ahol:

- az „**adott idő**” általában egy év, de szükség szerint lehet rövidebb vagy hosszabb időtartam;
- az „**alapnépesség átlagos száma**” a kezdeti időpont és a záró időpont népességszámának egyszerű számtani átlaga. Alkalmazását az teszi szükségessé, hogy egy időtartamban a népesség száma állandóan változhat, elsősorban a születések és a halálozások által. Éves időtartam esetén beszélünk *évközepe lakosságszámról*;
- a „**k**” szorzószám konvertálja a hányadost egy lehetőleg nullától eltérő egész részt is tartalmazó tizedestörtté, így értéke a jelenség gyakoriságától függ. A népmozgalmi arányszámok többségében 1 000, de ritkább jelenségek mérésekor szokás 10 000, illetve 100 000 főre is vonatkoztatni. A „**k**” értékének megválasztásakor tehát az a cél, hogy az arányszám egész része lehetőleg ne nulla legyen.

Attól függően, hogy milyen „eseményről” van szó (pl. halálozás stb.) beszélünk különböző arányszámokról (pl. halálozási arányszám).

Dinamikus viszonyyszámok

A *dinamikus viszonyyszámok* a jelenségek *időbeli változásának* mérésére szolgálnak.

A dinamikus viszonyyszámok két fajtája a bázis- és láncviszonyyszám.

Az időbeli összehasonlítás általános alakja a következő:

$\frac{\text{a vizsgált időszak (időpont) adata} \times 100}{\text{a bázis (összehasonlítási) időszak (időpont) adat}}$

Az időbeli összehasonlítás – a változás mérése – értelemszerűen vonatkozhat a probléma jellegétől függően:

- időtartamokra vagy időpontokra;
- rövidebb, hosszabb időre (napokra vagy akár évszázadra);
- abszolút számokra vagy származtatott mutatókra (pl. halandósági arányszámokra).

Példáinkból látható tehát, hogy *a megoszlási viszonyyszámokból helytelen a gyakoriságokra következtetni*.

Igen téves gyakorlati teendők forrása lehet, ha csupán a megfigyelt esetszámok alapján ítélünk meg egy jelenséget, és figyelmen kívül hagyjuk azt a közeget, azt a populációt, amelynek köréből az esetszámok kikerültek.

Módszertani szempontból felhívjuk a figyelmet arra, hogy a magyar népesség esetében az átlagosnál is változékonyabb a különböző korosztályok létszáma. Éppen ezért az *esetszámokra alapozott következtetéseket az átlagosnál is nagyobb torzítások* terhelhetik, akár egy szűkebb korosztályon belül is.

Más jellegű problémákra célszerű figyelni a *dinamikus viszonyyszámok* alkalmazása során. A népesség körében zajló jelenségek kisebb-nagyobb mértékben *ciklikusan változhatnak*.

Visszatérő probléma az időbeni változások vizsgálata – az időbeni összehasonlítások – során, hogy az adott időtartamban nemcsak az események bekövetkezési száma változhat, hanem az a népesség, az a közeg is, amelynek köréből a vizsgált események származhatnak.

Kissé összetettebb a probléma, ha az egész népesség vagy legalábbis egy tágabb korosztályhoz tartozó populáció körében kívánjuk egy demográfiai jelenség változásait mérni.

Indexek

A népesség körében végbemenő jelenségeket, folyamatokat az endogén meghatározottságok (genetikai vagy szerzett biológiai adottságok) mellett számos környezeti (természeti, társadalmi és gazdasági) tényező determinálja. Ahhoz, hogy a jelenségek, folyamatok lényegi sajátosságait érdemben elemezni és értelmezni tudjuk, olyan statisztikai módszerekre van szükség, amelyek valamely formában és mélységben, „beszámítják” azt a „háttérrel” is, amelyben a jelenség zajlik.

Ezek a statisztikai eljárások általában valamilyen *standardizálással* működnek, és az eljárással származtatott numerikus mutatót nevezzük indexnek. Az *indexek* tehát valamely célból, valamely irány(ok)ban *korrigált, összetett viszonyszámok vagy azokból felépített mutatók*. A korrekció célja általában az, hogy az elemezni kívánt jelenség jellegzetességeinek jobb felismerhetősége érdekében a zavaró háttértényező(k) hatását kiszűrjük. A korrekciós technikák két legelterjedtebb módja a direkt standardizálás és az indirekt standardizálás.

Direkt standardizálás

A népességgel kapcsolatos jelenségek körében a legáltalánosabban érvényesülő, zavaró vagy éppen torzító hatások elsősorban a népesség életkor szerinti összetételének különbségeiből származhatnak. Ennek oka, hogy a népesség körében zajló jelenségek gyakorisága az egyes életkorokban igen különböző lehet. Sőt, a jelenségek széles skálája (halálozás, morbiditás, iskolázottság) jellegzetesen – specifikusan – alakulhat az életkorral.

A direkt standardizálás a mutatók súlyozott átlag formájában történő kiszámíthatóságát használja fel. Az összehasonlíthatóság érdekében a saját korszpecifikus mutatókból (m_i) standard kormegoszlással súlyozva (W_i) számítja ki az átlagos mutatót (M) az összehasonlítandó népesség mindegyikére.

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n W_i m_i}{\sum W_i}$$

ahol: n a korosztályok számát jelöli.

Standard súlyokként tetszőleges kormegoszlás választható, de nemzetközi standardok – például a világ vagy Európa népességének standard populációs kormegoszlásai – is rendelkezésre állnak. Időbeni összehasonlításokhoz pedig – különösen egyetlen országra vonatkozóan – gyakran az összehasonlítás alapját képező év, a bázisév, népességének kormegoszlását vesszük alapul.

A direkt standardizálással kapott mutatók a gyakorlatban *standardizált arányszámoknak* nevezzük. Az elnevezés nem túl szerencsés, mert az „arányszám” kitétel elfedi a mutató index-jellegét. Elfedi azt, hogy a standardizált mutatók valójában nem tényleges (nyers) gyakoriságot jelölnek, *hanem bizonyos feltételekre korrigált helyzetet tükröznek*. Az azonos feltételekre történő korrekció – a standardizálás – éppen azért történik, mert az *összetett jelenségek, folyamatok érdemi összehasonlítása csak standard feltételek közepette lehetséges*.

Nemzetközi összehasonlításban általában a világ vagy Európa népességének kormegoszlása használatos standardként. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy az 1990-es évek elejéig a „Standard Population, 1976”-nak a világra, illetve Európára kidolgozott kor szerinti megoszlása volt általánosan használatos és megtalálható – egyebek között – a WHO évkönyveiben. Ezek a kormegoszlások az *egész standard népességre* vonatkoztak, más szóval nem szerinti megkülönböztetést nem tartalmaztak. Ez azt jelentette, hogy például az Európára standardizált férfi és női halálozási arányszámokat is össze lehetett hasonlítani, mert azonos volt a standardizálási alapjuk.

A WHO 1992. évi évkönyvében a korábbiak mellett új standardok is közzétételére kerültek. Nevezetesen, a „Standard Population, 1990”, az előzőhöz hasonlóan világ- és európai viszonylatban is megjelent. További változást jelent, hogy az új standardok az össznépességen túlmenően a férfiak és nők viszonylatában is adnak külön-külön standard kormegoszlást. Mindez célszerűen bővíti a standard megválasztásának lehetőségét nemzetközi összehasonlításokban is. Ugyanakkor nagyobb odafigyelést is igényel a standardizált halálozási arányszámok alkalmazásakor.

Nem lehet ugyanis összehasonlítani a férfiak és a nők standardizált halandóságát olyan esetekben, amikor a férfiak halálozása a standard férfi populáció, a nőké pedig a standard női populáció kormegoszlására van standardizálva.

Értelemszerűen nem lehet összehasonlítani olyan standardizált halandóságokat sem, amely egy része a régi (Standard Population, 1976), míg más népességeké az új (Standard Population, 1990) standard kormegoszlások szerint standardizált. A WHO és az Európai Unió közös megegyezése alapján az Eurostat új standard populációs súlyokat fogadott el 2013-ban az európai népességre vonatkozóan⁴⁶ a 2011-2030 közötti időszakra számított populációs arányok alapján.

Indirekt standardizálás

Láttuk, hogy a direkt standardizálás az összehasonlítandó népességek saját specifikus mutatóira támaszkodik és közös súlyok alkalmazásával teremti meg az összehasonlításhoz a standard feltételeket. A specifikus mutatók (pl. a korszpecifikus arányszámok) azonban nem mindig állnak rendelkezésre egy-egy népességben, vagy ha formálisan rendelkezésre állnak is, esetleg nem elég stabilak. Ez utóbbi helyzet állhat elő, ha kisebb népességcsoportokban (pl. egy városban, vagy egy foglalkozási körben) kívánunk vizsgálni valamely jelenséget. Ekkor a korszpecifikus arányszám a jelenség által kevésbé érintett korosztályokban egyik évről a másikra erősen ingadozhat véletlen következtében is.

A tanulmányozandó népességcsoportok instabil specifikus mutatóira a direkt standardizálást nem célszerű alkalmazni. Helyette az indirekt standardizálás kínál összehasonlító elemzési módszert a standardizált hányadosmutatók segítségével.

Az indirekt standardizálási módban az összehasonlíthatósághoz *a standard feltételeket egy összehasonlítási alapul választott népesség stabil specifikus mutatói* (M_i) szolgáltatják. Országon belüli összehasonlításokban standard alapként általában az ország népességének specifikus mutatói szolgálnak. Kor szerinti standardizálás esetén az országos korszpecifikus mutatók képezik az indirekt standardizálás alapját.

⁴⁶ [European standard population](#)

A *standardizált hányados mutatót* (SH) a tanulmányozandó népességcsoportban megfigyelt jelenség *tényleges* (eset) számának és *várható* (eset) számának hányadosa adja, százalékos formában:

Pl. Standardizált halálozási hányados (SHH)

$$\text{Standardizált halálozási hányados (SHH)} = \frac{\text{halálesetek TÉNYLEGES száma}}{\text{halálesetek VÁRHATÓ száma}} \times 100$$

Az *indirekt standardizálás* tehát a standardizált hányados mutató nevezőjében szereplő *várható esetszámban érvényesül*. A várható esetszám ugyanis éppen azt mutatja meg, hogy a vizsgált jelenség milyen (eset) számmal következett volna be a tanulmányozott népességcsoportban, ha ott a jelenség előfordulása minden korosztályban azonos a standard szinttel.

Ha a standardizált hányadosmutatóban a *tényleges* (eset)szám a *várható* (eset)számnál:

- kisebb, akkor az SH értéke kisebb, mint 100%;
- nagyobb, akkor az SH értéke nagyobb, mint 100%;
- azonos, akkor az SH értéke éppen 100% a tanulmányozott népességcsoportra nézve.

A standardizált hányadosmutatók segítségével így mérhetővé válnak például a vizsgált jelenség országon belüli területi, társadalmi stb. egyenlőtlenségei anélkül, hogy azokat – kor szerinti standardizálás esetén például – a tanulmányozott népességcsoportok eltérő kormegoszlása torzítná.

A vizsgált jelenségtől függően – halálozás, morbiditás, iskolázottság stb. – beszélünk például SHH (standardizált halálozási hányados) SMH (standardizált morbiditási hányados), standardizált hányadosmutatókról, azaz indirekt standardizált indexekről.

Szignifikancia

A szignifikanciavizsgálatban a kiindulási hipotézis – a nullhipotézis – az, hogy a tanulmányozott népességre valójában az SHH = 100,0% igaz, és az észlelt (100,0%-tól eltérő) érték csupán véletlen ingadozás eredménye. A nullhipotézist a következő szignifikanciapróbával tesztelhetjük:

$$Z = \frac{|T - V| - 0,5}{\sqrt{V}}$$

ahol: **T** a halálesetek tényleges számát,
V a halálesetek várható számát jelöli.

A gyakorlatban a következő konvencionális döntési szinteket alkalmazzuk:

$Z > 1,960$ $P < 0,05$ azaz az eltérés 5%-os szinten szignifikáns;

$Z > 2,576$ $P < 0,01$ azaz az eltérés 1%-os szinten szignifikáns;

$Z > 3,291$ $P < 0,001$ azaz az eltérés 1%-es szinten szignifikáns.

Tehát, ha a Z értéke nem haladja meg az 1,960 értéket, az észlelt eltérés nem tekinthető szignifikánsnak ($P > 0,05$).

ADATFORRÁSOK A KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIÁBAN

Dr. Páldy Anna, Málnási Tibor

A lakosság egészségi állapotát az embert körülvevő környezet jelentősen befolyásolja, ugyanakkor az emberi tevékenység is hatással van a környezetre és e kölcsönhatás eredményeképpen az emberi egészségre is.

Az összefüggések feltárásának és értékelésének elengedhetetlen feltétele az egészségi állapot és a környezet kölcsönhatását alátámasztó **adatok, adatbázisok** aktualizálása, a meglévő adatbázisok elérhetőségének biztosítása (szükség esetén csak a szakemberek által elérhető módon) az adatgazdák részéről.

Másrészt fontos, hogy a meglévő adatbázisok elérhető és ismertek legyenek a szakemberek számára, ezeknek segítségével a szakemberek értékeljék a környezet hatását az egészségi állapotra, tájékoztassák az érdeklődőket, illetve megjelentessék elemzéseiket az interneten, évkönyvekben, hazai és nemzetközi fórumokon.

Interneten keresztül rendkívül sok magyar és idegen nyelvű környezet-egészségügyi vonatkozású adatbázis érhető el, melyeknek előnye lehet, hogy folyamatosan frissítik, hátrányuk azonban, hogy több adatbázis (főként a külföldi adatbázisok esetében) regisztrációhoz, illetve előfizetéshez kötött.

A továbbiakban felsorolást és rövid ismertetést adunk egyes fontos internetes címek elérhetőségéről, illetve tartalmáról. A következő témákban meglévő statisztikai adatokhoz férhetünk hozzá (korlátozottan, vagy csak részben korlátozottan):

- demográfiai adatok,
- egészségi állapot,
- halálozás, megbetegedés,
- egészségügyi ellátás,
- gazdasági adatok,
- környezeti adatok.

Hazai adatforrások

Központi Statisztikai Hivatal: <https://www.ksh.hu>

A daganatos megbetegedések incidencia adatai – **Nemzeti Rákregiszter** (Országos Onkológiai Intézet): <https://onkol.hu/nemzeti-rakregiszter>

A tüdőgondozókban nyilvántartott légzőszervi megbetegedések adatai (az évkönyvben, Bulletinben publikálva) – **Országos Korányi Pulmonológiai Intézet:** <https://www.koranyi.hu>

Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ: <https://www.nnk.gov.hu>

- fürdővíz- és ivóvízminőségi adatok,
- polleninformációk,
- levegőhigiénés index.

A kültéri levegőszennyezés adatai – **Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat** (HungaroMet): <https://legszenyezettség.met.hu>

Gyógyszerforgalmi adatok – Nemzeti Egészségbiztosítási Alapkezelő:
<http://www.neak.gov.hu>

Országos Területfejlesztési és Területrendezési Információs Rendszer (TEIR):
<https://www.oeny.hu/oeny/teir>

Magyar Orvosok Bibliográfiája: <http://mob.gyemszi.hu/simplesearch.jsp>

Nemzetközi adatbázisok

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) nemzetközi adatbázisai – **WHO European Health Information Gateway**: <https://gateway.euro.who.int>. Ezen belül található leghasznosabb adatbázisok:

- **European Health for All database (HFA-DB)**: mortalitási, morbiditási, demográfiai, társadalmi-gazdasági, környezeti indikátorok: <https://gateway.euro.who.int/en/datasets/european-health-for-all-database>
- **European Mortality Database (MDB)**: standardizált mortalitási mutatók: <https://gateway.euro.who.int/en/datasets/european-mortality-database>
- **Environment and Health Information System (ENHIS)**: környezet-egészségügyi információs rendszer: <https://gateway.euro.who.int/en/datasets/enhis>
- **Health Behaviour in School-aged Children (HBSC)**: felmérési adatok a 11, 13 és 15 évesek egészségéről és jóllétéről, szociális környezetükről és egészségmagatartásukról: <https://gateway.euro.who.int/en/datasets/hbhc>

Daganatos megbetegedések globális adatai – **Worldwide cancer data**:
<https://www.wcrf.org/cancer-trends/worldwide-cancer-data>

Daganatos megbetegedések nemzetközi adatai (**Global Cancer Observatory**):
<https://gco.iarc.fr>, a WHO Nemzetközi Rákkutató Ügynökségének (International Agency for Research on Cancer, IARC) adatbázisai: <https://www.iarc.who.int>

Diabetes adatbázis – **Diabetes Atlas**: <https://diabetesatlas.org/data>

Az **OECD** országok adatai: <https://data.oecd.org>

Az Európai Unió statisztikai hivatala – **Eurostat**: <https://ec.europa.eu/eurostat>

- Adatok a jövedelemről és az életkörülményekről – **EU-Statistics on Income and Living Conditions** (EU-SILC): <https://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/european-union-statistics-on-income-and-living-conditions>
- Európai városi statisztikák – **Urban Audit**: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/cities/data/database>

Az Európai Unió környezetvédelmi ügynöksége – **European Environment Agency (EEA)**:
<https://www.eea.europa.eu>:

- zajadatbázis, zajtérképek,
- kültéri levegőminőségi adatok,
- fürdővízminőségi adatok.

Klímaváltozással kapcsolatos európai adatok – **Climate Adapt**: <https://climate-adapt.eea.europa.eu>

A **Copernicus** az Európai Unió űrprogramjának része, távérzékelési, térinformatikai adatokat hoz nyilvánosságra (pl. felszínborítottság, területhasználat): <https://www.copernicus.eu>

Éghajlat-változási Kormányközi Testület: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC): <http://www.ipcc.ch/>

Az Európai Betegségmegelőzési és Járványvédelmi Központ – **European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC)**, fertőző betegségek, vektorok által terjesztett betegségek adatai: <https://www.ecdc.europa.eu>

Az **EuroMOMO** (European Mortality Monitoring): európai halálozási megfigyelő rendszer, amelynek célja a szezonális influenzához, a világjárványokhoz, extrém hőmérsékletekhez és más közegészségügyi veszélyekhez kapcsolódó többlethalálozás észlelése és mérése: <https://www.euromomo.eu>

Európai Erdőtűz Információs Rendszer – **European Forest Fire Information System (EFFIS)**: <https://effis.jrc.ec.europa.eu>

Nemzetközi Katasztrófa Adatbázis – **International Disaster Database**: <https://www.emdat.be>

Az USA intézete, amely a nemzetközi betegségteherre vonatkozó becsléseket hozza nyilvánosságra – **Institute for Health Metrics and Evaluation**: <https://www.healthdata.org>

A KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIAI VIZSGÁLATOK

Dr. Rudnai Péter

A környezet-epidemiológiai vizsgálatok célja, típusai

A környezet-epidemiológia a környezet higiéniés állapota és az egyes megbetegedéseknek vagy egyéb egészségkárosodásoknak az adott népességben előforduló gyakorisága és megoszlása között fennálló összefüggéseket és az azokat meghatározó vagy befolyásoló tényezőket vizsgálja.

Vizsgálati megközelítés és cél

A kérdésfelvetés és a vizsgálat célja szempontjából a környezet-epidemiológiai vizsgálatoknak 3 fő megközelítési formája van:

- a.) az ún. „**tényező-orientált**” vizsgálatok során arra keressük a választ, hogy valamely veszélyes környezeti tényező (pl. egy környezetszennyező forrás többé-kevésbé ismert szennyezőanyag kibocsátása vagy egy többé-kevésbé ismert immisszió) milyen mértékben veszélyezteti az exponált lakosság egészségi állapotát.

Ezeknek a vizsgálatok a célja azoknak a gyakorlatban felmerülő kérdéseknek a megválaszolása, hogy

- * egyes környezeti hatások milyen biológiai következményekkel járnak, illetve milyen mértékű és jellegű egészségkárosodást eredményeznek az adott hatásnak kitett (exponált) népességben;
 - * hol van az a szennyezettségi, vagy a higiéniés állapot egyéb mutatójára vonatkozó határérték (ha van egyáltalán), amelynél – nagy valószínűséggel – még nem következik be egészségkárosodás;
 - * milyen egészségi kockázat várható a levegőbe, a vízbe vagy a talajba kerülő szennyezőanyagokra vonatkozó higiéniés határértékek átmeneti vagy tartós túllépése esetén;
 - * a környezetszennyezés okozta egészségkárosodásoknak milyen gazdasági hatásai lehetnek;
 - * az egészségre káros környezeti hatások kiküszöbölése vagy csökkentése érdekében megvalósítandó intézkedéseknek – egészségügyi szempontból – mi legyen a fontossági sorrendje (prioritása);
 - * az egészségkárosító környezeti hatások kiküszöbölése vagy csökkentése érdekében tett intézkedések egészségügyi szempontból mennyire bizonyultak hatékonynak.
- b.) A „**hatás-orientált**” vagy „**betegség szempontú**” vizsgálatok során arra keressük a választ, hogy az adott népességben a várhatónál nagyobb gyakorisággal előforduló megbetegedések (vagy egyéb egészségkárosodási formák) kialakulásában vagy halmozódásában milyen szerepe van a különböző környezeti tényezőknek.

Ehhez a megbetegedések gyakoriságában és a környezet higiéniés állapotában megfigyelhető tér- és időbeli összefüggések elemzése szükséges.

Ennél a megközelítési formánál mindenekelőtt azt kell tisztázni, hogy a betegség vélt halmozódása tényleges vagy csak látszólagos-e (pl. nagyobb laksűrűség vagy életkori okok miatt).

Egyértelműen meg kell határozni a betegség diagnózisát és az annak felállításához elfogadott kritériumokat. Ehhez szükség lehet a betegek gyors felülvizsgálatára is. Ezt követően az eseteknek a fertőző betegségek esetében megszokott járványügyi vizsgálata (Ki?, Mikor?, Hol? Mit csinált?) segíthet felderíteni az esetek tér- és időbeli összekapcsolhatóságát. Mindezek alapján eljuthatunk egy közelítő hipotézis felállításához, amelyet egy célzott vizsgálattal ellenőrizhetünk.

- c.) A „**környezet-epidemiológiai surveillance**” két monitor rendszerre; a környezeti adatok és az egészségi (vagyis inkább a betegségi) mutatók szisztematikusan rögzített és gyűjtött adatainak rendszerére épül. Célja a monitorozott adatok egybevetése során észlelt változások megfigyelése, értelmezése és az egészség védelme érdekében történő intézkedések meghatározása és javaslata a döntéshozók számára.

Míg az előző két formánál – megfelelően tervezett és kivitelezett vizsgálat esetén – jó esély van az ok-okozati összefüggések megállapítására, addig ennél a formánál nem ez az elsődleges cél, hanem szükség esetén a minél gyorsabb beavatkozás.

A környezet-epidemiológiai vizsgálatok fázisai (az expozíció becslése, az egészségkárosodás megállapítása és ezek összefüggéseinek értékelése)

A környezeti tényezők által a népességet érő *expozíció* és az érintett populációban megfigyelhető *egészségkárosodások* mérése, valamint a két oldal közötti *összefüggések* statisztikai módszerekkel történő analízise egyaránt alapvetően fontos része a környezet-epidemiológiai vizsgálatoknak.

Az expozíció megállapítása

„Tényező-orientált” vizsgálatok során, ha a szennyeződés jól definiálható forrásból származik, az *emisszió kvalitatív és kvantitatív analízise* sokat segíthet annak felmérésében, hogy milyen szennyezőanyagok, és milyen mennyiségben kerülnek vagy kerültek ki a környezetbe.

Az emissziós spektrum ismeretében célzott *immissziós méréseket* végezhetünk az illető szennyező anyagok koncentrációja területi és időbeli eloszlásának meghatározása céljából. Ehhez megfelelő érzékenységgű műszerekre van szükség, hiszen ezek a koncentrációk többnyire nagyságrend/ekk/el kisebbek, mint például a munkahelyi körülmények között mérhető koncentrációk.

A környezetanalitikai mérési eredmények reális értékeléséhez ismerni kell a meghatározási módszerek kimutathatósági határát és hibájának nagyságát. Különös figyelmet kell fordítani a mintavétel körülményeire is.

Mindig tudatában kell lennünk annak is, hogy a környezeti közegekben mért *koncentráció*, azaz egy adott szennyezőanyag valamely közeg (pl. levegő) egységnyi térfogatában egy adott időpontban mért mennyisége ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) nem azonos az expozícióval, azaz azzal a szennyezőanyag mennyiséggel, amely bejut a szervezetbe. Ennek ellenére sokszor ezeket az értékeket használjuk az expozíció becslésére.

A környezetbe kerülő szennyező anyagok többsége egyszerre több környezeti közegben (pl. levegőben, vízben, élelmiszerben) is előfordulhat. Közülük némelyekben lebomlik, míg másokban feldúsulhat. Mindenesetre, számításba kell venni, hogy ugyanaz a szennyező anyag többféle úton is bejuthat a szervezetbe, s további sorsa, így biológiai hatása is, számos tényezőtől (felszívódás, detoxikáció, aktiválódás, kiválasztás stb.) függ.

Az expozíció tényleges mértékéről realisabb képet kaphatunk, ha a szervezetbe jutott és ott biológiai hatást kifejteni képes szennyezőanyagok vagy metabolitjaik mennyiségét biológiai minták (vér, vizelet, haj, anyatej stb.) analízise (biológiai monitorozás) segítségével, az ún. **expozíciós markerek** meghatározásával becsüljük.

Az expozíció mértékét a dózis mellett az *időtartam* is jelentősen befolyásolja. A környezetszennyező anyagok leggyakrabban viszonylag kis dózisban, de hosszú időn keresztül fejtik ki hatásukat, amely így – megfelelően tervezett, célzott vizsgálatok nélkül – sokszor észrevétlen marad.

Az expozíció részletes meghatározása esetén lehetővé válhat az érintett populáció expozíciós fokozatokba sorolása, amely lehetőséget adhat az ok-okozati összefüggések valószínűségét erősítő dózis-hatás vagy a dózis-válasz összefüggések feltárására is.

Az expozíció által érintett populáció nagyságának, kor és nem szerinti összetételének, valamint területi megoszlásának ismeretére már a vizsgálat tervezésekor szükség van a vizsgálati típus megválasztásához és az exponált, illetve a kontroll vizsgálati minta kiválasztásának meghatározásához.

Az egészségkárosodás vizsgálata

A környezeti tényezők terhelő hatásának kitett népesség egyedeiben a biológiai válasz a dózistól, az expozíciós időtől, az egyén ellenálló-, illetve alkalmazkodóképességétől (alkati, életkori, nemi, aktuális egészségi és tápláltsági állapotától stb.) függően igen széles skálán mozoghat (64. ábra).

A szennyező hatásnak kitett populáció egyedeibe bejutott szennyező anyag a népesség nagy hányadában olyan *élettani változásokat* eredményez, amelyeket a környezethez való alkalmazkodás évmilliók alatt kialakult és továbbfejlődött eszköztárába sorolhatunk. Ezek a változások önmagukban tehát nem értékelhetők egészségkárosodásként.

Ha azonban figyelembe vesszük, hogy a szervezet alkalmazkodó képességének meghatározott korlátai vannak, akkor az ilyen terhelés okozta élettani reakciókat már a további alkalmazkodás lehetőségeit beszűkítő folyamatként kell értékelnünk.



64. ábra Környezeti tényezőknek kitett népességben lejátszódó biológiai reakciók skálája

Beszűkült alkalmazkodóképesség vagy tartós, illetve túl erős expozíció esetén viszonylag gyakran találkozunk olyan *kórélettani elváltozásokkal*, amelyek ugyan még nem okoznak látható klinikai tüneteket, de az egyes szervek kóros működését jelző megfelelő szűrővizsgálatokkal kimutathatók. Példaként említhetjük a kishörgők volumenének a levegőszennyezettség hatására történő beszűkülését jelző kilégzési sebesség csökkenést vagy az idegrostok ólomexpozíció következtében lassult ingerületvezető képességét. A patofiziológiai elváltozások kimutatásának különös jelentősége van a környezet-epidemiológiai vizsgálatok során, mivel a kimutatott eltérések kórjelző értékűek, ugyanakkor a legtöbb esetben a kórfolyamat még visszafordítható stádiumban van. Ez azt is jelenti, hogy az expozíció csökkentése érdekében tett intézkedések, beavatkozások hatékonyságát ezeknek az ún. **hatás markereknek** a vizsgálatával viszonylag gyorsan le lehet mérni.

A már klinikai tünetekben is megnyilvánuló *megbetegedések* okaként ritkán lehet egy-egy környezeti ártalom kizárólagos hatását kimutatni, mint például a magas nitráttartalmú ivóvíz fogyasztásával összefüggő csecsemőkori methemoglobinémia vagy a környezeti kadmium szennyezettséggel összefüggésben Japánban megfigyelt „itai-itai betegség” esetén. A környezeti tényezők hatásával összefüggő – heveny vagy krónikus – megbetegedések általában multikauzálisak, azaz keletkezésükben több tényező játszik szerepet.

Hasonlóképpen rendkívül összetett és többnyire közvetett módon érvényesül a környezeti tényezők hatása a különböző betegségek okozta *halálozásban*.

A legismertebb példaként az 1952. decemberi londoni szmog katasztrófát szokták emlegetni, amikor is a várhatónál mintegy 4 000-el több – főként légzőszervrendszeri, valamint szív- és érrendszeri betegségek által okozott – haláleset történt az extrém mértékű levegőszennyezettség következtében.

Az egyre finomodó módszerekkel végzett újabb vizsgálatok eredményei azonban azt bizonyítják, hogy a londoninál sokkal kisebb mértékű levegőszennyezettség esetén is kimutatható a halandóság átmeneti fokozódása.

Egy-egy terület mortalitási viszonyainak hosszabb időszakra vonatkozó jellegzetességei, a változások trendje értékes információkat szolgáltatathat az illető terület – tág értelemben vett – környezet-egészségügyi viszonyairól (is).

Összességében véve azonban a mortalitás a környezeti tényezők hatása szempontjából elég érzéketlen mutató, mivel – tekintettel arra, hogy a környezetszennyező ágensek többnyire alacsony koncentrációban, de hosszú ideig hatnak – ilyen súlyos következmények kifejlődéséhez általában hosszú időre van szükség. Többnyire számos tényező együtthatása vezet halálhoz, amelyek közül a környezetszennyező anyagok az okoknak csak egy bizonyos hányadát képviselik. Ezért van különös jelentősége ezekben az esetekben a nagy lakosságcsoportokban végzett epidemiológiai vizsgálatoknak, ahol az egyéneket az egyes tényezők jelenléte alapján csoportosítva, a vizsgált kóroki tényezők szerepe különféle statisztikai eljárásokkal elemezhető.

A környezeti tényezők terhelő hatásának kitett népesség egyedeiben lejátszódó biológiai reakciókat a megfigyelt populációhoz viszonyítjuk, tehát azok jellegét, gyakoriságát és népességen belüli megoszlását populációs szinten vizsgáljuk és értékeljük.

Az **incidencia** (**I**) az új esetek előfordulásának gyakoriságát, azaz valamely betegség fellépésének *kockázatát* fejezi ki egy adott populációban bizonyos időtartam alatt.

Általában a következőképpen határozzuk meg:

$$I = \frac{\text{az új esetek száma egy adott populációban, egy meghatározott időtartam alatt}}{\text{a kockázatnak kitett populáció ugyanazon idő alatt}}$$

A betegségek előfordulási gyakoriságát tehát (ezrelékben vagy más megfelelő nagyságrendben kifejezett) arányként kell leírni, amelyben az esetek számát a *kockázatnak kitett populáció*hoz viszonyítjuk. A kockázatnak kitett populáció azokat az embereket jelenti, akik köréből az esetek ténylegesen kikerülnek.

A *mortalitás* egy betegség okozta halálozás incidenciája. Gyakran használják az incidencia közelítő meghatározására, különösen a magas letalitású betegségeknél.

Egy betegség **prevalenciája** (**P**) a populációnak az a része, amely a betegségben szenved meghatározott időpontban. Ez a *pontprevalencia*:

$$P = \frac{\text{az esetek száma egy adott populációban, egy meghatározott időtartam alatt}}{\text{a személyek száma az adott populációban, ugyanazon időpontban}}$$

A hányados értékét a könnyebb kezelhetőség kedvéért – az incidenciához hasonlóan – ezerrel, tízezerrel vagy százezerrel beszorozva, ezrelékben, illetve tíz- vagy százezrelékben fejezzük ki.

Olyan megbetegedések esetén, amelyekre intermittáló tünetek jellemzőek (pl. asztma), sokkal hasznosabb mérőszám lehet a *tartamprevalencia*, azaz a populáció azon részének meghatározása, akiknél a betegség tünetei egy meghatározott időtartam alatt (pl. egy hónap vagy egy év alatt) – bármikor – jelentkeznek.

Az expozíció és az egészségkárosodások közötti összefüggések vizsgálata

Az epidemiológia fontos feladata az expozíció és a betegségek közötti összefüggés mennyiségi meghatározása, - azaz annak becslése, hogy hogyan változik egy betegség kialakulásának kockázata az expozíciótól függően. Az összefüggések leírására különböző mérőszámokat használunk, mindegyikben közös azonban, hogy az expozíciónak kitett és az expozíciótól mentes személyek körében megfigyelt kockázatot hasonlítjuk össze.

Az összefüggések leírásának legegyszerűbb – és leggyakrabban használt – formája az alábbi ún. 2 x 2-es kontingencia táblázat (XIX. táblázat).

XIX. táblázat Kontingencia táblázat a relatív kockázat meghatározásához

EXPOZÍCIÓ	B E T E G S É G		ÖSSZESEN
	Jelen van (+)	Nincs jelen (-)	
Jelen van (+)	a	b	a + b
Nincs jelen (-)	c	d	c + d
ÖSSZESEN	a + c	b + d	N = a + b + c + d

ahol: az expozíció a vizsgált betegséget okozó vagy befolyásoló tényező,
a betegség az a betegség, amelynek oki illetve rizikótényezőit vizsgáljuk,
a: az expozíciónak kitett és megbetegedett esetek száma,
b: az expozíciónak kitett, de a vizsgált betegségben nem szenvedők száma,
c: azon betegek száma, akiknél a feltételezett rizikótényező (expozíció) nincs jelen,
d: azon személyek száma, akik sem nem betegek, sem a rizikótényező nincs jelen,
a+b: az expozíciónak kitett összes személy (exponált csoport),
c+d: a nem exponált személyek száma (nem exponált csoport),
a+c: az összes beteg száma,
b+d: a vizsgált betegségben nem szenvedők száma.

a fentiek alapján:

$$I_E \text{ (incidencia (kockázat) az exponált csoportban) } = \frac{a}{a + b}$$

$$I_K \text{ (incidencia (kockázat) a nem exponált (kontroll) csoportban) } = \frac{c}{c + d}$$

Az exponált és a kontroll (expozíciótól mentes) egyének kockázatának arányát (hányadosát) **relatív kockázatnak** (relative risk, RR) nevezzük.

A relatív kockázat tehát a következőt jelenti:

$$RR = \frac{\text{az expozíciónak kitett személyek kockázata (I_E)}}{\text{az expozíciótól mentes személyek kockázata (I_K)}}$$

azaz:

$$RR = \frac{\frac{a}{a+b}}{\frac{c}{c+d}} = \frac{a(c+d)}{c(a+b)}$$

Ez a modell akkor megfelelő, ha az expozíció minden vagy semmi jelenség – például ha meghatározott területen élő embereket hasonlítunk össze kontrollként olyanokkal, akik máshol élnek. Előfordul azonban, hogy az expozíció folyamatosan változik és senki sem teljesen expozíció-mentes. Mindenki ki van téve például némi környezeti ionizációs sugárzásnak, de egyesek jobban, mint mások. Ilyen esetben a különböző expozíciós szintnek megfelelő kategóriákba sorolt személyek kockázatát hasonlítjuk össze.

A relatív kockázat értelmezése:

A relatív kockázat az esemény/egészségkárosítás bekövetkezésének valószínűségének arányát méri az expozíciónak kitett csoportban az expozíciótól mentes csoporthoz képest. Az expozíció és a kimenetel közötti kapcsolat erősségének értékelésére szolgál. Az 1 érték azt jelenti, hogy nincs összefüggés, míg az 1-nél nagyobb érték pozitív összefüggést jelez (az expozíció növeli a kimenetel kockázatát), az 1-nél kisebb érték pedig negatív összefüggést jelez (az expozíció csökkenti a kimenetel kockázatát).

Ahhoz, hogy meg tudjuk állapítani, hogy a statisztikai összefüggés szignifikáns-e, ismernünk kell a relatív kockázat megbízhatósági tartományát (konfidencia intervallumát, CI). Ha a konfidencia intervallum nem tartalmazza az 1 értéket (pl. negatív összefüggés esetén: 0,85-0,92, pozitív összefüggés esetén: 1,12-1,23), akkor adott valószínűségi szinten a statisztikai összefüggés szignifikánsnak tekinthető.

A relatív kockázat konfidencia intervalluma az alábbi képlettel számítható ki:

$$95\% CI = e^{\ln(RR) \pm 1,96 \sqrt{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} - \frac{1}{a+b} - \frac{1}{c+d}}}$$

ahol: **ln(RR)** a relatív kockázat természetes (e alapú) logaritmus,
'e' a természetes logaritmus alapja,
1,96 pedig a 95%-os valószínűséghez tartozó z érték.

Ha a kockázatnak kitett populáció teljes egészét nem tudjuk meghatározni, és ezért incidenciát sem tudunk számolni, jó megközelítést lehet elérni az esélyhányados kiszámításával is.

Az *esélyhányados* (EH, odds ratio, OR) a következőképpen definiálható:

$$OR = \frac{\text{a betegség kialakulásának esélye az exponáltak között}}{\text{a betegség kialakulásának esélye a nem exponáltak között}}$$

azaz:

$$OR = \frac{a/c}{b/d} = \frac{a \times d}{b \times c}$$

Az esélyhányados a relatív kockázat viszonylag jó megközelítését adja, különösen, ha a betegség incidenciája az átlag lakosság körében 5%-nál kisebb, és ha a kontrollcsoport expozíció szempontjából reprezentatív mintája az átlag lakosságnak.

Az esélyhányados értelmezése:

Az esélyhányados az expozíció és a kimenetel közötti kapcsolat mérőszáma. Azt mutatja meg, hogy az expozíciónak kitett csoportban mekkora az esélye annak, hogy a kimenetel bekövetkezik, összehasonlítva a nem exponált csoportban bekövetkező kimenetel esélyével. Az 1 érték azt jelenti, hogy nincs összefüggés, míg az 1-nél nagyobb érték pozitív összefüggést jelez (az expozíció növeli a kimenetel esélyét), az 1-nél kisebb érték pedig negatív összefüggést jelez (az expozíció csökkenti a kimenetel esélyét).

Az esélyhányados és a relatív kockázat számításakor meg kell adni a **konfidencia intervallumot** (CI, megbízhatósági tartomány) is annak megválaszolásához, hogy ez a megállapítás szignifikáns-e. A konfidenciaintervallum megadja azt a várható tartományt, ameddig a valós esélyhányados a populációra vonatkozóan várhatóan ki fog terjedni. Ha egy kisebb minta alapján becsüljük meg egy kimenet esélyét az exponáltak között a nem exponáltakhoz/általános népességhez képest, a népesség valódi esélyhányadosa eltérhet a nagyobb mintában talált esélyhányadostól. A konfidencia intervallum kiszámításához meg kell adni a **szignifikancia szintet**. A 0,05-ös valószínűség azt jelenti, hogy a konfidencia intervallum 95% a teljes populáció valódi esélyhányadosának tartományán belül van. Az orvosi szakirodalomban hagyományosan 95%-os konfidenciaintervallumot választanak (de más konfidenciaintervallumok is használhatók). Ha a konfidencia intervallum túl széles, arra utal, hogy túl kevés mintaszám alapján számoltuk az esélyhányadost. Ha az intervallum tartalmazza az 1-es értéket, az eredmény nem tekinthető szignifikánsnak, a véletlen szerepe nem zárható ki.

Az esélyhányados konfidencia intervalluma az alábbi képlettel számítható ki:

$$95\% CI = e^{\ln(OR) \pm 1,96 \sqrt{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}}}$$

ahol: **ln(OR)** az esélyhányados természetes (e alapú) logaritmus,
'e' a természetes logaritmus alapja,
1,96 pedig a 95%-os valószínűséghez tartozó z érték.

Fontos megjegyezni, hogy mind a relatív kockázat, mind az esélyhányados statisztikai összefüggés kimutatására alkalmas, ami nem jelent feltétlenül ok-okozati összefüggést.

A relatív kockázat és az esély-hányados az expozíció és az egészségkárosodások közötti összefüggések leggyakrabban használt mérőszámai.

Egy további, a környezet-egészségügyi gyakorlat szempontjából fontos mutató az expozíciónak kitett személyek és az expozíciótól mentes személyek kockázatának a *különbsége, a járulékos kockázat* (attributable risk, $AR = I_E - I_K$), amely arról tájékoztat, hogy az adott expozíciónak kitett populációban mennyivel nagyobb a vizsgált betegség előfordulásának kockázata (gyakorisága), mint az expozíciótól mentes populációban.

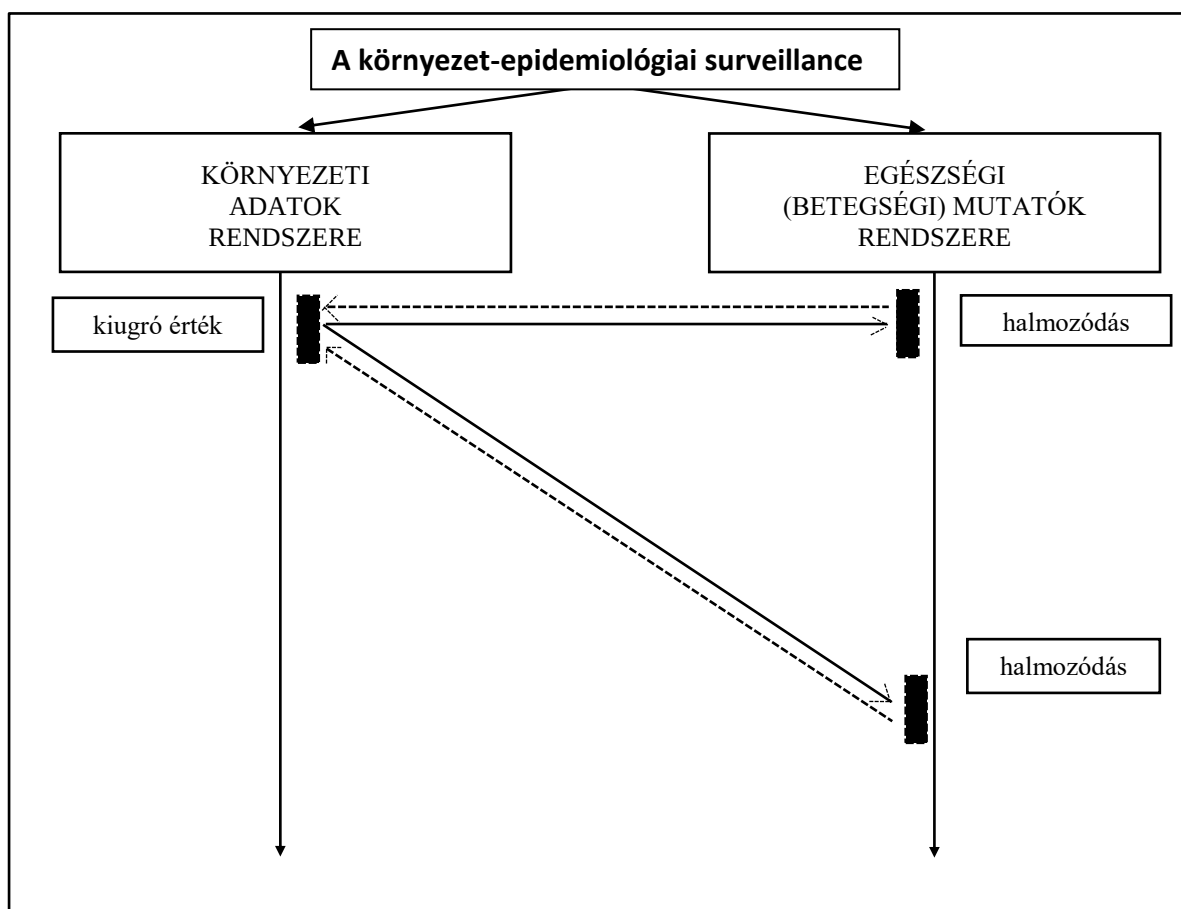
KÖRNYEZET-EPIDEMIOLÓGIAI SURVEILLANCE

Dr. Rudnai Péter, Dr. Páldy Anna, Málnási Tibor

Az *epidemiológiai surveillance* (felügyelet) a CDC (Centers for Disease Control, az USA Betegségellenőrző Központja) 1986-os megfogalmazása szerint „azoknak az egészségügyi adatoknak a folyamatos, rendszeres gyűjtése, analízise és értelmezése, amelyek a közegészségügyi tevékenység tervezéséhez, megvalósításához és értékeléséhez szükségesek. Szorosan kapcsolódik ehhez az említett információk eljuttatása is azokhoz a személyekhez, akiknek a megfelelő intézkedések érdekében ismerniük kell az adatokat. A surveillance utolsó fázisa az adatok felhasználása a megelőzés érdekében.”

A surveillance kifejezésen 1950-ig egyértelműen a fertőző betegre vonatkozó „járványügyi felügyeletet” értették. A fertőző betegségek visszaszorítása nyomán kerültek a nemfertőző betegségek az érdeklődés előterébe. Ennek megfelelően értékelődtek át a kifejezések is. A WHO 1968. évi Közgyűlése már a hangsúlyt a beteg helyett a betegségre és a fertőző betegségeken kívüli egyéb közegészségügyi problémákra helyezi.

Ezt követően a surveillance értelmezése kibővült: használták például a gyermekkori ólommérgezésekkel, a leukémiával, a veleszületett fejlődési rendellenességekkel, spontán abortusszal és balesetekkel kapcsolatban is.



65. ábra A környezet-epidemiológiai surveillance

A *környezet-epidemiológiai surveillance* két monitor rendszerre: a környezeti adatok és az egészségi (vagyis inkább a betegségi) mutatók szisztematikusan rögzített és gyűjtött adatainak rendszerére épül (65. ábra). Célja a monitorozott adatok egybevetése során észlelt változások megfigyelése, értelmezése és az egészség védelme érdekében történő intézkedések meghatározása és javaslata a döntéshozók számára.

Két releváns monitorozott rendszer esetén akár a környezeti adatokban fordul elő kiugró érték, akár az egészségi mutatók között találunk váratlan halmozódást- a közöttük levő kapcsolat révén, hosszabb-rövidebb idő elmúltával megfigyelhetjük az első rendszerben észlelt elváltozások következményeit, illetve előzményeit a másik rendszerben.

A környezet-epidemiológiai surveillance feladatai

- a *szokásos* környezeti koncentrációk, illetve a betegségek *várható gyakoriságának* megismerése,
- a szennyezettségi *csúcsok*, illetve a betegség *halmozódások* felismerése,
- a környezeti adatok és az egészségi állapot paraméterei közötti idő és *térbeli kapcsolatok* felderítése (nem feltétlenül ok-okozati kapcsolatok!),
- alapot ad *hipotézisek* felállításához,
- meggyorsítja a *beavatkozás* lehetőségét.

Felhasználása:

- a lakosság egészségi *állapotának nyomon követése*, a változások észlelése – a gyors beavatkozás érdekében,
- *célzott epidemiológiai vizsgálatok* megalapozása,
- *veszélyeztetett populációk* meghatározása,
- *veszélyeztetett területek* felismerése,
- az egyes település/rész/ek morbiditási *tendenciáiban* fellelhető sajátosságok megfigyelése és a környezeti tendenciákkal történő összevetése,
- környezet-egészségügyi *hatásvizsgálatok* bázis adataiként és a változás becsléséhez és értékeléséhez,
- a környezetszennyezés okozta egészségkárosodások *gazdasági következményeinek* értékeléséhez.

Évek óta jelentős nemzetközi (WHO) és hazai erőfeszítések történnek a különféle környezeti, illetve egészségi mutatókat használó indikátor rendszerek kidolgozása és alkalmazása területén, amelyek az említett környezet-epidemiológiai surveillance céljaira is nagyon jól felhasználhatóak lesznek.

A gyakorlati hasznosítás szempontjából azonban hangsúlyozni kell, hogy a surveillance azzal lép túl a monitorozáson, hogy a rendszeresen gyűjtött adatokat értékeli és továbbítja azok felé, akiknek – szükség esetén – módjukban áll beavatkozni. Így még az előtt is lehet preventív célú beavatkozást tenni és ez által egészséget és életet menteni, mielőtt még a környezeti ártalom és az egészségi állapot romlása közötti összefüggést tudományos kutatási eredmények is alátámasztanák. (A beavatkozás nyomán javuló helyzet mindenesetre erősíti az ok-okozati összefüggések valószínűségét.

Ennek ellenére – mint említettük – a környezet-epidemiológiai surveillance-nak nem célja az ok-okozati összefüggések bizonyítása, legfeljebb egy hipotézis megalapozása).

Környezetepidemiológiai surveillance típusok

Valós idejű (real time) halálozási monitoring rendszer

Az EuroMOMO (European Mortality Monitoring: Európai Halálozási Monitor program (www.euromomo.eu) azzal a céllal lett kialakítva, hogy detektálja és mérje a szezonális influenzával, pandémiákkal és más környezeti expozíciókkal (pl. hőhullámok) összefüggő heti többlethalálozást. Jelenleg 23 európai ország küldi el hetente hivatalos halálozási statisztikai adatait a hálózat központjába, a koppenhágai Állami Szérum Intézetbe. A projektet eredetileg az EC DG Sanco támogatta (2008-2011.), 2016-tól az Európai Járványügyi Megelőzési és Felügyeleti Központ (ECDC) és a WHO támogatja a hálózat működését.

A három éves projekt keretében kifejlesztették a valós idejű halálozási monitoring módszertanát, amihez először is felmérték az egyes országokban működő halálozási monitoring rendszereket, kialakították a közös rendszer működtetésének minimum feltételeit. Nagyon fontos volt a retrospektív halálozási adatgyűjtés és az adatok elemzése, a halálozás dinamikájának, trendjeinek feltárása a különböző országokban. Az adatokat többféle statisztikai módszerrel elemezték (regresszió, idősor analízisek), hogy meghatározzák, milyen mértékben befolyásolják a halálozást az egyes események (pl. influenzajárvány, hőhullám). Kidolgozták azt a statisztikai eljárást, elemző szoftvert, amelyet a központ, illetve a hálózatban résztvevő országok is használnak. Már a 2009/2010-es influenza (H1N1) világjárvány idején működött a monitoring rendszer, ami segítette a járványfolyamat hatásának feltárását, az ország specifikus influenza-járványok idején bekövetkező halálozások elemzését.

A monitoring rendszer elvi alapja az a tény, hogy a halálozás tekinthető az egészségi állapot egyik alapvető indikátorának. Amellett, hogy elismerjük az alapvető egészségügyi statisztikák fontosságát, az is meg kell állapítani, hogy az egészségügyi veszélyhelyzetekben ezek általában nem szolgáltatnak naprakész adatokat. Ezekben a helyzetekben a döntéshozóknak olyan adatokra van szüksége, amelyek alapján meg lehet becsülni a probléma súlyosságát és megfelelő népegészségügyi döntéseket lehet hozni. Előnye az EuroMOMO rendszernek, hogy Európa több országának bejövő adatait elemzi, így a járványok hatását és kiterjedését országok közötti összehasonlításban is lehet vizsgálni. További előny, hogy korcsoportos vizsgálatokat is lehetővé tesz, valamint az összesített adatfeldolgozás megnöveli az elemzések statisztikai erejét.

Az EuroMOMO adatbázisa és módszertana

A halálozás folyamatos monitorozása összetett, magas szintű statisztikai tudást igényel. Az egységes módszer használata kiküszöböli azt a potenciális veszélyt, ami a különböző módszerek használatából eredő, nem összevethető eredmények interpretálásából következik.

Az EuroMOMO hálózat a következő adatokat használja és elemzi:

- A résztvevő országok a koppenhágai központba hetente megküldik a hivatalos, minőségellenőrzött heti aggregált halálozási adatbázist - összes halálozás nemi és korcsoportos bontásban (a hazai adatszolgáltató a Belügyminisztérium Nyilvántartások Vezetéséért Felelős Helyettes Államtitkárság Személyes Ügyfélszolgálati és Okmányügyi Főosztály Ügyeleti Ügyfélszolgálati és Támogató Osztálya, az adatbázist előkészíti, hazai szinten értékeli a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ).
- A heti jelentési késések (halál napja és a regisztráció napja közötti eltérés) elemzése összes halálozás, továbbá nemi és korcsoportos bontásban.
- A várt heti halálozás (napár alapú) és a heti adatok összevetése országos szinten nemi és korcsoportos bontásban.
- A megállapított heti többlethalálozás jelentése országonként, összesítve és korcsoportonként.
- Az európai halálozási mintázat összevetése az influenza vagy más járványaktivitással és klimatikus paraméterekkel (pl. hőmérséklet).

A statisztikai feldolgozás során szórásra (diszperzióra) korrigált általános lineáris Poisson-regressziós modellt (glm) alkalmaznak. A modellt valós történelmi, maximum 5 éves megelőző periódusra illesztik, amelyből kizárják a késedelmes regisztráció miatti periódust, továbbá a nagyobb járványok időszakait (pl. 2009-es H1N1 pandémia). Az algoritmus segítségével meghatározható a heti megfigyelt, várt és többlethalálozás összesítve és korcsoportonként, az alaphalálozás standard deviációja (Z-score), korrigálható a késedelmes jelentésből fakadó adathiány. A standardizált indikátorok lehetővé teszik a különböző csoportok összehasonlítását. Egy adott időszakra ki lehet számolni a kumulatív többlethalálozást is. Visszamenőlegesen újra lehet futtatni az elemzést a regisztrációs késés korrekciójának tesztelésére és múltbeli események detektálására. A heti jelentések mellett az EuroMOMO hálózat keretében az elmúlt években rendszeresen vizsgálták a nagyobb méretű szezonális influenzajárványok miatti többlethalálozást is.

Tüneti felügyeleti rendszer

Az 1990-es évek végén a bioterrorista akciók fenyegetéseire és kihívásaira válaszul felmerült az egészségügyi események valós idejű felügyeletének gondolata. Később ezek a rendszerek nemcsak a korai figyelmeztetések és riasztások biztosítására összpontosítottak, hanem a fertőző betegségek felügyelete mellett a környezeti expozíció és az egészségügyi kimenetel összefüggésének értékelésére is.

A tüneti felügyeleti rendszer az egészséggel kapcsolatos adatokat „valós időben” gyűjti, elemzi, értékeli, ami lehetővé teszi a hatékony közegészségügyi fellépést igénylő potenciális humán vagy állat-egészségügyi, közegészségügyi veszélyek hatásának (vagy hatása hiányának) korai felismerését.

A tüneti felügyeleti rendszer lényege, hogy nem laboratóriumban megerősített betegség diagnózisokon alapul, hanem nemspecifikus klinikai tüneteken és az egészségi állapotot jelző helyettesítő intézkedéseken (pl. hiányzások, gyógyszereladások), amelyek egy ideiglenes diagnózist (vagy „szindrómát”) alkotnak. Ugyanakkor számos rendszer gyűjt sürgősségi ellátási, kórházi felvételi adatokat különböző betegségek miatt, olyan kódolt diagnózissal, amelyet speciális diagnosztikai módszerekkel még nem erősítettek meg.

A tüneti felügyeleti rendszer rutin eljárással gyűjtött adatokat dolgoz fel, így az adatszolgáltatás nem jelent külön terhet a szolgáltatókra. A megfelelően feldolgozott adatok viszont nagyon hatékonyan felhasználhatók a következő célokra:

- Felderítés: ismeretlen, váratlan vagy újonnan megjelenő közegészségügyi fenyegetés észlelése.
- Korai figyelmeztetés: egy várható esemény (pl. egy szezonális esemény, mint az influenza) kezdetének észlelésére.
- Helyzetfelismerés: egy azonosított közegészségügyi veszély hatásának számszerűsítése és nyomon követése (pl. egy hőhullám hatásának nagysága és az érintett populáció összetétele).
- Megnyugtató: egy ismert veszély közegészségügyi hatása hiányának bizonyítása – például a 2012-es londoni olimpia és paralimbia alatt nem történt váratlan esemény).

A WHO Guidance on Research Methods for Health Emergency and Disaster Risk Management⁴⁷ 4.9 fejezetében részletes ajánlást tett közzé (Real-time Syndromic Surveillance).

Kiemeli a rendszer előnyeit és korlátait, hangsúlyozva, hogy a tüneti felügyelet általában nem követi nyomon a laboratóriumban megerősített jelentéseket. Bár a laboratóriumi megerősítés hiánya (és ezért a közvetlen kapcsolat hiánya a kórokozóval) hátrányt jelent, mivel korlátozza a jelentések specifikusságát (különösen a fertőző betegségekkel kapcsolatos betegségekre vonatkozóan), ugyanakkor előny is, mivel a rendszerek rugalmassága nagyobb érzékenységet tesz lehetővé az összegyűjtött adatok széles köre és a rendelkezésre álló információk mennyisége miatt. A tüneti felügyeleti rendszerek rugalmassága lehetővé teszi, hogy a legkülönbözőbb közegészségügyi eseményekre reagáljanak, a fertőző betegségektől kezdve a környezeti eseményeken, a tömeges események veszélyei, a terrorizmus, a természeti katasztrófákból való helyreállítás, a természeti katasztrófák okozta következmények vagy a védőoltások hatásának vizsgálásáig.

Egyetlen szindróma több különböző közegészségügyi kérdésben is releváns lehet. Például egy újonnan megjelenő légúti kórokozó nem biztos, hogy a meglévő laboratóriumi vizsgálatokkal kimutatható, de a megnövekedett esetszám vagy a betegség súlyosságának növekedése az egészségügyi ellátórendszerben a tünetekkel jelentkező betegeknél gyorsan azonosítható.

A tüneti alapú felügyeleti rendszerek előnye az is, hogy szélesebb körű, egész régiókra vagy az egész országra kiterjedő lakossági felügyeletet biztosítanak a betegellátás különböző szintjein; képet nyújtva a betegség súlyossági szintjéről a közösségen belül.

⁴⁷ <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345591>

A laboratóriumi alapú felügyeleti rendszer ezzel szemben korlátozott, mivel csak a vizsgálatra kiválasztott mintán alapul, ami gyakran az adott betegségben szenvedő, esetenként súlyosabb, kórházi ápolást igénylő betegektől származik. Ennek alapján a laboratóriumi felügyelet ezért a megbetegedetteknek csak töredékét követi nyomon, a betegség teljes terhének csak egy részéről ad képet.

Noha alapvető különbségek vannak a tüneti és a laboratóriumi alapú felügyelet között, a WHO ajánlja, hogy a két rendszer szinergikusan működjön együtt, kiegészítve egymást. Laboratóriumi felügyelet nélkül nehéz meghatározni a szezonális tendenciákat kiváltó kórokozókat; másrészt tüneti adatok tüneti felügyeleti rendszere nélkül nehéz reprezentatív, közösségi alapú betegségterhet becsülni. A tüneti alapú megfigyeléshez szükséges információgyűjtés általában automatizált, az adatok elektronikus továbbítását is automatizálni kell az egészségügyi szolgáltatóknak, a közegészségügyi szervezetekhez. A feldolgozás modern epidemiológiai módszerekkel történik, automatizálható. Ezen a rendszeren alapulva ad ki heti jelentéseket (pl. Emergency Department Syndromic Surveillance System Bulletin England 2023 Week 9⁴⁸).

A környezet-epidemiológiai surveillance gyakorlati alkalmazásának egy példája a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központban kialakított rendszer, amellyel a korábbi heti légúti jelentést egészítették ki. A COVID-19 világjárvány kitörését követően környezeti surveillance-t fejlesztettek ki, amelyben Magyarország teljes területéről a legjelentősebb szennyvíztisztítókból vett szennyvíz mintákból a SARS-CoV-2 koronavírus örökítőanyagának koncentrációját vizsgálják, ami hasznos információt szolgáltat a járvány alakulásáról. A szennyvíz-epidemiológiai vizsgálatok előnye, hogy jelentős számú népességre vonatkozóan gyűjthetünk adatokat a lakosság megzavarása nélkül és a nagy lakosságszámhoz viszonyítva kis anyagi és szakember igényvel. Az adatokat összevetették az Országos Mentőszolgálat mentőhívási adatai alapján létrehozott tüneti felügyeleti rendszer adataival, amelyek az igazoltan COVID-19 fertőzöttek, illetve a COVID-19 megbetegedés gyanúját mutató eseteket összesítik. A kétféle surveillance rendszer adatai jelentős mértékű korrelációt mutatnak. A szennyvíz surveillance adatok változása általában 1-2 héttel megelőzi a mentőhívás esetszámokban bekövetkezett változást, így az esetszámok becslésére, előrejelzésére használható. A módszertant később kiterjesztették az influenzavírus örökítőanyagának és az influenzaszerű megbetegedések miatti mentőhívásoknak az elemzésére, bemutatására.

⁴⁸ https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1141005/UKHSA_EDSSSBulletin2023wk09.pdf

KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIAI VIZSGÁLATOK TERVEZÉSE

Dr. Rudnai Péter

Az epidemiológiai vizsgálatok alapvető feltétele a tervezés stádiumában elkészítendő *protokoll*, amely leírja a vizsgálat célját, a vizsgálati elrendezést (típust), a forrás-populációt és a tervezett elemzést az adminisztratív kérdésekkel, lehetséges problémákkal együtt.

A protokoll elsődleges célkitűzései:

- igazolni a tanulmány jogosságát – azaz, jelenlegi ismereteink alapján miért szükséges lefolytatni a vizsgálatot,
- bemutatni a leírt hipotézis tesztelésére előirányzott eljárások megfelelő voltát,
- bemutatni a vizsgálat véghezvitelének javasolt módon való alkalmasságát – azaz, hogy a vizsgálatot a meghatározott idő alatt és a rendelkezésre álló forrásokból sikeresen be lehet fejezni,
- bemutatni, hogy a vizsgáló(k) rendelkezik(-nek) a javasolt vizsgálat lebonyolításához szükséges képességekkel és tapasztalattal.

A protokoll három fő célt szolgál:

- amikor a projektumot etikai szempontok szerint elemzik,
- amikor az anyagi támogatást gondolják át, például a kutatási tanácsban,
- amikor a vizsgálatot végzik, és a személyzet vagy az együttműködő számára szolgál dokumentumként.

A protokoll lényeges részei:

- háttér és célkitűzések – válogatott irodalmi áttekintés,
- közelebbről meghatározott célkitűzése – konceptuális hipotézis(ek),
- vizsgálati elrendezés kiválasztása (pl. eset-kontroll, kohorsz),
- a vizsgált személyek kiválasztásának kritériumai – forráspopuláció,
- megfelelőségi kritériumok és kiválasztási eljárások,
- a minta szükséges mérete,
- űrlapok és adatkezelés,
- kimenetel(ek) és kulcsváltozók definiálása,
- a vizsgálat előrehaladásának monitorozása,
- a protokolltól való eltérések, várható problémák és behatárolások,
- statisztikai elemzési tervek,
- etika, humán vizsgálati jóváhagyás és kísérő dokumentáció,
- részvételre való kérelem, részvételi nyilatkozat stb.,
- adminisztratív kötelezettségek: határidők, költségvetés, más felekkel való együttműködés,
- kulcsreferenciák,
- függelékek: eszközök, űrlapok, táblázatok, ábrák.

A környezet-epidemiológiai vizsgálatok tervezésekor a vizsgálat célja és a rendelkezésre álló anyagi és személyi feltételek alapvetően meghatározzák a választandó *vizsgálati típust* (vizsgálati elrendezést). Az epidemiológiai vizsgálatok leggyakoribb típusait, azok jellemzőit, előnyeit és hátrányait az XX. táblázatban foglaltuk össze.

XX. táblázat Egyes epidemiológiai vizsgálati típusok jellemzői

Vizsgálat típus	Lényege	Előnyei	Hátrányai
LEÍRÓ (Deskriptív) (Ökológiai)	A rendelkezésre álló halálozási vagy betegségi adatok alapján jellemezzük a lakosság vagy egyes népesség- csoportok egészségi állapotát.	– olcsó, – időbeli trendek és, – területi különbségek kifejezésével segít a hipotézis felállításában.	Nehéz megállapítani: – az ok-okozati összefüggést, – az expozíció hatását, – az egyéb tényezők hatását.
KERESZTMETSZETI (Cross-sectional) (Prevalencia vizsgálat)	Az expozíciót és a hatást azonos időpontban mérjük. Időnként megismételt vizsgálatokkal kombinálva alkalmas a népességben megfigyelhető trendek összehasonlítására. Lényegében egy kohorsz vizsgálat első fázisa.	Gyors, könnyen kivitelezhető. Különösen alkalmas: – szubklinikai vagy – quantitative mérhető reakciók, – viszonylag gyakori krónikus, betegségek vizsgálatára. Hasznos aetiológiai hipotézis felállításához.	Nem tesz lehetővé ok-okozati kapcsolatra vonatkozó következtetést. Előfordulhat, hogy a prevalens esetek nem reprezentálják az egész betegpopulációt. Nehéz az expozíció és a hatás közötti időbeli kapcsolat igazolása.
KOHORSZ	Exponált és nem-exponált egyéneket követünk egy bizonyos időn keresztül. A vizsgálat a feltételezett ok felől halad a hatás felé. Az adatokat prospektíven (időben előre felé) vagy retrospektíven (vissza- menőlegesen) gyűjtjük.	– ritka expozíció hatásának, – több tényező hatásának megfigyelésére kiváló. Az adatgyűjtés során a quality control megvalósítható. Incidencia és relatív kockázat (RR) meghatározható. Az expozíciótól a betegségig terjedő egész folyamat követhető.	Hosszú követési idő. Költséges. Nagyszámú vizsgálandó egyént kell bevonni. Lemorzsolódás, követési veszteség. Az expozícióban vagy az életmódban időközben beálló változások a hatást irrelevánssá vagy nehezen interpretálhatóvá tehetik.
ESET-KONTROLL	Betegeket és kontroll egyéneket hasonlítunk össze a feltételezett expozíció szempontjából. A hatástól kiindulva közelítjük meg az okot. Az expozíciós adatokat retrospektíve gyűjtjük.	Ritka és hosszú latencia idejű betegségek tanulmányozására kiváló. Viszonylag gyors és olcsó. Viszonylag kis esetszám elég. Meglévő adatokat is fel lehet használni. Többszörös oki tényezők vizsgálatára is jó.	Expozíciós adatok hiányozhatnak vagy nem megbízhatóak. Megfelelő kontrollok kiválasztása nehéz. Egyéb, távolieső változókra vonatkozó információk elégtelenek lehetnek. Incidencia nem állapítható meg.

A „tényező-orientált” epidemiológiai vizsgálatok nagy része az ún. **ökológiai** típusba sorolható, amikor is a lakosság expozícióját nem egyénenként határozzuk meg, hanem a valamely környezeti közegben (pl. levegőben) mért koncentráció alapján becsüljük az egész érintett népesség expozícióját, és az egészségi állapotot is az egész érintett populációra vonatkozó összesített (aggregált) adatokkal jellemezzük.

Ennek az eljárásnak az előnye, hogy a megfelelő adatok gyakran könnyen hozzáférhetők a rutinszerűen készített statisztikákból. Ezért rendszerint kevésbé költséges és kevesebb ráfordítást igényel, mint azok a vizsgálatok, amelyekben az adatokat külön erre a célra kell gyűjteni. Ez a magyarázata annak, hogy egy-egy részletesebb, célzott környezet-epidemiológiai vizsgálat előtt, a hipotézis felvetés megalapozására gyakran használjuk ezt a vizsgálati eljárást.

Ha akár az expozíciós, akár az egészségi oldalon személyenkénti elemzésre kerül sor, akkor szemi-ökológiai vizsgálatról beszélünk, amely ugyan már valamivel közelebb visz az ok-okozati összefüggések megismerésében, mint az egyszerű ökológiai vizsgálat, de lényegét tekintve az is főként valamely hipotézis felvetésére alkalmas.

„Tényező-orientált” epidemiológiai vizsgálatokhoz választhatunk egyéb (pl. kohorsz vagy keresztmetszeti) vizsgálati típusokat is, amennyiben a szükséges feltételek biztosíthatók.

A **kohorsz** vizsgálatokban az ismert vagy feltételezett veszélynek (expozíciónak) kitett egyéneket követjük egy bizonyos ideig. Betegségeik gyakoriságát, halálozásukat vagy a fiziológiai paramétereikben megfigyelhető változásokat hasonlítjuk a nem exponált vagy csak kisebb mértékben exponált kontroll csoport értékeihez.

A kohorsz módszer fő ereje abban áll, hogy az expozícióra vonatkozó információ általában elég jó. Ez ugyanis a vizsgálat kiindulópontja. De a vizsgálat elején gyűjtött információnak ki kell terjednie a választott követési módszerhez szükséges valamennyi részletre (teljes név, születési idő, nem, lakcím, TAJ szám stb.) is.

Fontos, hogy az exponált kohorsz egészségi állapotára vonatkozó információ forrása hasonló legyen a kontroll populációéhoz. Ellenkező esetben torzulás jöhet létre. Ha például az exponált kohorsz csoportban a tüdőrák diagnózisát csak akkor fogadjuk el, ha azt a szövettani diagnózis is megerősíti, míg a kontroll csoportban a tüdőrák gyakoriságot a halotti bizonyítványok alapján állapítjuk meg, függetlenül attól, hogy a szövettani vizsgálat megerősítette-e a feltételezett diagnózist, akkor az expozíció hatását alábecsülhetjük.

A **keresztmetszeti** vizsgálatok során a kiválasztott személyek expozíciójára és egészségi állapotára egy adott időpontban jellemző információkat gyűjtjük. Ez a típus leginkább az akut egészségkárosodások, valamint a szűrővizsgálatokkal kimutatható funkcionális elváltozások összefüggéseinek vizsgálatára használható.

A keresztmetszeti vizsgálatokban óvatosan kell értékelni az expozíció és a betegség közötti összefüggéseket, mert gyakran nehéz eldönteni, hogy mi az ok, és mi a hatás. Ugyancsak torzítást okozhat, ha az expozíció alatt álló vagy attól mentes megbetegedett egyéneket kórtörténetük alapján választjuk ki. Azok a személyek például, akik érzékenyek valamely légúti allergén iránt, igyekeznek elkerülni az expozícióval járó körülményeket.

Ily módon alábecsülhetjük az expozíció és a betegség közötti kapcsolatot.

A „betegség szempontú” környezet-epidemiológiai vizsgálatok során többnyire vagy az *ökológiai* vagy az *eset-kontroll* elrendezést választjuk.

Annak a hipotézisnek a felvetésére, hogy valamely betegségnek egy adott területen a vártnál gyakoribb előfordulása valamilyen környezeti tényezővel állhat összefüggésben, egy leíró (deskriptív) jellegű ökológiai vizsgálat kiválóan alkalmas. A hipotézis bizonyításához azonban már egy sokkal részletesebb, kifejezetten erre a célra tervezett vizsgálat szükséges. Viszonylagos olcsóságuk és gyorsaságuk miatt az eset-kontroll vizsgálatok a legkedveltebbek.

Az **eset-kontroll** (case-control) vizsgálatokban valamely betegségben megbetegedett egyéneket választjuk ki esetként, és korábbi ismert vagy feltételezett expozíciójukat hasonlítjuk az adott betegségben nem szenvedő kontrollok expozíciójához.

A vizsgálati típus megválasztásánál az expozíció *időtartama* is meghatározó tényező lehet. Egy rövid ideig tartó környezeti expozíciónak (pl. egy vegyi üzem akcidentálisan megemelkedett emissziójának) a lakosság egészségére gyakorolt hatását egy keresztmetszeti vizsgálat segíthet felderíteni, amely természetesen folytatódhat egy kiválasztott minta prospektív (időben előre felé haladó) kohorsz vizsgálatával vagy egy bizonyos idő után megismételt keresztmetszeti vizsgálattal.

Egy adott területen hosszú időn keresztül ható expozíció egészségre gyakorolt hatása retrospektív (időben visszafelé haladó) vizsgálattal is értékelhető, amelyet keresztmetszeti vagy prospektív vizsgálat hasonlóképpen kiegészíthet.

KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIAI VIZSGÁLATOK ÉRTÉKE- LÉSI, ETIKAI ÉS MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI SZEMPONTJAI

Dr. Rudnai Péter

Az epidemiológiai vizsgálatok célja – leegyszerűsítve – meghatározott expozíciók és az egészségi állapot bizonyos jellemzői közötti összefüggések felderítése. Az összefüggések ereje, az ok-okozati összefüggés bizonyosságának foka úgy értékelhető, ha a vizsgálat egyes elemeit kritikusan elemezzük.

Értékelési szempontok

- *Vizsgálati elrendezés (típus):* A legnagyobb bizonyító erővel a kohorsz vizsgálatok rendelkeznek, majd az eset-kontroll vizsgálatok következnek. A keresztmetszeti és főleg az ökológiai (deskriptív) vizsgálatok eredményei az ok-okozati összefüggések feltárása szempontjából csak korlátozott mértékben használhatók.
- *Az expozíció megállapításának módja és validitása (hitelessége):* Legjobb az expozíció direkt mérése, ennek hiányában közvetett, mért értékek alapján végzett becslést, vagy sorrendiség megállapításához vezető számított becslést használhatunk. Fontos annak figyelembe vétele is, hogy az expozíció megállapításához használt mérés milyen mértékben méri valóban azt, amit mérni akarunk.
- *A vizsgált egészségi elváltozás megállapítása:* Milyen kritériumok alapján állapítjuk meg az elváltozás meglétét vagy hiányát (pl. szövettani vagy citológiai vizsgálat, klinikai diagnózis, egyes tünetekről szóló beszámoló stb.)? Az e célra alkalmazott módszer **érzékenysége** (szenzitivitása) annak valószínűségét jelenti, hogy a valódi betegek hány százalékát képes a módszer azonosítani. A módszer **fajlagossága** (specificitása) pedig arról ad felvilágosítást, hogy mekkora a valószínűsége annak, hogy az alkalmazott módszer a nem beteg személyeket valóban negatívként azonosítja.
- *Az összefüggés statisztikai ereje:* Mekkora a relatív kockázat (RR): és mennyire pontos a kockázat becslése? A relatív kockázat értéke a hozzá tartozó 95%-os megbízhatósági tartomány (konfidencia intervallum, C.I.) értékeivel együtt értékelendő. Ha a 95% C.I. alsó és felső értékének hányadosa 0,5-nél nagyobb, akkor a kockázat becslése igen jó. Ha ez a hányados 0,25-nél kisebb, akkor a becslés pontossága kevésbé jó. (Figyelembe kell azonban venni, hogy a becslés pontossága függ az esetek számától és a specificitás növekedésével is csökken).
- *Dózis-válasz összefüggés:* Ha az expozíció növekedésével nő a vizsgált elváltozások gyakorisága, akkor az az oki kapcsolat valószínűségét erősíti.
- *Időbeli összefüggés:* Az expozíciónak meg kell előznie a vizsgált elváltozás fellépését.
- *Biológiailag valószínű vagy magyarázható?*
- *Összhangban áll más megfigyelésekkel* (mások megfigyeléseivel vagy állatkísérletes adatokkal)?
- *Milyen egyéb magyarázatok lehetségesek* a talált összefüggések értelmezésére? Például zavaró tényezők (confounderek) torzítás (bias).

A legtöbb valóságos szituációban előfordulnak olyan tényezők, amelyek torzítják az epidemiológusok által vizsgált összefüggéseket. Sőt, mi több, a kísérletező tudóssal szemben, az epidemiológus nem csak azt tudja, hogy vannak releváns, de nem vizsgált változók, amelyek jelentősen befolyásolják a vizsgált jelenséget, de többnyire azzal is tisztában van, hogy ezeket a változókat nem tudja mérésrel jellemezni.

A megfigyeléseket befolyásoló tényezők megértése segíti az epidemiológust abban, hogy a levonandó következtetés hibáit csökkentse, vagy legalábbis megállapítsa a hibák nagyságát és irányát. Az utóbbi feladat, amelyet néha *bizonytalansági analízisnek* neveznek, minden epidemiológiai vizsgálat döntő fontosságú része és jelentősen befolyásolja a vizsgálati eredmények gyakorlati alkalmazását.

A torzítás (bias) olyan szisztematikus tendenciát jelent, amely a vizsgált paraméter alul-, vagy túlértékelését eredményezi.

A vizsgált összefüggést torzító tényezők három – részben egymást fedő – csoportba sorolhatók:

- *mintavételi torzítás* (selection bias),
- *információs torzítás* (information bias),
- *zavarás* (confounding).

Mintavételi torzítás: Ha egy népességnek nem minden tagját vizsgáljuk, – miként ez a legtöbb epidemiológiai vizsgálatban történik –, és ha a vizsgált személyek mérési eredményei különböznek a teljes népességet jellemző értékektől, mintavételi torzítás fordul elő.

Egy expozíció és egy betegség közötti összefüggés vizsgálata során akkor jön létre mintavételi torzítás, ha a beteg és a nem beteg személyek vizsgálatban való részvételének valószínűsége nem azonos a különböző expozíciós fokozatokban.

A vizsgálatban résztvevő személyek önkéntes jelentkezése gyakran vezet mintavételi torzításhoz. Feltételezzük például, hogy keresztmetszeti vizsgálatot végzünk két városban: a súlyosan szennyezett Piskosvárosban (P-ben) és a normális környezeti viszonyokkal rendelkező Tisztahelyen (T városban), egy adott betegség előfordulási arányában található különbségek megállapítására.

Ha P-város lakossága fokozott mértékben tudatában van az egészségügyi veszélynek, valószínűleg inkább részt kívánnak venni a vizsgálatban, mint T város lakói. Ez különösképpen érvényes lehet P város azon lakóira, akik a vizsgált betegségben szenvednek: úgy foghatják fel a vizsgálatot, mint egy alkalmat arra, hogy egy alapos, a feltételezett ok szempontjából lényeges orvosi vizsgálatban vehetnek részt. Ily módon a P városban megfigyelt gyakoriság magasabb lehet a P városi betegek aránytalanul magas részvétele miatt. Az ilyen mintaválasztás a betegség és a szennyezettség közötti összefüggés valódi nagyságának túlértékeléséhez vezethet.

A keresztmetszeti vagy a kohorsz vizsgálatokban a mintavételi torzítás csökkenthető, ha a részvételi arány magas és a különböző betegségi és expozíciós szinteken hasonló. Ha a részvétel elutasításának valószínűsége olyan tényezővel van kapcsolatban, amely mind a betegséggel, mind az expozícióval összefüggésben van (pl. szociális helyzet), akkor rétegzett (sztratifikált) mintavétel jöhet számításba.

Minden vizsgálatban szükség van a vizsgálatból kimaradó személyek hozzáférhető jellemzőinek alapos analizisére, a lehetséges torzítás nagyságának és irányának megállapítására. Ha egy vizsgálat két részből áll, például az egyik egy kikérdezés, (általában a vizsgált személy otthonában), a másik egy klinikai vizsgálat (többnyire egy egészségügyi intézményben), a klinikai vizsgálatokon való megjelenési arány lényegesen alacsonyabb lehet, mint a kikérdezettek száma. Ebben az esetben a kérdőív adatai fontos információt szolgáltathatnak a klinikai vizsgálatban történő önkéntes részvétel által okozott esetleges torzítás értékeléséhez.

A mintavételi torzítás a vizsgált népesség típusától is függhet. Ez a helyzet a foglalkozási csoportok körében végzett vizsgálatoknál, amikor is az itt jelentkező torzítást gyakran „egészséges munkás effektus”-nak („Healthy Worker Effect”) nevezik. Bármely közösségben ugyanis a dolgozók általában egészségesebbek, mint az egyéb szempontból hasonló nem dolgozók, és aki megmarad munkájánál, egészségesebb, mint akik felhagynak munkájukkal. Ha azokat a környezeti expozíciókat vizsgáljuk, amelyek foglalkozásból eredően is igen gyakoriak, az „egészséges munkás effektus” torzíthatja az expozíció egészségre gyakorolt hatására vonatkozó következtetést. A legtöbb esetben a torzítás csökkenti a vizsgált összefüggés nagyságát (torzítás a 0 felé). A torzítás a legnyilvánvalóbb akkor, ha a dolgozó népesség egészségügyi állapotát hasonlítjuk az össznépessegre vonatkozó jelzőszámokkal például az országos adatokkal. Nyilvánvaló, hogy ilyen összehasonlítás nem tehető és a viszonyítási csoportnak ugyancsak egy foglalkozási csoportnak kell lennie, hasonló munkakörülményekkel, de a vizsgált faktor expozíciója nélkül.

Az „egészséges munkás effektust” csökkentő egyik módszer az lehet, ha valamennyi személyt, aki valaha is dolgozott, bevonunk a vizsgálatba és nem korlátozzuk a mintavételt a jelenleg dolgozó személyekre. Nem krónikus egészségügyi károsodások esetében azonban ez nem fogja teljesen kiküszöbölni a torzítást, mivel azok a tünetek, amelyek hozzájárulhattak a munkakörülmények megváltoztatását eredményező döntésekhez, az expozíció megszűnése után eltűnhetnek. Ebben az esetben az összefüggés megfelelő értékelése érdekében az epidemiológusnak vagy fel kell használnia a volt munkásokra vonatkozó alkalmazotti és az egészségügyi nyilvántartásokat vagy saját memóriájára kell hagyatkoznia. Ez információt jelenthet a munkahely változtatás okáról és a múltban jelentkező tünetek előfordulásáról.

Információs torzítás: Az epidemiológiai vizsgálatokban a következtetés levonása a vizsgálat során gyűjtött információkon alapszik. Mind az expozíció szintjének, mind a betegségek gyakoriságának meghatározása bizonyos hibával jár. A hibák különbözőképpen befolyásolhatják az eredményeket. Ha a hibák valamennyi expozíciós szinten és betegségnél hasonlóak, akkor a becsült paraméterek megbízhatósági határait (konfidencia intervallumait) és a vizsgálat pontosságát befolyásolhatják.

Olyan vizsgálatokban, amelyek az expozíciót vagy a betegségeket kategóriák szerint osztályozzák, ezeket a hibákat „nem differenciált félreosztályozásnak” nevezzük. Ha a tanulmányozott összefüggés gyenge, miként ez a környezet-epidemiológiában gyakran előfordul, az ilyen típusú félreosztályozás az összefüggés felhígulásához vezet és a hatás felismerhetetlenné válik. A megfelelő módszertani eljárással végzett mérések, a jó mérőeszközök és a jó laboratóriumi gyakorlat (GLP) segítségével csökkenthető a hibák és az ilyen típusú torzítás lehetősége.

Gyakran több különböző szakember (pszichológus, fiziológus, statisztikus) által végzett meghatározást kell értékelni. Ez a folyamat segíthet elkerülni a nehezen interpretálható adatok gyűjtését és jelentősen csökkentheti a vizsgálatra fordított erőfeszítéseket és költségeket.

Ha egy vizsgálatban az expozícióra vonatkozó információ pontossága az egészségi állapottól függ, (vagy az egészségi állapotra vonatkozó információ pontossága függ az expozíció szintjétől), információs torzítás vagy megkülönböztetési félreosztályozás (differential misclassification) fordulhat elő.

Példaként folytassuk a vizsgált levegőszennyezettség és az egészségi állapot közötti összefüggés értékelését P és T városokban. A lakossági vizsgálat mellett áttekintjük a szakorvosi rendelők és a körzeti orvosok kartonjait is mindkét városban, és összehasonlítjuk a légzőszervi betegségi esetek gyakoriságát. Ha a P városbeli orvosok egy nehézlégzéses beteg esetén inkább gondolnak – kiváltó okként – légzőszervi megbetegedésre (hiszen ők egy szennyezett városban arra számítanak, hogy a légzőszervi betegségek gyakran fordulnak elő), mint a T-beli orvosok (akik elsősorban szív- és érrendszeri betegségekre koncentrálnak), akkor megkülönböztetési félreosztályozás és információs torzítás fordul elő. Ez a torzítás felnagyítja a levegő szennyezettségének a légzőszervi betegségek gyakoriságára kifejtett hatását.

A diagnosztikai kritériumok pontos megfogalmazása (pontos eset meghatározás, case definition) segíthet a félreosztályozás valószínűségének csökkentésében. Ez azonban a meglévő orvosi dokumentáció használata esetén ritkán lehetséges. A torzítás nagysága a P és T városbeli orvosok azonos esettörténet csoportjainak vakon történő felülvizsgálatával becsülhető.

Az információs torzítás csökkenthető, ha az expozíciót vagy a hatást objektív módszerekkel mérjük. A dohányfüst expozíció meghatározását alapozhatjuk például a családtagok otthoni dohányzására vagy a munkahelyen lévő dohányosokra vonatkozó kérdésekre adott válaszokra is. De a becslés validitását lényegesen javíthatja, ha a vizelet kotinin szintjét is meghatározzuk. Az objektív mérések azonban drágák és nem is mindig végezhetők el.

Az epidemiológusok feladata annak megítélése, hogy a félreosztályozás milyen mértékben befolyásolja a vizsgált összefüggés meghatározását és hogyan befolyásolja az eredményt, ha az expozíció becslése során az egyszerűbb módszerekre támaszkodunk.

Néhány vizsgálatban lehetőség van arra, hogy az expozícióra vagy az egészségi állapotra vonatkozó információt két egymástól független információs forrásból szerezzük be.

Ez segíthet a lehetséges információs torzítás nagyságának értékelésében.

A kérdőíves vizsgálatoknál az információs torzítás jelentős mértékben csökkenthető, ha az eseteket és a kontrollokat vagy az exponált és a nem exponált személyeket azonos módon kérdezik ki. Elvileg a kérdezőnek nem lenne szabad ismernie, hogy az általa kérdezett személy az esetekhez vagy a kontrollokhoz, illetve az exponált vagy a nem exponált csoportba tartozik. A kikérdező személyeket véletlenszerűen kell kijelölni. A kikérdezés fontos velejárója, hogy a válaszoló rendszerint kedvező benyomást akar kelteni magáról. A torzítás csökkentése érdekében a kérdezőknek nem szabad semmilyen érzelmet kimutatni a feltett kérdéssel kapcsolatban.

Tapasztalat szerint a megkérdezett személyek gyakran olyan apró megnyilvánulásokat is észrevesznek, mint például a hanghordozás, testtartás, hangsúly, öltözködés, etnikai csoporttal való azonosulás és a kérdező általános megjelenése. Így áll elő az a paradoxon, hogy azok a kérdések, amelyek a kikérdezés szempontjából a legfontosabbak, úgy kell tűnjenek, mintha a legérdektelenebbek lennének.

A kikérdezők betanítása az információs torzítás csökkentésének fontos eszköze. A betanítás során hangszalagra felvett válaszokat használhatunk, ezt követően pedig egy hangszalagra felvett kikérdezést értékelhetünk az oktató segítségével. Egyes vizsgálatokban a kikérdezés hangszalag felvételét használják a kérdezett személy orientálódását elősegítő hanglejtés, tétovázás vagy a kérdező magyarázatainak megfigyelésére.

Minőségbiztosítási szempontból elvileg a kikérdezés megismétlése a legjobb megoldás, azonban a tapasztalat azt mutatja, hogy még azonos kérdőív és azonos kikérdező személy esetén sem mentes a megismételt kikérdezés a torzításoktól.

Zavaró tényezők (Confounderek): Zavaró tényezőről (confounder) akkor beszélünk, amikor egy – zavaró – tényező összefügg a tanulmányozott rizikófaktorral és attól függetlenül befolyásolja a betegség kialakulásának kockázatát is.

A zavaró tényezők tehát mindkét irányba hathatnak: vagy fokozzák a létező vagy létezni látszó (látszólagos) összefüggéseket, vagy csökkentik az expozíció hatásának nagyságát, néha oly mértékben is, hogy lehetetlenné teszik a létező hatás felismerését. Szélsőséges esetekben meg is fordíthatnak egy valódi összefüggést.

Egy faktor akkor lehet zavaró tényező, ha valamely állapot megjelenése szempontjából – akár ok-okozati, akár indirekt módon – prediktív (jósló) értékű és korrelál a vizsgált expozícióval, azonban nem lehet a vizsgált állapothoz vezető kórfolyamat valamely közbülső állomása.

Az adatok analízise során a zavaró tényezőket úgy lehet felismerni, hogy az analízist elvégezzük a zavaró tényező figyelembevételével, és anélkül. Ha az expozíció becsült hatása megváltozik a figyelembevétel után, akkor a vizsgált faktort zavaró tényezőnek tekinthetjük és torzítás nélküli becslés csak standardizálással érhető el.

A környezet-epidemiológiában a legfontosabb zavaró források a meteorológiai és az időjárási változók és ezek – előre ismert vagy ismeretlen – hatásai. Ilyenek például a téli szmog időszakok, amelyek alacsony hőmérséklet és csekély szélsébség esetén fordulnak elő, amikor is a levegőszennyezők kibocsátása az intenzív fűtés következtében nő és a szennyezettség tovaterjedése korlátozott.

Az akut légzőszervi betegségek gyakorisága ilyen időszakban pusztán az időjárási viszonyok hatására is fokozódhat. A levegőszennyezettség járulékos hatásának értékeléséhez ezt a zavaró tényezőt ki kell küszöbölni.

Az időszakos (napi, heti, szezonális, hosszú távú) változások ugyancsak gyakori forrásai lehetnek a zavaró tényezőknek és sokszor valamely figyelmen kívül hagyott zavaró tényező enyhe hatását tükrözik. Például egy orvosi rendelő heti forgalmában megfigyelt változások korrelálhatnak a levegőszennyező anyagok immissziós jellemzőinek heti változásaival.

A vizsgált környezeti tényezők különböző fokozatainak kitett lakossági csoportok eltérő megoszlását okozhatja az életkor és a dohányzás is. Az életkor számos biológiai rendszer érzékenységét meghatározza. Mind az aktív, mind a passzív dohányzás több betegség elismert kockázati faktora. Az aktív dohányosok légszennyezőanyag expozíciójának fő formáját és a velük egy helyiségben lévők expozíciójának fő forrását jelenti.

A zavaró tényezőt meg kell különböztetni a *hatást módosító* (effect modification) tényezőtől. Az utóbbiakkal akkor találkozunk, ha valamely expozíció hatása a módosító tényező különböző szintjén (fokozatában) más és más. Számos közlemény szerint például az azbeszt expozícióval összefüggő tüdőrák kockázata tízszer nagyobb a dohányzók, mint a nem dohányzók körében – a dohányzás által okozott fokozott kockázaton túlmenően.

Míg azonban a zavaró tényező torzít, és azt a vizsgálat megfelelő tervezésével meg kell előzni vagy az analízis során ki kell küszöbölni, addig a hatás módosítása a vizsgált hatás fontos jellemzője, és részletesen ki kell elemezni az expozíció és az egészségi állapot közötti oki kapcsolatot jobb megértése érdekében.

A zavaró tényező kiküszöbölésének vagy a hatás módosítás értékelésének leggyakoribb módszerei a rétegezett (sztratifikált, stratified) vagy az illesztett (matched) mintavétel és a zavaró vagy módosító tényező valamennyi szintjén (fokozatában) külön-külön végzett rétegezett (sztratifikált) analízis.

Ha az analízis során többváltozós módszereket alkalmazunk, az expozíció becsült hatása standardizálható a zavaró tényező szerint és így az expozíció és a hatás-módosító tényező közötti kölcsönhatás értékelhető. A zavaró tényezőt azonban csak olyan esetekben lehet ily módon kiküszöbölni, amikor a zavaró és a módosító tényezőket előre ismerjük, vagy legalábbis gondolunk rá, hogy fontosak lehetnek a vizsgált összefüggés szempontjából, és ennek megfelelően bekerülnek az adatgyűjtési folyamatba.

Ezért a lehetséges zavaró tényezők megfelelően széles skálájának kiválasztása, azok definiálása és mérése legalább olyan fontos, mint a környezeti expozíció meghatározása vagy az egészségi állapot vizsgálata.

Az ok-okozati összefüggések valószínűsége annál nagyobb lehet, minél több lehetséges befolyásoló vagy zavaró tényező (életkor, nem, foglalkozás, táplálkozási, dohányzási és alkoholfogyasztási szokások, szociális és kulturális környezet stb.) szerepét is vizsgáljuk az adott expozíció mellett.

Etikai szempontok

Az epidemiológiai vizsgálatok a 23/2002. (V. 9.) EüM. rendelet szerint emberen végzett orvostudományi kutatásnak minősülnek és ily módon etikai bizottsági engedély alapján végezhetők. A hivatkozott rendelet részletesen előírja az engedélyezéshez szükséges feltételeket és a benyújtandó dokumentációt, így ezekre e helyen nem térünk ki.

Az epidemiológiai vizsgálatok alapvető feltétele, hogy a vizsgálatba bevonandó személyek megfelelő információ birtokában önként beleegyezzenek részvételükbe. Az ilyen ún. informált beleegyezés (informed consent) előfeltétele a részvételre kiszemelt egyének elegendő (de nem feltétlenül teljes) informálása a vizsgálat céljáról. A vizsgált személynek elegendő információt kell nyújtani ahhoz, hogy amikor a vizsgálat befejeződik, ne érezze magát félrevezetve semmi olyan körülmény miatt, ami miatt visszautasította volna a részvételt, ha valóban teljes információt kapott volna.

Tudatosítani kell a bevonandó személlyel, hogy beleegyezése önkéntes, azt bármikor – külön indoklás nélkül – visszavonhatja és a beleegyezés megtagadása sem jelent semmiféle hátrányt számára. Ugyanakkor az egyéneknek általában semmi hasznuk sincs a részvételből, hiszen az epidemiológiai vizsgálatok nagy népességszámú populáción végzett megfigyelések, amelyek eredményei is csak populációs szinten értékelhetők és értelmezhetők. Ezért az egyes emberek betegségei ok-okozati összefüggéseinek tisztázásában egy ilyen vizsgálatról nem sok eredményt lehet várni. Fontos arról is felvilágosítani a résztvevőket, hogy adataikat a megfelelő adatvédelmi előírásoknak megfelelően titkosan kezeljük és csak kutatási célra, statisztikai módszerekkel dolgozzuk fel, ezért az adatok feldolgozása, értékelése és tárolása során nevekre általában nincs is szükség. Nyilvánosan hozzáférhető információ használatához nincs szükség beleegyezésre.

A vizsgálat előtt elkészített protokollban ki kell térni arra is, hogy a vizsgálat eredményei közül mit, kinek és hogyan kívánunk közölni. A tudományos értékkel bíró eredményeket mindig publikálni kell.

A Jó Epidemiológiai Gyakorlat (Good Epidemiology Practice) szerint „etikátlan nem megfelelő mintanagysággal, nem megfelelő anyagi forrásokkal és nem megfelelő szakmai gyakorlattal megtervezni és végrehajtani egy epidemiológiai vizsgálatot”.

Minőségbiztosítási szempontok

A vizsgálat minőségbiztosítási szempontjait be kell építeni a tervezéskor készítendő *protokollba*. A jól megszerkesztett protokoll a vizsgálat minden fázisában iránymutató kell legyen a menetközben felmerülő problémák többségének megoldásában is. Ha mégis új szempontok merülnek fel, a protokollban lehet változtatásokat eszközölni, de azt követően már ahhoz kell következetesen ragaszkodni. Minden ilyen változtatást is, annak okát, időpontját stb. a protokollban fel kell tüntetni, hogy a kiértékelés során vagy később is visszakereshető legyen.

A HUMÁN BIOMONITORING SZEREPE A KÖRNYEZET-EPIDEMIOLOGIAI VIZSGÁLATOKBAN

Dr. Rudnai Péter, Középesy Szilvia

Az Európai Bizottság 2004-ben megjelent „Európai Környezet és Egészség Akcióterv 2004-2010.” c. dokumentumában a humán biomonitoringot (HBM) a következőképpen definiálta: „Emberi szövet- és folyadékminták gyűjtése és analízise a környezeti expozíció, egyes betegségek és/vagy rendellenességek és a (genetikai) érzékenység, valamint a közöttük lévő lehetséges kapcsolatok megállapítására. Gyakran egyéb, klasszikus (pl. levegő, víz, talaj, táplálék stb.) monitorozási eljárással, modellezéssel vagy az egészségre és az életvitelre vonatkozó kérdőívezéssel kombinálják.”

Régebben főként a *foglalkozási expozíció* követésére és a fokozottan exponáltak kiszűrésére alkalmazták, illetve alkalmazzák ma is (ld. 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet). Az utóbbi évtizedekben, a kimutatási eljárások érzékenységének javulásával és a környezeti expozíciók fontosságának felismerésével, a *környezeti expozíciók*, illetve azok hatásainak meghatározása is előtérbe került. Egyes országokban (pl. USA, Németország) a rendszeresen ismétlődő *populációs egészségvizsgálatok* szerves részévé vált.

A HBM **előnye**, hogy a különböző expozíciós utakon – a levegőből, az ivóvízből, a táplálékkal vagy a bőrön keresztül – a szervezetbe jutott anyagok integrált jellemzője, és az egészségi hatásokkal következetes összefüggései mutathatók ki.

A HBM **korlátaiként** említhetjük azt, hogy értelmezésüket az **időbeli** folyamatok (lebomlás, kiürülés) nehezítik, és legfőképpen azt, hogy kevés anyagra állnak rendelkezésre környezeti expozícióra vonatkozó határ-, illetve **irányértékek** (pl. gyermekek vérólomszintjére a CDC 2012-ben 5 µg/dl-t, a haj higany tartalmára a WHO/JECFA ideiglenesen 2,3 µg/g haj értéket javasolt), humán biomonitoring értékek vagy referencia értékek.

A német szakemberek által kidolgozott **humán biomonitoring értékek**nek két szintje különböztethető meg:

a HBM-I	megerősítendő, ellenőrzendő,
a HBM-II	pedig már beavatkozást igénylő érték.

Például a vizelet Cd-tartalmára vonatkozólag gyermekekben a HBM-I = 0,5 µg/l, a HBM-II = 2,0 µg/l, felnőttekben ennek a duplája, 1,0 µg/l, illetve 4,0 µg/l.

Ugyanakkor a vizelet dietil-hexil-ftalát (DEHP) koncentrációjára vonatkozó HBM-I értékek felnőttben szigorúbbak (300 µg/l), mint gyermekekben (500 µg/l).

A **referencia értékek** specifikus expozíciótól mentes, ún. referencia populációban mért értékek 95%-os szintjét jelentik, azaz a vizsgált személyek 95%-ának mért értékei e szint alatt vannak. Ezek tehát *viszonyítási alapként* szolgálnak, de *nem egészségi indikátorok* (!).

Időközben a CDC, és a Német HBM Bizottság (German HBM Commission) is hangsúlyozta, hogy az epidemiológiai vizsgálatok alapján nincsen biztonságosnak tekinthető vérólomszint; a „hatásküszöb” meghatározása a vér ólomszintjére önkényes, és ezért indokolatlan.

Mindazonáltal jelenleg a következő referencia szintek érvényesek:

- 3-14 éves gyermekek 3,5 µg/dl⁴⁹,
- férfiak: 4 µg/dl,
- nők: 3 µg/dl (UBA, 2023⁵⁰, HBM4EU, 2019⁵¹).

Tekintettel arra, hogy a biológiai minták fémkoncentrációi általában log-normál eloszlásúak, jellemzésükre általában a **mértani** (és nem a számtani) *középértéket*, illetve a felező helyzeti középértéket (medián) szokták megadni.

A HBM vizsgálatoknál használt *biológiai minták kiválasztását* befolyásolja a vizsgált környezeti ágens és annak tulajdonságai (felszívódása, szervezetbeli sorsa, raktározása, kiürülése stb.), valamint a vizsgált populáció.

A különösen érzékeny népességcsoportok (gyermekek, várandósok) vizsgálata kiemelt fontosságú. A legtöbb esetben a **vérminták** analízise nyújtja a legjobb tájékoztatást, azonban vérvételt – mivel invazív beavatkozás – környezet-epidemiológiai vizsgálatokban csak indokolt esetben alkalmazunk, és ha lehet, alternatív megoldásokat keresünk. Ebből a szempontból elsősorban a **vizeletvizsgálatok** jönnek szóba. A szervezet akut terhelését a vizelettel ürített vegyületek mennyisége általában jól jellemzi. Figyelembe kell azonban venni, hogy nem 24 órán keresztül gyűjtött vizeletmintákból történik a meghatározás, hanem különböző töménységű egyszeri vizeletmintákból, amelyekben az ürített anyagok mennyisége jelentősen különböző lehet, a vizelet töménységétől függően. Ezért az értékelést elsősorban a vizelet töménységét jól jellemző *kreatinin* mennyiségére vetített koncentráció értékek alapján végezzük. A kreatinin ürítés általában egyenletes, így megbízható támpont lehet a vizelet töménységének megítélésére. Azonban súlyos vesefunkciós hibák vagy egyéb körülmények miatt előfordulhatnak extrém magas vagy alacsony kreatinin értékek is, amelyek torzíthatják a mérési eredményeket. Ezért – megállapodás szerint – csak a 30-300 mg/l közötti kreatinin értékekkel rendelkező vizeletmintákat vesszük figyelembe.

Környezet-epidemiológiai vizsgálatokban eredményesen használtak nyálmintát (pl. kotinin meghatározásra), hajmintát (pl. arzén, metil-higany meghatározásra), tejfogakat (kisgyermek-kori ólomexpozíció becslésére), anyatejet (peszticid expozíció esetében) és köröm mintákat (ólom- és arzénexpozíció értékelésére) is.

A továbbiakban megemlítünk az NNGYK-ban végzett néhány olyan környezet-epidemiológiai vizsgálatot, amelyben humán biológiai monitoring eszközöket használtunk.

⁴⁹ Centers for Disease Control and Prevention (CDC): <https://www.cdc.gov/lead-prevention/php/news-features/updates-blood-lead-reference-value.html>

⁵⁰ Umweltbundesamt (UBA): https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/4031/bilder/dateien/kopie_von_hbm-werte_engl_stand_sept_2023_1.pdf

⁵¹ HBM4EU: https://www.hbm4eu.eu/wp-content/uploads/2019/03/HBM4EU_D4.9_Scoping_Documents_HBM4EU_priority_substances_v1.0-Lead.pdf

1979-ben *Needleman és munkatársai* gyermekek tejfogainak vizsgálata alapján hívták fel a figyelmet arra, hogy a felnőttek esetében még veszélytelennek tartott **ólomexpozíció** esetén a gyermekekben súlyos magatartási zavarok, a szellemi teljesítőképesség és a koncentrálóképeség csökkenése figyelhető meg. Ezt követően világszerte számos kutatócsoport foglalkozott az összefüggések részletesebb tisztázásával és előtérbe került a környezeti ólomexpozíció csökkentésének igénye, amely többek között az ólmozott benzin forgalomból való kivonásának szükségességét is felvetette. Magyarországon a 80-as évek közepére érett meg a helyzet a benzin ólomtartalmának fokozatos csökkentésére. Az ezt előkészítő Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság (OMFB) tanulmánya megállapította, hogy nincs adatunk a hazai lakosság vérólomszintjéről és feltétlenül szükség van ilyen jellegű felmérésre.

Ezzel összhangban 1985-ben bekapcsolódtunk a WHO és az EU közös kutatási programjába, amely a környezeti ólomterhelés gyermekeknél megfigyelhető neurotoxikológiai hatásával foglalkozott. Vizsgálati területként az akkor kiemelkedően nagy forgalmú budapesti Mártírok útját (ma: Margit körút), az ipari kerámiagyár környezetszennyező hatásának kitett Romhányt és – kontrollként – Szolnokot választottuk. A 7-9 éves gyermekektől gyűjtött vér-, haj- és fogmin-tákban meghatároztuk az ólomtartalmat, ezzel párhuzamosan pedig pszichológusok bevonásával vizsgáltuk a gyermekek szellemi teljesítő- és koncentrálóképeségét. Ebben a vizsgálatban az ólom szellemi teljesítőképesség csökkentő hatását csak Romhányban lehetett kimutatni, ahol a budapestinél lényegesen kisebb krónikus ólomexpozíció kedvezőtlen szociális-gazdasági és kulturális környezettel párosult, míg a legmagasabb vérólomszintű Mártírok útjai gyermekek lényegesen jobb szocio-ökonómiai helyzete kompenzálni tudta az ólom neurotoxikus hatását.

1986-ban felmérést végeztünk a budapesti felnőtt lakosok vérólomszintjének megállapítására is. A Budapest belső és külső városrészeiben lakó felnőttek vérének ólomszintjében volt ugyan némi különbség, de ez sokkal kisebb volt a férfiak és nők vérólom szintje között talált különbségnél. Ugyanakkor kiemelkedően nagy különbség mutatkozott a forgalmas belvárosi és a lényegesen kisebb forgalmú külső kerületekben lakó gyermekek vérólom szintje között. Az életkoron, a nemén és a lakóhelyen kívül a dohányzás és az alkoholfogyasztás is jelentős korrelációt mutatott a vérólomszinttel.

A levegő ólomkoncentrációja és a vér ólomtartalma közötti összefüggés becslése során azt találtuk, hogy a levegő ólom koncentrációjának $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -es változása felnőtteknél $1,2 \mu\text{g}/\text{dl}$, gyermekeknél $4,2 \mu\text{g}/\text{dl}$ vérólomszint változást eredményez. Ez a külföldi adatokkal lényegében megegyező összefüggés kellő magyarázatot ad a későbbi években, a benzin ólomtartalmával párhuzamosan csökkenő levegő-ólom tartalom mellett gyermekek esetében mért lényegesen alacsonyabb vérólom értékekre is (*Rudnai et al., 1990*).

A 90-es években több városban (Vác, Győr, Sopron, Tata, Budapest) végeztünk vérólom szűrést III. - IV. osztályos általános iskolások körében. Eredményeink szerint a városi gyermekek mintegy 8-13%-ának vérólom szintje még mindig meghaladta a CDC (USA) által aktuálisan ajánlott $10 \mu\text{g}/\text{dl}$ -es értéket, viszont $20 \mu\text{g}/\text{dl}$ -nél magasabb vérólomszintet csak elvétve mértünk gyermekek körében (*Rudnai et al., 1994*).

Miután nemzetközi tapasztalatok szerint a bölcsődés és óvodás korú gyermekek vérólom szintje magasabb, mint az iskoláskorúaké, 1996 tavaszán az ÁNTSZ Fővárosi Intézetével szűrővizsgálatot végeztünk az V. kerületi Önkormányzat által működtetett 8 belvárosi óvodában. A megvizsgált 424 gyermek többségének vér-ólom értéke jóval a 10 µg/dl-es határérték alatt volt.

Az átlagos vérólomszint 6,5 µg/dl, a medián 6 µg/dl volt. Összességében a gyermekek 8%-ának (azaz 34 gyermek) vérében haladta meg az ólomtartalom a 10 µg/dl-es értéket.

A vérólomszint szempontjából fontosnak tartott néhány kockázati tényezőnek a vérólom értékekkel mutatott regressziós összefüggéseit értékelve megállapítottuk, hogy a gyümölcsök zárt üzletben vásárlása és a gyümölcslé fogyasztása védő hatásának bizonyult, míg a szülők alacsony iskolai végzettsége, a dohányfüst expozíció és a kóla fogyasztás szignifikáns mértékben kedvezőtlenül befolyásolta a vér ólomtartalmát, s ez utóbbi összefüggés a szülők iskolai végzettségével, az életkorral, a nemmel és a dohányzók számával történt illesztés után is erősen szignifikáns maradt.

A vérólomtartalom és az egyéb laboratóriumi vizsgálati eredmények regressziós összefüggéseit értékelve – korábbi vizsgálataink eredményeihez hasonlóan – szignifikáns negatív összefüggést találtunk a vörösvérsejtek átlagos térfogata (MCV) és a vérólomszint között.

Tekintettel arra, hogy e vizsgálat során a szérum-vas és a vér ólomtartalma között nem volt kimutatható negatív irányú összefüggés (sőt, a pozitív összefüggés szignifikancia közeli valószínűségi értéket mutatott), feltételeztük, hogy az MCV megfigyelt csökkenése az ólom toxikus hatásának korai jeleként értékelhető.

2005-ben újra felkerestük azokat a helyeket, ahol 10, illetve 20 évvel korábban viszonylag magas vérólom értékeket mértünk, és megvizsgáltuk, hogyan változott a gyermekek vérólom szintje. 5 településen, 253 gyermek vérólom szintjét, egészségi állapotát és az ólom expozíciós forrásokat vizsgálva megállapítottuk, hogy a gyermekek 4,5%-ának volt határérték felett a vérólom koncentrációja, elsősorban a rossz szociális helyzettel összefüggésben. A vérólom szint szignifikáns összefüggést mutatott az életkorral és a nemmel, a vezetett víz hiányával, az ólom vízvezetékcsővel, a műanyaggal történő tüzeléssel, a nagy forgalmú út és a szemétkerakó közelségével, a szülők dohányzásával, a háztáji autó-motorszereléssel és a rendszeres kóla fogyasztással (*Rudnai et al., 2009*).

A korábbiaknál lényegesen alacsonyabb vérólom értékek ellenére szignifikáns egészségkárosodási jeleket is ki lehetett mutatni, például a vörösvértestek hemoglobin tartalmának, illetve térfogatának csökkenését (a delta-amino-levulinsav dehidrogenáz enzim homozigóta alléljaival rendelkező gyermekeknél), fáradékonyságot és alvászavart, szétszórtságot, ábrándozást nappal, és a tanulmányi eredmény romlását (*Dura et al., 2011*).

A hazai helyzet reális megítéléséhez, a még meglévő környezeti ólomforrások azonosításához és a meghozott, illetve meghozandó intézkedések hatékonyságának megállapításához további, immár random mintavétellel végzendő szűrővizsgálatokra van szükség.

A '80-as évek második felében a környezeti **formaldehid** expozíció gyermekek egészségére gyakorolt hatásának megítéléséhez a vizeletben ürített *hangyasav* mennyiségét mértük és értékeltük (Farkas et al., 1987).

A 2010 októberében bekövetkezett kolontári **vörösiszap katasztrófa** által sújtott területen élő gyermekek veszélyeztetettségének megítélésére – az NNGYK Munkahigiénés és Foglalkozás-egészségügyi Főosztály (volt OMFI) munkatársaival együtt – másfél éven keresztül havi rendszerességgel vizsgáltuk a gyermekek vizeletében ürített fémek mennyiségét. Szerencsére nem találtunk aggodalomra okot adó jelenséget (Rudnai et al., 2011).

Az **általános lakosság környezeti expozíciójának felmérésére** egy nagy európai project (**DEMOCOPHES - DEMON**stration of a study to **CO**ordinate and **P**erform **H**uman Biomonitoring on a **E**uropean **S**cale) keretében gyermekek és édesanyjuk hajában mértük a higany, vizeletében pedig a kadmium, a kotinin és a ftalátok mennyiségét. A magyar eredmények nem tértek lényegesen el a nagy európai átlagtól, a higany kevesebb, a nikotin bomlásterméke, a kotinin viszont magasabb volt, mint a legtöbb vizsgált európai országban. Szignifikáns összefüggéseket találtunk az anyák hajának higanytartalma és a hal, illetve borfogyasztás, valamint az alapozó arcfestékhasználat között. A gyermekek vizeletének ftalát tartalma pedig a PVC padlóval, a közelmúltban történt (1 éven belüli) lakásfelújítással és az anyák alapozó arcfestékhasználatával mutatott szignifikáns összefüggést. A vizelet kotinin tartalma természetesen az aktív és passzív dohányzással, míg a kadmium tartalom az életkorral és a dohányzással függött össze (Casteleyn et al., 2015; Den Hond et al., 2015; Középesy és mtsai., 2016; Schindler et al., 2014).

Ezt követően, 2017-től 2021-ig zajlott a HBM4EU elnevezésű projekt, amely a humán biomonitoring módszerek európai szintű harmonizációját, új és már rendelkezésre álló humán biomonitoring adatok gyűjtését, illetve a döntéshozók munkájának segítését tűzte ki célul. A HBM4EU program 28 európai uniós ország, az Európai Környezetvédelmi Ügynökség, és az Európai Bizottság közös erőfeszítéseként valósult meg; a projektben Magyarországot a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ képviselte.

A HBM4EU projekt tevékenységeinek folytatása az új, szélesebb területet lefedő *PARC (Partnership for the Assessment of Risk from Chemicals)*⁵² elnevezésű projekt, amely legfőbb célja a kémiai anyagok expozíciójához tartozó egészségkockázatok meghatározása és csökkentése.

A jövőbeni cél, hogy Magyarországon – az Európai Unió országaihoz hasonlóan – egy egységes módszertan alapján rendszeressé váljon a humán biomonitoring vizsgálatok végzése.

⁵² <https://www.eu-parc.eu/>

A TESTIDEGEN VEGYÜLETEK METABOLIKUS AKTIVÁCIÓJA ÉS INAKTIVÁCIÓJA AZ EMBERI SZERVEZETBEN; FÁZIS I ÉS FÁZIS II VEGYÜLET-ÁTALAKÍTÁSI REAKCIÓK

Az élő szervezetek igen nagyszámú idegen kémiai anyag hatásának vannak kitéve a környezetükben. A szervezetbe kerülő testidegen anyagok – xenobiotikumok – (gyógyszerek, élelmiszeradalékok, növényvédőszeres stb.) a szervezet biokémiai mechanizmusainak során átalakulnak a szervezetben jelenlévő enzimrendszer segítségével. Ezen folyamatok lezajlása nélkül, sok xenobiotikum elérhetné a toxikus koncentrációt a szervezetben. A folyamat során a jellemzően hidrofób (zsíroldékony) anyagok hidrofillá (vízoldékonyá) alakulnak, ami megkönnyíti a kiválasztásukat a szervezetből. Az eredeti vegyületek és metabolitjainak a kiürülése a szervezetből a vizelettel, epével/székllettel, verejtékkel, nyállal vagy a tüdőn keresztül, valamint a szoptatás időszakában az anyatejjel történik.

A testidegen vegyületek átalakítását/metabolizmusát szervező enzimreakciókat két jól elkülöníthető fázisra oszthatjuk. A Fázis I. enzimek túlnyomórészt oxidációs reakciókat katalizálnak, aminek eredményeként általában egy vízben jobban oldódó és ezáltal könnyen kiválasztható végtermék keletkezik, ami kiürül a szervezetből. Az anyavegyület szerkezetétől függően általában már a Fázis I. reakciók után is megnő a vegyület vízoldhatósága. Néhány esetben a Fázis II. reakció lehetséges Fázis I. reakció nélkül is.

A legtöbb esetben a molekula toxicitása csökken a metabolizmusa során, azonban előfordulhat, hogy toxikus metabolitok képződnek, növekszik a toxicitása. Ez kifejezetten Fázis I. reakció útján történik oxidáció eredményeképpen, DNS károsodást, fokozott citotoxicitást idézhetnek elő. A reaktív intermedierek toxicitása függ a kémiai szerkezetüktől. Ha egy ágens károsítja a sejtek genetikai örökítő anyagát, a DNS-t, akkor 'genotoxikus', és nagy valószínűséggel potenciális daganatkeltő.

Meglepőnek tűnhet, hogy azok az enzimek, amelyek arra a célra fejlődtek ki az evolúció során, hogy védjék a szervezetet az idegen vegyületektől, éppen ellenkező hatást válthatnak ki. Azt azonban ki kell hangsúlyozni, hogy ezek az aktiváló reakciók az idegen vegyületeknek csak egy kis részét érintik.

A szóban forgó enzimeknek az elsődleges feladata egy akut probléma megoldása, vagyis a testidegen vegyület halálos feldúsulásának a megakadályozása, míg a karcinogén folyamatok általában évtized(ek)ben mérhetők, és túlnyomórészt felnőttkorban jelentkeznek.

Mivel gyakorlatilag végtelen azoknak az idegen vegyületeknek a száma, amelyek a szervezetbe bejuthatnak, joggal feltételezhetjük, hogy sokféle enzimre van szükség a különféle kémiai szerkezetű vegyületek felismerésére és biokémiai úton történő átalakítására, azaz metabolizmusára. Valóban ez a helyzet.

A legfontosabb enzimrendszerek, mint például a citokróm P450 (CYP) vagy a glutation S-transzferáz (GST), enzim szupercsaládokat alkotnak különböző, de átfedő vegyületfelismerő képességgel. A CYP-ek az evolúció során leggyorsabban kifejlődött génrendszerek közé tartoznak. Erre valószínűleg azért volt szükség, hogy a különböző fajok alkalmazkodni tudjanak a környezetükhöz és a táplálékukhoz.

Az adaptáció és a kódoló gének viszonylag gyors evolúciója következtében a különböző fajokban alapvető eltérések vannak a metabolizáló enzimek összetételében és katalitikus tulajdonságaiban. Ehhez hasonlóan az emberiségen belül is etnikai és egyedi különbségek vannak az egyes enzimeket kódoló gének szerkezetében. Meg kell jegyezni, hogy a testidegen vegyületek kémiai átalakítását végző enzimek genetikai változatossága, ún. polimorfizmusa az emberben inkább szabály, mintsem kivétel a szabály alól, bár még nem világos, hogy ebből milyen evolúciós előnyök származtak.

Néhány kiemelkedően fontos enzimrendszer

Citokróm P450 (CYP)

A citokróm P-450 az a legfőbb enzimrendszer, ami különböző Fázis I. oxidációs reakciókat katalizál, köztük kémiai karcinogének metabolizmusát. Az élővilágban közel 500 CYP enzimet fedeztek fel eddig. A nevezéktan a CYP-eket családokba és alcsaládokba sorolja szerkezeti azonosságuk (a DNS szekvencia homológia) alapján. A CYP betűjelek után arab számmal jelölik az enzimcsaládot, betűvel az alcsaládot, majd az adott gén jelölése ismét arab számmal történik. Például a CYP1A2 az 1-es család A alcsaládjának a 2-es tagját jelöli. Az egyes CYP családokon belül jellegzetes vegyületfelismerő és átalakító képességgel, vagyis szubsztrát specifitással találkozunk, és az egyes szövetekben való előfordulásuk is más és más. A citokróm P450 enzimek expressziója a májban a legmagasabb, de megtalálhatóak a tüdőben, vékonybélben, vesében, bőrben és az agyban, valamint a placentában is. A CYP1A1 elsősorban policiklusos aromás szénhidrogéneket (PAH-okat) metabolizál. A PAH-ok a környezetszennyezők között fontos vegyületcsoportot alkotnak, számos képviselőjük potenciális rákkeltő vegyület. Tökéletlen égési folyamatok termékei, és jelen vannak többek között a dohányfüstben, járművek kipufogó gázaiban, a városi levegőben és ipari technológiák égéstermékeiben. A PAH-ok közül a legtöbb ismerettel a benzo[a]pirénről rendelkezünk. Egyes PAH vegyületek egynél több átalakító lépésben aktiválódnak, amit a CYP1A1 katalizál. A CYP1A1 enzim eltérő arányokban van jelen a különböző szervekben, és főleg az extrahepatikus szövetekben mutatható ki. A CYP1A2-nek a CYP1A1-től teljesen eltérő és tág vegyület felismerő képessége van. Részt vesz nitrozaminok és heterociklusos akrilamidok metabolizmusában, melyek között fontos élelmiszer mutagének is előfordulnak.

A CYP2 a legnagyobb CYP család és igen sokféle szerkezetű vegyület átalakításában vesz részt, köztük a nikotin, dohányfüst-specifikus nitrozaminok, kis molekulájú vegyületek, mint például az alkohol, benzol, széntetraklorid és vinilklorid és fontos klinikai gyógyszerek metabolizmusát katalizálják. A CYP3A4 igen nagy mennyiségben van jelen a májban. Gyógyszerek, a mikotoxinok közé tartozó aflatoxin B1, valamint a már említett benzo[a]pirén metabolizmusában vesz részt.

Epoxihidroláz (EH)

Az epoxihidrolázok a citokróm P-450 által létrehozott nagy reakcióképességű epoxidoknak a hidrolízisét katalizálják. Szubsztrátjaik között előfordulnak szteroid epoxidok, PAH-ok epoxidjai és gyógyszer epoxidok. Ezek az enzimek nemcsak detoxikációs reakció utak résztvevői, hanem előállítanak olyan intermediereket is, amelyek egy a citokróm P-450-nel lejátszódó második oxidációs lépésben fokozott DNS-károsító tulajdonságra tesznek szert.

Glutation S transzferáz (GST)

A Fázis I. oxidációs reakciók eredményeképpen sok testidegen vegyület reakcióképes elektrofil köztes terméké alakul át. Ezek könnyen megtámadják a sejtek nukleofil célpontjait, vagyis a fehérjéket és a nukleinsavakat. A reaktív elektrofil ágensek endogén folyamatokban is keletkezhetnek, például légzéskor, gyulladásos folyamatokban vagy ionizáló sugárzás hatására, amikor reaktív oxigén gyökök jönnek létre. Ezek káros hatásaival és az oxidációs stresszhatással szemben védenie kell magát a szervezetnek. Az összetett méregtelenítő védőrendszer egyik leghatékonyabb eszköze a Fázis II. enzimekhez tartozó glutation és a glutation S-transzferázok (GST). A glutation egy három peptidből álló nukleofil vegyület, amihez az elektrofil ágensek könnyebben kapcsolódnak, mint a sejt ugyancsak elektrofil kötőhelyeket tartalmazó makromolekuláihoz. A GST-nek az a feladata, hogy ezt a reakciót elősegítse. Legalább 20 humán GST ismert, fő képviselői a GSTalpha, GSTmu, GSTpi, GSTtheta, kódoló génjeik a *GSTA*, *GSTM*, *GSTP*, *GSTT*. A legtöbb GST-nek széles szubsztrátfelismerő és átalakító képessége van, és átfedő katalitikus tulajdonságokkal rendelkeznek. Fontos szerepük van a kémiai karcinogének káros hatásának a kivédésében is.

N-acetiltranszferáz (NAT)

Az N-acetiltranszferáz enzimek a Fázis II. reakciókban játszanak szerepet, emberben 2 formája van: NAT1 és NAT2. A NAT1 megtalálható a legtöbb szervben, míg a NAT2 a vékonybélben lokalizálódik. Az N-acetiltranszferázok egy acetilcsoportot kapcsolnak a hatástalanítandó vegyületre. A NAT-ok szubsztrátjai főleg aromás és heterociklusos aminok és hidrazinok. Ezek között a vegyületek között sok erős karcinogén és mutagén van – például ipari anyagok a festék – és a gumiiparban, húsételek sütésekor képződő élelmiszer mutagének, vagy a cigarettafüst-specifikus nitrozaminok, ezért a NAT-nak a daganatos betegségek keletkezési mechanizmusában nagy jelentősége van.

További fontos enzimescsoportok

További fontos enzimescsoportok a glükuroniltranszferázok, valamint a szulfotranszferázok amelyek a Fázis II. enzimek közé tartoznak.

Módosító tényezők a testidegen vegyületek metabolizmusában

Genetikai tényezők (pl. nem, egyedi különbségek, életkor), egyéb testidegen vegyületek által okozott kölcsönhatások (pl. enzimindukció és enzim gátlás), időtényezők (pl. napi, havi és éves ciklusok), táplálkozás és betegségek mind módosíthatják a testidegen vegyületek hatását.

A Fázis I. és Fázis II. enzimrendszer sokszorosán összetett biokémiai folyamatokat szervez. Ezeket külső és belső tényezők módosítják. Az egyensúlyi állapotoknak az eltolódása határozza meg a végkimenetelt, vagyis hogy a méregtelenítés vagy a toxikus folyamatok kerekednek felül az aktivációs – detoxikációs rendszerben. A metabolizmus útvonalak ismeretének komoly jelentősége van bizonyos betegségek kémiai megelőzésében (a kemoprevencióban).

A kémiai megelőzés során kémiai beavatkozással, például egy gyógyszerrel, vagy bizonyos tápanyagokban gazdag táplálkozással egyes reakció útvonalakat gátolni, másokat serkenteni lehet, és így módon a detoxikáció irányába lehet eltolni a káros kémiai ágens hatását.

GENOTOXIKUS KÖRNYEZETI ÁRTALMAK BIOLÓGIAI MONITOROZÁSA HUMÁN POPULÁCIÓBAN

A biomarkerek fogalma és kategóriái

A biológiai monitorozás a környezeti/munkahelyi kémiai és fizikai ágensekkel való expozíciónak és hatásainak mértékét méri. A biológiai monitorozás előnye a környezeti monitorozással szemben az, hogy összességében tükrözi az expozíció következményeit az emberi szervezetben. A biológiai jelzőparaméterek (biomarkerek) nagyságát befolyásolja a vizsgált vegyület abszorpciós útvonala, a biotranszformációja, a szövetekben való raktározás, illetve az azokból való kiürülés. Mindezt tovább befolyásolják belső tényezők, mint például a genetikai állomány, az antropometriai (az emberi testméretek, fizikai jellemzői) tényezők, az egészségi státusz, az egyedi genetikai hajlamosító tényezők, és olyan külső tényezők, mint például egyidejű környezeti expozíció, gyógyszerek, alkohol, dohányzás.

A biológiai markerek (biomarkerek) azok a biológiai anyagok, alkotók vagy folyamatok, amelyek többek között jelzik egy betegség jelenlétét, illetve annak súlyossági fokát. Molekuláris értelemben véve a biomarker olyan jelző, amelynek segítségével mérhetővé válik: 1. egy betegség előrehaladása, 2. egy (gyógyszeres) kezelés hatásossága. Fontos szerepük van a betegségek megelőzésében, vagy ha már kialakult egy kórkép, akkor a diagnosztikában, és természetesen a kezelésben is. A biomarkerek vizsgálatával kapott ismeretek lehetővé teszik egy betegség gyakoriságának, és az emberre gyakorolt káros hatásának csökkentését. A biomarkerekkel jellemzik a genotoxikus ágens és az exponált személy közötti kölcsönhatás teljes spektrumát az expozíciótól a rövid távú és hosszú távú sejtbiológiai hatáson keresztül a betegségig. Az expozíció biomarkerei: a belső dózis és a biológiailag hatásos dózis.

A belső dózis a testidegen vegyületnek vagy pedig metabolitjának a koncentrációját jelenti a testfolyadékokban és szövetekben (pl. vizeletben lévő 1-hidroxipirén koncentráció a PAH expozíció jellemzésére).

Az anyavegyületnek, illetve metabolitjainak egy kis hányada olyan reakcióképes metabolitokká alakul át, amelyek kovalensen kötődnek a fehérjékhez és a DNS-hez. Ezeket a kémiai szerkezeteket fehérje adduktoknak és DNS adduktoknak nevezzük, melyek a biológiailag hatásos dózist jellemzik a szövetekben. Ha a DNS adduktok okozta DNS hibákat a sejtek DNS hibakijavító rendszere nem javítja ki, akkor a hibák korai biológiai károsodásokat okoznak, amelyeket citogenetikai biomarkerekkel, például kromoszóma aberrációval és testvérkromatid kicserélődéssel jellemzünk. Ezeket a citogenetikai markereket nemcsak a korai hatás markereiként alkalmazzák, hanem expozíciós markerek gyanánt is. A korai sejtbiológiai változások következményei génszerkezeti és génfunkcióbeli változások lehetnek, amelyek a klinikai betegség kifejlődése irányába hatnak.

Ennek a folyamatnak minden fázisát befolyásolják a genetikai fogékonysági tényezők. A genetikai fogékonysági vagy hajlamosító tényezőket genetikai polimorfizmusokhoz kapcsoljuk, és genotípusokkal jellemezzük.

Humán populációmonitorozás

A genotoxikus expozíció dózis- és hatás-markereit biokémiai, citogenetikai és molekuláris biológiai paraméterekkel jellemezzük. A vizsgálati minta többnyire vér, vizelet, hámsejtek vagy műtéti eredetű szövetek. Az anyavegyületek és metabolitjaik vizsgálatára kémiai analitikai és műszeres analitikai módszerek szolgálnak – kémiai, enzimes és immuntechnikai elválasztási – dúsítási technikákkal kombinálva. A DNS adduktok kimutatására radioizotópos vagy immunkémiai, vagy nagyműszeres módszereket, vagy ezek kombinációját alkalmazzák a genotoxikus ágens vagy ágensek kémiai szerkezetétől, a rendelkezésre álló módszerek szubszt-rát specificitásától és a rendelkezésre álló szövetminta, illetve DNS minta mennyiségétől függően. Az egyik legérzékenyebb módszer a foszfor-32 izotópos utójelölés, mely 4 mikrogramm DNS mintával elvégezhető, az érzékenysége 1 addukt/ 10^8 - 10^9 normál nukleotid, és az elemzés-hez nem kell pontosan ismerni az expozíció vegyi összetételét.

A humán PAH expozíció vizsgálatának van a legnagyobb szakirodalma foglalkozási és környezeti expozíció, valamint dohányzási expozíció vonatkozásában. Szinte nincs olyan humán szövet típus, amelyben ne mutatták volna ki a dohányzás által okozott DNS károsodást dohányfüst összetevők DNS adduktjainak a formájában, különösen a tüdőben. Fontos elméleti és gyakorlati kérdés a kritikus célszövet (pl. PAH expozíció esetén a tüdő), és a helyettesítő szövet (pl. a fehérvérsejtek) DNS károsodásának az összefüggése. Ennek foglalkozási expozíciónál van különösen jelentősége, amikor általában csak a könnyen hozzáférhető helyettesítő szövetben mért biomarker szintből próbálunk következtetni a kritikus szövetet ért károsodás mértékére. A legtöbb biomarker expozíciós csoportok statisztikai összehasonlítását teszi lehetővé, keresztmetszeti vagy követéses vizsgálatban. A biomarkerek mérésére szolgáló módszerek jelentős része nem abszolút, hanem relatív értékeket mér, különösen összetett genotoxikus expozíciók esetén, ezért eset-kontroll összehasonlításokat végzünk, vagy pedig egy kiindulási szinthez viszonyított időbeli változásokat követünk.

Genetikai hajlamosító tényezők jelentősége

A genetikai polimorfizmus fogalma

Darwin írta „A fajok eredete” című művében, hogy „senki sem feltételezheti, hogy egy fajnak valamennyi egyede ugyanabból az őntőformából kerül ki”. Az evolúció során az ember genetikai állományában a gének bizonyos pontjain egyetlen vagy néhány nukleotidra kiterjedő bázissorrend eltérések keletkeztek, és emiatt örökletes génvariánsok jöttek létre.

Ezek a génvariánsok a természetes egyedi különbségek gyökerei, hiszen egy-egy gén bázissorrendje meghatározza az általa kódolt fehérje kémiai szerkezetét és működését. Ha egy génvariáns eléri egy népességben az egy százalékot, akkor azt génpolimorfizmusnak nevezik.

A modern molekuláris biológiai módszerek megteremtik a lehetőségét a génvariánsok gyors kimutatásának, akár csak egy bázis-pár, akár egy hosszabb DNS szakasz módosul. A génszerkezeti eltérésekre visszavezethető fokozott biológiai érzékenységet a környezeti tényezőkkel szemben genetikai hajlamosító vagy fogékonysági tényezőknek nevezik. Sokkal bonyolultabb feladatot jelent annak a kérdésnek a megválaszolása, hogy a génszerkezet

eltérése hogyan hat a fenotípusra, vagyis a gén által kódolt sejtműködési folyamatokra. A génszerkezet változások befolyásolhatják a gén által kódolt enzim katalitikus tulajdonságát, vagy az enzim teljes hiányát okozhatják, vagy az enzim mennyiségének csökkenését vagy emelkedését váltják ki. Ezért külön ki kell hangsúlyozni a genotípus és a fenotípus közötti összefüggések és azok megismerésének a jelentőségét a káros környezeti tényezők és a genetikai hajlamosító tényezők kölcsönhatásaival kapcsolatban.

Fontos géncsoportok a genotoxikus vegyületek hatásmechanizmusában

Mint fentebb kifejtettük, a testidegen vegyületeknek az emberi szervezetre gyakorolt hatását erősen meghatározzák a Fázis I. és Fázis II. enzimrendszerek, amelyek az aktivációjukat és az inaktivációjukat katalizálják. Legyen szó dohányfüstről, közlekedési vagy ipari légszennyezőkről, táplálékszennyezőkről vagy foglalkozási expozíciókról, egy érintett populációban széles határok között mozog az azonos expozícióra adott egyéni válaszreakciók nagysága, az expozíciót és a biológiai hatást jellemző biológiai jelzőparaméterek (biomarkerek) szintje. Joggal feltételezzük, hogy az expozíció nyomán keletkező metabolit koncentrációkban, DNS és fehérjeaddukt szintekben, és a kromoszóma károsodások mértékében észlelt nagy egyedi különbségek összefüggésben állnak a Fázis I. és Fázis II. enzimek polimorfizmusával. Bizonyos génvariánsok fokozottan káros irányba tolják el egy-egy környezetszennyező kémiai ágens metabolizmusát, mások gyengítik a káros hatását. Az expozíció nagyságának is fontos szerepe lehet az egészségkárosodás szempontjából. Nagy valószínűséggel előfordulhat, hogy kivételes expozíciós körülmények között, amikor az expozíció nagyon magas, a genetikai fogékonysági tényezők módosító hatása nem érvényesül, mert az expozíciós szint túllépi a módosító kapacitás kereteit. Ezzel szemben alacsony expozíciónál érvényesülni tud a genetikai tényezők módosító hatása. A környezet-egészségügyi kutatásokban a PAH expozíció és a CYP és GST genotípusok kölcsönhatásáról szerezhettük eddig a legtöbb ismeretünket a környezeti expozíció és a genetikai érzékenység összefüggéseiről.

Egy-egy genotípusnak a genotoxikus expozíció és a genotoxikus hatás biomarkereire gyakorolt önálló hatása általában gyenge. Viszont minél specifikusabb biomarkert választunk, és minél több lehetséges módosító tényezőben egyeznek meg az összehasonlított expozíciós csoportok, annál jobban felismerjük egyes genotípusok vagy genotípus kombinációk hatását.

A génpolimorfizmusok összefüggése betegségekkel

A genetikai hajlamosító tényezőknek igen nagy jelentősége van a daganatos betegségek, a légzőszervi betegségek és az asztma, az anyagcsere és a szív-érrendszeri betegségek okainak minél alaposabb megismerésében a környezeti tényezőkkel, életmód, táplálkozás, dohányzással összefüggésben. Hangsúlyozni kell, hogy egyes szóban forgó génvariánsok számottevő, akár 50%-os gyakorisággal fordulnak elő a népességben. Önmagukban nem okoznak betegséget, hanem a környezeti ágens jelenlétében érvényesülhet a hatásuk. Kis egyedi kockázatot hordoznak, viszont foglalkozás- és népegészségügyi szempontból van jelentőségük az expozíció biomonitorozásában és az expozíció miatt bizonyos betegségekre fokozottan veszélyeztetett csoportok meghatározásában. A genetikai polimorfizmusok fontos szerepet töltenek be a szervezet patogénekre, gyógyszerekre, vakcinákra adott válaszreakcióiban, segítséget nyújtanak egyes gyógyszerek kifejlesztésében, azáltal, hogy megmutatják, mennyire vagyunk

hajlamosak különböző betegségekre. A tudomány mai szintjén már elérhető a személyre szóló kockázatbecslés, és a betegségek előrejelzése genetikai polimorfizmusok alapján. Az új ismereteknek nagy gyakorlati jelentőségük van a megbetegedések oki tényezőinek tisztázásában. Az új technikai és molekuláris biológiai módszerek fejlődése lehetővé teszi a genetikai polimorfizmusok vizsgálatát különböző egyéneken. Ez többek között teljes genom asszociációs vizsgálatok segítségével valósulhat meg, amelyekkel kimutatható, hogy a variáns kapcsolatot mutat-e a betegséggel. Az ilyen tesztek komplex betegségek (pl. autoimmun megbetegedések) tanulmányozására használhatók, amelyekben a genetikai és a környezeti tényezők együttes hatása segíti a kórkép kialakulását. Napjainkban a személyre szabott gyógyítás az elsődleges cél, amely a genetikai és környezeti tényezők figyelembevételével prediktálja a betegségre való egyéni hajlamot, és hozzájárul annak korai felismeréséhez. Célja a betegek egyéni jellegzetességei alapján megfelelő személyre szabott kezelési és prevenciós stratégia felállítása. Így lehetővé teszi az egészségügyi ellátás, és gyógyszeres stratégia hatékonyságának növelését, és optimalizálását. A genetikai polimorfizmusok több fajtája ismert. Egyes variánsok nagyban hozzájárulnak az atherosclerosis, diabetes mellitus, cöliákia, szív- és érrendszeri problémák, valamint egyéb megbetegedések patomechanizmusának kialakulásához. E kapcsolt polimorfizmusok, csoportokat alkotva jelölik a humán genom azon régióját, amely hatással van a betegség kockázatára. A kódoló és szabályozó régiókban látenssen előfordulhatnak olyan génvariánsok is, amelyek önmagukban nem veszélyesek, csak bizonyos körülmények között jelennek meg. A fenti megállapítások alapján, megfontolandó a veszélyeztetett, családirag terhelte anamnézisű rizikócsoportok szűrése, mivel egy betegség, vagy arra való hajlam korai felfedezése esetén a megelőzés és gyógyítás hatékonysága jelentősen nőhet.

GENOTOXIKOLÓGIA, A GENOTOXIKOLÓGIAI MONITOR

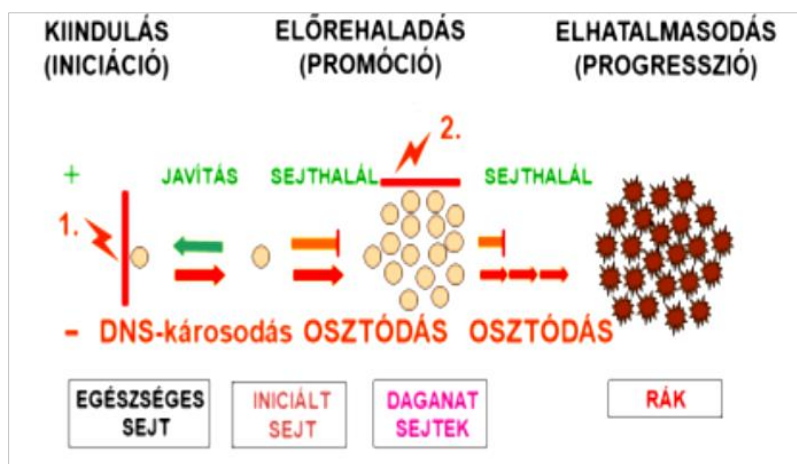
Dr. Biró Anna, Besenyei Krisztina

Daganatok kialakulása, mutációk

A rosszindulatú daganatos betegségek kialakulása általában időben elhúzódó (évek, évtizedek), többlépcsős folyamat. Mai ismereteink szerint a rosszindulatú daganatok kialakulásáért mintegy 70-90%-ban környezeti tényezők felelősek. A környezeti genotoxikus vegyi anyagok elsősorban a sejt örökítőanyagát hordozó DNS állományt károsítják, a DNS szerkezetében változásokat, mutációkat hozva létre. A testi sejtekben bekövetkezett mutáció következménye többféle esemény is lehet: a mutáció sejt szintű eliminálástól (jól működő DNS javító enzimszrendszerek segítségével) kezdve akár a rendszertbetegségek kialakulásáig. Ha a mutáció a sejtosztódás genetikai szabályozásáért, vagy annak ellenőrzéséért felelős génben lép fel, akkor onkogének aktiválódhatnak, vagy szuppresszor gének inaktiválódhatnak, ami malignus transzformációhoz, nem kontrollált sejtosztódáshoz, végül pedig rosszindulatú daganat kialakulásához vezethet.

Számos tényező befolyásolja a daganatok kialakulását, az életkor, az individuális érzékenység és a genetikai adottság éppúgy, mint a hormonális, immunológiai és egyéb környezet, vagy a táplálkozási, dohányzási és életvitelbeli szokások. A mutációk előfordulásának átlagos spontán gyakorisága 109/sejt. Ez a szám a szomatikus mutációk esetében az életkorral párhuzamosan a sokszorosára emelkedhet, ezért a vizsgált donorok életkora nagyon fontos paraméter.

Minthogy a folyamat (66. ábra) első lépése a sejt iniciációja mutációs esemény (az iniciáció hatását késői toxikus hatásnak nevezzük), ezért a szervezet bármilyen sejtjében a mutációk számának emelkedése a genotoxikus ártalom, azaz a rákos elfajulás esélyének fokozódását jelenti.



66. ábra A daganat kialakulásának folyamata

A sejteket ért iniciáció azonban még nem jelenti azt, hogy az érintett sejt elindul a kóros burjánzás útján, csupán ún. nyugvó daganatsejt jön létre. Ebben a fázisban a károsodás következményei még teljesen elháríthatók, pl. DNS javító enzimrendszerek kijavítják a hibákat, a természetes szelekció révén a sérült sejtek elpusztulnak, vagy a programozott sejthalál (apoptózis) útjára lépnek. Ám ha a nyugvó daganatsejteket egy újabb, ún. promóter, sejtszaporodást fokozó hatás éri - ami lehet toxikus, vagy irritatív, önmagában nem rákkeltő hatás pl. kémiai anyaggal történő expozíció, gyógyszeres kezelés, krónikus gyulladás, stressz, különböző fizikai tényezők, mint hő-, hideg-, vagy sugárhatás (UV és ionizáló)-, akkor ezek a hatások elősegíthetik az iniciált sejtek szaporodását. Ez a tumoros átalakulás információját hordozó génnek (onkogénnek) aktiválódásához, a tumoros karakter fixálódásához vezet (promóció).

A malignus klónoknak ebben a fázisban is van lehetőségük a visszafejlődésre: ha a promóció befejeződik, a környezeti expozíció megszűnik, a szervezet a betegségekből felgyógyul, a stressz elmúlik stb. Ilyenkor a malignus klónt körülvevő normális szövetek visszatartják a progressziót és nyugvó fázisba kerülhet a folyamat. Ugyanakkor, szerencsés esetben, az immunreakciók képesek ezeket a mikroszkópikus rendellenes gócot elpusztítani, tehát a daganatos betegség nem manifesztálódik.

A daganatok létrejöttének harmadik, betegséget kiváltó fázisa a daganatok progressziója, amikor a növekedés a gazdaszervezet rovására történik.

Mindhárom szakaszban (iniciáció, promóció, progresszió) van mód a folyamatok módosítására. Ehhez azonban szükséges a szervezetet ért genotoxikus hatások mértékének ismerete és a folyamatokba történő beavatkozás.

A genotoxikológiai vizsgálatok szerepe a daganatok megelőzésében

A genotoxikus hatások vizsgálata a genotoxikológia feladata, mely a genetika és a toxikológia határtudománya. Magában foglalja a mutációk kutatását, de a nem mutagén genotoxikus hatásokkal is foglalkozik, így segítséget nyújt a genetikai eredetű öröklött, vagy szerzett betegségek etiológiájának tisztázásában és a prevenciójában.

A genotoxikológiai vizsgálatok (genotoxikológiai monitor) feladata a késői toxikus hatások kimutatásával a betegség kialakulási esélyének (kockázatának) megállapítása, azaz az exponált csoport megbetegedési kockázatának, így pl. a daganatos betegségek kialakulási valószínűségének a becslése. A szervezetet ért genotoxikus hatások mértékének, azaz a sejtekben kialakult mutációk megjelenésének kimutatására napjainkban többféle, citogenetikai és molekuláris genetikai módszer áll rendelkezésünkre, amelyek képesek kimutatni a DNS kezdeti lézióit és a már kialakult mutációkat egyaránt.

A genotoxikológiai monitor egy olyan komplex vizsgálati rendszer, ami több, egymástól független citogenetikai módszeren túl, magában foglalja a donorok klinikai és anamnesztikus vizsgálatát és a környezet (pl. munkahely) részletes felmérését is.

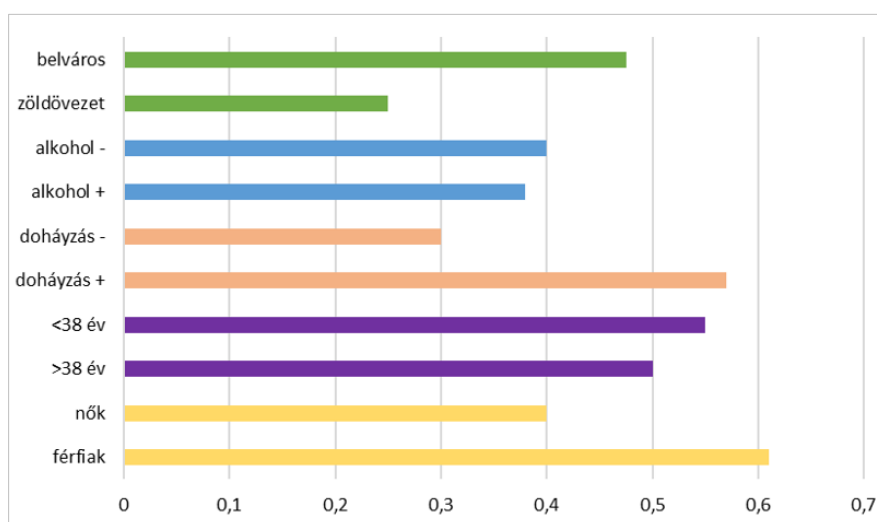
A vizsgálatok eredménye a klinikai laboratóriumi vizsgálatok esetén diagnózis, azonban **a genotoxikológiai vizsgálatok eredménye nem diagnosztikai, hanem kockázatbecslési érvényű.** A kapott eredmények tehát nem egy adott betegség, vagy betegségcsoport jelenlétét igazolják, hanem ezen betegségeknek, vagy betegségcsoportoknak a vizsgált populációban való megjelenésének kockázatára vonatkoznak.

A rizikó pontos azonosításán túl azt is vizsgálni kell, hogy az adott genotoxikus ágens milyen mértékben képes genetikai hiba létrehozására a vizsgált humán mintában.

A rizikóbecslés, azaz a megbetegedési kockázat meghatározása a genotoxikus ágens által létrehozott hatás kimutatásán alapul. A rizikóbecslés eredménye alapján intézkedések fogantathatók a (további) expozíció elkerülésére. Ez a rizikóbecslés általában nem ad számszerűsíthető értéket, de a genotoxikus károsodás kimutatható hatásainak (pl. génmutációk, kromoszóma károsodások stb.) szignifikáns emelkedése a nem exponált, kontroll populáció(k)ban talált értékekhez képest a fokozott rizikó egyértelmű jele.

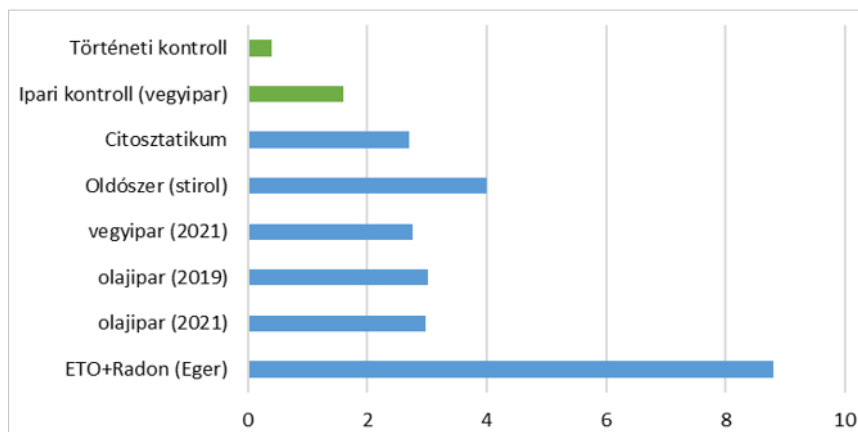
A rizikóbecslés fontos eleme tehát a kontroll populációk, csoportok genotoxikológiai paramétereinek ismerete. Két fő kontroll csoportot használunk:

- Az ún. történeti kontroll adatbázis (67. ábra) a genotoxikus ágens(ek)kel nem exponált csoportok vizsgálati eredményeit rögzíti. Standardizált és ellenőrzött módszerek alkalmazása esetén az irodalomban közölt kontroll populációs adatok is használhatók, azonban minden laboratórium számára hasznos a saját módszereivel nyert, saját történeti kontroll adatbázis kialakítása.



67. ábra A történeti kontroll csoportok kromoszóma aberráció (CA) értékei

- Ismert eredetű, pl. ipari expozícióknál fontos második kontroll populáció az ún. **ipari kontrollok csoportja** (68. ábra), melynek tagjai ugyanazon ipari környezetben élnek, vagy dolgoznak, mint az exponáltak, de a vizsgált genotoxikus ágens hatásának bizonyíthatóan nincsenek kitéve.



68. ábra Történeti és ipari kontroll, valamint ipari exponált csoportok (CA) értékei

Fontos megjegyezni, hogy az illesztett kontroll csoportok alkalmazása az epidemiológiai vizsgálatokra kidolgozott szigorú szabályok szerint történik és alapfeltétele a sikeresen működtetett monitornak.

A követés és a 0-pontos vizsgálatok jelentősége

A jól működő monitorból kapott eredmények megbízhatóságát erősíti a *követés* vizsgálatok elvégzése. A követéses vizsgálat során lehetőség nyílik arra, hogy a donorokban a késői toxikus hatások kialakulását, illetve a genotoxikus hatások eliminálódását nyomon kövessük. Ilyenkor gyakorlatilag összehasonlító vizsgálatokat végzünk, ahol a donorok előző vizsgálati eredményei kontrollként (önmaguk kontrolljaként) szolgálnak. Fontos, hogy ugyanabban az évszakban végezzük a vizsgálatokat, ugyanis a szezonális változások befolyásolhatják az eredményeket (pl. fűtési szezon).

Ha lehetőség van rá, akkor törekedni kell arra, hogy a vizsgálatban résztvevő személyeket a genotoxikus expozíció előtt (pl. munkába állás) megvizsgálhassuk, azaz az ún. *nulla (0) pont* állapotát rögzíthessük. Ilyenkor lehetőségünk van az esetleges egyéni érzékenységek és a genotoxikus expozíció következményeinek elkülönítésére is, ugyanis az aneuploidiával (pl. Down kór), illetve DNS repair kapacitás változással járó veleszületett rendellenességek (pl. Bloom szindróma, ataxia teleangiectasia, xeroderma pigmentosum, Fanconi anémia, Werner szindróma), vagy ún. kromoszóma fragilitási hajlam esetén az indukált kromoszóma rendellenességek gyakorisága még alacsony expozíció után is magasabb lesz, mint az egészséges exponált donorokban. Az ilyen adatbázist nevezzük *önkontroll*osnak.

Kromoszóma aberrációk vizsgálata

A daganatos betegségek etiológiájában már régóta ismeretes a kromoszóma aberrációk, a kromoszómák tipikus elváltozásainak jelentősége. A kromoszóma aberrációk létrejötte mindig a DNS valóságos mutációját jelenti. A testi sejtekben bármilyen okból kialakult kromoszóma aberrációk és a később kialakuló daganatok gyakorisága között létező összefüggést több, nagy populáción végzett vizsgálat is igazolja. Minél nagyobb a vizsgált populációban észlelt, bármilyen okból kialakult, hosszabb időn keresztül fennálló kromoszóma aberráció gyakoriságának emelkedése, annál valószínűbb, hogy ebben a populációban a későbbiek folyamán daganatos megbetegedések fognak megjelenni. A genotoxikus károsodás kimutatására és a betegség kialakulásának kockázatbecslésére adekvát és megbízható módszer a kromoszóma aberrációk gyakoriságának vizsgálata.

A kromoszóma aberráció fogalma

A testi sejteken végzett citogenetikai vizsgálatok a kromoszómák szerzett rendellenességeit mutatják ki. A kromoszómák szerkezeti és számbeli rendellenességeit összefoglalóan kromoszóma aberrációknak nevezzük. Ezek egyrészt lehetnek:

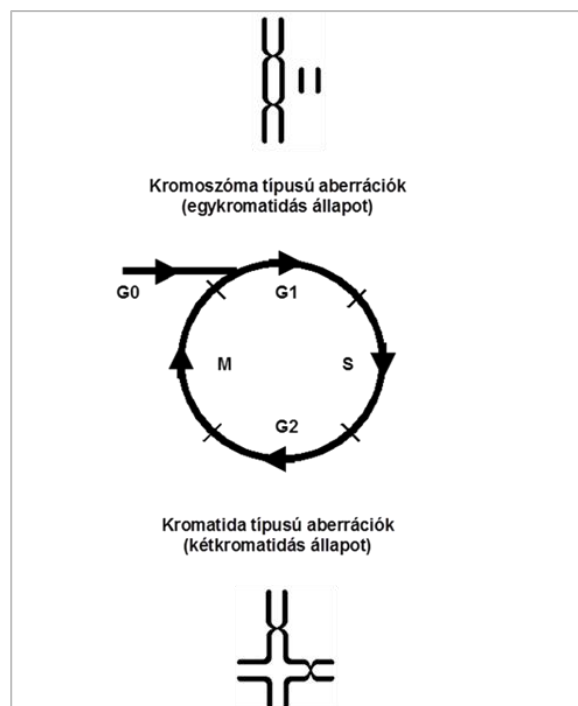
- **szerkezeti rendellenességek:** törések (break), kicserélődések (exchange, inverzió, transzlokáció), hiányok (deléció) vagy többletek (duplikáció, amplifikáció);
- **és számbeli eltérések (ploidia):** A kromoszómák számbeli eltéréseinél (aneuploidiak) a normál diploid (46) kromoszóma számtól ± 1 kromoszóma számban eltérő metafázi sokat regisztráljuk (aneuploidia).

A kromoszómákat ért genotoxikus hatások eloszlása általában random jellegű, ezért nem feltétlenül fontos a kromoszómák azonosítása (kariotipizálás) ahhoz, hogy képet kapjunk a genotoxikus károsodás mértékéről.

A kromoszóma aberrációk normál egyéni értéke 0-4 aberráció/100db értékelt mitózis (0-4%) között van, 4% felett emelkedett egyéni eredményről beszélünk.

A kromoszóma aberrációk kialakulása és típusai

A testi sejtek osztódásuk (mitózis) során az ún. mitotikus sejtciklus egyes, szigorúan egymást követő szakaszain mennek keresztül (69. ábra). Ezek sorrendben: az első felkészülési szakasz (G1), a DNS szemikonzervatív megkettőződése (S), a második felkészülési szakasz (G2) és maga az osztódás (M). Ehhez társul az osztódási ciklusba még be nem lépett sejtek nyugalmi szakasza (G0), mely megelőzi a G1-S szakaszt. A kromoszómák a G0 - G1 szakaszban egyetlen DNS molekulát tartalmaznak, azaz egykromatidás állapotúak, míg a késői S és G2 szakaszokban két kromatidájuk van, amiből a mitotikus sejtosztódás során egyet-egyet adnak át a két utódsejtnek.



69. ábra A kromoszóma és kromatid típusú aberrációk keletkezése a sejtciklus során

Az egykromatidás állapotban bekövetkezett DNS lánctörés, az S fázis végén ún. **kromoszóma típusú kromoszóma aberrációkat** (70. ábra) hoz létre, melyek a kromoszóma mindkét karján, ugyanazon a helyen alakulnak ki. Ez közvetlen, a DNS enzimatis javító (repair) folyamatai "közreműködése" nélkül létrejövő, ezért az S fázistól független hatás.

Ez az ionizáló sugárzások genotoxikus hatásának egyik, gyakoribb lehetséges módja. A létrejött aberrációk (pl. dicentrikusok) gyakorisága a sugárzás dózisének, ill. relatív biológiai effektivitásának függvénye. Vegyi ártalom esetében is létrejöhet ilyen töréssel kialakuló fragmentáció, ami inkább csak indikátora, mint dózismérője a kémiai expozíciónak. Ennek ellenére, követéses vizsgálatokban gyakran lehet dózisfüggő változásokat észlelni a CA gyakoriság időfüggő változásában.

A kromoszóma típusú aberrációk közé soroljuk:

1. terminális és intersticiális deléció (minute kromoszóma),
2. acentrikus és centrikus ringet,
3. inverziót,
4. reciprok transzlokációt és
5. a különböző policentrikus aberrációkat (dicentrikusok, tricentrikusok).



70. ábra **Kromoszóma típusú kromoszóma aberráció: tricentrikus**

A kétkromatidás állapotban bekövetkezett DNS lánc-törés a DNS repair enzimek "segítségével", közvetett módon hozza létre az ún. **kromatid típusú kromoszóma aberrációkat**, ezért az ilyen esemény S fázistól függő hatás. Az ilyen károsodások a kromoszómának csak az egyik karját érintik (71. ábra).

A DNS, információt hordozó elemeit (a bázisokat) módosító fizikai (pl. ultraibolya sugárzás, UV) és kémiai (pl. alkiláló) hatások ennek megfelelően, elsősorban, kromatid típusú aberrációkat hoznak létre, bár kisebb gyakorisággal, magasabb expozícióknál, pl. téves repair működés (misrepair) következtében, kromoszóma típusú aberrációk is kialakulhatnak.

A kromatid típusú aberrációk közül a leggyakoribb elváltozások:

1. kromoszómák folytonossági hiánya (gap),
2. terminális ill. intersticiális kromatid törés és
3. kromatid kicserélődés (kromatid exchange).



71. ábra **Kromatid típusú kromoszóma aberráció: kromatid törés**

Gap-nek tekintendő az az akromatikus lézió, amelynek nagysága megegyezik a kromatid szélességével, de helyzete nem diszlokált. Kérdés, hogy a gap önmagában, törések nélkül valódi kromoszóma károsodás-e. A szakirodalom ebben a kérdésben úgy foglalt állást, hogy a gap kialakulása a DNS szintézis gátlásával függ össze és számos nem genotoxikus tényező is elősegítheti a kialakulását. Ezért általában a nemzetközi megállapodások az aberrációk %-os arányába a gapeket nem sorolják be, hanem azok előfordulását külön tüntetik fel.

DNS repair kapacitás vizsgálata

A DNS karbantartó (repair) rendszere végzi a szerzett hibák nagy hatékonyságú javítását, és az eredeti DNS visszaállítását, ezért állapotának ismerete fontos a rizikóbecslés szempontjából. A jól működő DNS-repair képes az expozíció káros következményeinek eliminálására, míg a túlterhelt, vagy bénult DNS-repair a hibák számának emelkedéséhez vezethet. A teljes repair rendszer vizsgálata igen időigényes és drága, ezért a rutin vizsgálatokban az egyszerű, de informatív, UV fénnel indukálható DNS repair kapacitás mérést végezzük.

Az UV sugárzás mutagén hatása jól ismert, leggyakrabban a molekula azonos cukorfoszfát láncán, egymás mellett levő timidin elemek (timin bázisok) gyűrűi között kovalens kötéseket (ún. timidin diméreket) hoz létre, ezáltal az információt leolvasó (másoló) enzimrendszerek számára áthatolhatatlan gátat képez. Ez értelemszerűen a timidin diméreket követő információ elvesztését jelenti a sejt számára. Ez az alapja az UV expozíció jól ismert rákkeltő hatásának is.

Az UV expozíció következtében létrejött timidin diméreket az ún. UV-indukált DNS-repair rendszer javítja. Ez lényegét tekintve a timidin dimérek kivágását, és az így keletkezett DNS-lánc hézag „befoltozását” jelenti, amely néhány tíz bázispárnyi területre kiterjedő DNS szintézist jelent. Minden DNS szintézis folyamat lehetőséget nyújt jelzett prekursorok beépítésére, és így az újonnan szintetizált DNS szakaszok megjelölésére. Ezt a lehetőséget használjuk ki az UV-indukált repair tevékenységének kimutatására is, amikor a tríciummal jelölt timidin (3HTdR) beépüléséből következtetünk az enzimek aktivitására, standardizált UV-expozíció mellett.

Az emelkedő, vagy éppen csökkenő DNS-repair funkció detektálása értékes információt adhat arra nézve, hogy egy adott genotoxikológiai változás milyen irányba fejlődik.

A vizsgálat menete

Vizsgálati alanyok, anamnézis, klinikai laboratóriumi vizsgálat

Valamennyi vizsgált egyén lehetőség szerint az éves rendszeres alkalmassági vizsgálat keretében a foglalkozási orvos javaslatára, éhgyomorra érkezik a citogenetikai és klinikai laboratóriumi vizsgálatra. Minden vizsgált egyénnel ismertetjük a vizsgálat célját, és hogy abban önkéntesen vesznek részt, amit írásbeli beleegyezésükkel igazolnak.

A vizsgálatok elvégzését minden esetben megelőzi egy részletes, demográfiai adatokat, dohányzási és alkoholfogyasztási szokásokat, gyógyszeres kezeléseket, illetve a jelen és múltbéli egészségi állapotot feltáró anamnézis felvétele. Az anamnézis felvétele során külön gondot kell fordítani arra, hogy részletesen megismerjük a donorok munkakörülményeit, a

munkavégzés során általuk használt vegyi anyagokat és azt, hogy milyen munkavédelmi felszerelések állnak rendelkezésükre, illetve azokat milyen mértékben használják.

A vizsgálati alanyok adatait titkosan, a betegjogok tiszteletben tartásával kezeljük. Az értékelések során a mintákat kódszámmal jelöljük, és az értékelést dupla vak módon végezzük.

Genotoxikológiai (citogenetikai) vizsgálatok

- **Kromoszóma aberráció:** 48-50 órás tenyésztés során nyert kromoszómák alkalmasak az expozíció okozta esetleges szerkezeti-, illetve számbeli eltérések kimutatására. A kontroll és exponált egyénekből nyert vért fitohemagglutinin hozzáadásával, standard körülmények között tenyésztjük, majd feldolgozzuk. A lemezek preparálása a standard módszer szerint, a kromoszómák festése az ún. Fluoreszcens+Giemsa módszerrel történik. Az elkészített preparátumok kiértékelését mikroszkóppal végezzük. Az aberrációk meghatározását két értékelő, egymástól függetlenül végzi kódolt lemezről, egyenként 50 metafázis értékelésével. Az értékelés során csak a 46 ± 1 kromoszómaszámú első metafázisokat veszik figyelembe. A kapott vizsgálati eredményeket egyénileg és csoport-szinten egyaránt kiértékeljük.
- **DNS-repair enzimek kapacitásának mérése:** a sejtprogram önjavító képességének kimutatására. A vizsgálat izolált fehérvérsejteken történik. A limfocitákban működő, egyéb szemikonzervatív repair folyamatokat *hidroxiureával* szelektíven gátoljuk. Ezt követően, in vitro végzett rövid hullámhosszú UV besugárzással a DNS-ben timidin diméreket hozunk létre. Ezek repairját a hidroxiurea nem gátolja, így az expozíciót követő DNS szintézist, tríciummal jelzett timidin hozzáadásval szcintillometriásan mérni tudjuk. A DNS mennyiségét kolorimetriásan határozzuk meg.

A vizsgálatok eredményének értékelése

A vizsgálatok három lehetséges végeredményre vezethetnek:

1. A kontroll csoporttal összehasonlítva **szignifikánsan emelkedett érték nem mutat-ható ki:** a közvetlen genotoxikus hatás nem detektálható, ez azonban nem zárja ki az esetleg már fixált, jelenleg iniciált állapotban lévő, hibás klónok létét, amiből később daganat fejlődhet ki. Egy negatív eredményt csupán akkor lehet felhasználni a munkahelyi genotoxicitás lehetőségének kizárására, ha folyamatos követési adatok állnak rendelkezésre.
2. A genotoxikológiai végpontok eredménye a kontrollhoz képest **emelkedett, de statisztikailag nem szignifikáns:** a kiszűrt egyéneket érhetne genotoxikus hatás. Ha ez a jelenség átmeneti jellegű és újabb expozíciók hiányában nem fixálódik, a későbbiek során nem jelent emelkedést a rákrizikóban.
3. A genotoxikológiai vizsgálatok eredménye **statisztikailag szignifikánsan pozitív:** ha az expozíció eredetét a környezeti és biológiai monitorok adatai is alátámasztják, akkor genotoxikus ártalom tényét igazoltnak kell tekinteni. Ez az eredmény különösen akkor informatív, ha a vizsgált csoportnál önkontrollos vizsgálattal történő összehasonlításra is lehetőség van.

A genotoxikológiai vizsgálatok jogszabályi alapjai

A géntoxikológiai monitor indikációi a kémiai biztonságról szóló 2000. évi XXV. törvény, illetve a 26/2000. (IX.30.) EüM rendelet által meghatározottak, utóbbi daganatkeltő anyagokkal történő munkavégzés esetén előírja a munkáltató részéről a kockázatbecslés elvégzését, és ehhez ajánlja a citogenetikai módszereket.

NEM FERTŐZŐ BETEGSÉGEK JÁRVÁNYTANA

MAGYARORSZÁG KÖRNYEZET-EGÉSZSÉGÜGYI HELYZETE

Dr. Páldy Anna, Málnási Tibor, Középesy Szilvia

A környezeti tényezőkkel összefüggő betegségek nehezen azonosíthatók, mivel számos tényező együttes hatásának eredményeként alakulnak ki.

A természetes és az épített környezet tényezői, valamint az emberi egészség közötti kapcsolat ismert, azonban a károsító hatások azonosítása, az ok-okozat közötti összefüggések felderítése gyakran nehéz. A környezeti hatásokra jellemző, hogy általában alacsony szinten, vagy kis koncentrációban, ugyanakkor hosszantartóan hatnak, illetve az egészségkárosodás számos behatás eredőjeként alakul ki. A lakó és munkahelyi környezet számos szennyező ágenst tartalmaz, amelyek különböző károsodást okoznak és így az egyes megbetegedések okaiként nehéz azonosítani.

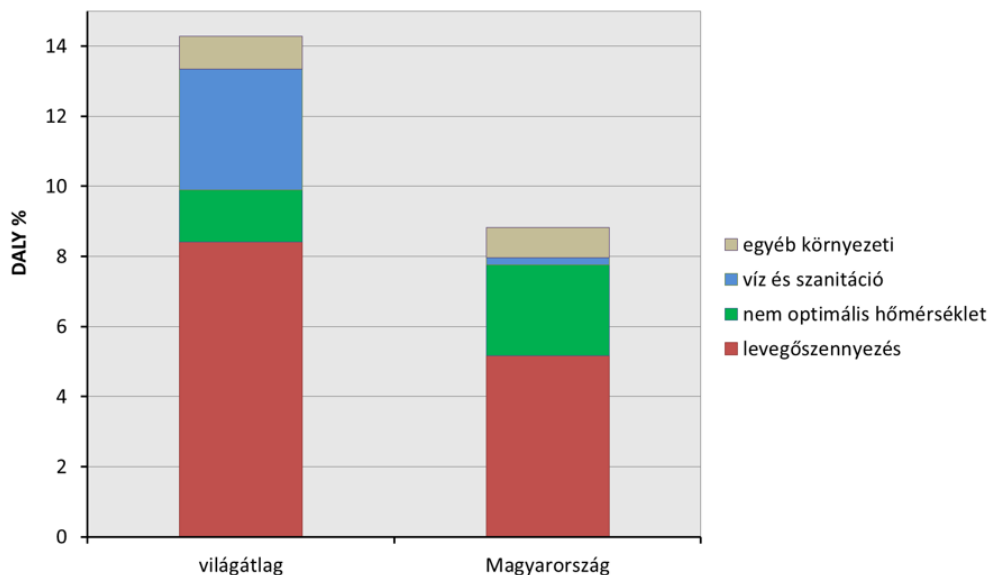
A környezetszennyezéssel kapcsolatos megbetegedések felderítése, a kiváltó okok megszüntetése, illetve a betegségek megelőzése igen fontos. A higiénés körülmények javulása, a magas koncentrációjú szennyezők kiküszöbölése eredményeket hozott, ezzel egyidőben a környezet, az életmód és a genetikai komponensek közötti interakciók egyre nagyobb hangsúlyt kapnak.

A WHO adatai szerint Magyarországon a környezeti okok miatti betegségteher aránya mintegy 16%-ra tehető (2012. évre vonatkozóan az idő előtti halálozást és a betegségben eltöltött életevek összességét tekintve – Disability Adjusted Life Years, DALYs). Ehhez a betegségteherhez legnagyobb mértékben a kül- és beltéri levegőszennyezés járul hozzá (elsősorban kültéri szálló por és ózon) (XXI. táblázat).

XXI. táblázat Egyes környezeti kockázati tényezők által okozott becsült betegségterhek Magyarországon, 2019.

Környezeti faktor	Betegségteher (DALY/100 000 fő)	Forrás
1. Légszennyezés	1 979,4	IHME
2. Közlekedési zaj	218,6	EHII
3. Ólom	163,4	IHME, EHII
4. Beltéri radon	160,0	IHME, EHII
5. Extrém hőmérséklet	142,9	EHII
6. Víz és szanitáció	79,6	IHME, EHII
7. UV sugárzás	38,3	EHII
8. Endokrin diszruptorok	17,6	EHII

Egy 2019-es becslés kedvezőbb helyzetet mutat: eszerint Magyarországon az összes betegségteher (DALY) mintegy 8,8%-a környezeti kockázati tényezőknek tulajdonítható (ez kisebb, mint a globális átlag 14,3%). Ezen belül Magyarországon legnagyobb jelentősége a légszennyezésnek van (elsősorban kültéri szálló por és ózon) (72. ábra).



72. ábra **A környezeti eredetű betegségteher megoszlása, 2019.**

(a rokkantsággal korrigált elvesztett életek arányában)

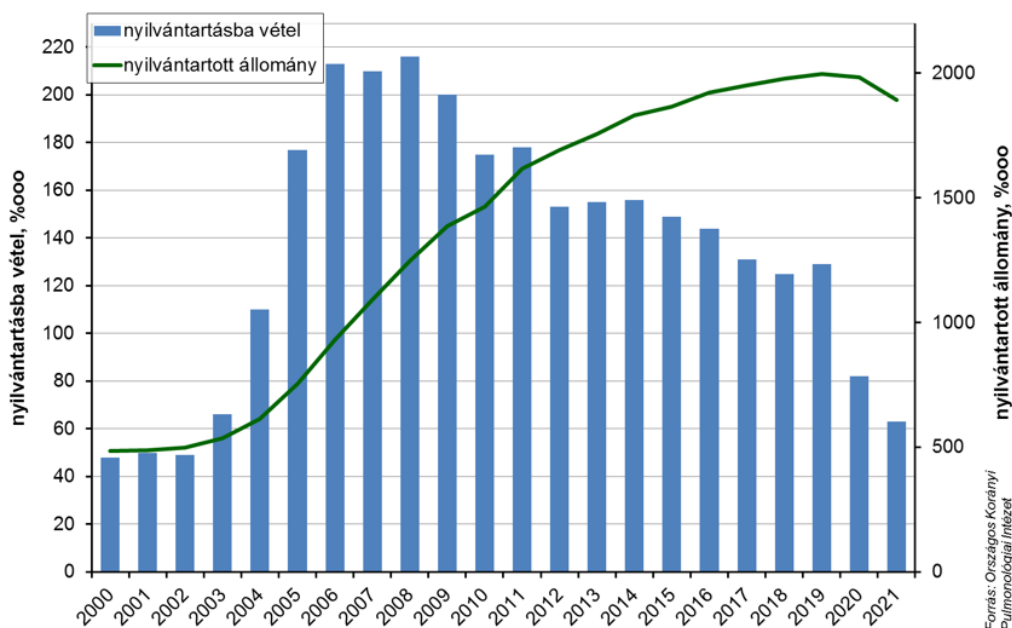
(forrás: Institute for Health Metrics and Evaluation <https://www.healthdata.org>)

A környezettel leginkább összefüggő megbetegedések az alábbiakban foglalhatók össze.

A kültéri és belső terek **levegőminősége** elsősorban a légzőszervi megbetegedések kialakulásában játszik szerepet. A kiváltó okok között a levegő gáznemű és szilárd szennyezői (kén-dioxid, nitrogén-dioxid, illékony szerves szennyezők, rákkeltő szerves és szervetlen vegyületek, szálló por stb.) mellett a növényi és állati eredetű allergének játszanak fontos szerepet. A nem TBC-s tüdőbetegek száma évek óta egyenletesen emelkedik és a nyilvántartott asztmás betegek száma ugyancsak évről évre nő. Ez azonban jelentős területi eltérést mutat mind az új betegek, mind a nyilvántartott betegek kapcsán. A levegőszennyezettségnek a hörghurut kiváltásában és fenntartásában is szerepe van: a felnőttkori idült hörghurut gyakorisága, ha kis mértékben is, de még mindig emelkedik. A tüdőrák kialakulásában elsősorban a dohányzásnak tulajdonítunk szerepet, azonban a levegő rákkeltő hatású szennyezői sem hanyagolhatók el. A tüdőrák mind a férfiak, mind a nők körében emelkedő tendenciájú.

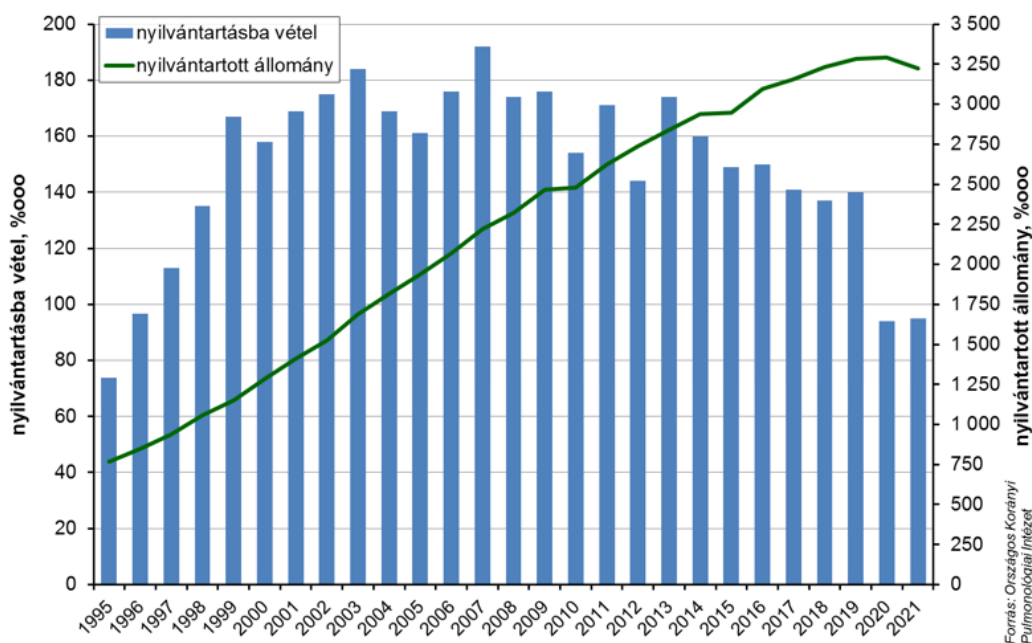
A légúti betegségek előfordulásának értékelése az *Országos Korányi Pulmonológiai Intézet* adatai alapján:

A krónikus obstruktív tüdőbetegség (COPD) tüdőgondozókban nyilvántartásba vett új eseteinek száma 2008 óta csökkenő tendenciát mutat, a nyilvántartott betegek száma 2020-ig növekedett (73. ábra).



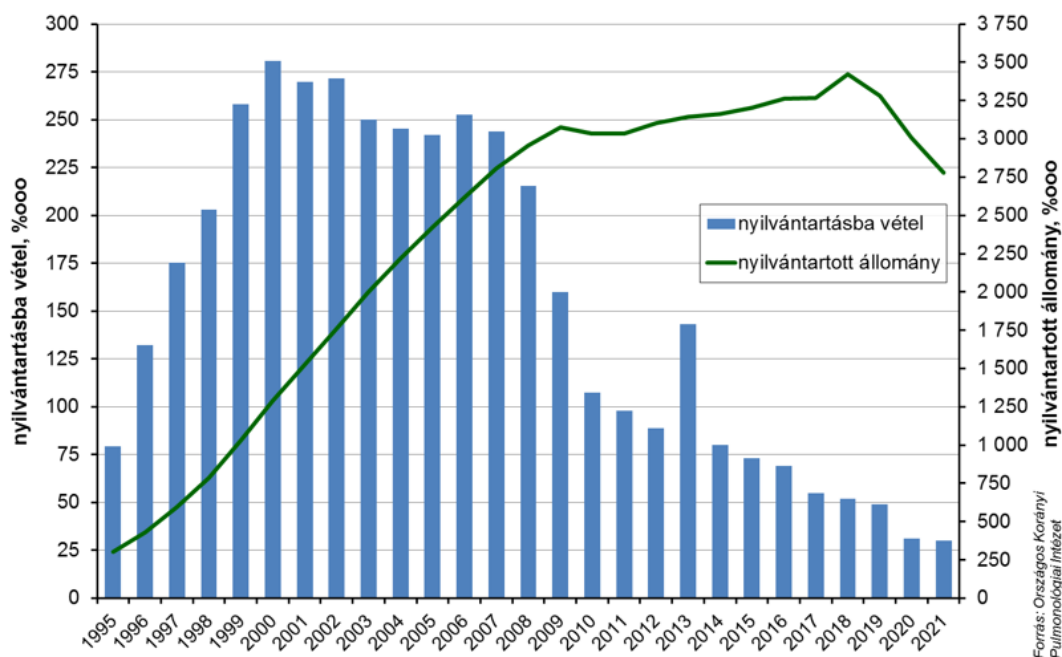
73. ábra COPD nyilvántartott morbiditási adatainak alakulása Magyarországon, 2000-2021.

Az *asthma bronchiale* morbiditás incidenciája (74. ábra) az 1995-ös évi 74/100 000 főről 2008-ra 192/100 000 főre emelkedett. Ezt követően csökkenő tendenciát mutat az új esetek száma. Az összes asthma bronchialis betegek száma hasonlóan emelkedett az elmúlt évtizedben. Az új asztmás esetek 52%-a allergiás eredetű (2021), ami felhívja a figyelmet arra, hogy fokozottabban kellene törekedni minden szinten a külső- és belsőterei allergének visszaszorítására.



74. ábra Asthma bronchiale regisztrált morbiditási adatai Magyarországon, 1995-2021.

A *rhinitis allergica* incidenciája az 1995-ös 79/100 000 főről 2000-re 281/100 000 főre emelkedett, ezt követően csökkenő tendenciát mutat (75. ábra).



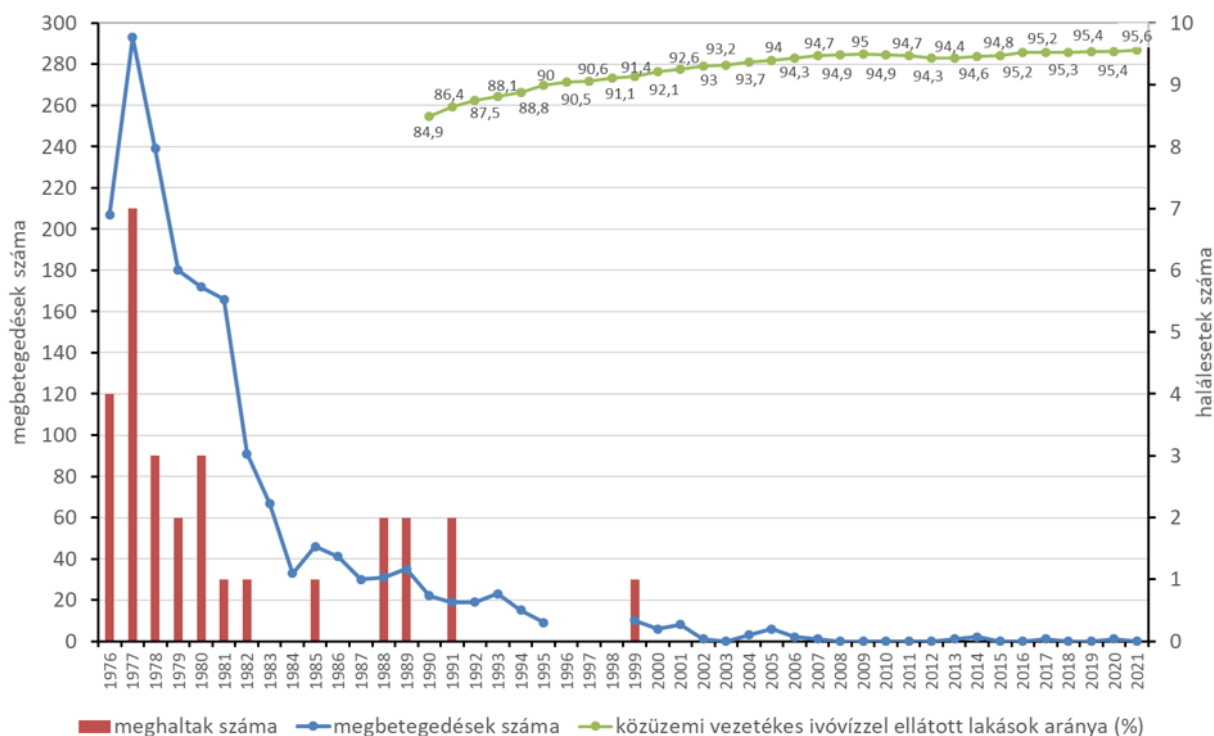
75. ábra Rhinitis allergica regisztrált morbiditási adatai Magyarországon, 1995-2021.

Megalapozott tudományos bizonyítékok állnak rendelkezésre arra vonatkozóan, hogy hosszú ideig tartó kisméretű aeroszol expozíció növeli egyes kardiovaszkuláris megbetegedések (ischaemiás szívbetegségek és stroke), valamint egyes légzőszervi megbetegedések (COPD) és a tüdőrák kialakulásának kockázatát. Fontos légszennyező még a nitrogén-dioxid (NO₂) és különösen a nyári időszakban a napsugárzás hatására másodlagos légszennyezőként megjelenő ózon (O₃), amelyek elsősorban egyes légzőszervi megbetegedések kialakulásához járulhatnak hozzá. A WHO 2012-re vonatkozó becslése szerint Magyarországon a kültéri levegőszennyezés miatt 8 147 többbalethalálest következett be, a 100 000 főre vonatkoztatott DALY értéke 1 758. Az EEA ténylapja szerint⁵³ 2015-2019 között az éves országos PM_{2,5} átlagkoncentráció 14,5 µg/m³ volt, a vonatkozó korai halálozás 10 367 fő. A NO₂ és O₃ szennyezés egészséghatása nagyságrenddel kisebb (880, ill. 444 járulékos halálest).

A megfelelő mennyiségű és **minőségű ivóvíz** alapvető az emberi egészség szempontjából. Magyarországon a lakosság legnagyobb része megfelelő minőségű vezetékes vizet fogyaszt (a lakások több mint 95%-a közüzemi vezetékes ivóvízhálózathoz csatlakozik). A vezetékes ivóvíz alacsony vegyi vagy mikrobiális szennyezettsége általában nem jelent lényeges egészségkárosító kockázatot, azonban a hálózatban bekövetkező másodlagos szennyezettség, klórozási melléktermékek esetenként problémát jelenthetnek.

⁵³ <https://www.eea.europa.eu/themes/air/country-fact-sheets/2021-country-fact-sheets/hungary>

Jelentős sikerként könyvelhetjük el, hogy az ivóvíz nitráttartalmának kontrollálása, illetve a veszélyeztetett kis településeken a megelőző intézkedések bevezetésével sikerült felszámolni a methaemoglobinaemiát (76. ábra). Ennek következtében évek óta nem történt haláleset, a megbetegedések száma pedig évi 0-1 esetre csökkent.



76. ábra **Methaemoglobinaemia megbetegedések és halálozások száma Magyarországon, 1976-2021.**

(forrás: NNGYK, ivóvízellátás: KSH)

Az ivóvíz természetes eredetű arzéntartalma több településen okozott gondot a múltban. Epidemiológiai vizsgálatok a hosszú időn át fogyasztott, magas arzénkoncentrációjú ivóvíz esetén egyértelmű összefüggést mutattak ki az ivóvízhatárérték feletti arzén koncentrációja és egyes rákos megbetegedések kockázatának növekedése között. Eszerint különösen nő a bőrrák kockázata, de nagyobb koncentrációk esetén a tüdő-, vese-, és hólyagrák kockázata is növekszik. A nemzetközi együttműködéssel végzett hazai epidemiológiai kutatások a fent említett hatásokon kívül összefüggést mutattak ki az egy vízellátási körzet ivóvizének arzéntartalma és terhességi és születési rendellenességek, például spontán abortusz gyakorisága között. Az ivóvíz arzéntartalmának határérték alá szorítása az Ivóvízminőség Javító Program egyik fő célkitűzése volt. Az Európai Bizottság szakértői csoportjának (SCHER) álláspontja szerint a felnőtt lakosságnak 20, a várandós anyáknak és kisgyermekeknek 10 µg/l feletti koncentrációjú ivóvíz fogyasztása nem javasolt. Az élelmiszerekkel és az ivóvízzel együttesen bejutó arzént, az általános népesség esetében a WHO 20-300 µg/nap közé teszi. Az arzénra vonatkozó határérték 10 µg/l; 2015-ben a határérték feletti arzént tartalmazó ivóvízzel ellátott települések száma 143 volt (valamennyi érintett település Csongrád-Csanád vármegyében található).

Fel kell hívni a figyelmet azonban olyan fontos elemekre, mint a jód és a fluorid, amelyek koncentrációja általában nem éri el a kívánatos mértéket. Akárcsak Európa több országa, így Magyarország is enyhén jódhányos területnek számít, az étkezéssel és ivóvízzel bevitt átlagos jód mennyisége alacsony. A jódhány pajzsmirigy működési zavarokat, golyvát idéz elő. A WHO szerint, ha az összes golyva aránya kevesebb, mint 5%, akkor az adott populáció jódelátottsága megfelelő; az 5,0-19,9% enyhe hiányt; a 20,0-29,9% mérsékelt hiányt; míg a 30% feletti golyva aránya súlyos jódhányt jelez. Hazánkban az 1994-97 közötti felmérések alapján csak 3 megye érte el az ideális golyva prevalenciát, (Bács-Kiskun, Csongrád, Vas megye) és további 5 megye (Békés, Hajdú-Bihar, Heves, Jász-Nagykun-Szolnok, Tolna-vármegye), illetve a főváros járt ezen érték közelében (6-8%). A legrosszabb vármegyei átlagérték Zalában volt (23%), de máshol is több település golyvagyakorisága haladta meg a 30%-ot (Farkas és mtsai., 2000).

A Washingtoni Egyetem 2015-ben kiadott globális betegségteher elemzése szerint hazánkban 1990-2015 között nem változott jelentősen a jódhány miatti rokkantsággal korrigált elvesztett életevek (DALY) száma: 15-16/100 000 év. Ha korcsoportonként elemezzük a helyzetet, hogy a hatással már a postneonatalis életkortól kell számolni, 20-74 éves korcsoportban azonos szintű problémát jelent.

Az ország lakosságának 97%-a nem kap elegendő jódot az ivóvízzel. Ugyanakkor egyes területeken, így Jász-Nagykun-Szolnok vármegye egyes településein az ivóvíz jódtartalma még mindig magas. A 2016-2019-es, 3.-4. osztályos gyermekek körében végzett felmérés azt mutatta, hogy a vizsgált korosztályban javult a jódelátottság az ezredfordulón mért adatokhoz képest. Azokon a Jász-Nagykun-Szolnok megyei településeken, ahol a hálózati ivóvíz 0,3 mg/l vagy azt meghaladó jodid koncentrációjú, a gyermekek körében túlzott jódürítés jellemző, illetve a felnőtt lakosság körében gyakoribbak a pajzsmirigy megbetegedések (Középesy és mtsai., 2022).

A *fogszuvasodás* hazánkban népbetegség, a fogazat állapotát (szuvas, kihúzott és tömött) jelző mutató (DMFT) tekintetében Magyarország – bár javuló tendenciát mutat: 1985 és 2008 között 5,0-ról 2,4-re csökkent – a nyugat-európai országokhoz képest igen jelentős lemaradásban van (pl. Németország, 2009: 0,7; Dánia, 2012: 0,6 – a WHO Global Oral Health Database alapján). Az okok között az alacsony fluorid bevitel is szerepel- lakosság 99,5%-a a szükségesnél kevesebb fluoridot kap az ivóvízzel (*Oral Health Data Portal*).

Az ivóvíz kémiai szennyezői közül jelenleg a legnagyobb kockázatot az ólom jelenti. Az ólom elsősorban a régi, 30 évnél öregebb épületek egy részében, illetve a régi vízhálózatokban még ma is sok helyen megtalálható ólomcsövekből kerül az ivóvízbe. Tehát elsősorban a nagyobb települések régi városmagjában található épületek lehetnek érintettek. Az ivóvíz ólomtartalmára vonatkozó határérték 5 µg/l.

A *természetes és medencés fürdők minősége* szintén a környezet-egészségügy előterében áll. A fürdőjárványok száma nem változott lényegesen az elmúlt években, azonban ezek felderítése sokszor a bejelentések elmulasztása miatt nem történik meg.

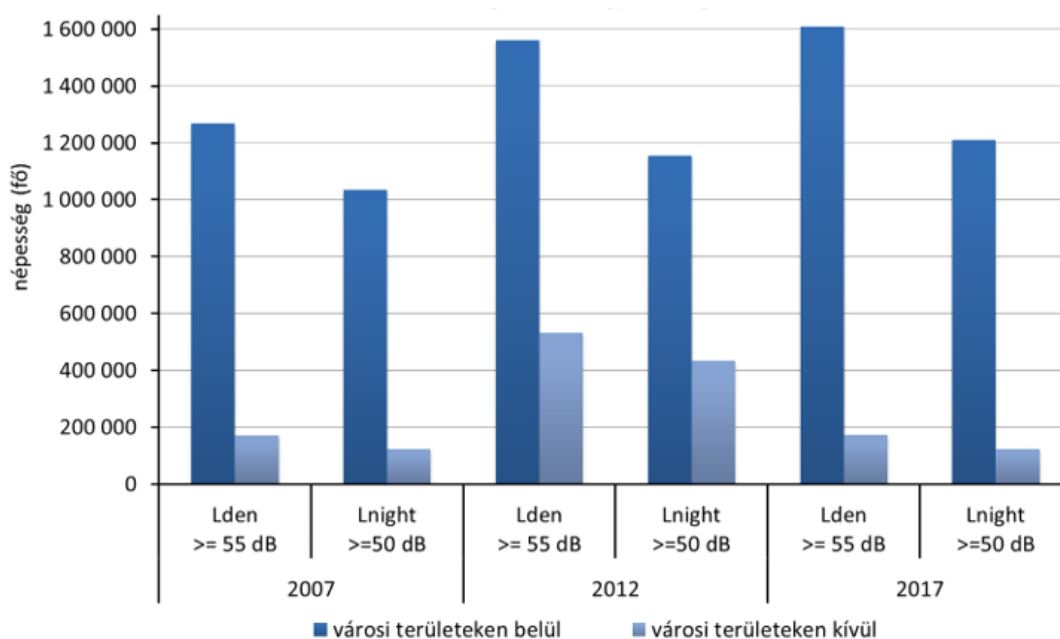
A **szennyezett talaj** közvetlenül, de leginkább közvetve veszélyezteti az egészségi állapotot. Az ivóvízbázisok elszennyeződése, a talajból a növényekbe kerülő szennyezők a táplálékláncon keresztül kerülnek az emberi szervezetbe. A heveny mérgezések viszonylag ritkák, de mint a Heves településen 1995-ben bekövetkezett ólommérgezés esete mutatja, előfordulhatnak.

Az **Országos Környezeti Kármentesítési Program** 2014-2020. évi programozási időszakban megvalósítani tervezett kármentesítési projektek stratégiai tervezése keretében előzetes felmérés és kockázatelemzés készült a legfontosabb szennyezett területekről és a potenciálisan egészségkárosító forrásokról. Emberi kockázat szempontjából különösen veszélyesek azon szennyezések, amelyek az ivóvízbázisokat veszélyeztetik. A fokozott kemizáció növeli az idült mérgezések kockázatát, ebből a szempontból a perzisztens szerves szennyezők, a toxikus fémek említhetők meg.

A környezet és egészség taglalásakor nem hagyhatók figyelmen kívül a **balesetek**, amelyek az összes halálozás mintegy 2,7%-áért felelősek (2019), ennek közel negyede közlekedési balesetek miatt következik be.

Szorosan nem tartozik a környezeti ártalmak körébe, de a túlzott **alkoholfogyasztás** egyre nagyobb közegészségügyi problémát jelent. Területi eloszlását tekintve az alkoholfogyasztással összefüggő betegségek miatt bekövetkező halálozás Borsod-Abaúj-Zemplén vármegyében a legmagasabb mind a férfiak, mind a nők esetében. A krónikus májbetegségek miatti halálozás a 90-es évek közepéig rendkívül nagymértékben emelkedett, azóta csökkenő tendenciát mutat, de még mindig csaknem kétszerese az Európai Unió átlagának.

A környezeti zaj magas szintje (77. ábra) mutatja, hogy Magyarországon a lakosság jelentős része van kitéve főleg a közúti közlekedésből származó magas zajszintnek.



77. ábra Közúti közlekedésből eredő magas zajszintnek (napi: $L_{den} \geq 55$ dB, éjszakai: $L_{night} > 50$ dB) kitétt lakosság száma Magyarországon

(forrás: European Environment Agency, Hungary noise fact sheet, 2021)

Az egyéb környezeti tényezőknek (pl. radon és ólom) és a víz eredetű kockázatoknak (nem megfelelő minőségű ivó- és fürdővíz, kézmosás hiányosságai, nem megfelelő szanitáció, az ivóvízbázisok veszélyeztetettsége) és a talaj szennyezettségéből eredő expozíciónak kisebb szerepe van. (*Institute for Health Metrics and Evaluation*). A környezeti expozíción kívül azonban az életmód (táplálkozás, dohányzás, alkoholfogyasztás) igen jelentősen befolyásolja a megbetegedések és a halandóság alakulását.

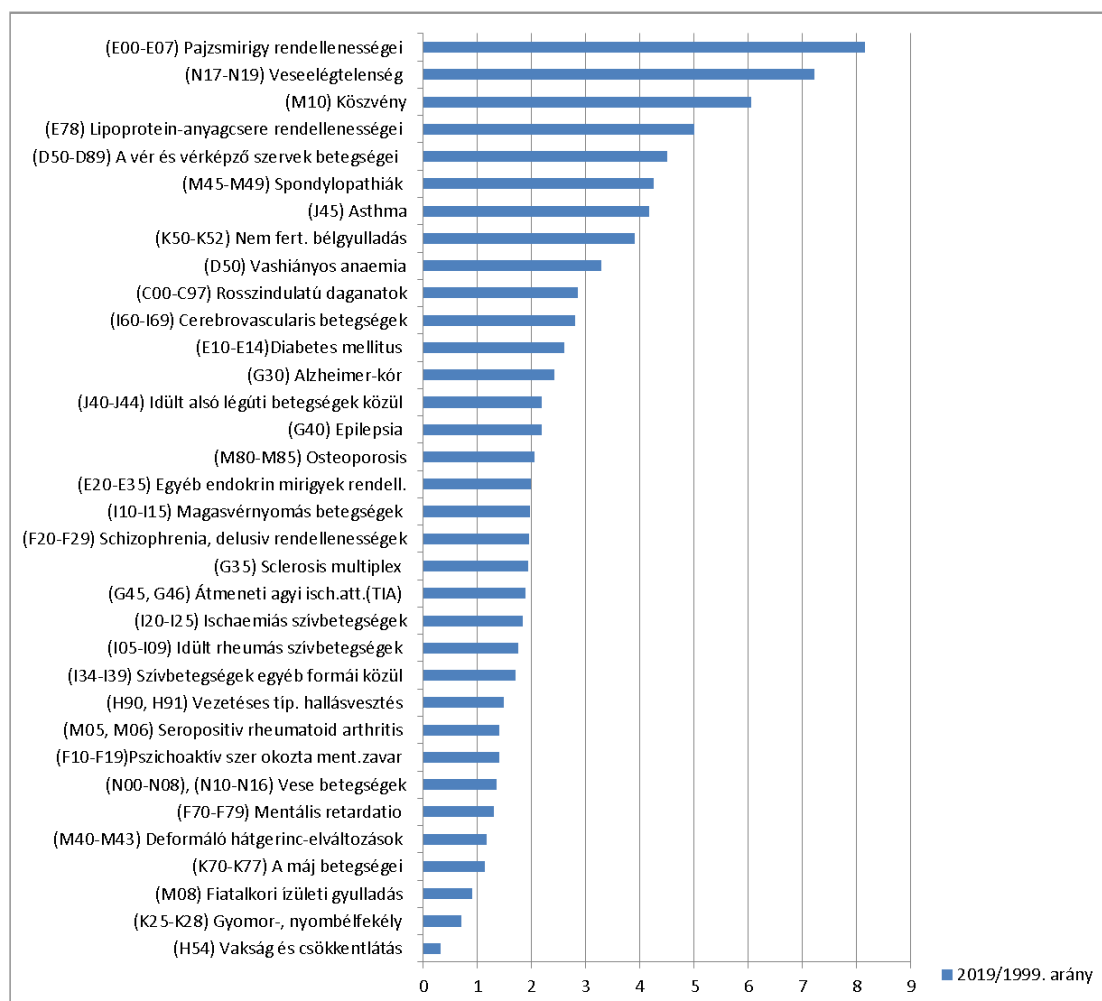
NEM FERTŐZŐ BETEGSÉGEK EPIDEMIOLÓGIÁJA

Dr. Páldy Anna, Málnási Tibor, Középesy Szilvia

Bevezetés

Hosszú évszázadokon keresztül az emberiség első számú közellenségeinek a *fertőző betegségek* számítottak. Mind elszigetelten (sporadikusan), mind különböző méretű járványok formájában egyaránt érintették a felnőtt és gyermek lakosságot, és hosszú ideig vezették a halálozási statisztikákat. Magyarországon a fertőző betegségek közül a *tbc* népegészségügyi problémát jelentő elterjedtségével vívta ki a „Morbus Hungaricus” elnevezést. A XX. század közepétől kezdve az antibiotikumok, a védőoltások, illetve az antituberculoitikumok felfedezésének és rendszeres alkalmazásának hatására kimutathatóan megnőtt a születéskor várható élettartam, ugyanakkor a fertőző betegségek visszaszorulásával a haláloki statisztikákban alapvető változásokat lehetett kimutatni, nevezetesen az úgynevezett *nem fertőző, krónikus betegségek* előretörését. Ebbe a csoportba tartoznak a *daganatos betegségek*, illetve az *ischaemiás szívbetegség is*.

*Ami a betegségeket illeti, a KSH OSAP 1021 háziiorvosi statisztikai jelentés alapján 1999. óta nyomon követhető több mint 30 krónikus betegség alakulása Magyarországon. A jelentésben szereplő adatok 35 betegség alakulásáról adnak áttekintést (78. ábra). Az adatok alakulását Bényi és mtsai. vizsgálták 2021-ben a kezdőévhez viszonyítva, továbbá 1 000 főre nemenként és 3 korcsoportban (19-34 év, 35-64 év, 65 év és több). A betegségek száma átlagosan kétszeres mértékben nőtt 21 év alatt. A növekedés mértékét illetően kiugróan magas arányban fordultak elő pajzsmirigy elváltozások. Legnagyobb számban a magas vérnyomás (3,16 millió), a *spondylopathiák* (2,17 millió), a lipoprotein-anyagszerezavar (1,39 millió), az ischaemiás szívbetegség (1,17 millió) és a diabetes mellitus (1,09 millió) jelenik meg.*



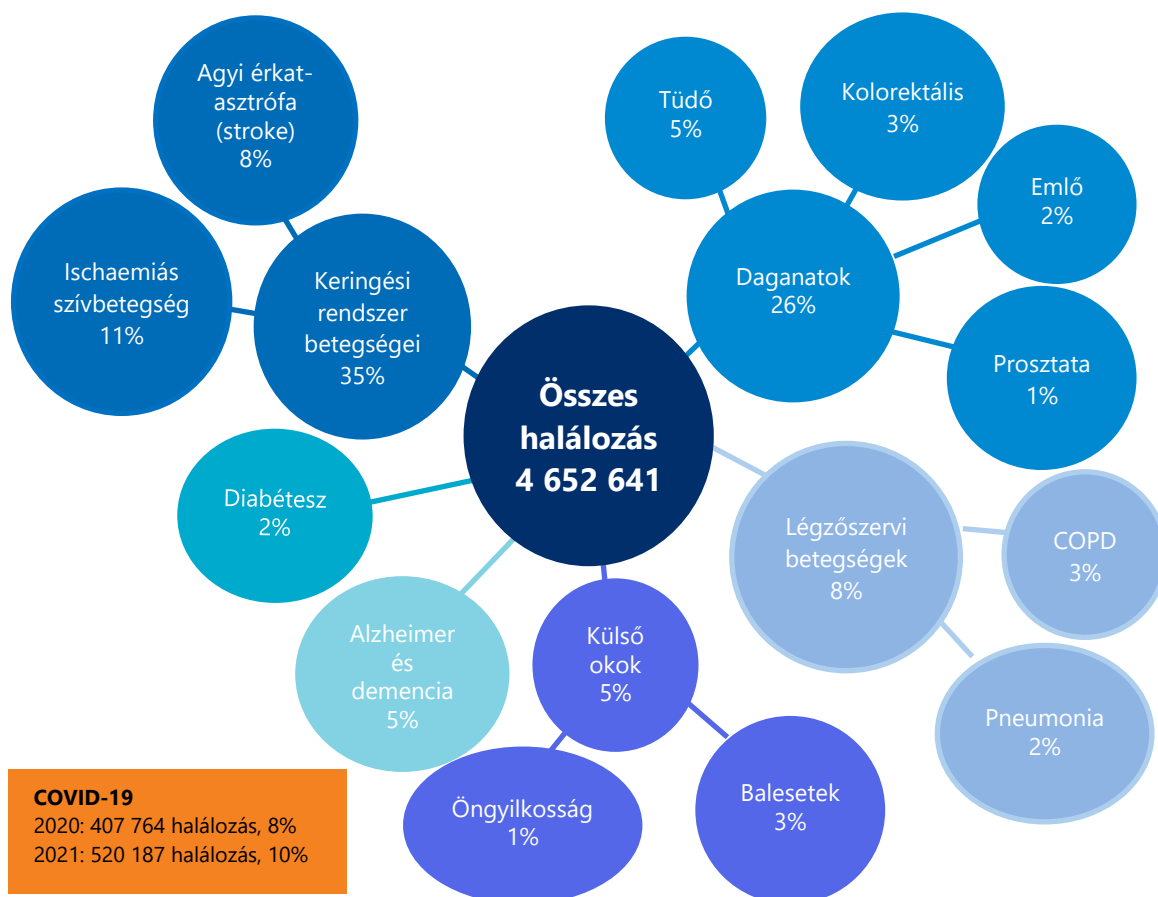
78. ábra A háziorvosok által OSAP 1021 alapján jelentett betegségekkel nyilvántartott felnőttek számának változása 1999-2019. években Magyarországon

Főbb halálokok az Európai Unióban és hazánkban

2019-ben (a világjárvány előtt) az EU-ban a halálozás két fő általános oka a keringési és a daganatos betegségek voltak; előbbiek több mint 1,6 millió halálesetet, vagyis az összes halálozás 35%-át okozták, utóbbiak közel 1,2 millió halálesetet, vagyis az összes halálozás 26%-át okozták (79. ábra). Összehasonlításképpen, a COVID-19 2020-ban az összes halálozás 8%-át (több mint 400 000 haláleset), 2021-ben pedig az összes halálozás 10%-át (520 000 haláleset) tette ki az EU-ban.

Az ischaemiás szívbetegek - beleértve az akut szívinfarktuszokat és egyéb betegségeket - és az agyi érrendszeri betegségek (stroke) a keringési betegségek okozta halálozás leggyakoribb okai, amelyek az EU-ban az e betegségcsoportból eredő halálozások több mint felét teszik ki.

2019-ben a tüdőrák volt a vezető daganatos halálozási ok az EU-ban, mintegy 235 000 halálozással. A halálozásban nemek közötti különbségek vannak. Míg a férfiak körében a tüdőrák a vezető ok, amelyet a vastagbélrák követ, addig a nők körében a tüdőrák után az emlőrák a második halálokozás.



Megjegyzés: Az ábrán nem szereplő egyéb halálozási okok az összes halálozás 18%-át teszik ki.

Az adatok Franciaország esetében 2017-re vonatkoznak.

Forrás: Eurostat, kiegészítve az OECD Health Statistics 2022-vel a COVID-19 halálozás tekintetében.

79. ábra Főbb halálozási okok az EU országokban, 2019.

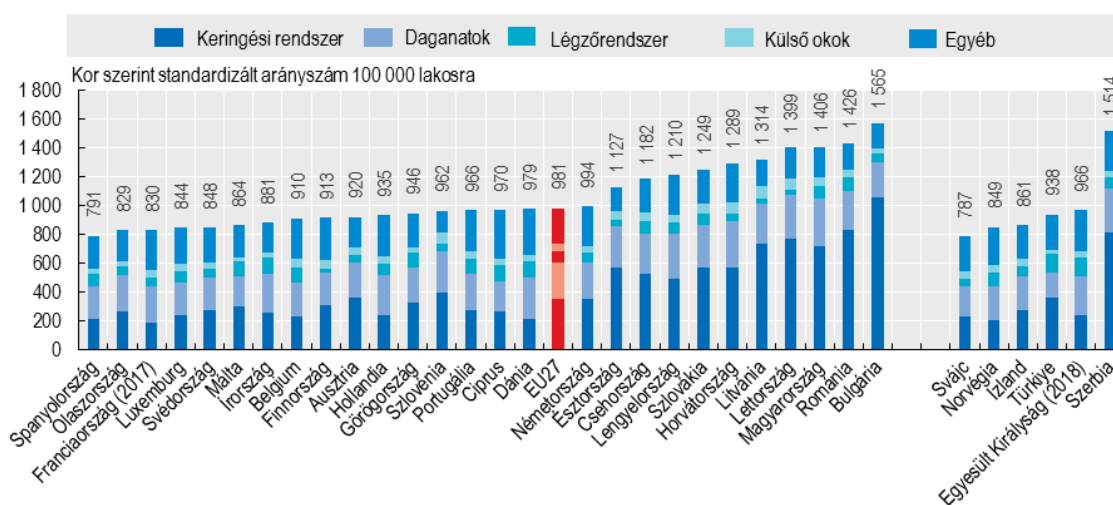
(forrás: <https://stat.link/zf7ice>)

A harmadik halálozási ok az uniós országokban a légzőszervi megbetegedések, 2019-ben mintegy 364 000 halálesetet okozva, ami az összes halálozás 8%-át tették ki. A légzőszervi betegségek közül a krónikus obstruktív tüdőbetegség (COPD) a leggyakoribb halálokozás, amelyet a tüdőgyulladás követ. A dohányzás a tüdőrák mellett a COPD legfontosabb kockázati tényezője is.

2019-ben a külső halálokok, beleértve a baleseteket, öngyilkosságokat, gyilkosságokat és egyéb erőszakos halálokokat, az összes halálozás 5%-áért voltak felelősek a nők, és 6%-áért a férfiak körében az EU országokban. Az erőszakos halálokok legfontosabb okai a balesetek (155 000 haláleset 2019-ben, beleértve a közlekedési baleseteket mintegy 27 000 halálesetét) és az öngyilkosságok (47 000 haláleset). A közlekedési balesetek különösen fontos halálozási okot jelentenek a fiatalok (18-25 évesek) körében, míg az öngyilkosságok aránya általában az életkor előrehaladtával nő.

Az egyéb konkrét okokat tekintve az Alzheimer-kór és más demenciák az összes halálozás 5%-át tették ki az EU-ban 2019-ben. Ezen idősödéssel kapcsolatos betegségek okozta halálozások száma több mint 50%-kal nőtt a 2019-ig tartó évtizedben. Az Alzheimer-kór és más demenciák a nők körében jelentősebb halálozási okot jelentenek.

Az általános halálozási arányok a 100 000 lakosra jutó kevesebb, mint 830 halálesettől Spanyolországban, Olaszországban és Franciaországban (ami mintegy 15%-kal alacsonyabb az uniós átlagnál) a 100 000 lakosra jutó több mint 1 400 halálesetig Bulgáriában, Romániában, Magyarországon és Lettországon (ami több mint 40%-kal magasabb az uniós átlagnál) terjedtek 2019-ben (80. ábra). Az utóbbi országcsoportban a jóval magasabb halálozási arányok fő oka a leggyakoribb halálozási oknak számító keringési betegségekből eredő magasabb halálozási arány. Magyarországon a magasabb daganatos halálozási arányok szintén magyarázzák az uniós átlagtól való eltérés nagy részét.



80. ábra Főbb halálozási okok az OECD országokban, 2019.
(forrás: Eurostat)

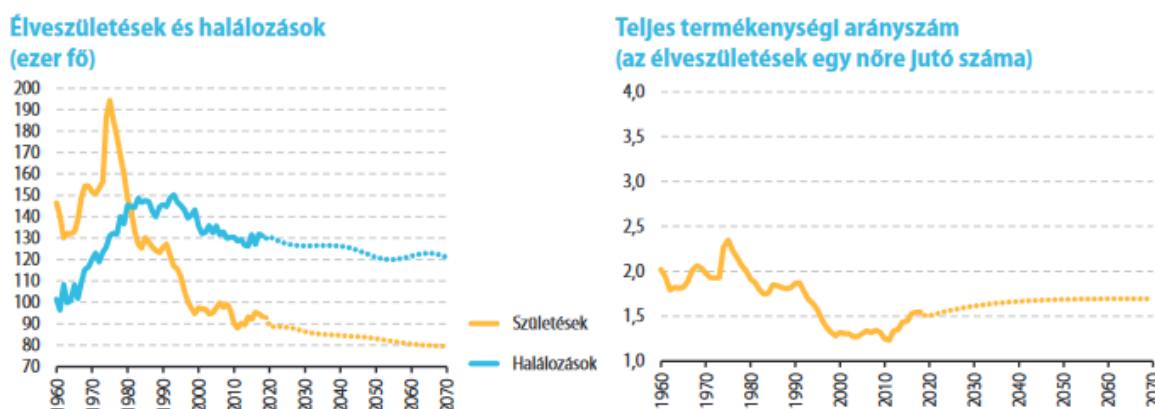
Magyarország demográfiai helyzete

A magyar népesség az 1980-as évek óta természetes fogyást mutat. A termékenységi arányszám a 2011-es 1,23-as mélypontról 2021-re 1,59-re emelkedett, de ez a növekedés is még messze elmarad a 2,1-es reprodukciós rátához képest, amely biztosítaná a magyar társadalom létszámának stagnálását (81. ábra).

A magyar népesség az 1980-as évek 10,7 millió fős csúcsa óta lassan, és egyértelműen csökken. A KSH adatai alapján 2022. január elsején Magyarország népessége 11 ezer fő híján 9,7 millió volt. A nyugati, fejlett országokhoz hasonlóan hazánk lakossága is öregszik. 2023-ban már 100 fiatalukorra 141 időskorú ember jut, míg egy évvel korábban még csak 139 jutott.

Az 1947 és 1967 közötti 20 évben a leggyakoribb halálokok megoszlása alapvetően megváltozott. Az orvostudomány fejlődésének köszönhetően ebben az időszakban a világon mindenütt emelkedett a várható élettartam mind a nők, mind a férfiak körében.

Ez a kedvező tendencia hazánkban is észlelhető volt. A nyolcvanas évekre azonban a kedvező változások megfordultak, elkezdődött a népesség fogyása. Ez a kedvezőtlen jelenség napjainkban is tart.

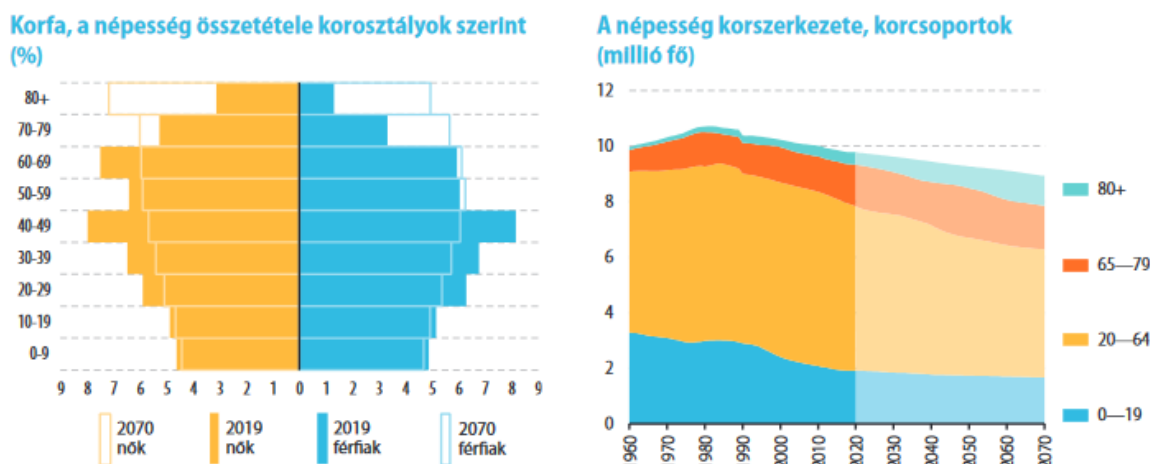


81. ábra Az élveszületések és halálozások, valamint a teljes termékenységi arányszám várható alakulása Magyarországon, 1960-2070.⁵⁴
(forrás: Eurostat)

Magyarországon a halandóság közismerten magas. Bár a születéskor várható élettartam az utóbbi másfél évtizedben folyamatosan emelkedett, halandóságunk sokkal kevésbé javul. Közismert probléma a középkorúak, ezen belül elsősorban a férfiak magas halálozása és rossz egészségi állapota (Kovács és Őri, 2009).

Amennyiben a halálozás mértékét nem sikerül csökkenteni, illetve az élveszületések számát kellő mértékben növelni, és a jelenleg meglévő trend érvényesül hazánk demográfiai helyzetét illetően, becslések szerint 2050-re a lakosság száma 10%-kal fog csökkenni.

A halandóság növekedése csak részben magyarázható az idősebb korúak számának növekedésével (82. ábra). Ennél nagyobb súllyal esik latba az a tény, hogy a *felőtt, aktív, munkaképes, elsősorban férfi lakosság között is*, bizonyos korosztályokban drámaian nőtt a mortalitás.

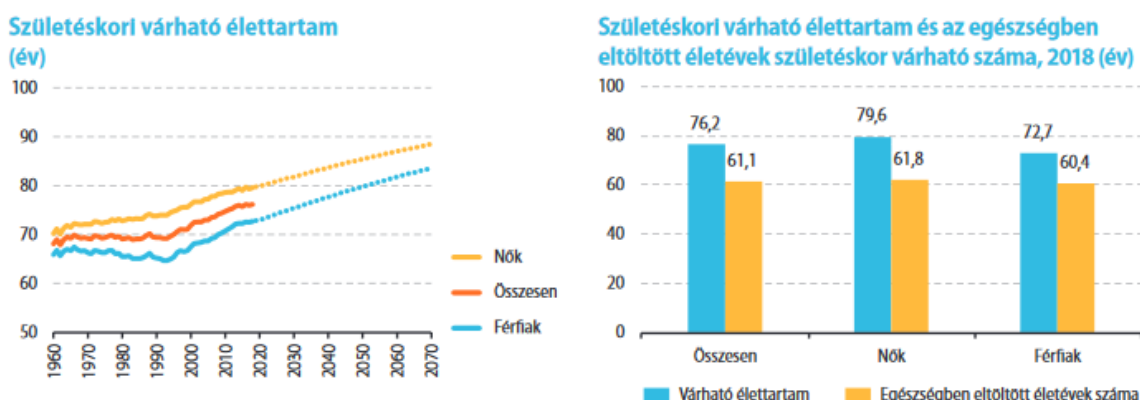


82. ábra Magyarország korfája, illetve a népesség korszerkezetének várható alakulása⁵⁵
(forrás: Eurostat)

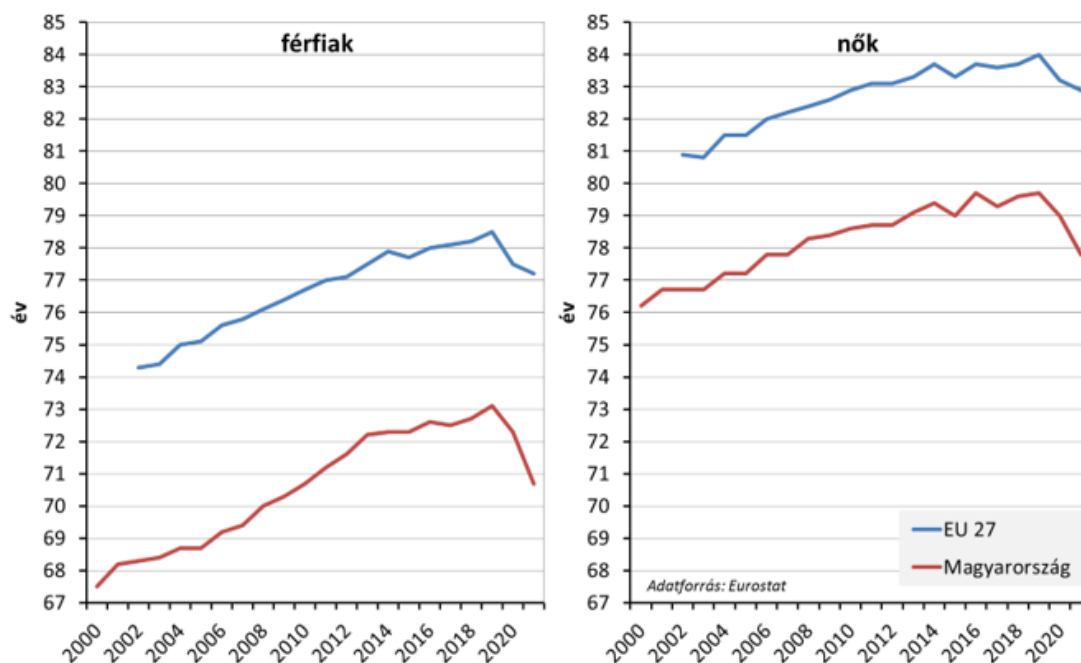
⁵⁴ <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/12743486/14207636/HU-HU.pdf>

⁵⁵ <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/12743486/14207636/HU-HU.pdf>

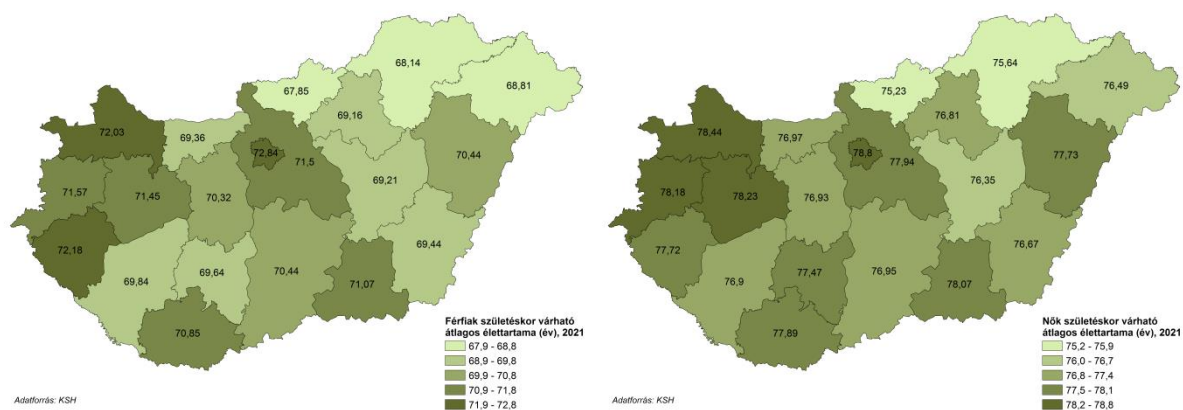
Annak, hogy egy egyénnek milyen esélye van egy társadalomban a teljes, produktív életre jó mutatója a *születéskor várható élettartam*, illetve a *továbbélési valószínűség*. Hazánkban a születéskor várható átlagos élettartam jelentősen elmarad az EU országok átlagától, férfiak esetében 6,5 évvel (70,7 év szemben az EU-ban tapasztalt 77,2 évvel), nők esetében 5 év a lemaradás (77,8 év az EU országok átlag 82,9 évéhez viszonyítva) (83., 84., 85. ábra). 2020-ban és 2021-ben Magyarországon és az EU tagországokban is csökkent a születéskor várható élettartam a koronavírus világjárvány miatt. Országon belül is jelentős a területi különbség mind a férfiak (Budapest: 72,8 év; Nógrád: 67,9, Borsod-Abaúj-Zemplén megye: 68,1 év), mind a nők (Budapest: 78,8 év; Nógrád: 75,2 Borsod-Abaúj-Zemplén megye: 75,6 év) esetében (KSH, 2021).



83. ábra Születéskori várható élettartam (1960-2070.) és az egészségben eltöltött életek születéskor várható száma Magyarországon, 2018.
(forrás: Eurostat)



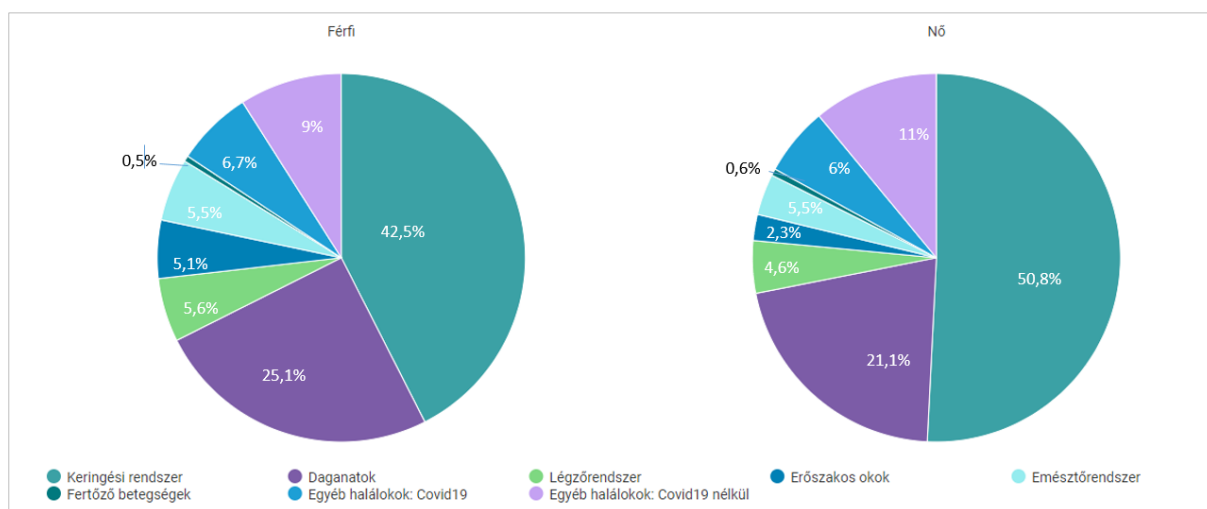
84. ábra Születéskor várható élettartam nemeként Magyarországon és az EU tagországaiban, 2000-2020.
(forrás: Eurostat)



85. ábra Születéskor várható átlagos élettartam Magyarországon nem szerint, megyénként, 2021.
(forrás: KSH)

Vezető halálokok Magyarországon

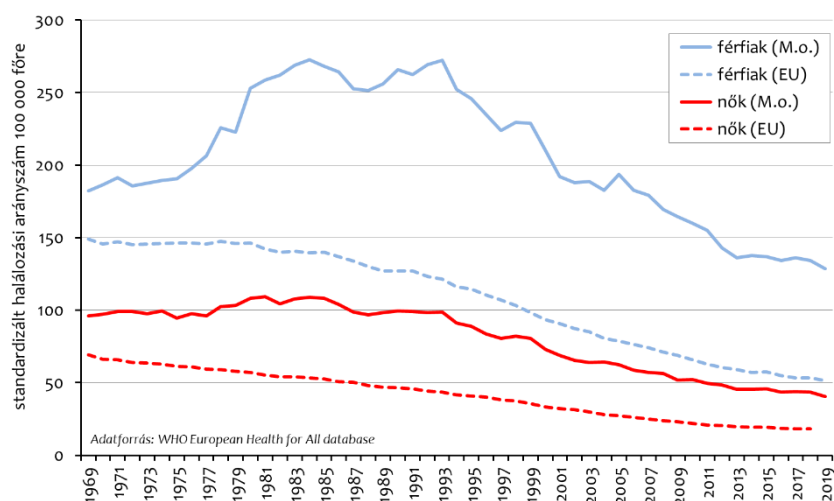
A KSH 2020. évi kiadványa szerint a vezető halálok mindkét nemben a szív-érrendszeri betegségek miatti halálozás (férfiak: 42,5%, nők esetében magasabb az arány: 50,8%), ezt követi a rosszindulatú daganatos betegségek miatti halálozás, ami férfiak körében 25,1%, míg nők körében 21,1% körüli. A harmadik és negyedik helyen a légzőszervi és emésztőszervi betegségek miatti halálozás áll mindkét nemben, bár arányuk a nők körében mindkét esetben alacsonyabb (86. ábra). Ezt követik a balesetek, a férfiak körében nem elhanyagolható az arány. A COVID-19 fertőzés miatti halálozás férfiak körében 6,7%, nőknél 6% volt, míg a többi fertőző betegségek miatti halálozás aránya mindkét nemnél alacsony. Az egyéb halálok miatti halálozás mindkét nem esetében 10% körül alakult 2020-ban (86. ábra).



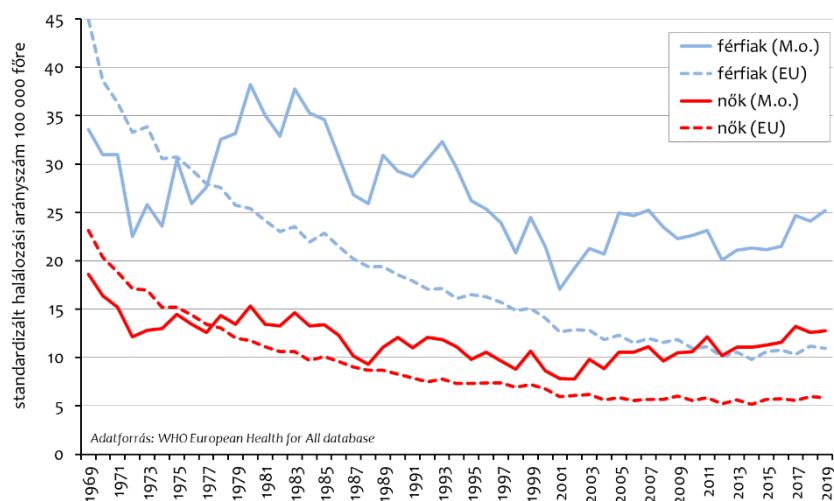
86. ábra A halálozások kiemelt halálokok szerinti megoszlása nemenként Magyarországon, 2020.

Az OECD 2015-ös kiadványa⁵⁶ szerint az OECD országokban 1960 óta 60%-kal csökkent a szív- érrendszeri betegségek miatti halálozás, az átlagos halálozási arány 252/100 000 fő volt. A 2016-ban elérhető WHO adatok szerint a cardiovascularis halálozást illetően Magyarország mind férfiaknál, mind nőknél a 25. helyen állt a világ 86 országának adatait figyelembe véve. Az Eurostat 2019-es adatai szerint a hazai cardiovascularis halálozás 714,8/100 000, az Unióban csak Bulgária, Románia Lettország és Litvánia előz meg bennünket.

A főbb halálokok miatti korai halálozási időbeni alakulását a következő hét diagram (87./1-7. ábra) mutatja be.

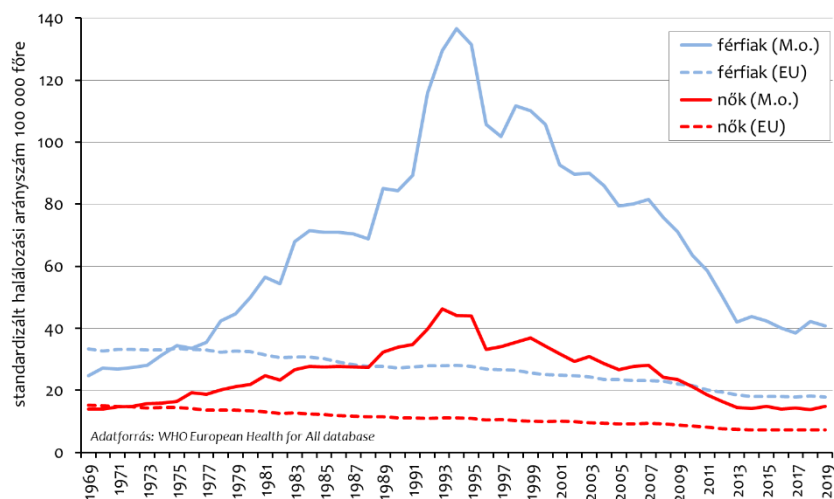


87./1. ábra A keringési rendszer betegségei (BNO-10: I00-I99) miatti halálozás a 0-64 évesek körében Magyarországon és az EU-ban, 1969-2019.

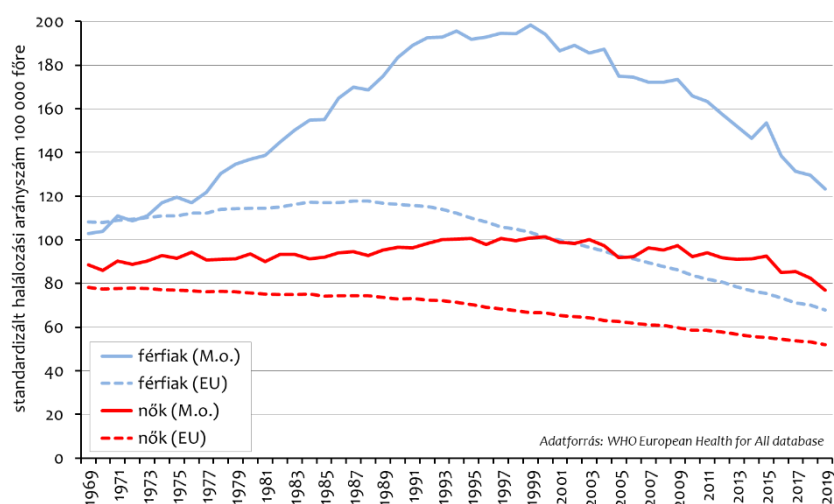


87./2. ábra A légzőrendszer betegségei (BNO-10: J00-J99) miatti halálozás a 0-64 évesek körében Magyarországon és az EU-ban, 1969-2019.

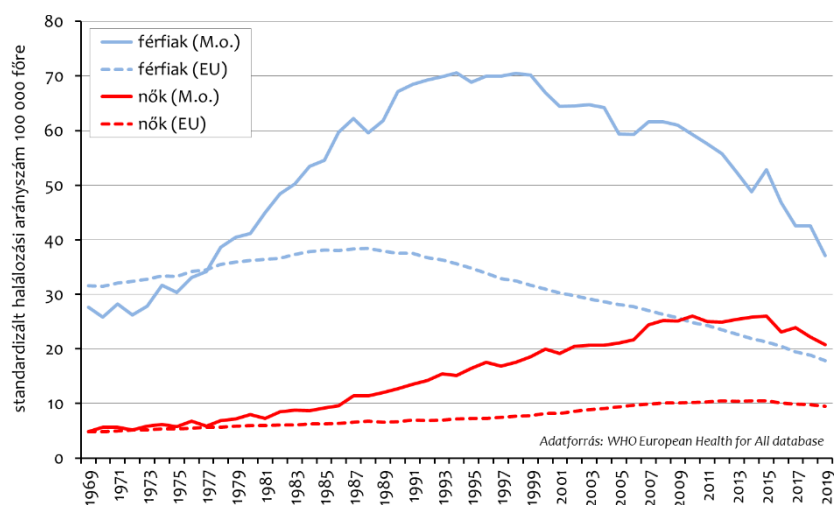
⁵⁶ https://read.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/cardiovascular-disease-and-diabetes-policies-for-better-health-and-quality-of-care_9789264233010-en#page4



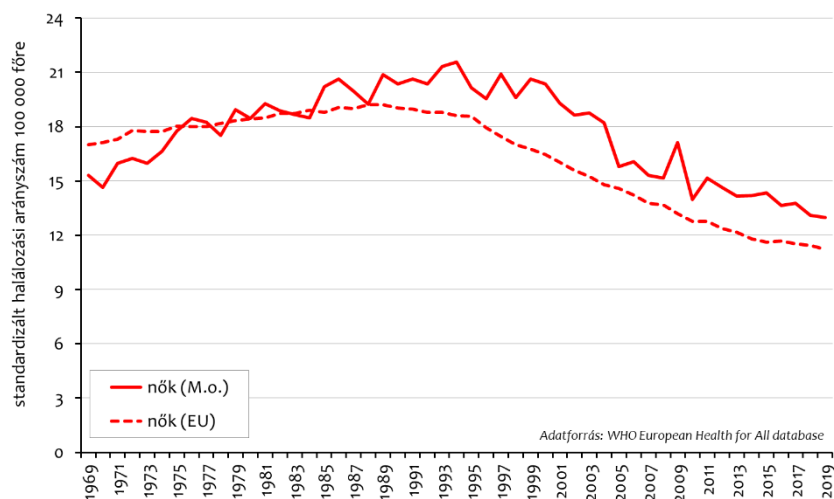
87./3. ábra **Az emésztőrendszer betegségei (BNO-10: K00-K93) miatti halálozás a 0-64 évesek körében Magyarországon és az EU-ban, 1969-2019.**



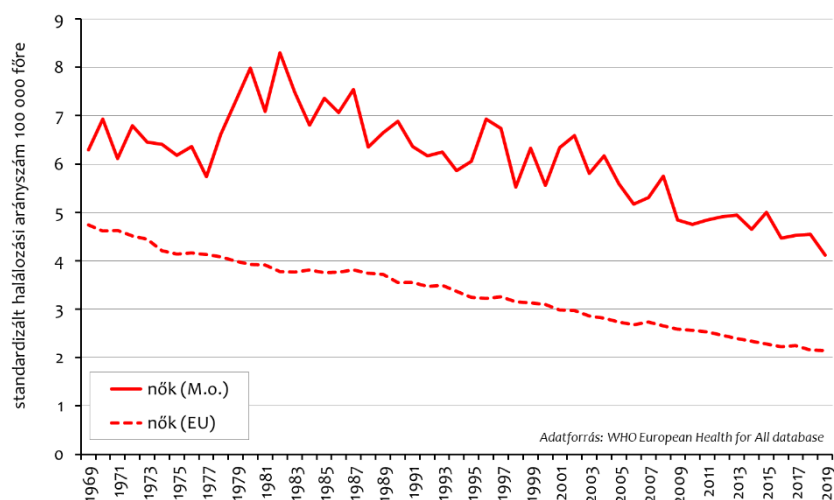
87./4. ábra **Rosszindulatú daganatok (BNO-10: C00-C97) miatti halálozás a 0-64 évesek körében Magyarországon és az EU-ban, 1969-2019.**



87./5. ábra **A légcső, a hörgő és a tüdő rosszindulatú daganata (BNO-10: C33, C34) miatti halálozás a 0-64 évesek körében Magyarországon és az EU-ban, 1969-2019.**



87./6. ábra Emlőrák (BNO-10: C50) miatti halálozás a 0-64 éves nők körében Magyarországon és az EU-ban, 1969-2019.



87./7. ábra Méhnyakrák (BNO-10: C53) miatti halálozás a 0-64 éves nők körében Magyarországon és az EU-ban, 1969-2019.

Magyarországon az ischaemiás szívbetegség (ISZB) miatti halálozás aránya 2019-ben 280/100 000, 2000-hez képest 21%-kal csökkent, elsősorban az akut miokardiális infarktus eredményes kezelése miatt. A keringési rendszer betegségei miatti halálozás mintegy 20%-a a *cerebrovascularis kórképek* miatt következik be, jelenleg 100/100 000 fő, 2000-hez képest 55%-kal csökkent⁵⁷ (OECD, 2021).

A légzőrendszer betegségei miatti halálozás Magyarországon – bár csökkenő tendenciát mutat – a férfiak körében jóval magasabb arányú (2019-ben 25/100 000 fő), mint az EU 27 átlaga (14/100 000 fő). A nők körében egyre gyakoribá válik, 14/100 000 vs. 5/100 000 fő).

⁵⁷ <https://www.oecd-ilibrary.org/sites/ae066b01-en/index.html?itemId=/content/component/ae066b01-en>

Ami az emésztőszervi betegségek miatti halálozást illeti, a Word Health Statistics Annual adatai szerint az európai népesség korösszetételére standardizált krónikus májbetegség a férfiak körében 1995-ben Magyarországon volt a legmagasabb, a nőket illetően pedig a második helyen voltunk. A kockázati tényezők között szerepelt a nagymértékű alkoholfogyasztás mellett a közel 4%-os krónikus hepatitisz-vírusfertőzöttség és a gyermekkori klórozott szénhidrogén peszticid (DDT) expozíció (Morava, 2002). A Hepatitis B vírus elleni védőoltás 1999-től történt bevezetésével⁵⁸ párhuzamosan látható a halálozás fokozatos csökkenése.

A rosszindulatú daganatos betegségek miatti halálozás elsősorban a férfiak körében emelkedett igen meredeken 1975-től, és csak a 2000-es évek elejétől kezdett csökkenni, de még 2020-ban is kb. másfélszer nagyobb arányú, mint az EU átlag. A nők körében később kezdődött a növekedés (a 70-as évek végén), és csak az utóbbi néhány évben kezdett kismértékben csökkenni.

A férfiak körében a légcső-hörgő és a tüdő daganatok miatti halálozása felel az összes daganatos halálozás feléért, az időbeni változást is ez határozza meg. A nők körében az EU átlagos légcső- hörgő és tüődaganatok miatti halálozás sokkal lassabban növekedett, mint a magyar nők körében, 2009-től hasonlóan alakul, mint az EU férfi lakosságára vonatkozó görbe.

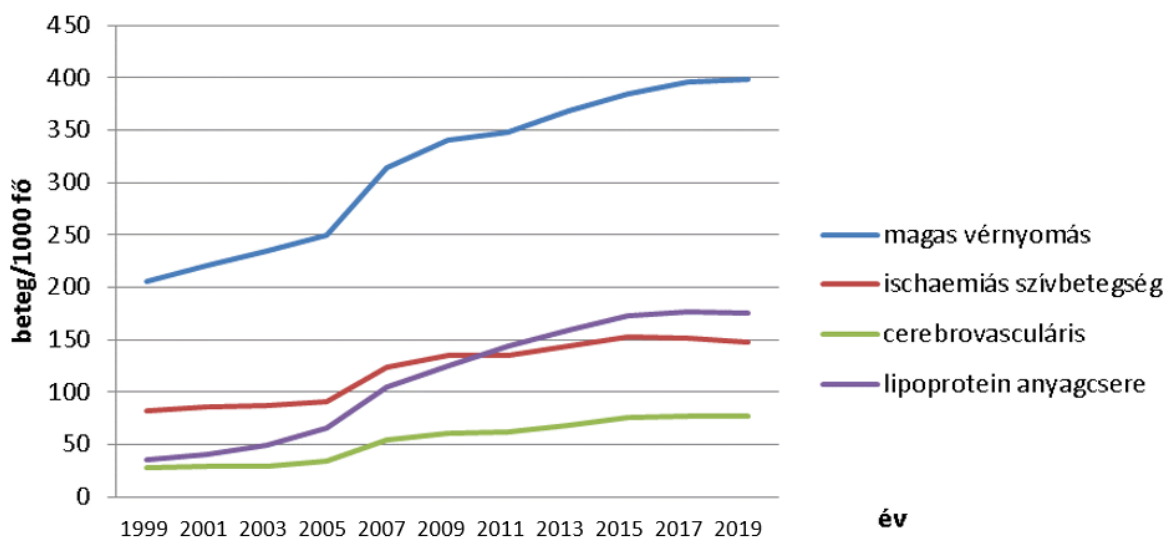
Az emlőrák a fejlett országok többségében a nők körében az egyik vezető daganatos halálok. A megbetegedés előfordulási gyakorisága és a magas halálozás miatt jelentős népegészségügyi probléma. Hazánkban a rosszindulatú emlődaganat következtében évente több mint 2 000 nő veszíti el életét és közel 8 000 új esetet diagnosztizálnak. A tüődaganatot követően a 2. legtöbb halált okozó női daganatos betegség. Magyarországon 2002 óta működik szervezett formában mammográfiás emlőszűrés a 45-65 éves korú nők körében azzal a céllal, hogy csökkentse a halálozást, ami 2005-től látható eredményt mutat. A 45-64 éves nők emlőrák miatti halálozása 28,3%-kal csökkent 2002-2012 között (Sárváry és mtsai., 2019).

A nők körében a méhnyakrák miatti halálozás az 5. helyen állt Magyarországon. A 25-64 éves nők méhnyakrák miatti halálozása 25,5%-kal, míg az EU28-országokban közel 15%-kal csökkent.

⁵⁸ <http://www.oltasbiztonsag.hu/?V%E9d%E9s%E9s-f%E9sbb-v%E9ltoz%E9sai-Magyarorsz%E9gon&pid=121>

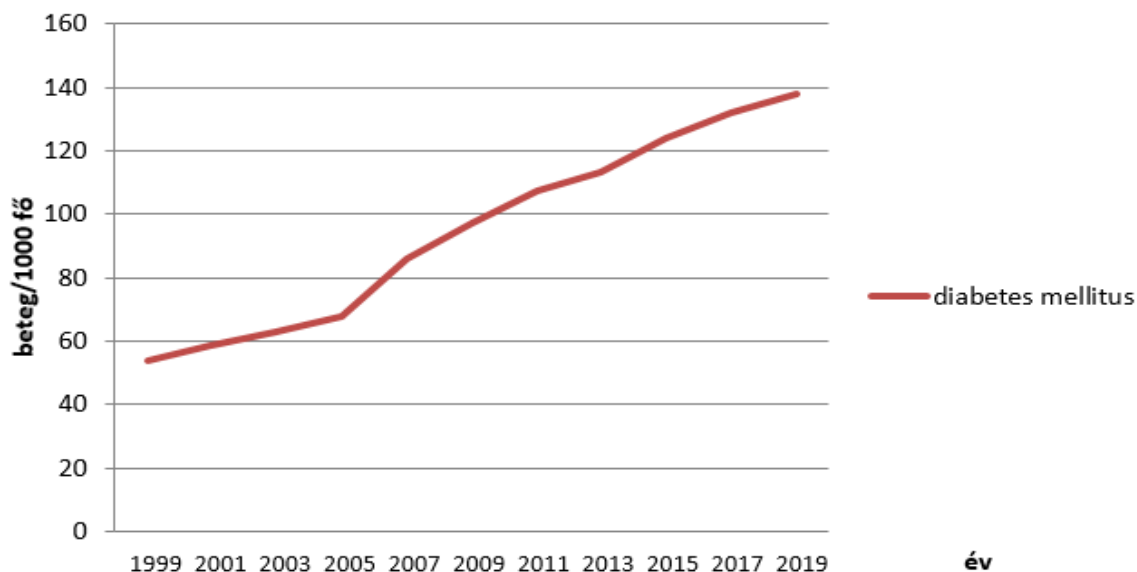
Cardiovascularis halálozás és betegségek előfordulása Magyarországon, kockázati tényezők

Az OSAP jelentések szerint a szív - és érrendszeri betegségek miatti orvoshoz fordulás jelentősen emelkedett az elmúlt két évtizedben, bár a növekedés üteme egyes betegségeknél lelassult. Abszolút számokkal kifejezve a magas vérnyomás 3,16 millió, a lipoprotein-anyagcserezavar 1,39 millió, az ischaemiás szívbetege 1,27 millió, a cerebrovasculáris betegségek 610 000 embert érintettek 2019-ben. A diabetes mellitus esetek száma is két és félszeres lett a 21 év alatt: az 1999. évi 422 000-ról 2019-re 1 097 582-re növekedett. A 88. ábra két fontos kockázati tényező, a lipoprotein anyagcserezavar és diabetes miatti orvoshoz fordulás növekedését (89. ábra) is bemutatja.



88. ábra Egyes szív- és érrendszeri betegségek és a lipoprotein anyagcserezavar eloszlása a felnőtt magyar lakosság körében 1000 főre, 1999-2019.

(forrás: OSAP 1021)



89. ábra A diabetes mellitus eloszlása a felnőtt magyar lakosság körében 1000 főre, 1999-2019.

(forrás: OSAP 1021)

A cardiovascularis betegségek és halálozás főbb rizikófaktorai

A magyar népességnél a cardiovascularis megbetegedések kialakulásának kockázatát az életmóddal összefüggésbe hozható tényezők, rizikófaktorok emelik leginkább, illetve kedvezőtlen megoszlást mutatnak.

Magyarországon a dohányzási szokások tekintetében a 2009 és 2019 közötti időszak alatt nem történt jelentős elmozdulás^{59, 60}. Az ötévente végrehajtott Európai lakossági egészségfelmérés (ELEF) eddigi 3 hulláma során dohányzás alatt a hagyományos dohánytermékek (cigaretta, pipa, szivar, tubák stb.) használatát értették, az elektronikus eszközök használatára nem vonatkoztak ezek a kérdések. 2019-ben a 15 éves és annál idősebb lakosság 24,9%-a dohányzott napi rendszerességgel, 2,1 százalékkal kevesebben, mint 2009-ben. A napi rendszerességgel való dohányzás és az iskolai végzettség, valamint a jövedelem között fordított irányú összefüggés figyelhető meg: a kevésbé iskolázottak, illetve az alacsonyabb jövedelműek egyharmada, míg a felsőfokú végzettségűek egytizede, és a magasabb jövedelműek 16,7%-a dohányzott naponta. Sajnálatos, hogy a rendszeres dohányzásra való hajlam már serdülőkorban kialakul.

Ma Magyarországon a magas vérnyomás betegség (**hypertonia**) a lakosság jelentős részét érinti. A 2014-es felmérésben a lakosság 31%-a számolt be magas vérnyomásról; arányuk 2019-ben is hasonló volt. Már a fiatal korcsoportban is száz ember közül 3-nál állapítottak meg magas vérnyomást, és az életkor előrehaladtával a betegek aránya erőteljesen tovább növekszik. A középkorúak háromtizede, míg az idősek kétharmada érintett. A 15-64 évesek között a férfiak némileg nagyobb hányadánál jelentkezik a betegség, de az idősek körében a nőknél fordul elő gyakrabban.

A betegségben szenvedők 95%-a szed orvosi javaslatra gyógyszert a megfelelő vérnyomásszint elérése, fenntartása érdekében. A szív- és érrendszeri betegségek kialakulásának kockázatát növelő magas koleszterinszint a lakosság 11%-át érinti. 2009 óta ezen a területen sem történt jelentős változás, akkor is a népesség 12%-a említette ezt a betegséget. A koleszterinszintet csökkentő gyógyszereket szedők aránya is hasonló maradt, 2009-ben 78%-uk, 2014-ben pedig 76%-uk számolt be gyógyszereszedésről.

Ugyancsak kedvezőtlen egy másik, a súlytöbblet becslésére ajánlott jellemző, az úgynevezett testtömeg index (**body mass index – BMI**) megoszlása a magyar lakosság körében. A 27-nél nagyobb BMI enyhe, míg a 30-at is meghaladó, jelentős veszélyeztetettséget jelent az ischaemiás szívbetegségre (ISZB). A 2014-es ELEF felmérés szerint a teljes lakosság több mint fele (54%) a túlsúlyosak, vagy elhízottak közé tartozik. A férfiaknál magasabb ez az arány (61%), mint a nőknél (48%).

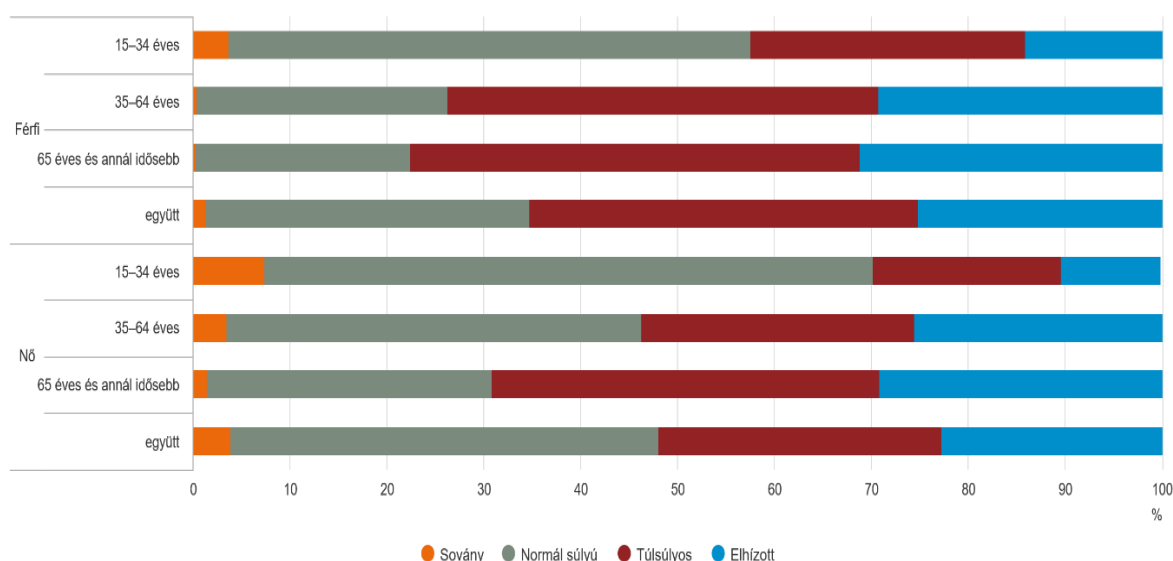
A 2019-ben ismételt felmérésben az önbevallással gyűjtött testmagasság- és testsúlyadatokról számított testtömegindex alapján már a 15 éves vagy annál idősebb lakosság közel 60%-a volt túlsúlyos vagy elhízott, ebből közel negyede elhízott (90. ábra). A 2019. évi adatokat az 5 évvel korábbi felvétel eredményeivel összehasonlítva a túlsúlyosak aránya 1%-kal, az elhízottaké 3%-kal növekedett. Nemzetközi összehasonlításban Magyarország az EU három

⁵⁹ <http://www.ksh.hu/elef>

⁶⁰ http://www.ksh.hu/stadat_files/ege/hu/ege0040.html

legelhízottabb lakosságú országa között volt Írországgal és Máltával együtt, és ha a túlsúlyosokat és elhízottakat együtt vizsgáljuk, akkor is a negyedik helyen állt.

A férfiaknál gyakoribb a túlsúly, mint a nőknél. Az elhízottak arányát tekintve csak 2 százalékpont a különbség, de ha a túlsúlyosakat is figyelembe vesszük, már eléri a 13 százalékpontot. Az e téren mutatkozó nemi eltéréseket jelentősen befolyásolja, hogy az emberek – különösen a nők – a valóságosnál sokkal ideálisabb képet képzelnek el magukról. 2014-ben száz elhízott férfi közül 74-et és száz elhízott nő közül 50-et lehetett az önbevallásos adatok alapján beazonosítani (lásd az ELEF-adatgyűjtésekhez kapcsolódó [OTÁP-vizsgálatok](#)). Az életkor előrehaladtával mindkét nemben egyre többen elhíznak, illetve lesznek túlsúlyosak, ugyanakkor csökken az elhízott férfiak és nők aránya közötti különbség. A túlsúlyosak esetében a középkorúak között adódik a nemek szerinti legnagyobb eltérés.



90. ábra **Tápláltság korcsoportok és nemek szerint**
(forrás: ELEF felmérés, 2019)

Ismert, hogy az elhízottak között minden korcsoportban nagyobb a krónikus betegek aránya. A túlsúly nagymértékben hozzájárul az általános egészségi állapot romlásához, a betegségek kialakulásához és a korlátozottság fokozódásához. Nagyobb kockázatot jelent a 2-es típusú cukorbetegség, a szív- és érrendszeri betegségek, a rák számos formájának, az ízületek degeneratív jellegű megbetegedéseinek és más egészségproblémák kialakulásában.

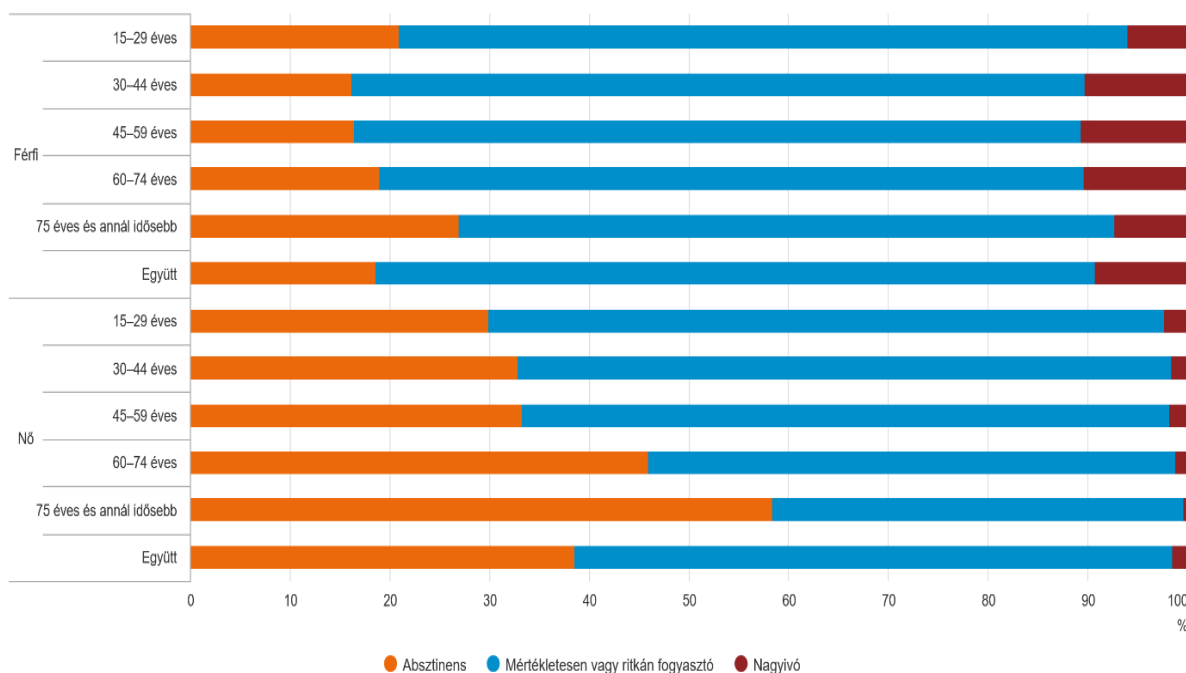
AZ ELEF felmérés alapján megállapítható, hogy a fiatalok között még csak az elhízottság járt együtt a betegségek kialakulásának nagyobb esélyével, a középkorúaknál és az idős nőknél már a túlsúly is növelte a kockázatot. A középkorúak kategóriájában – ahol a legnagyobbak a különbségek – az elhízottak között 62%, a túlsúlyosak között 22%-kal több a krónikus beteg, mint a normál súlyúak és a soványak együttes kategóriájában. A tartós betegségek túlnyomó többsége nagyobb valószínűséggel fordult elő az elhízottak között, és ez korcsoportonként is igaz volt.

A cukorbetegség négyszer (3,9 és 17%), a magasvérnyomás-betegségben szenvedők háromszor gyakrabban fordulnak elő (15 és 51%) az elhízottak körében a normál súlyúak és a soványak összevont kategóriájához képest (KSH, 2019)⁶¹.

Alkoholfogyasztás

A WHO szerint⁶² az alkoholfogyasztás világszerte évente 3 millió halálesethez, valamint több millió ember fogyatékoságához és egészségromlásához vezet. A káros alkoholfogyasztás okozza a betegségek globális terhének 7,1%-át a férfiaknál, és 2,2%-át a nők esetében. A 15-49 éves korosztályban az alkohol a korai halálozás és a fogyatékoság legsúlyosabb kockázati tényezője, az összes haláleset 10%-át okozza.

2019-ben 420 ezer embert, a 15 éves és annál idősebb férfiak 9,3%-át, és a nők mindössze 1,5%-át lehetett nagyivónak tekinteni Magyarországon (91. ábra). A kiadvány megállapításai a 2019. évi Európai lakossági egészségfelmérésből származó adatokon alapulnak⁶³. A nagyívó férfiak hetente több mint 14, a nők több mint 7 pohár szeszes italt fogyasztottak el, vagy hetente rohamszerűen ittak. Ugyanakkor a nők 39%-a, a férfiak 19%-a soha nem fogyasztott alkoholt. Utóbbiak száma alacsonyabb a magasabb iskolai végzettségűeknél és a kedvezőbb jövedelmi viszonyok között élőkénél.



91. ábra Szeszesital-fogyasztás korcsoportok és nemek szerint
(forrás: KSH, ELEM, 2019)

⁶¹ https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/idoszaki/elef/taplalkozas_2019/index.html

⁶² https://www.who.int/health-topics/alcohol#tab=tab_1

⁶³ <http://www.ksh.hu/elef>

A szív- és érrendszeri betegségek környezeti kockázati tényezői

A XX. század második felétől a szív- érrendszeri betegségek a vezető halálokok világszerte, bár a '80-as és '90-es években kissé csökkent a halálozási arány, elsősorban a kockázati tényezők megváltozása és az egészségügyi ellátórendszer javulása következtében.

Hazánkban jelenleg mindkét nemben ez a vezető halálokok, de nálunk is megfigyelhető a csökkenő tendencia, elsősorban a szívinfarktus hatékony kezelése miatt.

A szív- érrendszeri betegségek miatti halálozásban jelentős nemi különbséget figyelhetünk meg, aminek oka – többek között – az ösztrogén hormonok védő szerepe a pre-menopausális időszakban. A különbség okaiként meg kell említeni a szocio-ökonómiai helyzetet, a stresszt, az orvosi ellátáshoz való hozzájutást és a közvetlen kockázati tényezőket is, mint a magas vérnyomás betegség, magas koleszterin szint, testmozgás hiánya, túlsúly, dohányzás, alkohol-fogyasztás és diabetes. Ismert, hogy minél több kockázati tényezővel rendelkezik az egyén, annál nagyobb az esélye, hogy szívbetegség alakul ki szervezetében (Schettler, 2005).

Környezeti kockázati tényezők: a fenti kockázati tényezők mellett a szorosabban vett környezeti tényezők szerepe is jelentős a szív- érrendszeri betegségek kialakulásában, elsősorban a légszennyező anyagok, szerves vegyületek, fémek, gyógyszerek. A fémek, légszennyezők és egyéb környezeti ágensek, mint például a szintetikus vegyszerek, az ivóvíz fém tartalma befolyásolhatja a szívműködést: hat a pulzusra, a szív összehúzó képességére, a szívizom ingerlékenységére, az elektromos impulzus elvezetésére azáltal, hogy a felsorolt tényezők az érfalak meszesedést indítják el, vagy felgyorsítják a folyamatot.

Fémek egészséghatása

Arzén: az As többféle szerves vagy szervetlen formában fordul elő környezetünkben, az egyes vegyületek különböző toxicitásúak. Szervetlen As expozíció érhet bennünket a táplálékkal, a munkahelyen, As-t kibocsátó üzemek (pl. hőerőmű) környékén és – hazánkban elsősorban – az ivóvíz fogyasztása révén. Szerves As-t a tengeri eredetű táplálékok tartalmazzák, ezek kevésbé toxikusak.

Az ivóvízben előforduló As geológiai eredetű, nagy koncentrációbeli különbségek figyelhetők meg a világ különböző területein. Az As megvastagítja az artériák falát; ismert elváltozás a Taiwan szigetén leírt „fekete láb” betegség, aminek oka az előrehaladó érszűkület (Tseng, 1977), amit viszont az ivóvíz igen magas As koncentrációja (170-800 µg/l) okoz. Több vizsgálat számolt be arról, hogy a taiwani lakosság körében a koszorúér meszesedés is gyakrabban fordul elő, valamint magasabb a szív-érrendszeri betegségek miatti halálozás is (Tseng et al., 2003). Az As expozíció egyéb egészségkárosító hatásai (bőrelváltozások, tüdő, hólyagrák) már alacsony koncentrációnál is kialakulnak (10 µg/l). A hazai eredményekről Dura és munkatársai (2014) összefoglalójában olvashatunk.

Ólom: Az alacsony ólomkoncentráció hosszantartó expozíciójának eredményeképpen megemelkedik a magasvérnyomás betegség kockázata az érfalak elmeszesedése következtében (Cheng et al., 2001).

Higany: Az utóbbi években több közlemény foglalkozott a higany kockázati szerepével. Egy finn kohorsz vizsgálat eredménye szerint a haj magasabb Hg tartalma 60%-kal növelte az akut miokardiális infarktus kockázatát és 38%-kal az összhalálozás kockázatát (Virtanen *et al.*, 2005).

A higany a vérben található lipidek megváltoztatása, vagy a sejtmembránban a lipid peroxidáció befolyásolása révén hat közvetetten a szív működésre, továbbá befolyásolja az autonóm (vegetatív) idegrendszert, ami a szív ritmusát szabályozza.

A környezeti higany nagyrészt tengeri halak fogyasztásával kerül a szervezetbe. Tudjuk azt, hogy a tengeri halzsír fontos, protektív hatással bíró zsírsavakat tartalmaz (omega3 zsírsav), de mérlegelni kell a halfogyasztás előnyeit és hátrányait a Hg szennyezés miatt. Védő hatással bír a Hg hatásával szemben a szintén táplálékkal bevitelű szelénium, ami csökkenti a Hg kockázatát.

A higany elsősorban emberi tevékenység hatására kerül a környezetbe (széntüzelésű hőerőművek, kórházi és kommunális hulladékégetők stb.). A környezetbe került szerves higanyt a víztestek üledékében élő baktériumok metilálják, és a szerves metil-Hg kerül a táplálékláncba. Több országban emiatt korlátozzák az élő vizekből származó halak fogyasztását. A felsoroláson kívül az amalgám fogtömés is fontos Hg expozíciót jelentett.

Kadmium: A vér Cd szintje összefügg a perifériás artériák meszesedésével. Az ólomhoz hasonlóan a Cd is hozzájárul a magas vérnyomás kialakulásához. Bár a Cd bevitel legnagyobb forrása a táplálék, a dohányosok igen jelentős expozíciónak vannak kitéve (Cd további forrásai: lásd 68.o.).

Levegőszennyezés

A légszennyező anyagokat tulajdonképpen különböző szennyezők, kisméretű részecskék, O₃, CO, NO_x, SO₂, nehézfémek (Pb, Hg), PAH-ok, aromás szénhidrogének és toxikus vegyületek keverékeként kell értelmezni. Igen sok irodalmi adat bizonyítja, hogy a légszennyező anyagok növelik a szív- és érrendszeri betegségek, valamint a halálozás kockázatát.

A szálló por egészségkárosító hatásairól „*A légszennyezés egészségkárosító hatásának becslése*” c. fejezetben lehet részletesen olvasni. Itt egy fontos vizsgálat eredményét említjük: az American Cancer Society 16 éven át tartó kohorsz vizsgálatában megállapították, hogy a PM_{2,5} koncentrációjának növekedése lineáris összefüggést mutat a szív- és érrendszeri betegségek kockázatával (érelmeszesedés, ritmuszavar, szívelégtelenség). Megállapították továbbá, hogy a szálló pornak nincs „hatástalan” koncentrációja (Pope *et al.*, 2004).

Szén-monoxid szintén károsítja a szív működést. A CO igen erősen kötődik a hemoglobinhoz, így gátolja az oxigén szállítását a szövetekhez, ami hipoxiás stresszt okoz. Ezen túlmenően a CO közvetlenül károsítja az érfalat – erre állatkísérletes bizonyítékok vannak – már 180 ppm esetén. Ez a koncentráció az átlagos környezeti expozíciónak felel meg (légszennyezés, cigaretta füst, kipufogó gáz). A városi kültéri levegő CO koncentrációja (<9 ppm/8 óras átlag) anginas panaszokat, szívritmus zavart és szívmegállást okozhat.

Az ivóvíz ásványi anyag tartalma

Számos tanulmány számolt be arról, hogy az ivóvíz keménysége és a szívkoszorúér megbetegedések fordított arányban függenek össze, minél keményebb a víz, annál alacsonyabb a kockázat (*Sauvant and Pepin, 2002*).

A víz keménységét a Ca és Mg tartalom határozza meg, a magnéziumnak van védőhatása, bár több tanulmány hangsúlyozza, hogy a Mg/Ca arány is meghatározó, a magas arány kedvezőbb hatású (*Monarca et al., 2006; Houthuijs et al., 2022*).

Az egészségügy feladatai a szív- és érrendszeri betegségek csökkentése érdekében

Mit tehetnek az egészségügyben dolgozók a helyzet javítása érdekében? Az elsődleges feladat nem lehet más, mint az *erőteljes, rendszeres felvilágosítással* sikereket elérni az egészséges életmódra nevelés, illetve életmód változtatás terén a lakosság körében. Megfelelő, *nyugati mintájú programokat* kell kialakítani a veszélyeztetettek kiszűrésére, a rizikófaktorok felmérésére, és ha kell, erőteljes kezelésére.

Korábban említettük a mortalitást befolyásoló tényezők között az *egészségügyi ellátás* minőségének szerepét. Hazánkban az ISZB mortalitása szempontjából ennek is alapvető szerepe van, hiszen abban az országban, ahol ilyen óriási problémát jelent az ISZB által okozott mortalitás, a szükségesnél 50%-kal kevesebb motoros (többségében CABG) szívműtét történik. Ez kb. az európai átlag 30%-ának felel meg. Jelentős a lemaradás más invazív technikák esetében is.

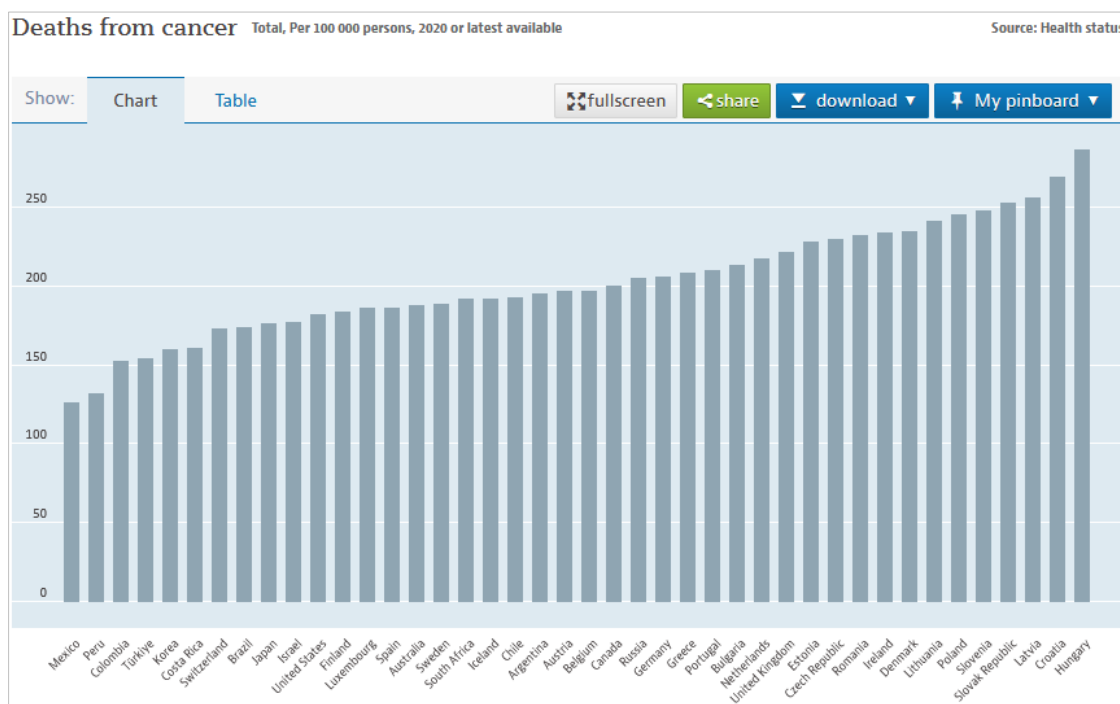
Speciális probléma, hogy az egészségügynek meg kell küzdenie a népesség kedvezőbb egészségi állapotát elősegítő erőfeszítésekkel szembeni ellenérdekeltségekkel is (alkoholból, dohányzásból befolyó jövedelmek).

A kritikus helyzet visszaszorítása biztos, hogy sok erőfeszítést igényel, de elsősorban nemcsak az egészségügyi dolgozók, hanem a *gazdasági-társadalmi körülmények* alakulásán is múlik majd a törekvések sikere vagy kudarca.

A daganatos betegségek járványtana

„Daganatos betegségek” név alatt foglaljuk össze azt a mintegy 100 kórképet, amelyek közös jellemzője egy szerv, vagy szervrendszer átalakult sejtjeinek kóros burjánzása. A *jóindulatú daganat* lassan nő, sejtjei hasonlítanak a megfelelő normál sejtekhez, kevés bennük az osztódó sejthalak. A jóindulatú daganatok is veszélyeztethetik azonban az életet, ha például a koponya-üregben belül helyezkednek el, vagy ereket zárnak el. A *rosszindulatú daganatok* ezzel szemben gyorsan nőnek, szerkezetük eltér a normál szervek szöveteitől, sok az osztódó alak. Minden esetben veszélyeztetik az életet, mert a proliferáló sejtek a környező szövetek felé terjednek és a regionális nyirokcsomókban és távoli szervekben a vér- és nyirokereken útján áttéteket (metastasisokat) hoznak létre. Orvosi beavatkozás nélkül a rosszindulatú daganatok feltétlenül halálhoz vezetnek: ezért a megátamodott szervek működési zavarai ugyanúgy felelősek, mint a különböző humorális faktorok (pl. a cachexin kiváltotta súlyos testi leromlással járó cachexia).

A rosszindulatú daganatokat, amennyiben azok a hámszövetből indulnak ki, ráknak nevezik. A nemzetközi epidemiológiai irodalom azonban egyenlőségjelet tesz daganat és rák között, ami egyáltalán nem tekinthető szabatosnak. 2020-ban 10 millió ember vesztette életét daganatos betegségek miatt. Világszerte a daganatos halálozások közül 10 esetből több mint 4 tüdő-, máj-, gyomor- vagy béldaganat. Az előrejelzések szerint 2020-2040 között világszerte 64%-kal fog növekedni a daganatok okozta halálozások száma⁶⁴. A 92. ábra az OECD országokban daganatos betegségek következtében elhunytak számát mutatja.



92. ábra **Daganatos betegségek okozta halálozások száma az OECD országokban/100 000 fő (indicator) 2023.**
(forrás: OECD (2024), "Deaths from cancer" (indicator), <https://doi.org/10.1787/8ea65c4b-en>
(accessed on 30 July 2024).

A daganatos betegségek miatti halálozás jelentősen változott az utóbbi évtizedekben. A legfeltűnőbb mind férfiaknál, mind nőknél a bronchus-carcinomák nagyütemű emelkedése (1950-85 között a férfiaknál 2,6-szorosára, nőknél háromszorosára nőtt), míg a gyomorrák halálozás fokozatos csökkenése volt megfigyelhető.

Hazánkban 2013-ban a férfiaknál vezető helyen a tüdőrák miatti halálozás állt, ezt követte a vastagbél-, prosztatata-, ajak-, gyomor- és hasnyálmirigyrák. 2018-ra a férfiaknál is a 4. helyre került a hasnyálmirigy daganatok miatti halálozás (93. ábra). Nőknél az utóbbi évek jelentős növekedésének eredményeképpen szintén a tüdőrák szerepel vezető helyen, megelőzve a vastagbél- és emlőrákot, illetve az ezeknél kisebb számú halálozással járó hasnyálmirigy-, petefészek- és gyomorrákot.

⁶⁴ <https://www.cancerresearchuk.org/health-professional/cancer-statistics/worldwide-cancer/mortality>

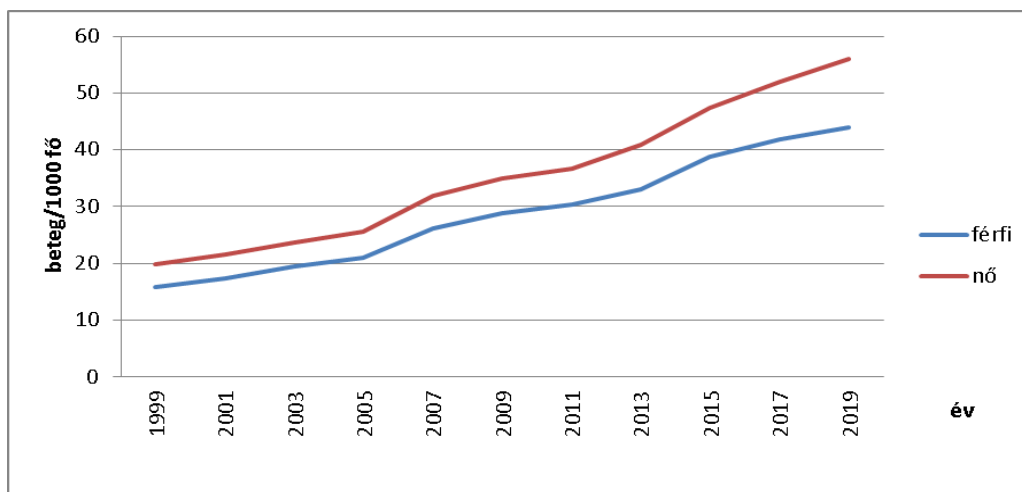


93. ábra Vezető halálokok 2018-ban Magyarországon, nemenként
(forrás: KSH)

Örvendetes, hogy az elmúlt 40 év alatt jelentősen csökkent a gyermekkori daganatok halálozása: így a leukaemiák 50%-kal, a Hodgkin-kór 80%-kal, a csontsarcoma 50%-kal, a Wilms tumor 18%-kal okozott kevesebb halálozást, mint 40 évvel ezelőtt, elsősorban a terápia eredményessége miatt. A fiatalkori daganatok miatti halálozás társadalmi szempontból is igen jelentős az elvesztett életevek miatt. Ez annál nagyobb, minél fiatalabb korban halmozódik a daganathalálozás: így a cervix-carcinománál 22,4 év, a leukaemiáknál 20,8 év, a mellráknál 20,1 év, a gyomorráknál 13,7 év, a prosztata-carcinománál 10,6 év.

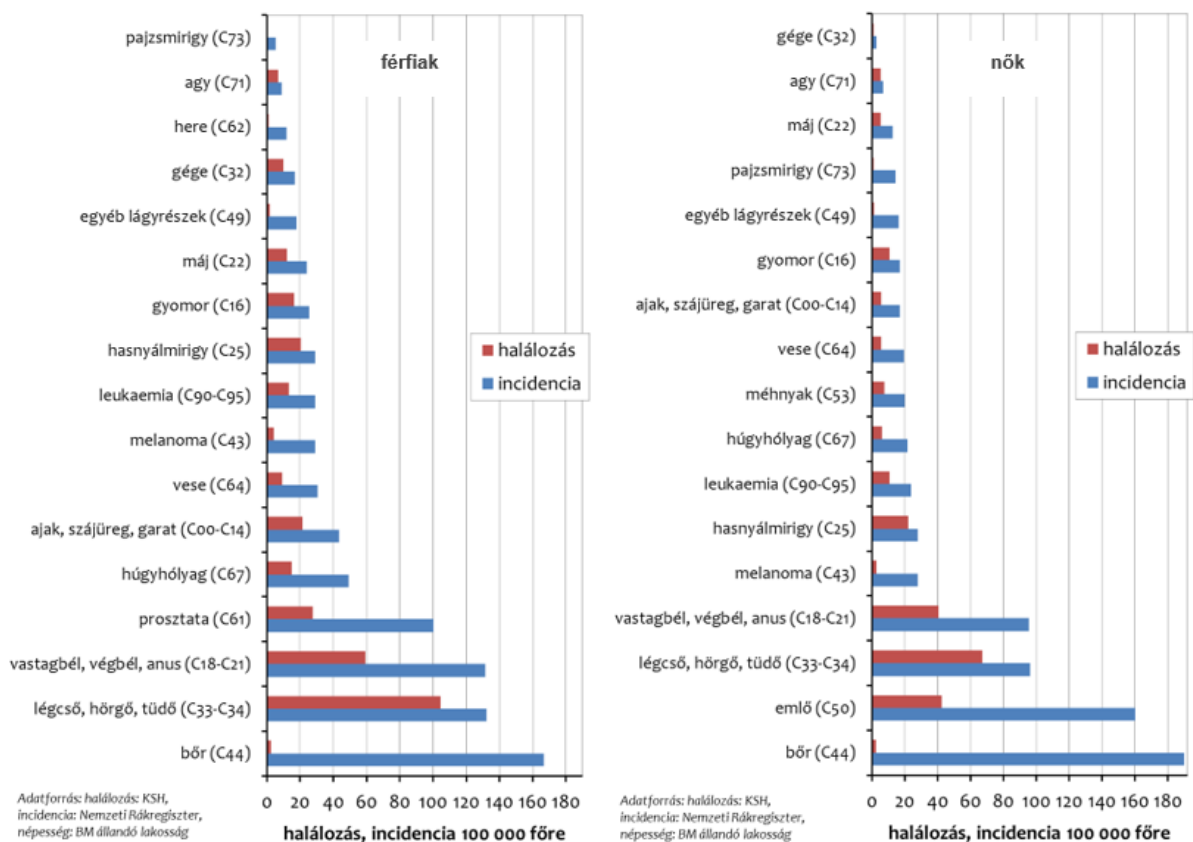
Tovább bonyolódik a kép, ha a *rákmorbiditást* vizsgáljuk. A rákregiszterek adatai alapján a Föld lakosságának *daganat incidenciáját* évente 8 és 10 millió között becsüljük, ami azt jelenti, hogy naponta 25 ezer új esetet észlelnek. Az öt leggyakoribb daganat lokalizációja sorrendben: a légúti daganatok, a gyomorrák, az emlőrák, a vastagbél és a végbél daganatai, majd a cervix rák.

Hazánkban a háziorvosok által nyilvántartott daganatos betegek száma az 1999. évi 140 633-ról 2019-re meghaladta a 400 000-et, és a betegségsz csoportba tartozó daganatok 1 000 főre vetített aránya is folyamatos növekedést mutat (94. ábra).



94. ábra A rosszindulatú daganatos betegek arányának változása az OSAP 1021 jelentés alapján a felnőtt lakosság körében 1 000 főre, nemenként az 1999-2019. években Magyarországon

A Nemzeti Rákregiszter 2019. évre vonatkozó adatai alapján az újonnan felfedezett daganatos megbetegedések között mindkét nemben vezet a nem-melanoma típusú bőrrák. Férfiaknál incidenciában második helyet foglalja el a tüdőrák és a vastagbélrák, a halálozásban vezet a tüdőrák. Ezt követi a prosztatarák, a húgyhólyag- és az ajakrák. Nők esetében incidenciában második helyen az emlőrák van, ezt követi a tüdő- és a vastagbélrák, halálozásban szintén vezet a tüdőrák (95. ábra).



95. ábra A leggyakoribb rosszindulatú daganatok incidenciája és halálozása Magyarországon, 2019-ben

A daganatos megbetegedések időbeli alakulásának jellemzőit a 2001 és 2019 közötti időszakban a következő 14 grafikon mutatja be (96./1-14. ábra).

Az ajakrák incidenciája és halálózása férfiaknál a csökkenő tendencia ellenére is lényegesen meghaladja a nőkéét, akiknél kismértékű emelkedés figyelhető meg.

A gyomorrák incidenciája és halálózása mindkét nemben csökken.

A vastagbélrák incidenciája mindkét nemben emelkedik, a férfiaknál jelentősen magasabb, mint a nőknél, a halálozás férfiaknál kismértékben emelkedik, nőknél stagnál.

A tüdőrák incidenciája és halálózása a férfiaknál magasabb, de csökkenő tendenciát mutat, míg nőknél mindkét mutatóban jelentős emelkedés figyelhető meg.

A melanoma és a nem-melanoma típusú bőrrák incidenciája mindkét nemben nagyon jelentősen növekszik, szerencsére azonban a halálozásban ez nem mutatkozik számottevően, bár a férfiaknál kismértékű emelkedés figyelhető meg a melanománál.

A nőknél az emlőrák incidenciája a 2000-es évek közepétől növekszik, a halálozás stagnál.

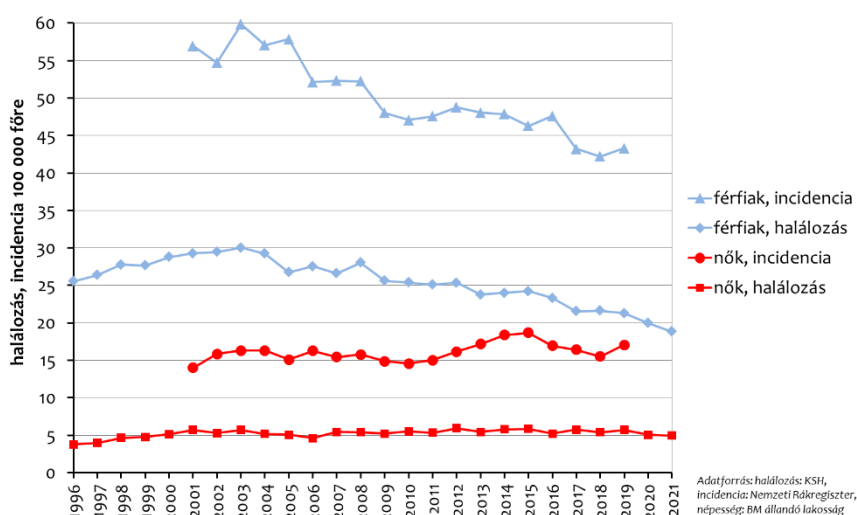
A méhnyakrák-incidencia időben változó képet mutat, de összességében 2000 óta csökken, a halálozás szintén kismértékben csökken.

A prosztatarák incidenciája jelentősen növekszik, a halálozás stagnáló tendenciát mutat.

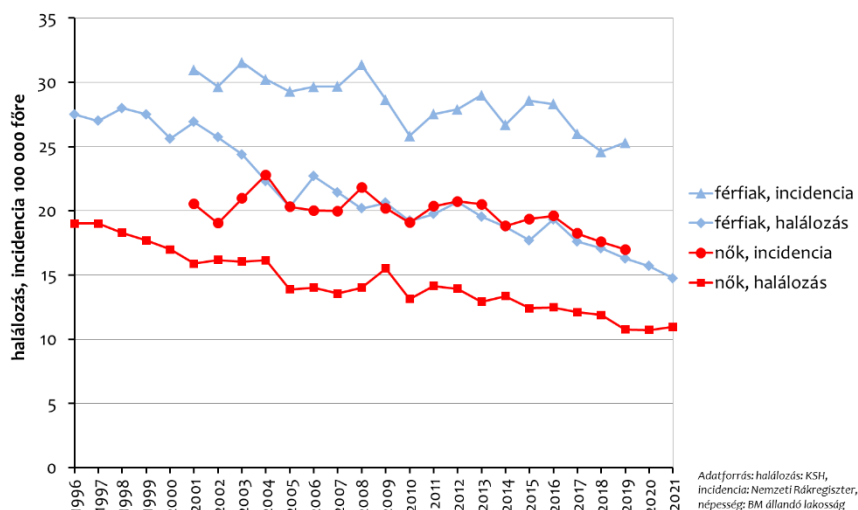
A vese- és a húgyhólyagrák új eseteinek száma növekszik, a férfiakban jelentősebb számban fordul elő, a veserák esetében a halálozás stagnál, a húgyhólyagrák esetében kismértékben nő.

A pajzsmirigyrák incidenciája a nőknél jóval magasabb, mindkét nemben emelkedik, a halálozás kismértékben csökken. A 19 év alattiak leukémia incidenciája stagnáló tendenciát mutat, a halálozás csökken.

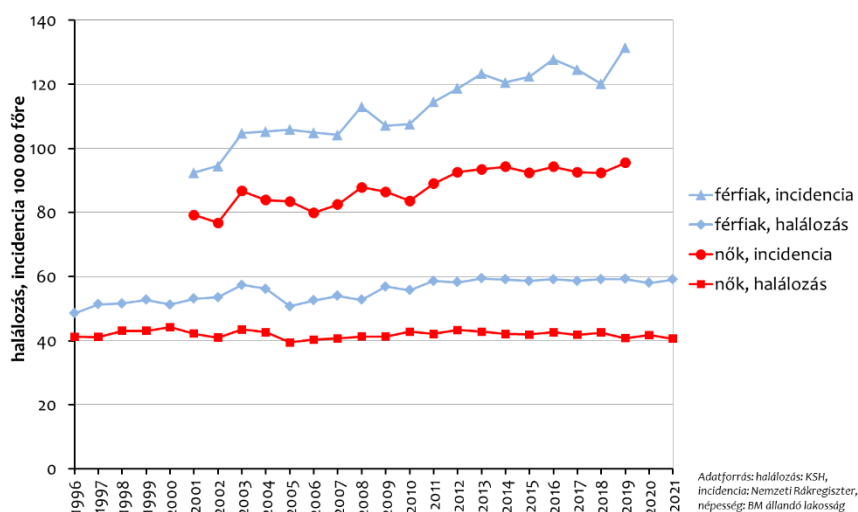
A mesothelioma incidencia férfiaknál emelkedik (mivel igen hosszú a latenciaidő, ez a több évtizeddel ezelőtti azbeszt-expozíció hatása is lehet), és bár országos szinten alacsony az incidencia, helyi szinten – ahol korábban magas volt az expozíció – igen jelentős mértékű lehet.



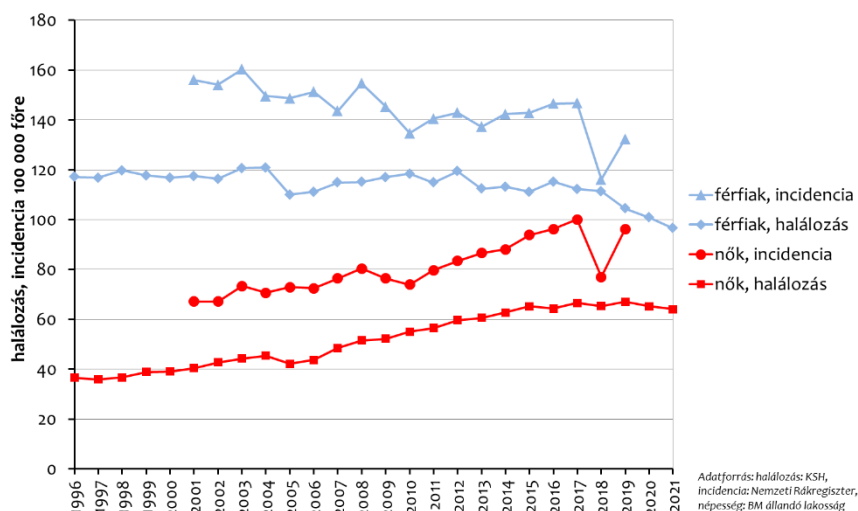
96./1. ábra Az ajak, szájüreg és garat rosszindulatú daganatainak (BNO-10: C00-C14) halálózása és incidenciája Magyarországon, 1996-2021.



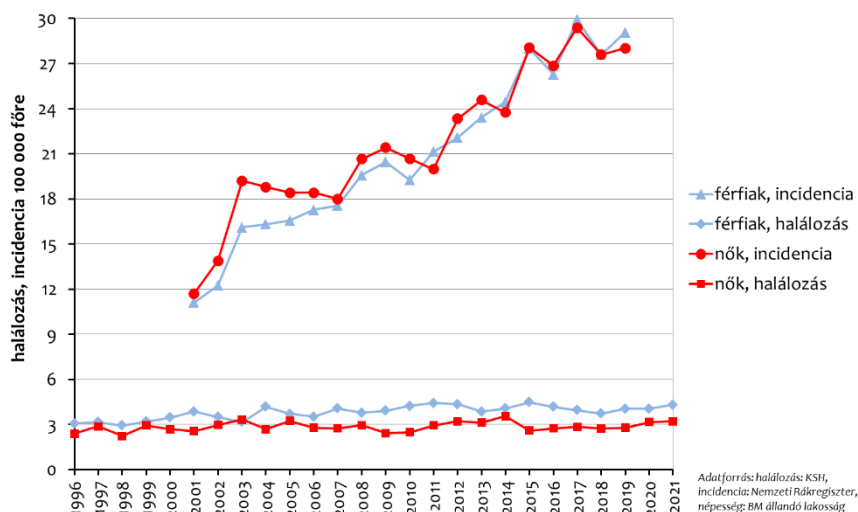
96./2. ábra A gyomor rosszindulatú daganatának (BNO-10: C16) halálozása és incidenciája Magyarországon, 1996-2021.



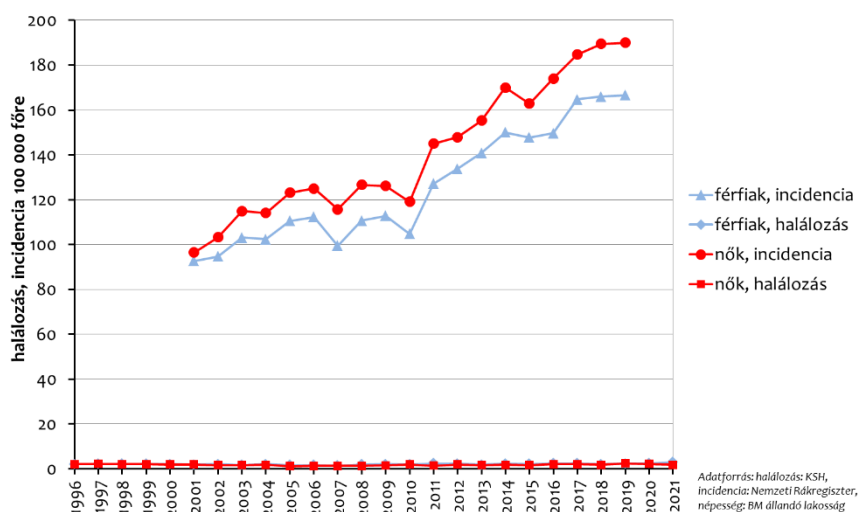
96./3. ábra A vastagbél, végbél és anus rosszindulatú daganatainak (BNO-10: C18-C21) halálozása és incidenciája Magyarországon, 1996-2021.



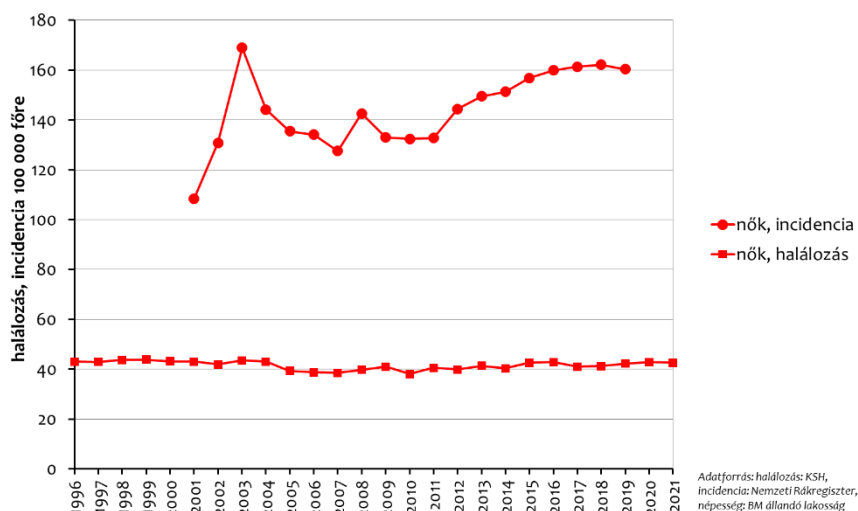
96./4. ábra A légső, hörgők, tüdő rosszindulatú daganatainak (BNO-10: C33, C34) halálozása és incidenciája Magyarországon, 1996-2021.



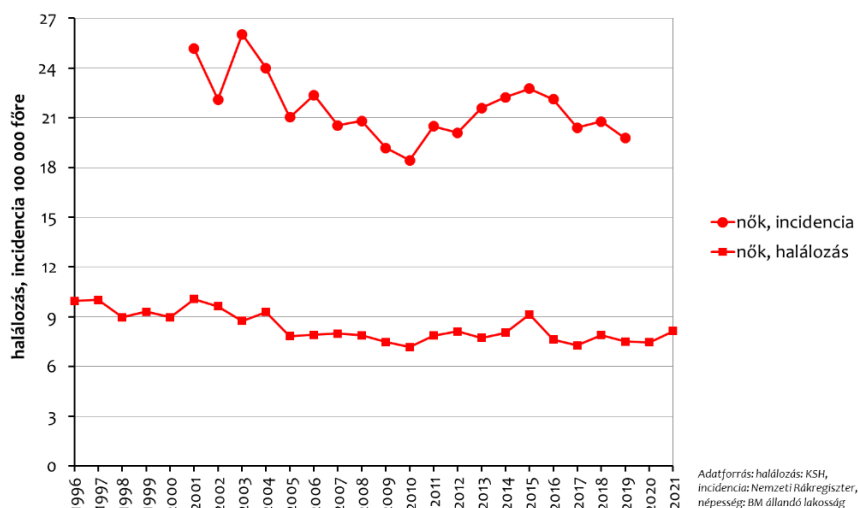
96./5. ábra A bőr rosszindulatú melanomájának (BNO-10: C43) halálozása és incidenciája Magyarországon, 1996-2021.



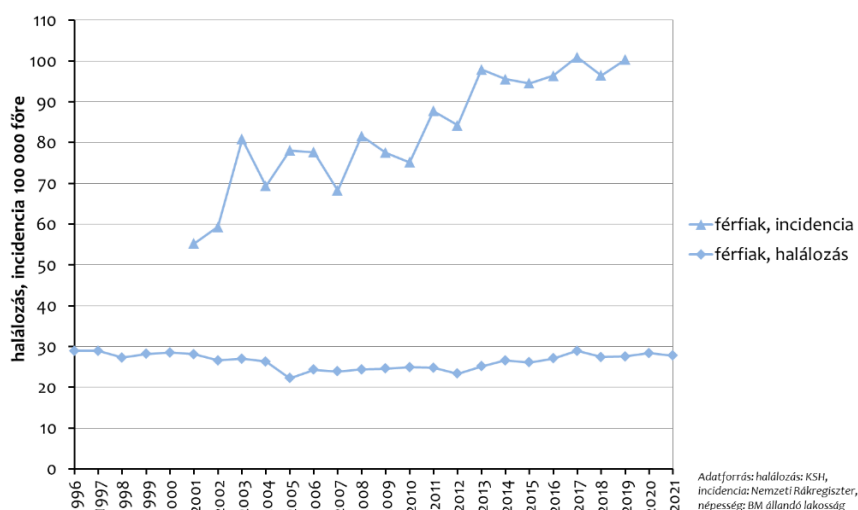
96./6. ábra A bőr egyéb rosszindulatú daganatának (BNO-10: C44) halálozása és incidenciája Magyarországon, 1996-2021.



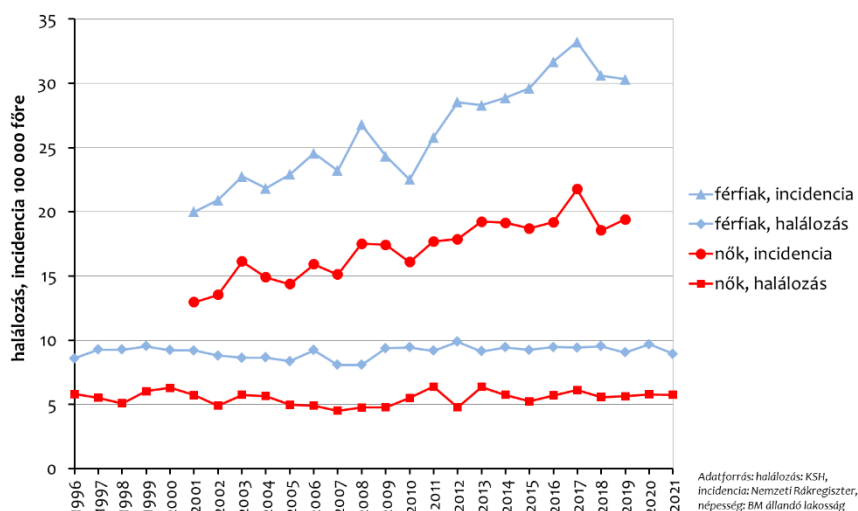
96./7. ábra Az emlő rosszindulatú daganatának (BNO-10: C50) halálozása és incidenciája a nők körében Magyarországon, 1996-2021.



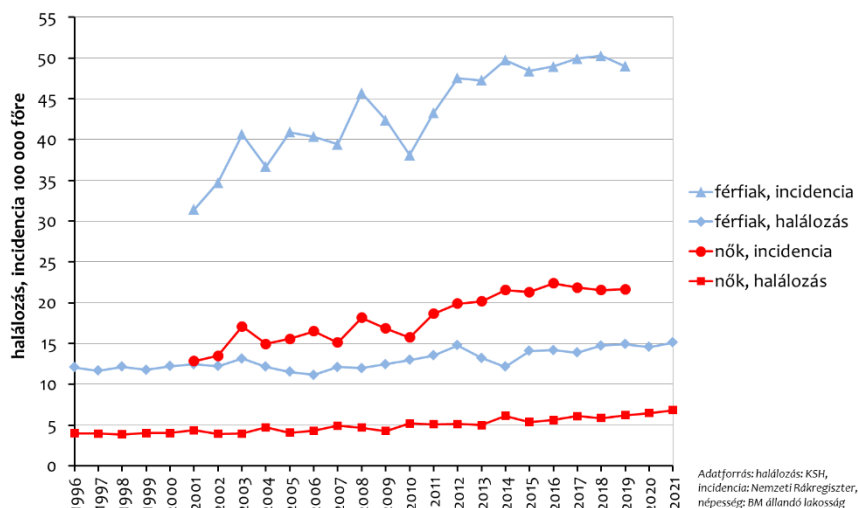
96./8. ábra A méhnyak rosszindulatú daganatának (BNO-10: C53) halálozása és incidenciája a nők körében Magyarországon, 1996-2021.



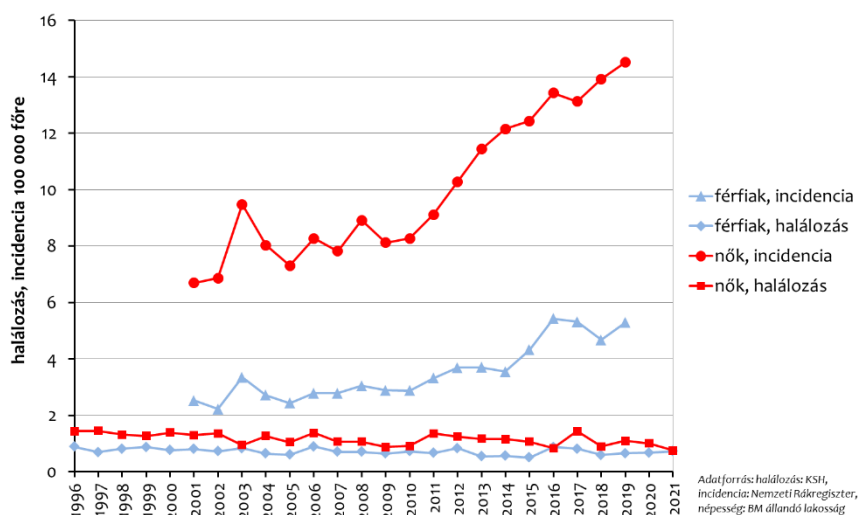
96./9. ábra A prosztata rosszindulatú daganatának (BNO-10: C61) halálozása és incidenciája a férfiak körében Magyarországon, 1996-2021.



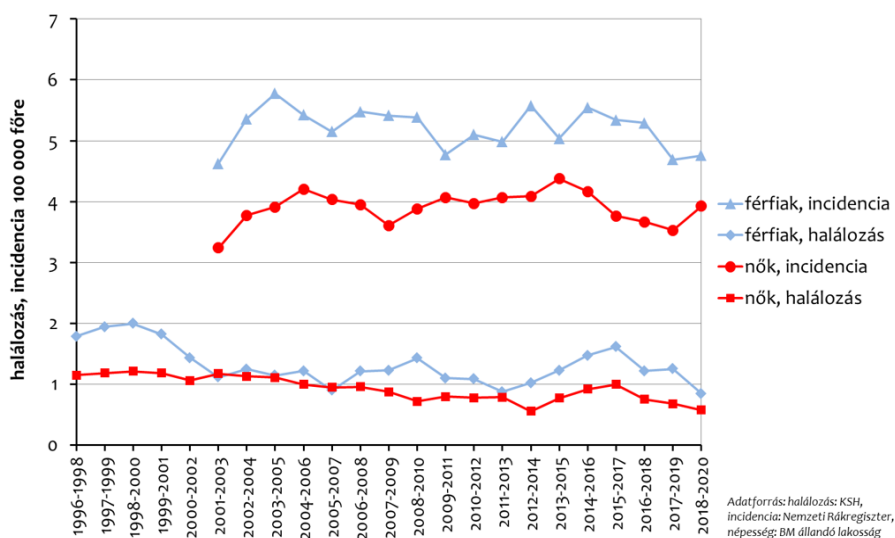
96./10. ábra A vese rosszindulatú daganatának (BNO-10: C64) halálozása és incidenciája Magyarországon, 1996-2021.



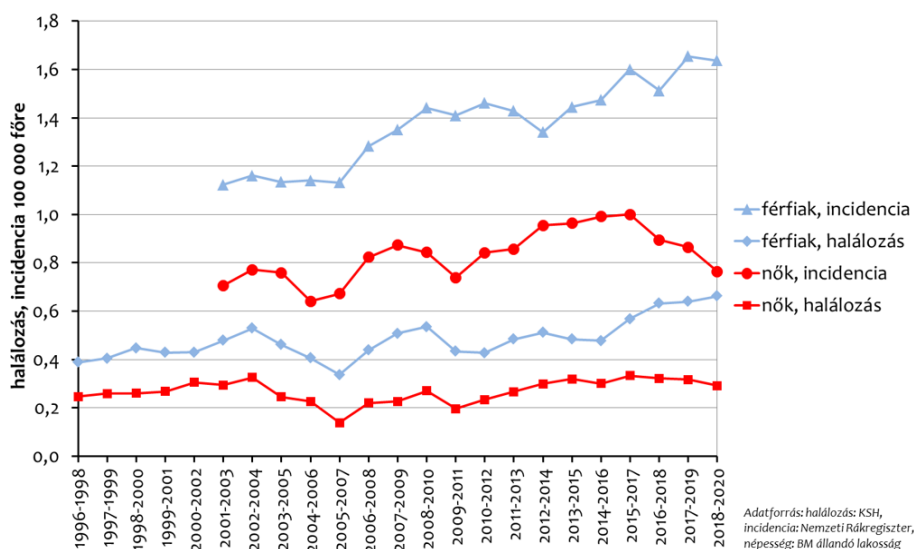
96./11. ábra A húgyhólyag rosszindulatú daganatának (BNO-10: C67) halálózása és incidenciája Magyarországon, 1996-2021.



96./12. ábra A pajzsmirigy rosszindulatú daganatának (BNO-10: C73) halálózása és incidenciája Magyarországon, 1996-2021.



96./13. ábra A leukémia (BNO-10: C90-C95) halálózása és incidenciája a 0-19 éves korosztályban Magyarországon, 1996-2020.



96./14. ábra **A mesothelioma (BNO-10: C45) halálása és incidenciája Magyarországon, 1996-2020.**

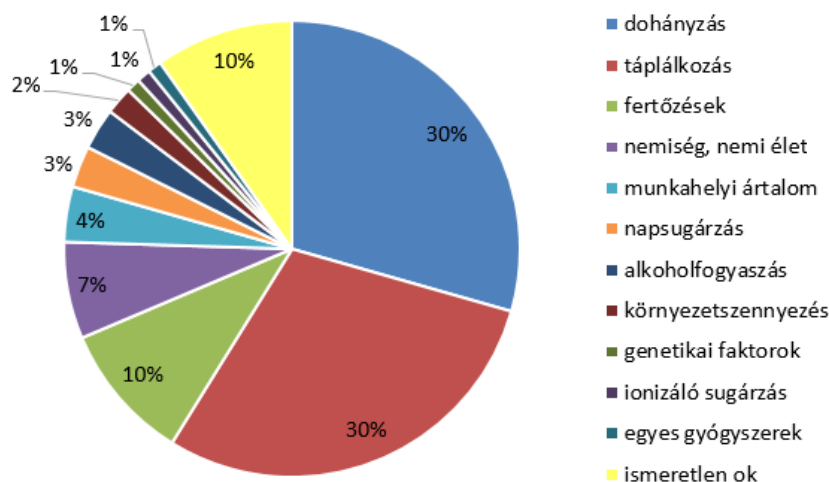
Mind a morbiditásnál, mind a mortalitásnál már említettük a *nemek* közötti különbséget. Eltekintve attól, hogy a nemi szervek daganatai teljesen különbözővé teszik mind a mortalitási, mind a morbiditási sorrendet (férfiaknál a prosztatara rosszindulatú daganata áll az incidencia negyedik helyén, nőknél az emlő rosszindulatú daganata a második helyen), egyéb szervi különbségek is vannak. Az epehólyag, az epeutak és a pajzsmirigy rákja nőkben gyakoribb, mind férfiakban, de ezen kívül valamennyi daganatféleségben a férfiak vezetnek. Egyes esetekben ezt meg tudjuk magyarázni, (pl. a hörgőrák és a hólyagrák esetében a dohányzással, mesothelioma esetén asbestosissal), más esetekben azonban öröklött, hormonális tényezőkkel magyarázzuk.

Kevés kórképben van akkora jelentősége az életkornak, mint a daganatos betegségekben. Gyermekkorban a daganatos betegségek a vezető halálokok közé tartoznak, annak ellenére, hogy incidenciájuk a felnőttkori daganatoknak mindössze egy tizede. Jellemző megjelenési formáik a leukaemiák és lymphomák, az agydaganatok és a sarcomák. A fiatal felnőttekben a daganatok gyakorisága általában alacsony, a daganatos incidencia (és mortalitás) a 40.-ik életévtől növekedni kezd, és ez a növekedés az idős korosztályokban egyre fokozódik. Végül meg kell említenünk a különböző daganatos kórképek miatti halálozás okozta elvesztett évek számát: elsősorban azok a daganatos kórképek okozzák a legnagyobb életév veszteséget, amelyek viszonylag a korai életévekben lépnek fel, és magas a letalitásuk.

Az egy főre jutó rosszindulatú daganatos betegségek miatt elvesztett, egészségkárosodással korrigált életév

Az egy főre jutó rosszindulatú daganatos betegségek miatt elvesztett, egészségkárosodással korrigált életévek (Disability Adjusted Life Years, DALY) száma az Európai Unióban Magyarországon volt a legmagasabb 2013-ban, férfiaknál 8 405 év, nőknél 5 574 év 100 000 főre vonatkoztatva. Ezen belül a legnagyobb jelentősége férfiaknál a tüdő-, vastagbél-, gyomor-, hasnyálmirigy-, ajak- és prosztatráknak van. Nőknél a sorrend a tüdő-, emlő-, vastagbél-, hasnyálmirigy-, petefészek- és gyomorrák (*Institute for Health Metrics and Evaluation*).

Becslések szerint a következő oki tényezők az alábbi arányokban játszanak szerepet a daganatok kialakulásában (97. ábra).



97. ábra A daganatos betegségek oki tényezőinek arányai

Más elrendezésben az életmódbeli tényezők 70%-ban, a természetes és mesterséges környezet 10%-ban játszik szerepet, ismét más csoportosításban a kémiai rákkeltők részvételi aránya 70%. A felsorolt járulékos kockázatok csak mai tudásunkat tükrözik; ismeretük mégis hasznos, mert eligazítást adnak az elsődleges megelőzés sorrendjéhez.

Meg kell említeni továbbá, hogy a kockázati tényezők jelentőségének sorrendje a különböző tumorok esetében változik, mint az a következő példáinkból is látható.

Tüdőtumoroknál a dohányzás áll az első helyen, mintegy 80-85%-kal, majd ezt a követik a munkahelyi porártalmak (elsősorban az azbeszt, a policiklikus szénhidrogének, kromátok, nikkel) 5%-os részvételi aránnyal, a zárt terek levegőjének radon tartalma ugyancsak 5%-kal, végül a szennyezett levegőjű városok 5-10%-kal.

Gyomorrák esetén a táplálkozás az első számú kockázati tényező; így például a sózott és tartósított élelmiszereket fogyasztó társadalmakban a relatív kockázat 1,5-6,2-szeres a más táplálkozási szokásokat követő társadalmakhoz képest, míg a gyümölcsöt és zöldségféléket bőven fogyasztó társadalmakban 30-50%-os a csökkenés a keveset fogyasztó közösségekhez viszonyítva.

A dohányzás és az alkoholfogyasztás relatív kockázata kétszeres. Újabban nagy jelentőséget tulajdonítanak a *Helicobacter pylori* okozta idült gyomorhurutnak, valamint az ivóvíz és egyes élelmiszerek magas nitrát tartalmának, amely *in vivo* nitrozaminok képződéséhez vezet.

A felsorolt kockázati tényezők százalékos megoszlásához nincsenek adataink.

A *primaer májrák* kockázati tényezői közül a hepatitis B és C vírusfertőzés áll az első helyen, részarányát 80%-ra becsülik. A második helyen az *Aspergillus flavus* fertőzött élelmiszerek fogyasztása áll, de hasonló jelentőséget tulajdonítanak az alkoholos májcirrhosis talaján kifejlődő májráknak is. Ma már tudjuk, hogy ez utóbbi akkor jön létre, ha májsejtek kromoszómái hepatitis B-vírus genomot is tartalmaznak (Ginès et al., 2021).

Végül felmerült az orális fogamzásgátló szerek májdaganatot előidéző hatása is, ez azonban jelenleg nem bizonyított.

Emlőrák esetében négy kockázati tényező említhető, melyek közel azonos mértékben járulhatnak hozzá a kialakulásához: a korán jelentkező menstruáció (menarche), a későn jelentkező menopausa, a magasabb életkorban vállalt szülés és a testtömeg többlet. Ennél kisebb hatást tulajdonítanak a fokozott zsírfogyasztásnak (ezt az utóbbit kétségbe is vonták), a rövid ideig tartó vagy egyáltalán nem szoptató anyáknak, a genetikai okoknak (holott az utóbbi időben több gént is fedeztek fel), valamint az ösztrogén-tartalmú fogamzásgátlóknak. Az örökletes emlőrákok döntő hányadának kialakulásáért a BRCA1 (breast cancer 1) és BRCA2 (breast cancer 2) gének tehetők felelőssé. A BRCA1 génmutáció hordozása esetén az emlődaganat kialakulásának valószínűsége 65%, míg a mutáció megléte nélkül ez a valószínűségi arány 12%-ra csökken.

Összefoglalva elmondható, hogy a leggyakoribb daganatok kialakulásában a következő kockázati típusok szerepét írták le a nemzetközi irodalomban (XXII. táblázat).

XXII. táblázat A daganatok kialakulásában szerepet játszó kockázati tényezők

	Tüdő	Ajak	Gyomor	Vastagbél, végbél	Emlő	Méhnyak	Prostata
Genetika	+	+	+	+	+		+
Biológiai kockázati tényező	+	+	+	+		+	
Családi halmozódás	+		+	+			
Táplálkozás	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-	+/-
Alkoholfogyasztás		+	+	+	+		+
Dohányzás	+	+	+	+	+	+	+
Fizikai aktivitás				-	-		-
Környezeti, munkahelyi expozíció	+	+	+	+	+	+	
Társadalmi-gazdasági tényezők	+	+	+	+	+	+	-

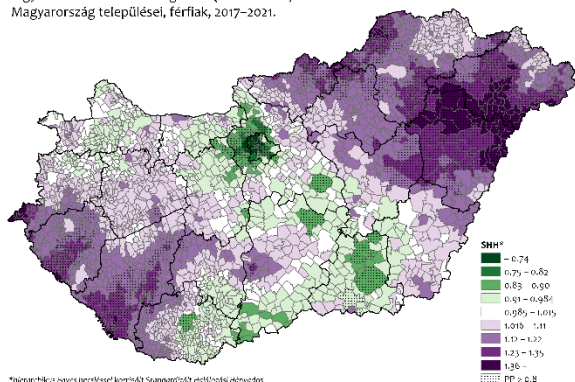
üres cella: nem találtak kapcsolatot a tényező és a daganatfajta kialakulása között

-: protektív tényező

+: kockázati tényező

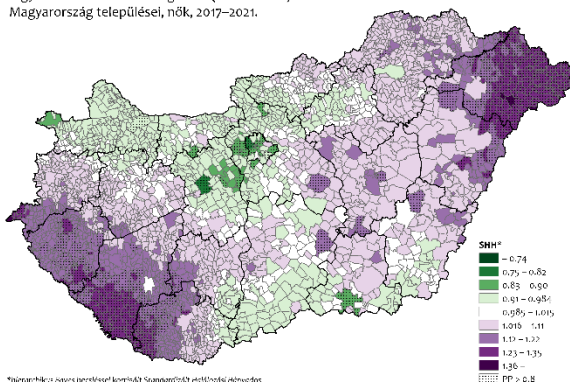
A daganatos halálozások hazai földrajzi eloszlását a 2014-2018-as időszakra vonatkozóan mutatjuk be. Egyes daganatos halálozások jellegzetes területi halmozódást mutatnak, például a légső, hörgő és tüdő daganatos betegsége miatti halandóság férfiaknál az ország keleti részében és délnyugaton, míg nőknél Békés, Jász-Nagykun-Szolnok, Baranya vármegyében és Budapesten halmozódik (98. ábra).

A gyomor rosszindulatú daganata (BNO-10: C16) miatti halálozás Magyarország települései, férfiak, 2017–2021.



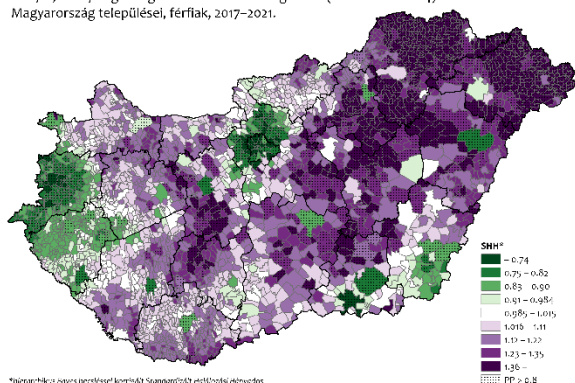
*Hierarchikus egyeztetéssel korrigált Standardizált Mortalitási Arányok

A gyomor rosszindulatú daganata (BNO-10: C16) miatti halálozás Magyarország települései, nők, 2017–2021.



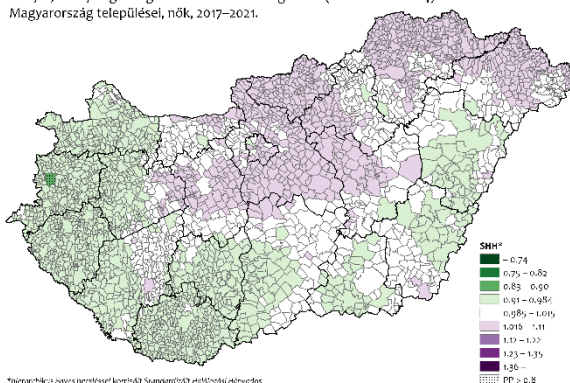
*Hierarchikus egyeztetéssel korrigált Standardizált Mortalitási Arányok

Az ajkak, a szájjüreg és a garat rosszindulatú daganatai (BNO-10: C00–C14) miatti halálozás Magyarország települései, férfiak, 2017–2021.



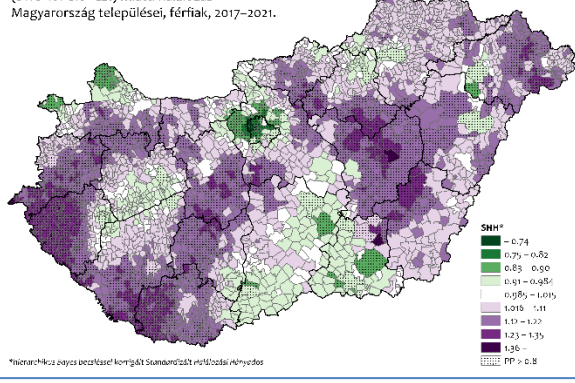
*Hierarchikus egyeztetéssel korrigált Standardizált Mortalitási Arányok

Az ajkak, a szájjüreg és a garat rosszindulatú daganatai (BNO-10: C00–C14) miatti halálozás Magyarország települései, nők, 2017–2021.



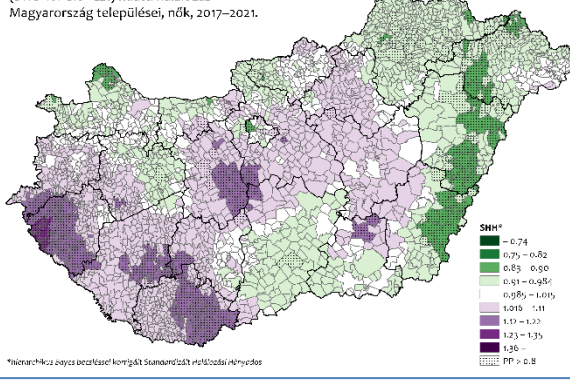
*Hierarchikus egyeztetéssel korrigált Standardizált Mortalitási Arányok

A vastagbél, a végbél, a végbélnyílás és az anus csatorna rosszindulatú daganatai (BNO-10: C18–C21) miatti halálozás Magyarország települései, férfiak, 2017–2021.



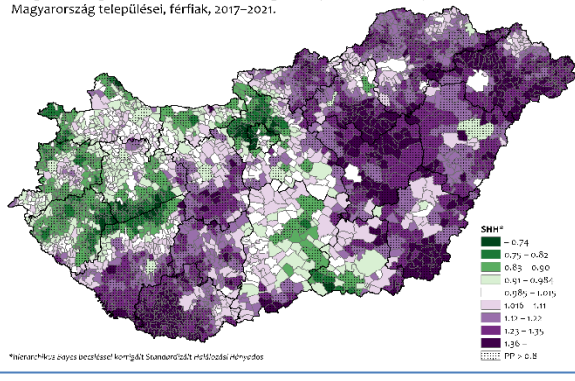
*Hierarchikus egyeztetéssel korrigált Standardizált Mortalitási Arányok

A vastagbél, a végbél, a végbélnyílás és az anus csatorna rosszindulatú daganatai (BNO-10: C18–C21) miatti halálozás Magyarország települései, nők, 2017–2021.



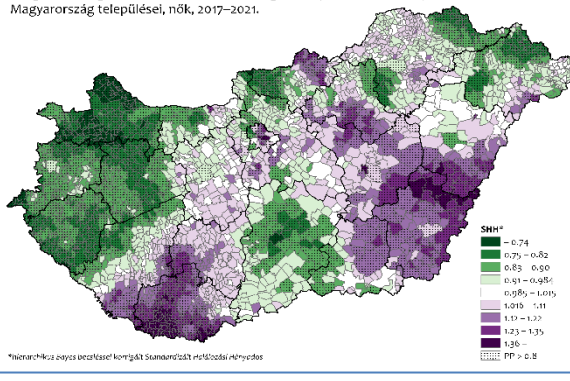
*Hierarchikus egyeztetéssel korrigált Standardizált Mortalitási Arányok

A légcső, a hörgő és a tüdő rosszindulatú daganatai (BNO-10: C33–C34) miatti halálozás Magyarország települései, férfiak, 2017–2021.

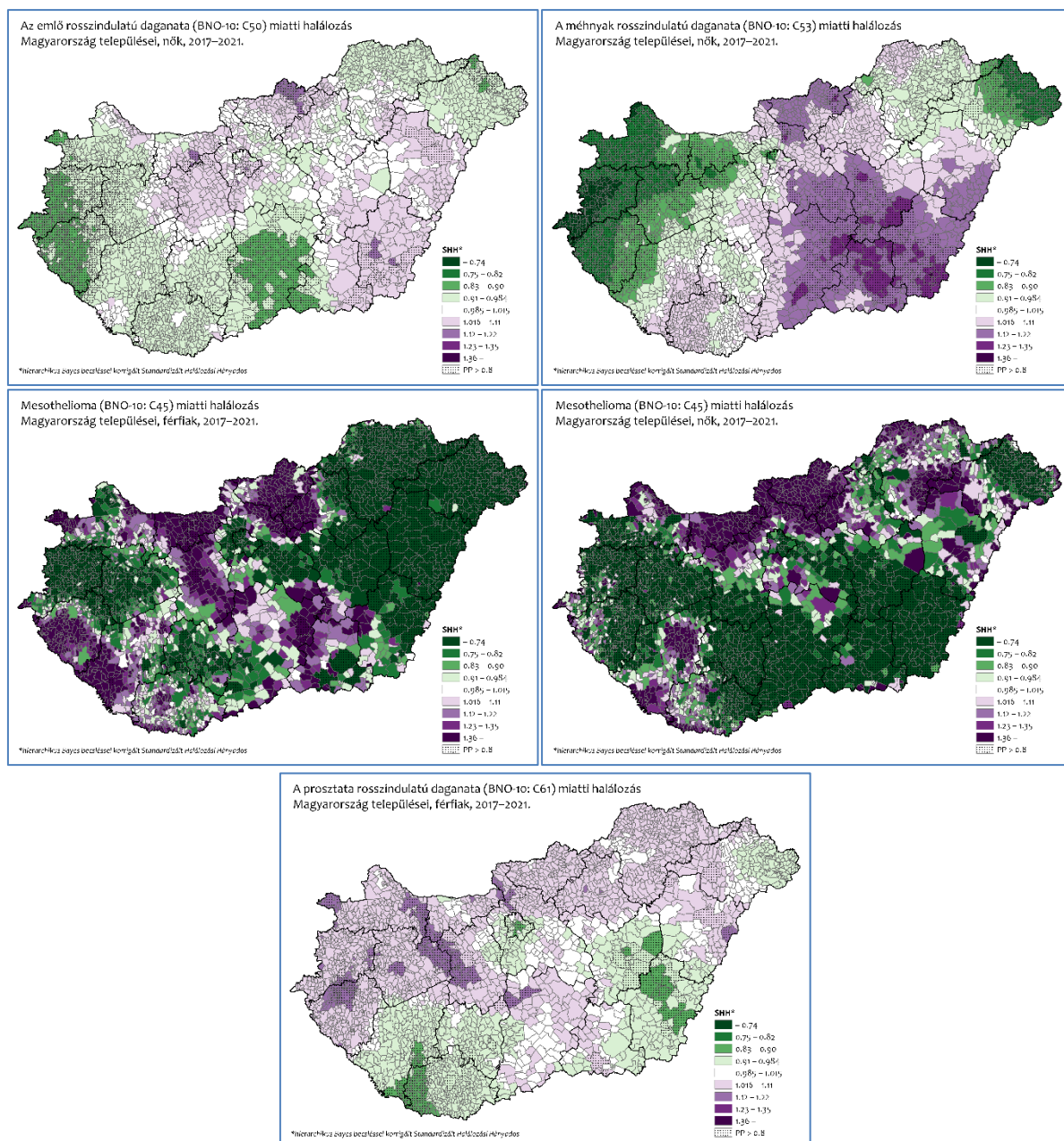


*Hierarchikus egyeztetéssel korrigált Standardizált Mortalitási Arányok

A légcső, a hörgő és a tüdő rosszindulatú daganatai (BNO-10: C33–C34) miatti halálozás Magyarország települései, nők, 2017–2021.



*Hierarchikus egyeztetéssel korrigált Standardizált Mortalitási Arányok



98. ábra **Egyes rosszindulatú daganatok miatti halálozás területi eloszlása Magyarországon, 2017–2021.**

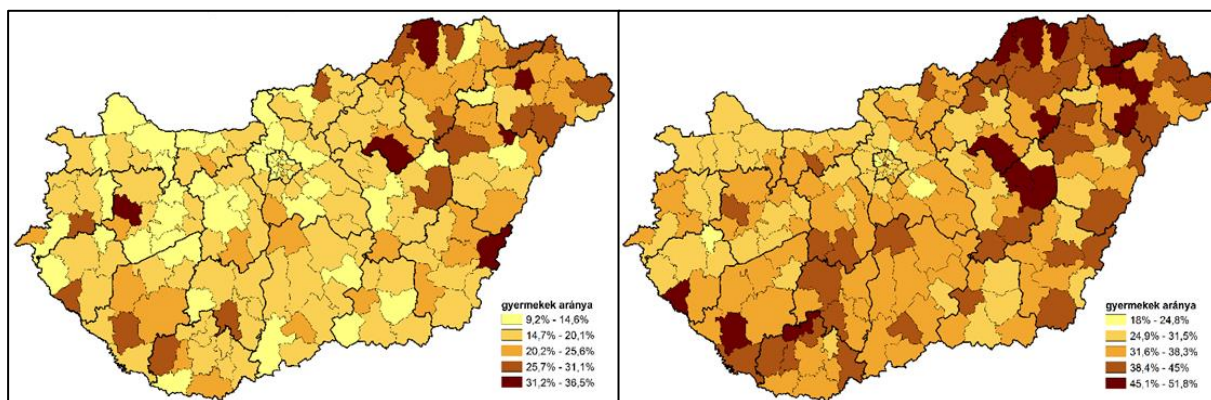
A KRÓNIKUS ASPECIFIKUS LÉGZŐSZERVI BETEGSÉGEK KÖRNYEZET-EPIDEMIOLÓGIAI VONATKOZÁSAI AZ OKK-OKI GYERMEKEK KÖRÉBEN VÉGZETT FELMÉRÉSEI ALAPJÁN

Dr. Rudnai Péter, Mácsik Annamária, Mayer Réka, Málnási Tibor, Középesy Szilvia

A Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ (NNGYK) és jogelőd intézményei több évtizede foglalkoznak a gyermekek, elsősorban az iskoláskorú gyermekek egészségi állapota és a környezeti tényezők (főként a kültéri és a beltéri levegőszennyezettség) közötti összefüggések vizsgálatával. 1996-2002 között 28 városban és 79 községben lakó közel 20 ezer gyermek adatait dolgozták fel. A 2005-ben, 2010-ben majd 2017-ben elvégzett Országos Gyermek Légúti Felmérések (OGYELF-1, 2 és 3) során 3. osztályos általános iskolás gyermekek környezet-egészségügyi helyzetét és egészségi állapotát mérték fel. A visszaérkezett 62 711 (2005), 67 667 (2010/11), és 61 428 (2017) kérdőív az összes 3. osztályos általános iskolás gyermek 63%, 72% és 67%-át reprezentálta.

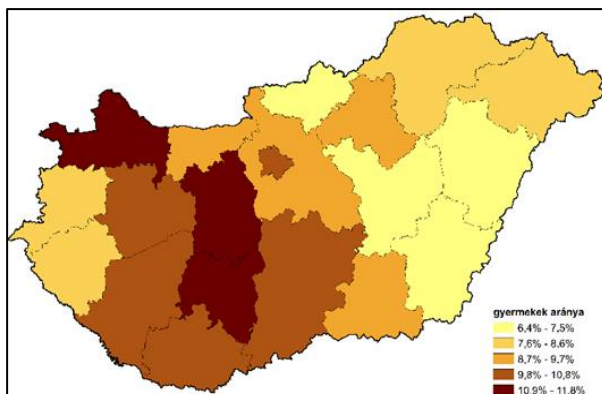
A szülők által, név nélkül kitöltött kérdőív a gyermek jelenlegi és korábbi egészségi állapotára, lakókörnyezetére (beleértve a belső- és külsőtéri levegő minőségét), étkezési szokásaira, szabadidős tevékenységére, a születés körülményeire, a szülők egészségi állapotára és dohányzási szokásaira, valamint a család szociális helyzetére vonatkozó kérdéseket tartalmazott.

A vizsgálat eredményei néhány krónikus légzőszervi és allergiás tünetcsoport gyakoriságát mutatják be országos szinten (99., 100., 101., ábra). Emellett a nagyszámú minta lehetővé teszi, hogy bővebb információt kapjunk a családok társadalmi-gazdasági helyzetének területi megoszlásáról is (102. ábra).

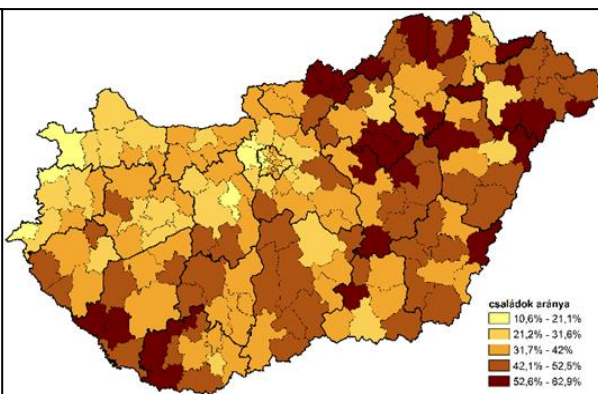


99. ábra Krónikus bronchitiszes tüneteket mutató gyermekek aránya járásonként, 2017.

100. ábra Asztmás tüneteket mutató gyermekek aránya járásonként, 2017.



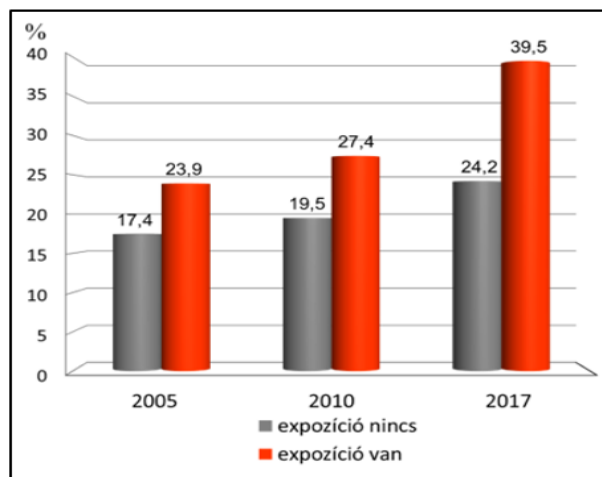
101. ábra **Pollenallergia aránya a vizsgált gyermekek körében, megyei bontásban, 2017.**



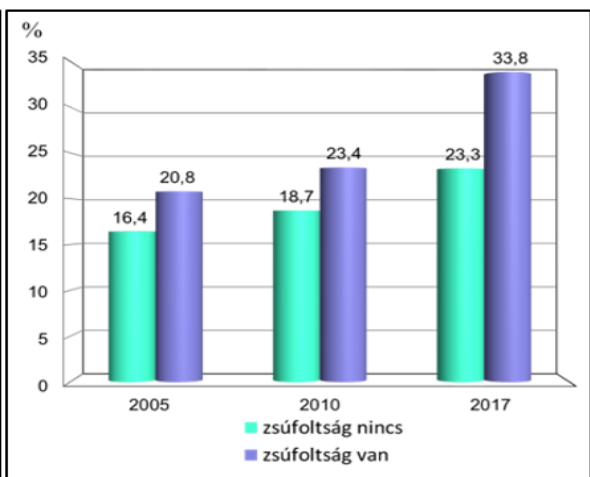
102. ábra **Közepes és kedvezőtlen szociális helyzetű családok aránya járásonként, 2017.**

A felmérés bemutatja továbbá, hogy számos környezeti kockázati tényező hogyan befolyásolja a vizsgált légúti tünetek alakulását.

A légúti tünetcsoportok statisztikailag is szignifikáns ($p < 0,05$) kockázati tényezői közül mindenekelőtt a várandósság alatti dohányzást (103. ábra), az első 2 életévben elszenvedett alsólégúti megbetegedéseket, illetve a lakáson belüli zsúfoltságot kell kiemelni (104. ábra).

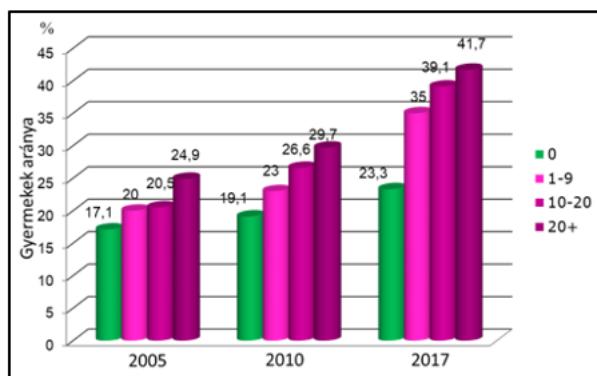


103. ábra **Asztmás tünetek és a várandósság alatti dohányzás közti összefüggések az OGYELF felmérések során**

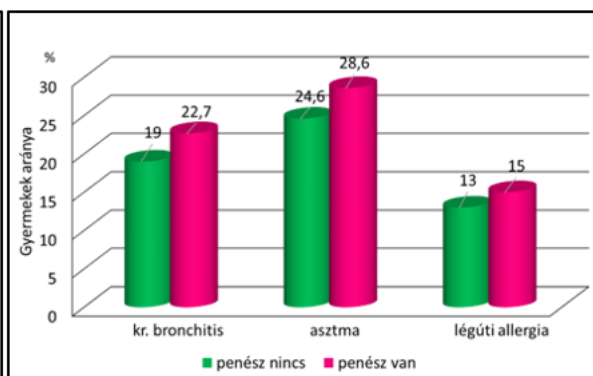


104. ábra **Zsúfoltság és a krónikus bronchitiszes tünetek prevalenciája közti összefüggés az OGYELF felmérések során**

Jelentős számban fordultak elő azonban lakókörnyezeti kockázati tényezők is, mint például dohányfüst a lakásban (105. ábra), műanyag padlóburkolat, illetve penészedés a gyermekszobában (106. ábra), és forgalmas útvonal közelsége, amely tényezők szintén szerepet játszhatnak a gyermekek egyes légúti tüneteinek kialakulásában.

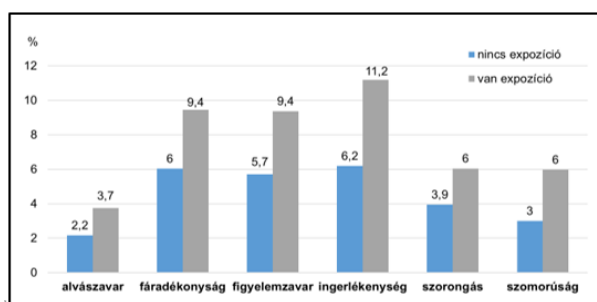


105. ábra Vizsgált gyermekek asztmás tüneteinek gyakorisága a lakásban elszívott cigarettaszállal összefüggésben, 2017.

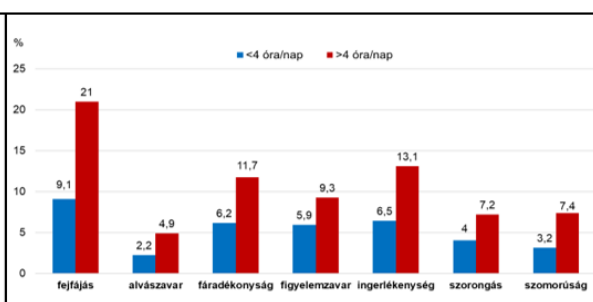


106. ábra Légúti tünetek gyakorisága és a penész előfordulása közti összefüggés, 2017.

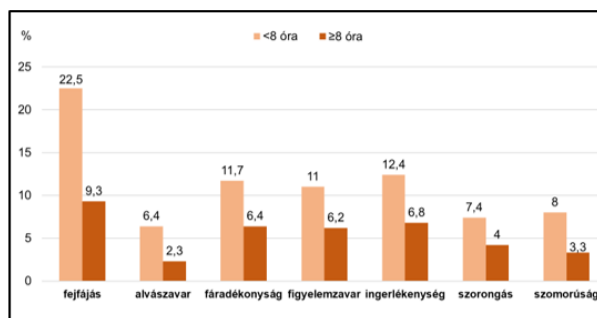
A kutatás a légúti tünetek mellett a fejfájás, illetve pszichés és neurológiai tünetek gyakoriságát és azok kockázati tényezőkkel való összefüggéseit is vizsgálta. Ezek közül a jelentősebbek: lakáson belüli dohányzás (107. ábra), képernyő előtt töltött idő (108. ábra), alvás mennyisége és minősége (109. ábra), testmozgás mennyisége (110. ábra), várandósság alatti dohányzás, beltéri vegyszerhasználat (111. ábra) lakáson belüli zsúfoltság.



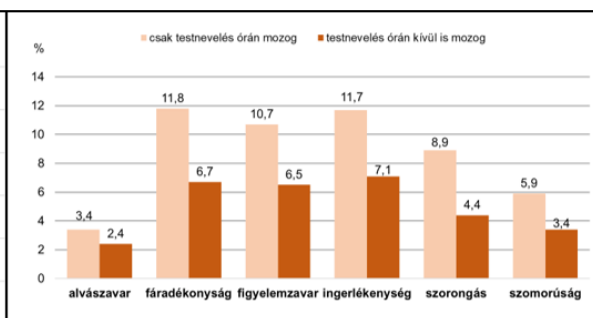
107. ábra A környezeti dohányfüst expozíció és egyes pszichés tünetek közti összefüggés, 2017.



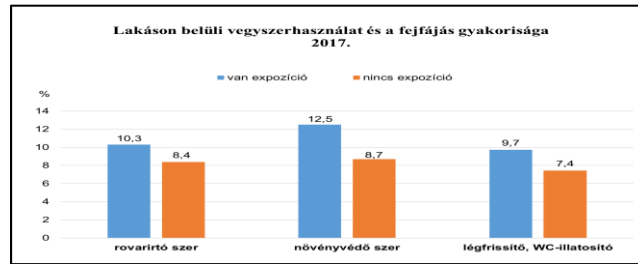
108. ábra A vizsgált gyermekeknél előforduló pszichés, ill. neurológiai tünetek a képernyő előtt töltött idő vonatkozásában, 2017.



109. ábra Vizsgált gyermekek körében jelentkező pszichés és neurológiai tünetek az alvás időtartama szerint, 2017.



110. ábra Vizsgált gyermekek körében jelentkező pszichés, ill. neurológiai tünetek előfordulása a testmozgás szerint, 2017.



**111. ábra Lakáson belüli vegyszerhasználat
és a fejfájás gyakorisága, 2017.**

KÖRNYEZET-EGÉSZSÉGÜGYI HATÁSVIZSGÁLATOK

A KÖRNYEZET-EGÉSZSÉGÜGYI HATÁSVIZSGÁLATOK LÉNYEGE ÉS JOGSZABÁLYI VONATKOZÁSAI

Középesy Szilvia

Mint ismert, a WHO meghatározása szerint az egészség a teljes testi, mentális és szociális jóllét állapota, és nem csupán betegség- vagy fogyatékoság-nélküliség. Az egészség nemcsak az egyén, hanem a közösség legfontosabb értéke és erőforrása is, amely meghatározza az egyes emberek életét, életminőségét, jóllétét, valamint a társadalom jólételemtermelő-, és versenyképességét. Az ember része a természeti környezetnek, nem működhet anélkül, azonban ma már létét meghatározza a mesterséges, ember alkotta környezet is, a maga társadalmi, gazdasági, környezeti, és szociális tényezőivel, melyek egymásra hatnak. Egészséghatása lehet egy döntésnek, mely például a társadalmi vagy gazdasági környezet változásával jár, míg egy adott tevékenység megkezdése, vagy egy új létesítmény a fizikai és/vagy biológiai környezetre is hat.

A környezet védelméről szóló törvény kötelezővé teszi a környezetre gyakorolt hatások vizsgálatát, értékelését és az eredmény vizsgálati elemzésben történő összefoglalását jogszabályban meghatározott tevékenységek, beruházások megkezdésekor, vagy azok jelentős módosításakor.

A környezet-egészségügyi hatásvizsgálatok (KeHV) azoknak a részletes környezeti hatásvizsgálatoknak a szerves részét képezik, amelyek során felmerül a hatásterületen élő lakosság egészségi állapotának és életminőségének várható változása is.

A KeHV 3 fázisa a következő:

- **alapszint felmérés**, azaz a meglévő fizikai, biológiai és humán környezet állapotának leírása a rendelkezésre álló adatok felhasználásával;
- **a változás előrejelzése**: a fizikai, biológiai és humán környezet várható változásának leírása és ezen változások egészségügyi hatásainak előrejelzése;
- **értékelés és javaslat**.

Az *alapszint felmérés* során a beruházás (létesítmény, illetve tevékenység) előtti állapot környezet-egészségügyi helyzetét (a környezeti közegek higiéniás állapotát) és a lakosság egészségi állapotának akkori viszonyait rögzítjük. Ez utóbbi során meg kell vizsgálni a hatásterületen élő népesség életkori és nemi összetételét és a bizonyos szempontból különösen veszélyeztetett ún. rizikócsoportokat (pl. terhes nők, idős emberek stb.).

Az egészségi állapot felmérésére a rendelkezésre álló egészségügyi statisztikai adatsorok közül mind a hosszú távon (pl. mortalitás, krónikus betegségek prevalenciája), mind a rövid távon változó (pl. akut betegségek incidenciája, késői magzati halálozás, veleszületett rendellenességek gyakorisága) adatokat vizsgálni kell. Fontos azt is hangsúlyozni, hogy nem elég a jelenlegi pillanatnyi állapotot rögzíteni, hanem az adatsorokban megfigyelhető tendenciákat (pl. emelkedő vagy csökkenő gyakoriság) is le kell írni. Ehhez legalább az utóbbi 5 év adatainak elemzése szükséges.

Az expozíció és az egészségi állapot alapszintű jellemzésére egyaránt igen jól használható adatokat biztosíthatnak a külön e célból tervezett és végrehajtott – bár többnyire elegendő idő és pénzigényes – adatgyűjtések (pl. kérdőíves felmérés, szűrővizsgálat, biológiai monitorozás).

A változás előrejelzésének (becslésének) módja a kockázatbecslés lehet.

A kockázatbecslés a tevékenység/beruházás körülményeitől függően összetett folyamat. A környezetben lévő szennyező anyagok az emberekben abszorbeálódnak és/vagy kumulálódnak, ez jelenti az egyes személyek terhelését. A kockázatbecslés első lépése a kockázat azonosítása, melynek során a tevékenység által kibocsátott anyagokat kell összefoglalni valamely toxicitási mutató alapján (pl. LD₅₀). A toxicitási mutatókat legalább minőségi szinten (van, vagy nincs) és amennyiben lehet, mennyiségileg is ki kell fejezni.

Vizsgálhatjuk az adott anyag karcinogenitását, mutagenitását, teratogenitását.

Egyes tevékenységek járhatnak megemelkedett zaj és rezgés hatásokkal, mely hatásokat szintén vizsgálni kell.

A dózis-válasz értékelése részben a kísérletes toxikológiai vizsgálatok extrapolációja, részben humán epidemológiai vizsgálatok eredményei alapján lehetséges. Ennek során meg kell vizsgálni a népesség összetételében a tevékenység/beruházás következtében várható változásokat: milyen mértékű és mely korcsoportokat érintő bevándorlás várható és ezáltal hogyan változik a hatásterületen élő népesség korösszetétele és a különösen veszélyeztetett csoportok aránya; milyen változás várható a lakosság szociális-kulturális helyzetében (foglalkoztatottságában, iskolázottságában, táplálkozásában, alkoholfogyasztásában stb.).

Vizsgálni kell azt is, hogy milyen változások várhatóak a környezeti közegek minőségében (szennyezettségében). Számos külföldi és néhány hazai irodalmi adat alapján már bizonyos becslések végezhetők arra vonatkozólag, hogy az immissziós értékek (pl. levegőszennyezettség) adott egységnyi változása esetén milyen mértékű változás várható bizonyos légzőszervi betegségek (vagy az azok által okozott halálozás) gyakoriságában. Az expozícióban várható változások becslése során az expozíció időtartama különösen fontos lehet egyes kumulálódó szennyező anyagok esetén. A különféle expozíciók együttes hatása esetén várható változások becslése pedig különösen összetett feladatot jelenthet. Mindezen változásokat jól jellemezhetik az expozíciós markerekben (pl. vérólomszint) vagy az egészségkárosodás markereiben (pl. delta-amino-levulinsav ürítés) várható változások.

A hatásterületen élő lakosság egészségi állapotában várható változások jellemzésére lehetőleg a biológiai válaszreakciók valamennyi szintjének (mortalitás, morbiditás, funkcionális elváltozások) megfelelően, a demográfiai összetételben és az expozícióban várható változások figyelembevételével, mind a hosszú távon, mind a rövid távon változni képes egészségügyi statisztikai adatokban várható változásokat is meg kell becsülni.

Az expozíció becslése során meg kell különböztetni a rutinszerű, a folyamatos, a csúcskibocsátást, illetve a véletlen kibocsátást. Az expozíció becslésére részben közvetett módszerek (környezeti monitorozás), részben közvetlen módszerek (személyi és biológiai monitorozás) állnak rendelkezésre. A szabályozott légköri emisszió és szennyvízkibocsátás egészségügyi hatásának becslésére a maximálisan megengedett kibocsátási értéket lehet alapul venni, bár számolni kell a rövid ideig tartó határérték túllépés lehetőségével is.

A várható változások értékelése során, az érintett népesség egészségi állapotában az adott tevékenység vagy beruházás következtében várható változások mértékét a tevékenység/beruházás nélkül várható állapothoz viszonyítjuk. Ez a környezet-epidemiológiában használatos járulékos kockázat vagy a relatív kockázat növekedésével vagy csökkenésével írható le.

Járulékos kockázat = (egészségi mutatók várható értékei) – (beruházás nélküli adatok)

A járulékos kockázattal azt fejezzük ki, hogy a beruházás következtében mennyivel több, vagy kevesebb megbetegedés vagy egyéb egészségkárosodás várható, míg a relatív kockázat azt fejezi ki, hogy a beruházás következtében hányszor több vagy kevesebb megbetegedés vagy egyéb egészségkárosodás várható.

$$\text{Relatív kockázat} = \frac{\text{az egészségi mutatók várható értékei}}{\text{a beruházás nélküli egészségi adatok}}$$

Megjegyezzük, hogy a beruházás (vagy tevékenység megkezdése) nélküli egészségi adatok nem jelentik feltétlenül az alapszint felmérés során egy adott időpontban mért kiindulási adatokat, hanem ilyenkor az utóbbi évek tendenciáit is figyelembe kell venni. Például a gyomorrák gyakorisága világszerte, így hazánkban is csökkenő tendenciájú. Ha számításaink szerint a beruházás eredményeképpen valahol azt találjuk, hogy évről évre változatlanul marad, akkor az viszonylagos növekedést jelez.

Végezetül a döntéshozók számára javaslatot kell tenni a várható egészségkárosodások megelőzési, illetve mérséklési lehetőségeire.

A környezet-egészségügyi hatásvizsgálatokról külön jogszabály nem rendelkezik.

A 314/2005. (XII. 25.) Korm. „Rendelet a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról” szóló kormányrendelet (továbbiakban: Rendelet) azonban a KeHV legfontosabb szempontjait is magában foglalja.

A Rendelet 1-3. sz. mellékletében határozza meg azokat a tevékenységeket, létesítményeket, melyek telepítése, illetve jelentős módosítása, változtatása (továbbiakban együtt: tevékenységek) esetében környezeti hatásvizsgálati eljárás (KHV) alapján környezetvédelmi engedély (Rendelet 1. sz. melléklet), illetve az egységes környezethasználati engedélyezési eljárás lefolytatása alapján egységes környezethasználati engedély (Rendelet 2. sz. melléklet) szükséges. A Rendeletben meghatározott esetekben mindkét eljárást le kell folytatni, ekkor a környezethasználó kérheti az összevont eljárás lefolytatását, míg bizonyos esetekben a környezetvédelmi hatóság előzetes vizsgálatban hozott döntésétől függően kell a környezeti hatásvizsgálatot – és ezen belül a környezet-egészségügyi hatásvizsgálatot – elvégezni (Rendelet 3. sz. melléklet).

Előzetes vizsgálatot kell lefolytatni, ha a tervezett tevékenység a környezetvédelmi hatóság döntésétől függően környezeti hatásvizsgálat-köteles, továbbá ha az előzetes vizsgálatot a Rendelet előírja (Rendelet 3. § (1) bekezdése szerint).

A környezethasználó előzetes konzultációt kezdeményezhet a környezetvédelmi hatóságnál, ha olyan tevékenység megvalósítását tervezi, amely a Rendelet 1. sz. melléklete alapján környezeti hatásvizsgálat köteles, vagy ha kizárólag egységes környezethasználati engedélyhez kötött. Az előzetes konzultáció célja, hogy a KHT tartalmi követelményeiről a felügyelőség véleményt, míg a közigazgatási szervek és a nyilvánosság észrevételt adnak. Így az előzetes konzultációba a környezetvédelmi hatóság minden esetben bevonja a népegészségügyi feladatkörében eljáró fővárosi és vármegyei kormányhivatalt a környezet- és település-egészségügyre; az egészségkárosító kockázatok és esetleges hatások felmérésére; a felszín alatti vizek minőségét, egészségkárosítás nélküli fogyaszthatóságát, felhasználhatóságát befolyásoló körülmények, tényezők vizsgálatára, lakott területtől (lakóépülettől) számított védőtávolságok véleményezésére; a talajjal, a szennyvizekkel, veszélyes hulladékokkal kapcsolatos közegészségügyi követelmények érvényesítésére, az emberi használatra szolgáló felszíni vizek védelmére, továbbá a levegő higiéniés követelmények teljesülésére kiterjedően.

Az előzetes vizsgálati, a környezeti hatásvizsgálati, az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásban, az összevont eljárásban valamint a felülvizsgálati eljárásban, ugyanezekben a szakkérdésekben az NNGYK a másodfokon kirendelhető szakértő.

Ily módon tehát a közegészségügyi hatóságnak lehetősége van arra, hogy indokolt esetben az engedély kiadásának előfeltételeként, egy részletes környezeti hatásvizsgálat részeként, környezet-egészségügyi hatásvizsgálat elvégzését írja elő.

A környezeti hatásvizsgálat-köteles tevékenységekre vonatkozó környezetvédelmi engedély iránti kérelemhez *környezeti hatástanulmányt* (KHT) kell csatolni.

A környezeti hatástanulmány egyes részeit a tartalmi követelményeknek megfelelő rész-szakterületeken – a környezetvédelmi, természetvédelmi, vízgazdálkodási és tájvédelmi szakértői tevékenységről szóló jogszabály alapján – szakértői jogosultsággal rendelkező szakértő készíti el.

A Rendelet 5. sz. melléklete a környezeti hatásvizsgálat szükségességének eldöntéséhez használható szempontokat sorolja fel, így, többek között vizsgálni kell „a végső hatásviselőket (embert, természeti rendszereket) érő káros vagy zavaró hatások mértékét” (Rendelet 5. sz. melléklet 3.h) pontja).

A környezeti hatástanulmány általános tartalmi követelményeit a Rendelet 6. sz. melléklete tartalmazza.

Eszerint: „4.b) ha a környezetállapot változása a lakosság egészségi állapotának kedvezőtlen megváltozását okozhatja, akkor a környezet-egészségügyi hatások ismertetésekor meg kell adni különösen:

- ba) a hatásterületen élő lakosság számát, korösszetételét, mortalitási és morbiditási adataik értékelését, a hatásokra érzékeny csoportjait,
- bb) a lakosságot érő környezetterhelés becslését alapul véve az érintettek egészségi állapotára gyakorolt rövid és hosszú távú hatások ismertetését,
- bc) amennyire számszerűsíthető, az egészségi kockázat mértékét,
- bd) az egészségkárosodás elkerülésének, mérséklésének, az egészségi kockázat elfogadható mértékűre való csökkentésének lehetőségeit; ”

A fenti adatok beszerzése sokszor problémát jelent. Ezért érdemes idézni a környezetvédelmi törvény (1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól) 12. § (3) és (4) bekezdését: „(3) Az állami szervek, az önkormányzatok – kivéve a bíróságok és a jogalkotó szervek – e minőségükben, a környezethez kapcsolódó kötelezettséget, feladatot teljesítő vagy közszolgáltatást nyújtó, illetve az egyéb közfeladatot ellátó szervek vagy személyek (a továbbiakban: környezeti információval rendelkező szerv) feladatkörükben kötelesek a környezet állapotát és annak az emberi egészségre gyakorolt hatását figyelemmel kísérni, igény esetén a rendelkezésére álló környezeti információt hozzáférhetővé tenni, rendelkezésre bocsátani, továbbá a környezeti információk külön jogszabályban meghatározott körét, illetve a birtokában levő vagy a számára tárolt információk jegyzékét elektronikusan vagy más módon közzétenni.

(4) A környezeti információval rendelkező szerv biztosítja a nyilvánosság, illetve a környezeti információt igénylő számára, hogy a környezeti információ megismerésére vonatkozó jogosultságairól tudomást szerezzen, továbbá elősegíti a környezeti információhoz való hozzájutást. E jogok előmozdítása érdekében a környezeti információval rendelkező szerv információs tisztviselőt nevezhet ki.”

A 6. sz. melléklet 8. pontja a KHT közérthető összefoglalásának tartalmát írja elő:

- „ a) a tevékenység lényegének ismertetése;
- b) *a hatásfolyamatok és a hatásterületek bemutatása;*
- c) *a környezeti hatások becslése, értékelése;*
- d) *a környezeti állapotváltozások által érintett emberek egészségi állapotában, életminőségében és életmódjában várható változások;*
- e) *a környezet és az emberi egészség védelmére foganatosítandó intézkedések.”*

Végezetül érdemes megemlíteni, hogy **az emberi egészség védelmére** foganatosítandó intézkedésekre vonatkozó javaslatok között indokolt esetben **előírható az egészségi állapotot jellemző valamely mutató** (pl. egy hulladék-akkumulátor feldolgozó üzem környezetében a vérólomszint) rendszeres ellenőrzése, amit a Rendelet 10.§ (2) bekezdés *ba)* pontja is lehetőségként sorol fel:

„*A környezetvédelmi engedély megadásáról szóló határozatban az engedély feltételei között előírható: a) rendszeres környezetvédelmi ellenőrzés, ideértve mérő-, megfigyelő-, ellenőrző rendszer kialakítását.*”

A LÉGSZENNYEZÉS EGÉSZSÉGGKÁROSÍTÓ HATÁSÁNAK BECSLÉSE

Dr. Páldy Anna

Bevezetés

A levegőszennyezés részét képezi a környezeti expozíciók terhére róható teljes betegségterhek. A WHO becslése alapján a légszennyezés 2012-ben 7 millió idő előtti halálozáshoz járult hozzá, melyből 600 000 a WHO Európai Régiójának területét érinti. Ez a szám a világon bekövetkező éves halálozás egy nyolcada, amely több mint kétszerese a korábbi számításoknak (WHO, 2014). A légszennyezés többféle halálok miatti halálozásért felelős, de ezek közül kiemelkedik a szív-érrendszeri és agyi-érrendszeri betegségek miatti halálozás: globálisan mintegy 3,7 millió haláleset tulajdonítható a kültéri és 4,3 millió a beltéri légszennyezésnek (a halálozás egy részéért mindkét ok felelős) (WHO, 2014b). A Lancet 2022-ben közölt tanulmánya további növekedést állapított (Southerland et al., 2022) meg.

Az Európai Unió is elismeri, hogy az idő előtti halálozáshoz vezető első számú környezeti tényező a rossz minőségű levegő. Ezt jól példázza, hogy a szennyezett levegő következtében elhunytak száma meghaladja a közúti balesetben elhunytak számát. Az Európai Unióban az átlagos várható élettartam 8,6 hónappal kevesebb az antropogén eredetű PM_{2,5} szennyezés következtében (APHEKOM - Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe).

A szennyezett levegő az életminőségre is hatással van, hiszen asztmát és egyéb légúti megbetegedéseket okoz. A levegőszennyezés munkából való kiesést is eredményez, mindemellett pedig magas egészségügyi költségeket von maga után.

Mindez különösen érinti a veszélyeztetett csoportokat: a gyermekeket, a légúti krónikus megbetegedésben szenvedőket és az időseket. A légszennyező anyagok közül a szálló port tekintik a legjelentősebb szennyező anyagnak. A szállópor (Particulate Matter: PM) városi lakosság egészségére gyakorolt hatásának tudományos bizonyítékai egybehangzók a világ különböző területén élők, mind a fejlett, mind a fejlődő országok esetében. A hatás széles spektrumú, elsősorban a légző- és a keringési rendszert érinti és korcsoportonként, illetve az egészségi állapot függvényében különböző mértékű lehet. Az egyes hatások bekövetkezésének kockázata az expozíció függvényében növekszik és nincs elég bizonyíték arra, hogy létezik hatástalan küszöbkonzentráció, az egészségre gyakorolt észlelhető hatást már kiváltó koncentráció tartomány nem tér el jelentősen az átlagosan levegőben mért koncentrációtól. Epidemiológiai vizsgálatok bizonyítják, hogy a szálló por mind rövid, mind hosszú távon kifejti káros hatásait.

A szálló por hatásait bizonyító, klinikai, kísérletes toxikológiai és epidemiológiai vizsgálatok eredményeit a WHO összegezte és értékelte először 2003-ban (WHO, 2003). Azóta számos szakmai anyag, tisztifőorvosi jelentések, több ezer közlemény erősítette meg a humán egészségkockázatokat.

- IARC. Air pollution and cancer. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2013. Available from: <https://www.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/07/AirPollutionandCancer161.pdf>
- IARC. Outdoor air pollution IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Volume 109. Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2015. Available from: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Outdoor-Air-Pollution-2015>
- Committee on the Medical Effects of Air Pollutants. Gov.uk. Available from: <https://www.gov.uk/government/groups/committee-on-the-medical-effects-of-air-pollutants-comeap>
 - Guidance **Particulate air pollution: health effects of exposure**
 - COMEAP statement on the evidence for differential health effects of particulate matter according to source or components.
- COMEAP. The effects of long-term exposure to ambient air pollution on cardiovascular morbidity: mechanistic evidence. Oxon: Committee on the Medical Effects of Air Pollutants; 2018 Available from: <https://www.gov.uk/government/publications/air-pollution-and-cardiovascular-disease-mechanistic-evidence>
- WHO. Noncommunicable diseases and air pollution. Geneva: World Health Organization; 2019. Available from: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/397787/Air-Pollution-and-NCDs.pdf

A légszennyezés egészségi hatásainak vizsgálata – történeti áttekintés

A levegőszennyezettség időnkénti igen magas koncentrációjának egészségkárosító hatásairól már régóta lehet olvasni a tudományos folyóiratokban (*Brimblecombe, 1987*).

Már a XX. század első felében felfigyeltek néhány eseményre, amikor a téli szmog epizódok magas halálozáshoz vezettek. Elsőként 1930-ban Belgiumban a Meuse völgyében írták le, hogy a kialakult időjárási helyzet következtében igen sokan elhunytak, majd 1948-ban Donorában (Pennsylvania) és 1952-ban Londonban történt hasonló esemény, Londonban a decemberi szmogos időszakban 4 000 többlethalálestet jegyeztek fel (*Schwartz et al., 1990, 1991, 1992a*). Az említett szmog esetek idején még nem volt rendszeres levegőminőség monitorozás. A korai elemzések az emelkedett kén-dioxid koncentrációt és a következményes savas aeroszolt tették felelőssé. A fent említett vizsgálatok hívták fel a figyelmet arra, hogy a levegőszennyezettség és a napi halálozás összefüggésben lehet.

A későbbiekben az Egyesült Államokban végzett kutatások eredményei rámutattak arra, hogy a levegőszennyezettség viszonylag kis mérvű változása is idézhet elő többlethalálozást (*Dockery et al., 1992; Pope et al., 1992; Schwartz et al., 1992a, 1992b, 1993*).

1991-1994 között egy sokközpontú vizsgálat folyt le az Európai Közösség által finanszírozott „Környezet 1991-94” program keretében 11 kutatócsoport részvételével (APHEA vizsgálat *Spix et al., 1993; Katsouyanni et al., 1995; Katsouyanni et al., 1996; Touloumi et al., 1996*), amelynek során 15 európai országban tanulmányozták az összefüggéseket a különböző légszennyezők és a napi halálozás, valamint a sürgősségi kórházi betegfelvétel között. Az APHEA vizsgálat főbb megállapításai szerint a külső téri levegő szálló por koncentrációja összefüggést mutatott a napi összhálalozással, a szív-keringési eredetű, valamint légúti betegségek miatti halálozással. A kén-dioxid koncentráció növekedése jelentősen befolyásolta mind az összes halálok miatti, mind a szív- és érrendszeri, valamint a légúti halálozást a nyugat-európai országokban. A nitrogén-dioxid koncentráció változása az összhálalozást befolyásolta. Érdekes megfigyelésük arra utalt, hogy a '90-es években jelentős különbség mutatkozott a nyugat-európai és a közép-kelet-európai városok között, ez utóbbiakban elsősorban a kén-dioxid hatását lehetett kimutatni az akkor még jelentős ipari és fűtési eredetű kibocsátások következtében (*Katsouyanni et al., 1997*).

A vizsgálatot megismételték 1998-2001 között az APHEA2 program keretében, amelyhez 26 ország csatlakozott 29 nagyvárosának adataival. A vizsgálat sorozat a légszennyezők rövid távú egészségkárosító hatásait elemezte, melynek során napi légszennyezettségi és napi halálzási, illetve sürgősségi betegfelvételi adatokat vetettek össze idősor analízis segítségével. Az így kapott eredményeket használták fel később a 2000-es évek során a légszennyezés környezet-egészségügyi hatásbecslésére. Az alábbi *XXIII. táblázat*ban mutatjuk be az európai városokban, illetve az Egyesült Államokban hasonló módszerrel végzett elemzések szálló porra vonatkozó eredményét:

XXIII. táblázat A szálló por szennyezés becsült hatása a napi összhálalozásra és a kórházi betegfelvételekre az APHEA2 és az NMMAPS vizsgálatok eredménye alapján

	Vizsgálat megnevezése	
	APHEA2*	NMMAPS**
Az összhálalozás növekedése 10 µg/m³ PM₁₀-enként (95% megbízhatósági tartomány)	0,6% (0,4% - 0,8%)	0,5% (0,1% - 0,9%)
A KALB⁺ (APHEA2: KALB és asztma) miatti kórházi betegfelvételek növekedése 65 év felettiek körében 10 µg/m³ PM₁₀-enként (95% megbízhatósági tartomány)	1,0% (0,4% - 1,5%)	1,5% (1,0% - 1,9%)

* KALB: Krónikus Aspecifikus Légzőszervi Betegségek

* Air Pollution and Health: a European Approach (*Katsouyanni et al., 2001*)

** National Mortality, Morbidity and Air Pollution Study (*Schwartz, 1996*)

A WHO az Air Quality Guidelines (Levegőminőségi Ajánlások) c. kiadványát 1987-ben jelentette meg először, majd 2000-ben és 2005-ben frissítette (WHO, 2006), elsősorban az APHEA2 vizsgálat eredményeinek figyelembevételével. A 2012-ben megjelent kiadványukban felülvizsgálták a levegőszennyezés egészségi vonatkozásait alátámasztó bizonyítékokat (*REVIHAAP projekt, WHO, 2013*) a 2005 után megjelent közlemények alapján. A 2005-ben kiadott levegőminőségre vonatkozó iránymutatását legutóbb 2021 szeptemberében frissítették. Az új levegőminőségi irányértékek lényegesen szigorúbbak, mint a 2005-ben megfogalmazottak.

Az új cél a PM_{2,5} esetében a maximum 5 µg/m³, a NO₂ esetében a 10 µg/m³ éves átlagkoncentráció elérése, emellett az ózon teljes csúcsidőszakra vonatkozó 8 órás átlagkoncentráció határértékére 60 µg/m³ az új ajánlás. Összehasonlításként, a 2005-ben kiadott iránymutatás a PM_{2,5} méretfrakció esetén 10 µg/m³-t, a NO₂ esetén még 40 µg/m³-t javasolt irányértéknek, míg a hosszú távú ózon koncentrációra nem állt rendelkezésre irányérték.

A PM_{2,5} és a PM₁₀ rövid távú egészségkárosító hatásait egyre több bizonyíték támasztja alá (Brook et al., 2010; Rückerl et al., 2011). Több új, sok várost magában foglaló vizsgálat erősítette meg a korábbi összefüggést, miszerint a PM₁₀, vagy PM_{2,5} koncentráció 10 µg/m³-el történő növekedése esetén 0,4-1%-os növekedés tapasztalható a napi halálozásban (Katsouyanni et al., 2009; Zanobetti et al., 2009; Ostro et al., 2006).

A kórházi betegfelvételekkel való összefüggés új bizonyítékát Brook és munkatársai írták le. Szignifikáns összefüggést találtak egyes krónikus szív- és agyérbetegségek (ischaemiás szívbetegség, dekompenzáció, cerebrovasculáris betegségek) miatti sürgősségi betegfelvételek és a PM_{2,5} szennyezettség között (Dominici et al., 2006; Brook et al., 2010; Rückerl et al., 2011).

A PM_{2,5} hosszú távú egészségkárosító hatásaival kapcsolatban is számos új, illetve a korábbi eredményeket megerősítő közlemény jelent meg. Például egy holland kohorsz vizsgálat megerősítette, hogy a PM_{2,5} szennyezés 6%-kal növeli a természetes halálokok miatti halálozást 10 µg/m³-enként (Beelen et al., 2008), ami megegyezik a korábbi USA eredményekkel (Pope et al., 2002). Egy nagy norvég ökológiai vizsgálat bebizonyította, hogy a PM_{2,5} expozíció növeli a szív- érrendszeri betegségek miatti halálozást is (Naess et al., 2007).

A szívelégtelenség, a szívizom elektromos vezetőképessége szintén függ a külső levegő PM_{2,5} koncentrációjától (Brook et al., 2010). A PM_{2,5} hosszú távú expozíciója hatására kimutathatók az érlemeszesedés korai biomarkerei is, az érfal vastagodása, a szív koszorúereinek meszesedése (Künzli et al., 2005; Künzli et al., 2010). Ezek a tünetek a PM_{2,5} hosszú távú expozíciója esetén a forgalmas utaktól való távolság viszonylatában voltak kimutathatók (Bauer et al., 2010; Hoffmann et al., 2006; Hoffmann et al., 2007; Perez et al., 2013).

Arra is van bizonyíték, hogy a légszennyezés összefügg a gyermekek idegrendszeri fejlődésével, sőt a gyermekkori diabetes kialakulásával is, felnőttkorban idegrendszeri zavarokat idézhet elő (Rückerl et al., 2011). A cukorbetegséggel való összefüggést az első közlés óta (Brook et al., 2008) egyre erősebb bizonyítékok támasztják alá, például német és dán epidemiológiai vizsgálatok (Krämer et al., 2010; Andersen et al., 2012; Raaschou-Nielsen et al., 2013). A levegő szennyezettsége károsítja az egyes idegrendszeri funkciókat, például a kognitív funkciót mind a felnőttek, mind a gyermekek körében (Ranft et al., 2009; Freire et al., 2010).

A 2005-ben elindított születési kohorsz vizsgálatok szignifikáns kapcsolatot tártak fel kisgyermekek körében a PM_{2,5} és a légúti fertőzések, valamint az asztma között (Brauer et al., 2007; Gehring et al., 2010; MacIntyre et al., 2011; Morgenstern et al., 2007). A szálló por szennyezés kedvezőtlenül befolyásolja a várandósságok kimenetelét is, magas PM_{2,5} koncentráció esetén nagyobb az esély a koraszülésre, alacsony születési súlyra (Shah and Balkhair, 2011).

Végezetül meg kell említeni, hogy a WHO Nemzetközi Rákkutatási Ügynöksége (IARC) 2013-ban bizonyítottan humán rákkeltőnek minősítette a levegőszennyezést. A szálló por szennyezést külön is minősítették és szintén az 1A csoportba tartozó rákkeltő ágens besorolást kapott. Az IARC értékelése bebizonyította, hogy a növekvő légszennyezéssel növekszik a tüdő rosszindulatú daganatos megbetegedésének gyakorisága.

Bár a légszennyezés összetevői és a koncentrációk között igen jelentős különbségek mutatkoznak világszerte, az IARC munkacsoport következtetése az, hogy a daganatkeltő hatás mindenütt érvényesül. 2010-es adatok szerint világszerte 223 000 tüdőrák miatti halálozás írható a légszennyezés terhére.

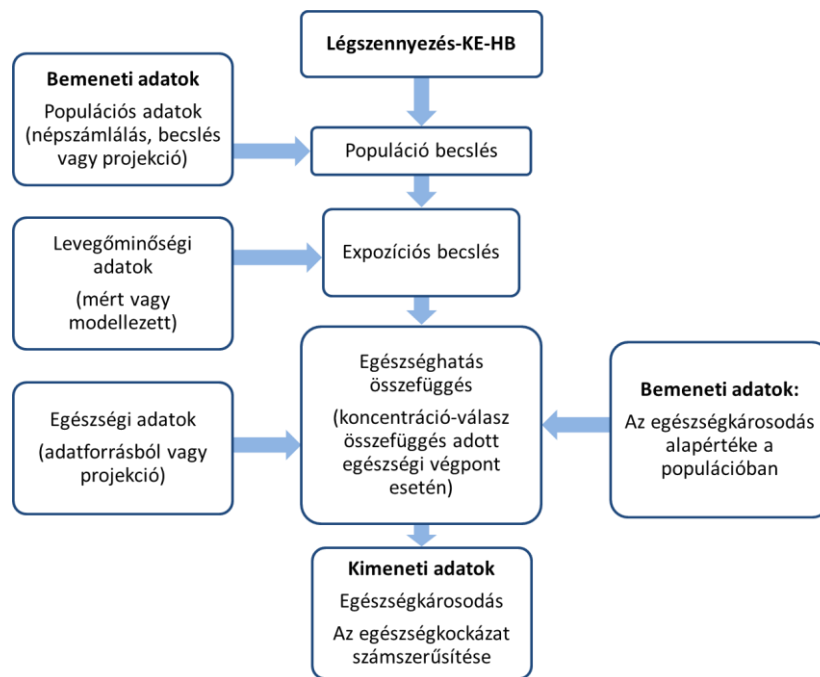
A légszennyezettség környezet-egészségügyi hatásbecslésének módszertana

A fent említett különböző epidemiológiai módszerekkel végzett vizsgálatok felvetették annak az igényét, hogy egységes módszertant dolgozzanak ki a hatások becslésére. A légszennyezés környezet-egészségügyi hatásbecslésének célja a múltbeli, jelen és jövőbeni légszennyezésnek való kitettség kockázatának becslése, de a módszernek alkalmasnak kell lennie arra is, hogy a megtett intézkedések hatását is nyomon lehessen követni (*Department of health, 2006; HIP, 2014*). A becslés lehet mennyiségi vagy minőségi, általában kiterjed i) a koncentráció becslésére, ii) a célpopuláció expozíciójának becslésére, valamint arra, hogy az adott koncentráció mennyire veszélyes az adott populációra (*WHO, 2010*). A hatásbecslés – melynek folyamatát az 112. ábra szemlélteti – során nyert eredmények jól hasznosíthatók a szakpolitikai intézkedések meghozatalában.

Az előnyök mellett meg kell említeni a korlátokat is, amelyek közül a legjelentősebb a megfelelő adatok hiánya: például adott helyen a légszennyezettség adatok, vagy a populációs adatok nem állnak rendelkezésre, így sok esetben a kockázat értékelése becsléseken vagy megítéléseken alapszik. Ennek következtében a környezet-egészségügyi hatásbecslések sok bizonytalanságot hordoznak magukban, amikre fel kell hívni a figyelmet. Természetesen a hatásbecslések csak azokra az egészségi kimenetekre terjednek ki, amelyekben számszerűsíthetők a hatások. Törekedni kell a minél teljesebb hatásbecslésre, de az előbbieken alapján kijelenthető, hogy a becslések alábecsülik a hatásokat.

A hatásbecslés lépései:

- Szakpolitikai kérdés megfogalmazása, a környezeti expozíció (légszennyezés) és az egészségi hatás közötti összefüggés pontosítása.
- Egészség hatás becslés tervezése.
- Kérdések megfogalmazása és a kapcsolódó akciók tervezése.
- Kik képezik a rizikó csoportot? A populáció és a geográfiai kiterjesztés pontosítása.
- Hogyan lehet a legpontosabban meghatározni az expozíciót? A térbeli felbontás pontosítása és a megfelelő légszennyező anyag kiválasztása.
- Mik az egészségi végpontok? A megfelelő rövid és hosszú távú hatások definiálása.
- A megfelelő légszennyezés – egészség hatás becslő eszköz, módszer kiválasztása.



112. ábra **A légszennyezés egészséghatás becslés folyamata**
(forrás: Quigley et al., 2006; US EPA, 2024; WHO Regional Office for Europe, 2016)

Az egészséghatás számszerűsítése

A légszennyezettség egészséghatás becslés eredményét leggyakrabban a légszennyezettségnek tulajdonítható többlethalálozási esetszámmal adjuk meg, vagy az elveszített életévek számával. Újabban egyre többször alkalmazzák a rokkantsággal korrigált elveszített életévek mutatót (DALY) vagy a várható élettartam változást (WHO Regional Office for Europe, 2014a). Ezek a mutatók különböző egészséghatás típusokat írnak le és a lakosság egészségi állapotának különböző aspektusait jellemzik (Murray and Lopez, 2013). Fontos megjegyezni, hogy ezek a mutatók a teljes lakosságra vonatkozó értékeket adnak meg, nem lehet egyénre vagy kisebb populációra vonatkoztatni.

Járvékos halálozás vagy megbetegedés. Ez a mutató azt fejezi ki, hogy mekkora a többlethalálozás az adott populációban a légszennyezésnek való kitettség miatt. Kifejezhetjük a szennyezőanyag teljes hiányához, vagy valamilyen választott koncentrációszinthez viszonyítva.

Elveszített életévek (YLL): ez a mutató jelzi, hogy a légszennyezés következtében hány életévet veszítünk el az úgynevezett idő előtti (korai) halálozás következtében. Leegyszerűsítve a következőképpen számítják ki: a légszennyezés változásának tulajdonítható számított halálozások számát megszorozzák a standard várható élettartammal arra az évre vonatkozóan, amikor a haláleset bekövetkezik – egyes számítások súlyozzák az eredményeket bizonyos szociális tényezőkkel.

Rokkantság miatt elveszített életévek (YDL) úgy határozzák meg, hogy egy adott időszak alatt bekövetkező adott egészségkárosodás esetszámait megszorozzák a megbetegedés átlagos időtartamával (mialatt a beteg vagy meggyógyul, vagy meghal) és súlyozzák a betegség „súlyosság” faktorával (egy 0-1 közötti skálával, 0 = teljes gyógyulás, 1 = halál).

A 2020-ban kiadott globális betegségteher számítás tanulmány frissített várható élettartam standard értékeket használ a YLL és a YDL meghatározásánál (WHO, 2020).

Rokkantsággal korrigált életévek (DALY). Egy DALY tulajdonképpen egy elvesztett egészséges életév. A DALY értékek összege a populációban jelzi a betegségterhet; olyan mérőszámnak tekinthető, ami mutatja a különbséget a populáció aktuális egészségi állapota és az „ideális” helyzet között, amelyben a teljes populáció egészségesen él az emberi élet végső határáig. A WHO kiadványban közölt, adott betegségre vonatkozó teljes DALY érték magában foglalja az elvesztett életéveket (YLL) és a rokkantsággal korrigált életéveket (YDL) is (WHO, 2020; Murray and Lopez, 2013).

Ezek a mutatók felhasználhatók még a járulékos költségek kiszámítására is, valamint a meghozott szakpolitikai intézkedések egészségnyereségének kiszámítására is. Léteznek olyan szoftverek, amelyek ezeket a számításokat is segítik (XXIV. táblázat). Fontos megemlíteni, hogy az Európai Unió 2014-ben hivatalos ajánlást dolgozott ki a légszennyezés által okozott megbetegedések költségeinek kiszámítására a WHO javaslatainak figyelembevételével (ENV/EPOC/WPIEEP(2014)15, ENV/EPOC/WPIEEP(2014)14).

XXIV. táblázat A légszennyezettség környezet-egészségügyi hatásbecslést segítő szoftverek bemutatása

Szoftver eszköz	Fejlesztő intézmény	Földrajzi kiterjesztés	Vizsgált egészségi kimenet ¹
AirCounts	Abt Association	Globális kiterjesztés (42 város, további 3 000 fejlesztés alatt)	halálozás
AirQ2.2	WHO	Bármely ismert méretű populáció, amelynek ismert az alap halálozása vagy morbiditása	halálozás, megbetegedés
Aphekom	Francia Közegészségügyi Intézet (InVS)	Globális, bár a jelenlegi verzió Európára vonatkozik	halálozás, megbetegedés
Economic Valuation of Air Pollution	Aarhus University	Északi félteke, kontinentális (pl. Európa, országos és városi szintű)	halálozás, megbetegedés
EcoSense	University of Stuttgart	Európa	halálozás, megbetegedés
Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - Community Edition (BenMap-CE)	US Environmental Protection Agency	Kontinentális kiterjesztés (USA és Kína, de más helyre is alkalmazható a felhasználó igénye szerint)	halálozás, megbetegedés
Environmental Burden of Disease (EBD) assessment tool for ambient air pollution	WHO	Globális	halálozás, megbetegedés
GMAPS²	World Bank	Globális	halálozás, megbetegedés
IOMLFET	Institute of Occupational Medicine	Bárhol használható, ahol rendelkezésre állnak háttér halálozási adatok és mért vagy számolt légszennyezési adatok	halálozás, megbetegedés
Rapid Co-benefit Calculator	US Environmental Protection Agency Stockholm Environment Institute	Fejlesztés alatt, minden országra, globális kiterjesztés	halálozás
SIM-Air	Urban Emissions	Ázsia, Afrika, Latin Amerika	halálozás
TM5-FASST	EC-Joint Research Centre	Globális, 56 forrás régió	halálozás, megbetegedés

¹ A megbetegedés lehet pl. szív-érrendszeri, légzőszervi, betegség, kórházi betegfelvétel, sürgősségi betegfelvétel, táppénzes napok száma

² A modell már nem aktív, nem lehet letölteni

Legfontosabb, hazánkra is vonatkozó hatásbecslések

APHEIS projekt eredményei

1999-ben jött létre a Levegőszennyezettség és Egészség Európai Információs Rendszer (APHEIS) azzal a céllal, hogy kiépítsen egy egészségügyi surveillance rendszert, amely információkat tud szolgáltatni a légszennyezés egészségkárosító hatásairól. Hazánk is csatlakozott a 26 európai résztvevőhöz Budapest adataival. Az APHEIS programban a résztvevők az 1999-es évre vonatkozóan meghatározták a városokra jellemző szálló por (PM_{10} és korom) szennyezettségnek tulajdonítható rövid távú többlethalálozást a WHO által kifejlesztett AirQ1.2 szoftver alkalmazásával (jelenleg az AirQ+2.2 verzió tölthető le⁶⁵).

A módszer lényege, hogy az on-line mérőállomások adataiból nyert 24 órás átlagkoncentrációk eloszlási gyakorisága és a nemzetközi vizsgálatok (APHEA2) alapján megállapított kockázati értékek felhasználásával meghatározzák a városokra jellemző légszennyezettségnek tulajdonítható rövid, illetve hosszútávú járulékos halálozást, különböző scenáriók szerint.

Az egészségügyi hatásbecslés eredménye többszörösen igazolta a szálló por koncentráció csökkentésének előnyös hatását Budapesten is. A PM_{10} éves átlagkoncentrációja 1999-ben $29,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ volt, és összesen 289 napon haladta meg a WHO által javasolt $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t, amely így 170 rövid távon jelentkező, megelőzhető többlet halálesettel volt összefüggésbe hozható. A PM koncentráció WHO által javasolt szintre való csökkentésével (Air Quality Guidelines) mérhetően (6-15%) csökkenne a mortalitás és morbiditás (Páldy, Bobvos, Vámos és mtsai., 2000).

Az APHEIS program következő fázisában (2003) a célkitűzés az volt, hogy a 2000. évi adatok felhasználásával megismételje az 1999-es adatokkal elvégzett hatásbecslést. A programban részt vevő 23 város 36 millió lakosára vonatkozóan vizsgálták a PM_{10} rövid és új elemként a hosszú távú hatásait. Az eredmények szerint, minden más tényezőt változatlanul tekintve, ha a PM_{10} kültéri expozícióját sikerülne $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re csökkenteni minden városban 2 napra, akkor 2 580 idő előtti halálozást, 1 741 szív- érrendszeri és 429 légzőszervi megbetegedés okozta halálesetet lehetne megelőzni évente. Továbbá megállapították, hogy 11 375 ember életét lehetne megmenteni évente (8 053 kardiovaszkuláris és 1 296 légzőszervi megbetegedés okozta halálozás) akkor, ha a számított $PM_{2,5}$ évi határértékét hosszú távon $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re csökkentenék minden városban. Ha $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lenne ez a határérték, akkor 16 926 korai halálesetet lehetne elkerülni (11 612 kardiovaszkuláris és 1 901 légzőszervi megbetegedés okozta haláleset). Ha minden más tényezőt változatlanul tekintünk, és a PM_{10} -ból számított $PM_{2,5}$ szennyezés éves határértéke nem haladná meg a $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -t, akkor a 30 évesnél idősebb lakosság várható élettartama átlagosan 2-13 hónappal lenne meghosszabbítható az összhála-lozás csökkentésének köszönhetően (Páldy, Bobvos, Vámos et al., 2005).

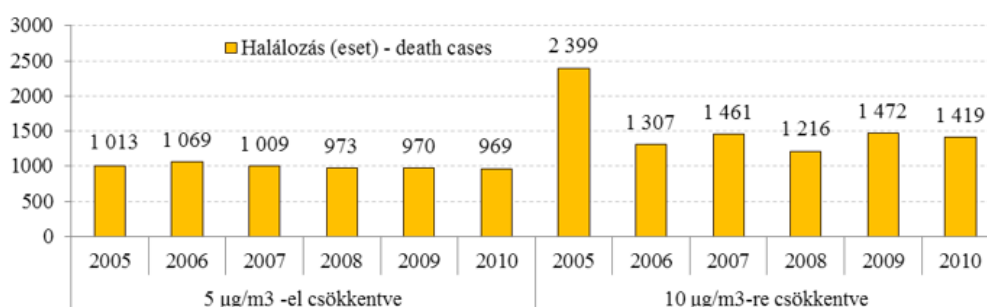
Az EC Új Népegészségügyi Program keretében megvalósult APHEKOM (A levegőszennyezéssel és egészségi hatással kapcsolatos döntéshozatalhoz szükséges ismeretek és kommunikáció fejlesztése Európában 2008-2011.) projekt célkitűzése szerint Európa 26 nagyvárosában becsülték a légszennyezés egészségi hatását a 2004-2006-os évek adatai alapján.

⁶⁵ <https://www.who.int/europe/tools-and-toolkits/airq---software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>

Ennek a projektnek a keretében egységes módszert dolgoztak ki az egészséghatás becslésére, amelyet szabadon elérhetővé tettek. A WHO is támogatja a módszer elterjesztését, 2016 januárjában, nagyrészt erre a módszertanra építve adott ki egy módszertani útmutatót (WHO, 2016). Az APHEKOM projektben résztvevő 26 európai város 33 millió lakosának adatai alapján megállapították, hogy a $PM_{2,5}$ -re vonatkozóan a WHO Air Quality Guidelines által javasolt $10 \mu g/m^3$ éves átlagérték feletti légszennyezés esetén évente 19 000 ember (ebből 15 000 fő szív- érrendszeri betegség miatti) halálához járul hozzá (APHEKOM, 2011).

Az APHEKOM vizsgálatban a városi háttérállomások légszennyezettségi adatait használták fel, mert ezek a mérési adatok jellemzik egy város teljes lakosságának expozícióját. Meg kell jegyezni, hogy a légszennyezés hatása viszonylag nehezen mutatható ki egyéni szinten, azonban a teljes populáció ki van téve a légszennyezés hatásának, ezért populációs szinten jelentős közegészségügyi teherrel kell számolni. A számítások azt bizonyítják, hogy a légszennyezés csökkentése nagyszámú lakosságcsoportha nézve kedvező hatású.

Az Országos Környezetegészségügyi Intézet (NNGYK jogelődje) munkatársai szükségesnek tartották, hogy a 2006 utáni időszakban is megvizsgálják a szálló por lehetséges rövid és hosszú távú egészségkárosító hatását. Az APHEKOM módszertant alkalmazva elvégezték a számításokat a 2005-2010 közötti időszakra, Magyarország 14 on-line monitor állomással rendelkező városára (Budapest, Debrecen, Eger, Győr, Miskolc, Nyíregyháza, Pécs, Salgótarján, Szeged, Székesfehérvár, Szolnok, Tatabánya, Várpalota, Veszprém) vonatkozóan (Bobvos és mtsai., 2014). A légszennyezés hosszú távú hatását a $PM_{2,5}$ (PM_{10} értékekből 0,58-as faktor alkalmazásával származtatott) esetén értékelték, az elkerülhető halálozást a következő hosszú távú scenáriók szerint vizsgálták. Az éves $PM_{2,5}$ értékek csökkentése $5 \mu g/m^3$ -el, illetve az éves $PM_{2,5}$ értékek csökkentése $10 \mu g/m^3$ -re. A 14 város esetében összességében vizsgálva a hosszú távú hatásokat megállapítható, hogy a $PM_{2,5}$ éves átlagértékek $5 \mu g/m^3$ -el csökkentése évente átlagosan kb. 1 000 halálesetet előzhetne meg. Amennyiben az éves átlagértékeket $10 \mu g/m^3$ -re tudnánk csökkenteni, az összes megelőzhető halálesetek száma átlagosan 1 550 esetre emelkedne évente (113. ábra).



113. ábra A 14 hazai városban a $PM_{2,5}$ csökkentésével elkerülhető halálozás a különböző hosszú távú scenáriók esetén
(forrás: Bobvos és mtsai., 2014)

A 14 város összlakossága hozzávetőlegesen 3 000 000, így abban az esetben, ha a teljes hazai populációra vonatkoztatva hasonló $PM_{2,5}$ expozíciót feltételeznénk, akkor 2005-ben az APHEKOM módszertan szerint 7 997 fő, míg 2010-ben 4 730 fő többelhalálozásához járult hozzá a $10 \mu g/m^3$ feletti $PM_{2,5}$ szennyezés.

Amennyiben az éves átlagértékeket $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ -re tudnánk csökkenteni az összes megelőzhető halálesetek száma átlagosan 1 550 esetre emelkedne évente, életév nyereségben kifejezve átlagosan 2,4 hónap (Pécs) és 12,8 hónap (Várpalota) között alakulna ez a továbbélési mutató a városokban.

2014-ben nagy szakmai érdeklődést váltott ki a „The costs of air pollution from road transport” c. OECD kiadvány (High level session Meeting of the Environmental Policy 23-24 Apr, 2014). Ez a kiadvány megállapítja, hogy világszerte főként a közlekedési eredetű $\text{PM}_{2,5}$ kibocsátás növekszik, ezzel együtt nő az expozíció terhére írható többlethalálozás. A kiadványban közöltek szerint Magyarország esetében a 2005-re vonatkozóan a számított éves többlethalálozás 11 712 fő, míg 2010-ben valamivel kedvezőbben alakult (9 376 fő). Ez a számított többlethalálozás 1 000 000 főre vonatkoztatva közelítőleg megegyezik a Kínára vonatkoztatott számításokkal. Mivel a tanulmányban közölt eredmények eltérnek az APHEKOM módszertannal számolt, szintén nemzetközi kiadványokban megjelent eredménytől, ezért érdemes bemutatni, mint jellemző példát, hogy milyen módszert alkalmaztak a hatásbecsléshez és az eredmények hogyan értelmezhetők.

A számításokat az *Institute for Health Metrics and Evaluation* (2013) végezte el, a részletes eredmények az interneten megtalálhatók⁶⁶. Az eredmények modellezésen alapulnak, a módszertant részletesen ismertetik *Lim és munkatársai* közleményében (2013). A járulékos halálozási számítások alapja az országok éves halálozási statisztikája. Hazánkban ez rendkívül magas, így eleve kedvezőtlen a kiindulási alap. A kültéri kisméretű aeroszol expozíciót műhold felvételek alapján becsülték és ahol rendelkezésre álltak $\text{PM}_{2,5}$ mérési adatok, ott validálták az eredményeket. Magyarországon ez nem állt rendelkezésre. A $\text{PM}_{2,5}$ viszonyítási koncentrációjaként $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ éves átlagkoncentrációt vettek figyelembe. A kockázati értéket integrált dózis-hatásgörbék előállításával bonyolult statisztikai elemzésekkel határozták meg és az összes halálozás, illetve okspecifikus halálozások esetén a halálozás arányában adták meg, figyelembe véve a $\text{PM}_{2,5}$ helyi lehetséges kibocsátási forrásait. Meg kell említeni, hogy a fentebb bemutatott európai számítások esetén (APHEKOM) a $\text{PM}_{2,5}$ hosszú távú hatásait vizsgáló scenáriókban $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ feletti koncentrációkra vonatkozik a számítás.

Az eredmények értékelésénél további megfontolásra ad okot az, hogy a légszennyezettségi adatok Magyarországra nézve nincsenek mérésekkel validálva. Mivel a $\text{PM}_{2,5}$ „hatástalan” éves átlagkoncentrációját igen alacsony értéknél határozták meg és a magyar „alaphalálozás” igen magas, ezért a számított többlethalálozás értéke is nagyon magas.

A tanulmányban közölt hatásbecsléssel kapcsolatban tehát rámutattunk arra, hogy milyen eltérések adódhatnak a hatásbecslésben attól függően, hogy mért vagy számított expozíciós adatokat használunk. További eltéréseket okozhat a hatásbecslés viszonyítási alapja. Ezek a módszertani különbségek magyarázzák, hogy bár a becsült többlethalálozás nagyságrendileg hasonló tartományban mozog, mint a hazai hatásbecslés eredményei, az OECD tanulmány azonban kb. kétszer magasabb halálozást becsült.

⁶⁶ <https://www.healthdata.org/data-tools-practices/interactive-data-visuals>

A bemutatott módszerek és eredmények alátámasztják a környezet-egészségügyi hatásbecslések elvégzésének szükségességét a megfelelő szakmapolitikai döntések megalapozása érdekében. A hatásbecslés igen fontos eszköz az Európai Unió új levegőminőség politikájával kapcsolatos célkitűzéseinek elérésében.

A levegőszennyezés egészségi kockázatának vizsgálata – módszertani segédlet

A külső téri levegőminőség monitorozása 2002. óta a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium (jelenleg Agrárminisztérium) feladatkörébe került. A közegészségügy feladata azonban továbbra is az, hogy értékelje a levegőminőség egészségkárosító hatását, ennek alapján azonnali, rövid, közép, és hosszútávú környezet-egészségügyi intézkedéseket kezdeményezzen, illetve a határértékeket felülvizsgálja egészséghatás szempontjából.

A levegőszennyezés egészségkárosító hatásának értékelése az expozíciós adatok ismeretében lehetséges. Ez vagy a monitorállomások rutinszerűen gyűjtött adatainak felhasználásával valósulhat meg⁶⁷, vagy célzott mintavételezés adatai alapján.

Krónikus hatások becslésének lehetőségei

Általános leíró statisztikai módszerek:

A vizsgált területek egészségi mutatóinak (általános és okspecifikus halálozás, morbiditás) értékelése a standardizált mutatók alapján: standardizált halálozási/morbiditási hányados alapján. A „*Demográfiai elemző módszerek*” c. fejezetben ismertetett indirekt standardizált halálozási/morbiditási hányados segítségével képet kapunk arról, hogy a vizsgált betegség/halálozás az országos átlaghoz képest hány százalékkal magasabb vagy alacsonyabb az adott területen. Ezzel a leíró epidemiológiai módszerrel csupán azt állapíthatjuk meg, hogy a vizsgált területen van-e halálozás/megbetegedési többlet. Ok-okozati összefüggést nem lehet kimondani.

A következő, szintén leíró jellegű statisztikai módszer a potenciális életév veszteség vizsgálata (PÉV). A módszerrel a korai (65 évnél fiatalabb életkorban), valamely betegség miatt bekövetkezett halálozás miatti meg nem élt életévek számát tudjuk kiszámítani.

A különböző szennyezettségű területeken élő lakosságra vonatkoztatott potenciális életév veszteségszámítás szintén közvetetten utal a környezetszennyezés/levegőszennyezés esetleges szerepére.

⁶⁷ Országos Légszennyezettségi Mérőhálózat: <https://legszenyeztseg.met.hu/>

A potenciális életév veszteség arányszáma a halálozási arányszámhoz hasonlóan számítható:

$$\text{PÉV} = \frac{\text{elveszített potenciális életévek száma 1-64 éves korban}}{\text{az 1-64 éves népesség évközepi száma az adott évben}} \times 100$$

Összefüggések becslése

A légszennyezés és a lakosságot érintő potenciális egészséghatások közötti kapcsolat egyértelmű értékelése nehéz feladat. A légszennyezés forrásainak megismeréséhez szükséges környezeti mérések mellett, a kémiai és fizikai tulajdonságaik, valamint a tömegkoncentrációjuk megismeréséhez epidemiológiai és toxikológiai ismeretekre van szükség. A környezet epidemiológiai kutatások egyik fő célja az, hogy meghatározzák a kapcsolatot egy adott anyag, az expozíció, az expozíciót illető egyéni érzékenység és az emberi egészségválasz (pl. morbiditás és/vagy mortalitás) között. A környezet-epidemiológiában a fent említett módszereken kívül további kutatási módszerek állnak rendelkezésre az expozíció és a betegségek közötti kapcsolatok értékelésére:

- Idősor analízis : a módszer segítségével összefüggést lehet megállapítani a levegőszennyezettség rövid távú változása és a napi halálozás/megbetegedések száma között. A bonyolult statisztikai módszerekkel (pl. Poisson regresszió, általános additív modell) figyelembe vehetők a levegőszennyezés hatását módosító tényezők is. Ezzel a módszerrel választ kaphatunk arra, hogy egyes légszennyezők mennyivel növelik meg a halálozás/megbetegedés kockázatát. Napjainkban a határértékek meghatározásában ennek a módszernek igen nagy jelentősége van.
- Keresztmetszeti vizsgálat, ahol egy adott időpontban vizsgáljuk a különböző koncentráció szinteknek kitett lakosság megbetegedési/halálozási viszonyait.
- Eset-kontroll vizsgálat, amely során a betegek és a kontroll csoport expozíciójának eltérését vizsgálják.
- Kohorsz vizsgálat, amelynek során évekig követnek nagy létszámú lakosságcsoportokat, vizsgálják a légszennyezést, valamint a megbetegedések és halálozás bekövetkezését a megfigyelési idő alatt.

A légszennyezésnek tulajdonítható többlethalálozesetek kiszámítása a járulékos kockázat alapján a WHO által kidolgozott program segítségével (AirQ ingyenes szoftver⁶⁸).

A szoftver felhasználásával becsülhető a légszennyezőknek a népesség egészségére gyakorolt rövid és hosszú távú hatása. A feltételezést a következőre alapozzuk: a kockázati tényező és a betegség között ok-okozati összefüggés van, a figyelembe vett kockázati tényező független minden más egyéb, a betegség egyéb kockázati tényezőinek hatásától. Mivel ez utóbbi hatás a valóságban nem független, ezért az eredményeket ennek megfelelően kell értelmezni.

⁶⁸ <https://www.who.int/europe/tools-and-toolkits/airq---software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution>

A módszer elvi alapja

A járulékos kockázati hányadot, – vagyis azt, hogy az egészségi következmény kialakulása milyen arányban tudható be az exponált csoportban az expozíciónak egy bizonyos időszakra vonatkozóan (feltételezve, hogy oki összefüggés áll fenn az expozíció és az egészségügyi következmény között és nem kell számolni jelentősebb zavaró tényezővel) – a következő módon számíthatjuk ki.

$$JKH = \sum \{ [RK_{(c)} - 1] \times P_{(c)} \} / \sum [RK_{(c)} \times P_{(c)}]$$

ahol: $RK_{(c)}$ az egészségkárosodás relatív kockázata az expozíció c kategóriája esetén,
 $P_{(c)}$ a c kategóriájú expozíciónak kitett populáció hányada.

A populáció expozíciójának megoszlását az expozíció becslés fázisában határozzuk meg. A kiválasztott egészségi következmény relatív kockázatát (RK) – az előzetes epidemiológiai vizsgálatokban meghatározott expozíció – válasz funkciók alapján határozzák meg. Abban az esetben, ha nem történtek a vizsgált területen ilyen jellegű előzetes epidemiológiai vizsgálatok, akkor a WHO által a programba beépített alap értékeket kell használni.

Ismerve a vizsgált egészségi elváltozás gyakoriságát a lakosságban, az incidencia (I = esetszám egységnyi lakosságszámra vonatkoztatva) az exponált populációban a következőképpen számítható:

$$I_{exp} = I \times JKH$$

Egy N számú populációra át lehet számolni az előbbi értéket becsült esetszámmá, ami az expozíció következményének tulajdonítható:

$$N_{exp} = I_{exp} \times N$$

Következésképpen az egészségi következmény gyakorisága a nem exponált lakosság-csoportban az alábbi módon adható meg:

$$I_{nemexp} = I_{össz} - I_{exp} = I \times (1 - JKH)$$

Amellett, hogy meghatározható a többletesetek száma, a program lehetővé teszi az esetszámok megoszlásának becslését az expozíciós kategóriák szerint. Miután ismerjük adott levegőszennyezettség mellett a relatív kockázatot és a nem exponált csoportban az incidenciát, a többlet incidenciát ($I +_{(c)}$) és a többletesetek számát ($N +_{(c)}$), egy adott koncentráció szinten ((c)) ki lehet számolni:

$$I +_{(c)} = (RK_{(c)} - 1) \times p_{(c)} \times I_{nemexp}$$

$$N +_{(c)} = I_{(c)} \times N$$

Az összes itt említett képlet azon a feltételezésen alapszik, hogy semmilyen tényező nem zavarja az expozíció - megbetegedés összefüggést.

Amikor az 1-es képletben a relatív kockázat (RK) konfidencia intervallum értékeit helyettesítjük be, akkor meg lehet határozni a járulékos kockázat alsó és felső határához tartozó értékeket, és a lakosság körében az expozíció miatt várható járulékos halálesetek tartományát. A gyakorlatban azonban a hatás (és a becsült hatás tartománya) nagyobb az expozíció mérés bizonytalansága következtében, és az expozíció - válasz nem statisztikai jellegű bizonytalansága miatt. A programba beépített relatív kockázati értékek nemzetközi idősor analízis vizsgálatok eredményei.

A program lehetőséget ad arra, hogy egy adott település éves légszennyezettségi, népességi és halandósági alapadatainak felhasználásával kiszámítsuk az adott légszennyezettség terhére írható, egy év alatt bekövetkezett, légszennyezésnek tulajdonítható járulékos halálozást, illetve kórházi betegfelvételt.

A levegőminőség jellemzésére a következő mutatókat használhatjuk: a 10 μm , illetve a 2,5 μm -nél kisebb átmérőjű aeroszol részecskék (PM_{10} és $\text{PM}_{2,5}$); kéndioxid (SO_2); nitrogén-dioxid (NO_2); szén-monoxid (CO); ózon (O_3) 24 órás átlag és 8 órás mozgó átlag; ólom (Pb); benz(a)pyrene (BaP) stb. A hosszú távú PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$, és BS mérések eredményeit is figyelembe lehet venni (éves átlagkoncentráció).

TÉRINFORMATIKAI VIZSGÁLÓ MÓDSZEREK FELHASZNÁLÁSA A KÖRNYEZET-EGÉSZSÉGÜGYI HATÁSBECSLÉSBEN

Dr. Páldy Anna

A természetes és az épített környezet tényezői és az emberi egészség közötti kapcsolat régóta ismert, azonban a károsító hatások azonosítása, az ok-okozat közötti összefüggés felderítése gyakran nehéz, bonyolult és költségigényes feladat.

A leíró epidemiológiai vizsgálatok – térinformatikai módszerekkel kiegészítve – jelentőségét az adja, hogy megkönnyítik a veszélyeztetett területek, lakosságcsoportok azonosítását, alapul szolgálnak a további célzott, részletes, többirányú analitikus epidemiológiai vizsgálatok tervezéséhez, lebonyolításához, illetve a célzott intervenciós stratégiák kialakításához.

A Nemzeti Környezetegészségügyi Akcióprogram keretében Magyarországon elsőként alkalmaztunk, egyedülállóként fejlesztettük ki a környezet-egészségügyi térinformatikai statisztikai elemző módszert. A módszer segítségével ábrázolni lehet a környezetszennyezők és az egészségi hatások térbeli halmozódását. Ezen felül két vagy több tényező térbeli halmozódásának kapcsolatát is értékelni tudjuk, és a térképek ezeket az összefüggéseket jelenítik meg. A környezet-egészségügyi hatásbecslésnél nagy szükség van a pontszerű szennyező források hatásának elemzésére és ábrázolására is. A NEKAP keretében kifejlesztett módszer leírása több közleményben is megtalálható (*Nádor et al., 2000; Pintér et al., 2001; Nádor et al., 2004*).

A 2000-es évek második felében egy európai uniós nemzetközi projectben (EUROHEIS2) további lehetőség nyílt a térinformatikai eljárások fejlesztésére. Az EUROHEIS2 projekt célja a környezet-egészségügyi információs rendszerek fejlesztése, gyors környezet-egészségügyi kockázatbecslés, az egészségügyi mutatók földrajzi mintázata és a környezeti, szocio-ökonómiai faktorokkal való kapcsolatának vizsgálata, „kis-területek” elemzése térbeli epidemiológiai és statisztikai, térinformatikai vizsgálati módszerekkel. Az EUROHEIS2 által használt informatikai program, a RIF (Rapid Inquiry Facility – Gyors Vizsgálati Lehetőség) lehetőséget nyújt az egészségügyi és környezeti adatok térbeli-időbeli vizsgálatára a térinformatikai rendszer technikáinak alkalmazásával. A RIF programot a SAHSU (Small Area Health Statistic Unit, King's College, Nagy-Britannia, CDC, USA) fejlesztette ki, és az előző EUROHEIS project (2000-2003.) finomította és terjesztette számos EU tagországban.

A NEKAP által fejlesztett módszer kompatibilisnek bizonyult a RIF programmal, így a későbbiekben a RIF-et használtuk, amely gyorsabb és könnyebben kezelhető.

A **RIF módszer** alkalmazásának lehetőségeit Juhász és munkatársai mutatják be (*Juhász et al., 2008*).

IRODALOMJEGYZÉK

Analitis A, Michelozzi P, D'Ippoliti D, De'Donato F, Menne B, Matthies F, Atkinson RW, Iñiguez C, Basagaña X, Schneider A, Lefranc A, Paldy A, Bisanti L, Katsouyanni K. (2014): *Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants.* Epidemiology. 2014 Jan; 25(1):15-22. doi: 10.1097/EDE.0b013e31828ac01b.

Andersen ZJ, Raaschou-Nielsen O, Ketzel M, et al. (2012): *Diabetes incidence and long-term exposure to air pollution: a cohort study.* Diabetes Care. 2012 Jan; 35(1):92-9. doi: 10.2337/dc11-1155. Epub 2011 Nov 10.

APHEKOM - Health impact assessment of air pollution. <http://aphekom.org/web/aphekom.org/publications>

APHEKOM (2011): *Summary report of the Aphekom project 2008–2011.* <https://www.respire-asso.org/wp-content/uploads/2011/03/201103-APHEKOM-SUMMARY-REPORT.pdf>

Bauer M, Moebus S, Möhlenkamp S, et al. (2010): *Urban particulate matter air pollution is associated with subclinical atherosclerosis: results from the HNR (Heinz Nixdorf Recall) study.* J Am Coll Cardiol. 2010 Nov 23; 56(22):1803-8. doi: 10.1016/j.jacc.2010.04.065.

Bede-Fazekas Á, Trájer AJ. (2019): *A framework for predicting the effects of climate change on the annual distribution of Lyme borreliosis incidences.* International Journal of Global Warming, 18(1), 81-102. <https://doi.org/10.1504/IJGW.2019.100175>

Beelen R, Hoek G, van den Brandt PA, et al. (2008): *Long-term effects of traffic-related air pollution on mortality in a Dutch cohort (NLCS-AIR study).* Environ Health Perspect. 116(2):196-202. doi: 10.1289/ehp.10767.

Bentham G, Langford IH. (2001): *Environmental temperatures and the incidence of food poisoning in England and Wales.* Int J Biometeorol. 45, 22-26. doi: 10.1007/s004840000083. PMID: 11411411.

Beregszászi T. (2014): *A légköri levegő szennyezettsége. in Környezethigiénia jegyzet (szerk.: Szoboszlai S., Kriszt B.). Környezetgazdálkodási agrármérnök képzés BSc., Szent István Egyetem, Gödöllő.*

Bényi M, Kéki Zs, Muzsik B, és Körösi L. (2021): *Krónikus betegségek alakulása felnőtt lakosság körében az OSAP 1021 háziorvosi jelentések alapján 1999-2019. években Magyarországon.* Egészségtudomány: 65(2):19-38. <https://doi.org/10.29179/EgTud.2021.1.19-38>

Bobvos J, Szalkai M, Fazekas B, Páldy A. (2014): *A szálló por szennyezettség egészségkárosító hatásának becslése néhány hazai városban.* <http://egeszsegtudomany.higienikus.hu/cikk/2014-3/Bobvos.pdf>

Bobvos J, Fazekas B, Páldy A. (2015): *Assessment of heat-related mortality in Budapest, 2000-2010 by different indicators. Weather (Időjárás).* Vol 119. April-June, 2015, pp. 143 - 158. https://www.researchgate.net/publication/281927631_Assessment_of_heat-related_mortality_in_Budapest_from_2000_to_2010_by_different_indicators

Brauer M, Hoek G, Smit HA, de Jongste JC, Gerritsen J, Postma DS, Kerkhof M, Brunekreef B. (2007): *Air pollution and development of asthma, allergy and infections in a birth cohort.* Eur Respir J. 2007 May;29(5):879-88. doi: 10.1183/09031936.00083406. Epub 2007 Jan 24. PMID: 17251230.

Brimblecombe P. (1987): *The big smoke: a history of air pollution in London since medieval times.* New York/Methuen. <https://doi.org/10.4324/9780203813898>

Brook RD, Jerrett M, Brook JR, et al. (2008): *The relationship between diabetes mellitus and traffic-related air pollution.* J Occup Environ Med. 50(1):32-8. doi: 10.1097/JOM.0b013e31815dba70.

Brook RD, Rajagopalan S, Pope CA, et al. (2010): American Heart Association Council on Epidemiology and Prevention, Council on the Kidney in Cardiovascular Disease, and Council on Nutrition, Physical Activity and Metabolism: *Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association.* Circulation. 1; 121(21):2331-78. doi: 10.1161/CIR.0b013e3181d8e1. Epub 2010 May 10.

Burr ML, Emberlin JC, Treu R, et al. (2003): *Pollen counts in relation to the prevalence of allergic rhinoconjunctivitis, asthma and atopic eczema in the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC).* Clin. Exp. Allergy, 33, 1675-1680. Cancercode: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.2003.01816.x>

Casteleyn L, Dumez B, Becker K, Kolossa-Gehring M, Den Hond E, Schoeters G, et al. (2015): *A pilot study on the feasibility of European harmonized Human Biomonitoring: Strategies towards a common approach, challenges and opportunities.* Environ Res. 2015 Aug, 141:3-14. doi: 10.1016/j.envres.2014.10.028. Epub 2015 Mar 5. PMID: 25746298.

Centro Nazionale de Epidemiologia (2003): Sorveglianza e Promozione della Salute, Ufficio di Statistica. *Indagine Epidemiologica sulla Mortalità Estiva. Presentazione dei dati finali (Susanna Conti).* Rome: Istituto Superiore di Sanità.

Cheng Y, Schwartz J, Sparrow D, Aro A, Weiss ST, Hu H. (2001): *Bone lead and blood lead levels in relation to baseline blood pressure and the prospective development of hypertension: the Normative Aging Study.* Am J Epidemiol. 2001 Jan 15;153(2):164-71. doi: 10.1093/aje/153.2.164.

Cocklin G. (1985): *The weather-conditioned house.* New York, Reinhold, 1958. (Cit. in WHO Guidelines for Healthy Housing, 1988). <https://doi.org/10.1002/qj.497085365244>

COM(2007) 354 final: *Green Paper from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions.* Adapting to climate change in Europe - options for EU action {sec(2007) 849}. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2007:0354:FIN:en:PDF>

COM(2009) 147 final: *White Paper Adapting to climate change: Towards a European framework for action.* Commission of the European Communities Brussels, 1.4.2009. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0147:FIN:EN:PDF>

COM(2013) 216 final: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. *An EU Strategy on adaptation to climate change.* <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0216:FIN:EN:PDF>

Confalonieri U, Menne B, Akhtar R, et al.: *Human health. Climate Change (2007) Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

de' Donato FK, Leone M, Scortichini M, De Sario M, Katsouyanni K, Lanki T, Basagaña X, Ballester F, Åström Ch, Paldy A, Pascal M, Gasparri A, Menne B and Michelozzi P. (2015): *Changes in the Effect of Heat on Mortality in the Last 20 Years in Nine European Cities. Results from the PHASE Project.* Int. J. Environ. Res. Public Health. 2015, 12, 15567-15583. doi: 10.3390/ijerph121215006.

de Gruijl F, Longstreth J, Norval CA, et al. (2003): *Health effects from stratospheric ozone depletion and interactions with climate change.* Photochem. Photobio. 2, 16-28. <https://doi.org/10.1039/b211156j>

Den Hond E, Govarts E, Willems H, Smolders R, Casteleyn L, Kolossa-Gehring M, et al. (2015): *First Steps toward Harmonized Human Biomonitoring in Europe: Demonstration Project to Perform Human Biomonitoring on a European Scale.* Environ Health Perspect. 2015 Mar; 123(3):255-63. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408616>

Department of Health (2006): *Health risk assessment in Western Australia.* Perth, Government of Western Australia. <https://www.health.wa.gov.au/~media/Files/Corporate/general-documents/Environmental-health/Health-risk-assesment/Health-Risk-Assessment.pdf>

Dési I. (szerk.) (2003): *Környezetegészségtan.* JGYF Kiadó. Szeged, 284 p.

Dockery DW, Schwartz J, Spengler JD. (1992): *Air pollution and daily mortality: association with particulates and air aerosols.* Env Res. 59:362-73. [https://doi.org/10.1016/S0013-9351\(05\)80042-8](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(05)80042-8)

Dominici F, Peng RD, Bell ML, et al. (2006): *Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases.* JAMA. 295(10):1127-34. <https://doi.org/10.1001/jama.295.10.1127>

Douwes J. (2005): (1-3)-b-D-Glucans and respiratory health: a review of the scientific evidence. Indoor Air 15:160–169. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2005.00333.x>

Dura Gy, Pándics T, Rudnai P. (2011): *Changing children's blood lead level in Hungary 1986-2006.* In: **Simeonov L, Kochubovski M, Simeonova B.** (eds) *Environmental Heavy Metal Pollution and Effects on Child Mental Development.* NATO Science for Peace and Security Series. C: Environmental Security, vol 1. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0253-0_7

Dura Gy, Kádár M, Rudnai P. Vargha M. (2014): *The health risks of consuming drinking water with elevated arsenic content of geochemical origin.* Central European Geology, Vol. 57/3, 307–316 (2014). doi: 10.1556/CEuGeol.57.2014.3.6.

EEA (2019): *Air quality in Europe—2019 report.* Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2019>

El Ghissassi F, Baan R, Straif K, et al. (2009): on behalf of the *WHO International Agency for Research on Cancer. Monograph Working Group.* Biennial Report. 2008/2009, Lyon. [https://doi.org/10.1016/s1470-2045\(09\)70213-x](https://doi.org/10.1016/s1470-2045(09)70213-x)

Ember István (szerk.) (2006): *Környezet-egészségtan.* Dialóg Campus Kiadó, 387 p.

Emberlin J, Detandt M, Gehrig R, Jaeger S, et al. (2002): *Responses in the start of Betula (birch) pollen seasons to recent changes in spring temperatures across Europe.* Int. J. Biometeorol. 46, 159-170. doi: 10.1007/s00484-002-0139-x.

Environment Directorate Environment Policy Committee (2014): *Working Party on Integrating Environmental and Economic Policies: Health, Economics and Air Pollution.* ENV/EPOC/WPIEEP 14.

Environment Directorate, Environment Policy Committee (2014): *Working Party on Integrating Environmental and Economic Policies: Issues in developing a standard method for the valuation of morbidity impacts of air pollution.* ENV/EPOC/WPIEEP 15.

Farkas I, Rudnai P, Bácskai J, Sárkány E, Sajgó K. (1987): *Biological monitoring of the formaldehyde exposure by the urinary formic acid excretion.* In: *Proceedings of the Second International Conference on the Role of Formaldehyde in Biological Systems*, Keszthely, Hungary. September 8-12, 1987, SOTE Press, Budapest, 1987, pp. 87-94.

Farkas I, Sajgó K, Páldy A, Nádor G. (2000): *Jódhiány Magyarország gyermeklakossága körében. Tapintásos golyvagyakorlás felmérés és vizeletjód vizsgálatok (1994 - 1997) eredményei alapján.* Praxis 1/8: 42 – 46.

Feldmár N, Bajomi A. Zs: *Vissza a tűzfához? Lakossági szilárd tüzelés Magyarországon.* Habitat for Humanity Magyarország, Budapest, 2022. www.habitat.hu

Feliziani Vincenzo (1986): *Pollini di interesse allergologico* (MASSON ITALIA EDITORI, MILANO 1986). <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/BF02450008.pdf>

Ferenczi E, Bán E, Petrányi G, és mtsai. (2006): *Újjonnan megjelenő vírusfertőzések.* Háziorvos Továbbképző Szemle 11, 24-28. <http://mob.gyemszi.hu/detailsperm.jsp?PERMID=89819>

Ferenczi E, Molnár Zs, Krisztalovics K, és mtsai. (2008): *Nyugat-nílusi láz megbetegedések Magyarországon*, 2008. augusztus-szeptember. OEK Epiinfo 15(41), 489-485. <http://www.oek.hu/oek.web?to=839,1480&nid=41&pid=8&lang=hun>

Freire C, Ramos R, Puertas R, et al. (2010): *Association of traffic-related air pollution with cognitive development in children.* J Epidemiol Community Health. 64(3):223-8. doi: 10.1136/jech.2008.084574. Epub 2009 Aug 13.

Gehring U, Wijga AH, Brauer M, et al. (2010): *Traffic-related air pollution and the development of asthma and allergies during the first 8 years of life.* Am J Respir Crit Care Med.181(6):596-603. doi: 10.1164/rccm.200906-0858OC. Epub 2009 Dec 3.

Ginès P, Krag A, Abalde JG, Solà E, Fabrellas N, Kamath PS. *Liver cirrhosis.* Lancet. 2021 Oct 9;398(10308):1359-1376. doi: 10.1016/S0140-6736(21)01374-X. Epub 2021 Sep 17. PMID: 34543610.

Gouveia N, Hajat S, Armstrong B. (2003): *Socioeconomic differentials in the temperature mortality relationship in São Paulo, Brazil.* Int J Epidemiol 32:390-397. <https://doi.org/10.1093/ije/dyg077>

Gregory PH. (1961): *The microbiology of the atmosphere.* London: Interscience Publishers Inc. 252 p. <https://www.biodiversitylibrary.org/item/31014#page/9/mode/1up>

Hajat S, Armstrong BG, Gouveia N, Wilkinson P. (2005): *Mortality displacement of heat-related deaths: a comparison of Delhi, São Paulo, and London.* Epidemiology, 16:613-620. doi: 10.1097/01.ede.0000164559.41092.2a.

Hajat S, Armstrong B, Baccini M, et al. (2006): *Impact of high temperatures on mortality: is there an added heat wave effect?* Epidemiology, 17, 632-8. doi: 10.1097/01.ede.0000239688.70829.63.

HIP (2014): *Frequently asked questions about integrating health impact assessment into environmental impact assessment [online].* Human Impact Partners. <https://archive.epa.gov/region9/nepa/web/pdf/faqintegratinghia-eia.pdf>

Hirst JM. (1952): *An automatic volumetric spore trap.* Annals of Applied Biology, 39: 257-265. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1952.tb00904.x>

Hoffmann B, Moebus S, Stang A, et al. (2006): *Residence close to high traffic and prevalence of coronary heart disease.* Eur Heart J. 27(22):2696-702. Epub 2006 Sep 26. doi: 10.1093/eurheartj/ehl278.

Hoffmann B, Moebus S, Möhlenkamp S, et al. (2007): *Residential exposure to traffic is associated with coronary atherosclerosis.* Circulation. 116(5):489-96. Epub 2007 Jul 16. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.693622.

Houthuijs D, Breugelmans ORP, Baken KA, Sjerps RMA, Schipper M, van der Aa M, van Wezel AP. (2022): *Assessment of drinking water safety in the Netherlands using nationwide exposure and mortality data.* Environ Int. 2022 Jun 17; 166:107356. doi: 10.1016/j.envint.2022.107356.

Juhász A, Nagy Cs, Nádor G, Páldy A. (2008): *Rapid Inquiry Facility (RIF): gyors kockázat-elemzési lehetőség a környezet-egészségügyi összefüggések vizsgálatára.* Egészségtudomány, 52(4). [https://www.antsz.hu/data/cms40728/juhasz_paldy_Rapid_Inquiry_Facility_\(RIF\)_gyors_kocka-zat_elemzesi_lehetoseg_a.pdf](https://www.antsz.hu/data/cms40728/juhasz_paldy_Rapid_Inquiry_Facility_(RIF)_gyors_kocka-zat_elemzesi_lehetoseg_a.pdf)

Katsouyanni K, Zmirou D, Spix C, Sunyer J, Schouten JP, Ponka A, Anderson HR, Le Moullec Y, Wojtyniak B, Vigotti MA, Bacharova L. (1995): *Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiological time-series data.* ERJ.: 8:1030-1038. doi: 10.1183/09031936.95.08061030.

Katsouyanni K, Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Zmirou D, Zanobetti A, Wojtyniak B, Vonk JM, Tobias A, Ponka A, Medina S, Bacharova L, Anderson HR. (1996): *Short-term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time-series data: the APHEA protocol.* JECH. 1996; 50: S12-18. doi: 10.1136/jech.50.suppl_1.s12.

Katsouyanni K, Touloumi G, Spix C, Schwartz J, Balducci F, Medina S, Rossi G, Wojtyniak B, Sunier J, Bacharova L, Shouten JP, Ponka A, Anderson HR. (1997): *Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project.* BMJ 314:1658-63. doi: 10.1136/bmj.314.7095.1658.

Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, et al. (2001): *Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project.* Epidemiology, 12, 521-531. doi: 10.1097/00001648-200109000-00011.

Katsouyanni K, Samet JM, Anderson HR, Atkinson R, Le Tertre A, Medina S, Samoli E, Touloumi G, Burnett RT, Krewski D, Ramsay T, Dominici F, Peng RD, Schwartz J, Zanobetti A. (2009): *HEI Health Review Committee. Air pollution and health: a European and North American approach (APHENA).* Res Rep Health Eff Inst. 2009 Oct;(142):5-90. PMID: 20073322. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20073322/>

Kenny GP, Yardley J, Brown C, Sigal RJ, Jay O. (2010): *Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases.* Can Med Assoc J. 182:1053-1060. doi: 10.1503/cmaj.081050.

Kertai P. (1982): *Közegészségtan.* Medicina, Budapest.

Koch LK, Kochmann J, Klimpel S, et al. (2017): *Modeling the climatic suitability of leishmaniasis vector species in Europe.* Sci Rep 7, 13325. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13822-1>

Kovács K, Őri P. (2009): *Halandósági különbségek.* Demográfiai Portré, 2009 (szerk . Monostori J.-Őri P.-S. Molnár E.-Spéder Zs.), KSH Népeségtudományi Kutatóintézet, Budapest :53-65 <https://demografia.hu/kiadvanyokonline/index.php/demografiaipotre/article/view/267/205>

Kovats RS, Edwards SJ, Hajat S, et al. (2005): *The effect of temperature on food poisonings: a time series analysis in 10 European countries.* Epidemiology and infection 132, 443-453. doi: 10.1017/s0950268804001992.

Kovats RS, Kristie LE. (2006): *Heatwaves and public health in Europe.* Eur. J. of Public Health, 16, 592-599. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckl049>

Kovats RS. and Hajat S. (2008): *Heat stress and public health: a critical review.* Ann. Rev. Publ. Health 29, 41–55. doi: 10.1146/annurev.publhealth.29.020907.090843.

Középesy Sz, Kovács K, Náray M, Tóth E, Csaja T, Kovács AK. (2016): *DEMOCOPHES HU - Humán biomonitoring vizsgálat iskolás gyermekek és édesanyjuk környezeti expozíciójának felmérésére Magyarországon.* Népegészségügy, 2016 94.(1) 44-55. <https://repo.lib.semmelweis.hu/handle/123456789/4648>

Középesy Sz, Málnási T, Csákó Zs, Pálosi V, Rosenberger E, Bufa-Dórr Zs, Páldy A. (2022): *Gyermekek vizeletében mért jódkoncentráció: trendek és szükséges intézkedések = Urinary Iodine Concentrations in Children: Trends and Actions Needed.* Egészségtudomány: a magyar higiénikusok társasága tudományos és továbbképző folyóirata, 66 (1). pp. 4-20. doi: 10.29179/EgTud.2022.1.4-20.

Krämmer U, Herder C, Sugiri D, et al. (2010): *Traffic-related air pollution and incident type 2 diabetes: results from the SALIA cohort study.* Environ Health Perspect. 118(9):1273-9. doi: 10.1289/ehp.0901689. Epub 2010 May 11.

KRITÉR (2015): *A klímaváltozás okozta sérülékenységi vizsgálata, különös tekintettel a turizmusra és a kritikus infrastruktúrákra.* EEA-C12-13 projekt. <https://www.met.hu/KRITeR/hu/kezdo/>

Künzli N, Jerrett M, Mack WJ, et al. (2005): *Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles.* Environ Health Perspect.113(2):201-6. doi: 10.1289/ehp.7523.

Künzli N, Jerrett M, Garcia-Esteban R, et al. (2010): *Ambient air pollution and the progression of atherosclerosis in adults.* PLoS One. 5(2):e9096. doi: 10.1371/journal.pone.0009096.

Layton JB, Li W, Yuan J, Gilman JP, Horton DB, Setoguchi S. (2020): *Heatwaves, medications, and heat-related hospitalization in older Medicare beneficiaries with chronic.* PLoS ONE 15(12): e0243665. doi: 10.1371/journal.pone.0243665.

Lindgren E, Talleklint L. (2000): *Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick Ixodes ricinus.* Environ. Health Persp. 108, 119-123. doi: 10.1289/ehp.00108119.

Lindgren E, Naucke T. (2006): *Leishmaniasis: Influences of Climate Change Epidemiology, Ecology and Adaptation Measures In: Eds: Menne B. and Ebi K.: Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health.* Springer Steinkopff Verlag Darmstadt 2006, 131-156.

Lindgren E, Andersson Y, Suk JE, Sudre B, Semenza JC. (2012): *Monitoring EU emerging infectious disease risk due to climate change.* Science, 336: 418-419. doi: 10.1126/science.1215735.

Liu C, Yavar Z, Sun Q. (2015): *Cardiovascular Response to Thermoregulatory Challenges.* American Journal of Physiology - Heart and Circulatory Physiology Published 2 October 2015 Vol. no. doi: 10.1152/ajpheart.00199.2015.

MacIntyre EA, Karr CJ, Koehoorn M, et al. (2011): *Residential air pollution and otitis media during the first two years of life.* Epidemiology.22(1):81-9. doi: 10.1097/EDE.0b013e3181fdb60f.

Maione M, Mocca E, Eisfeld K, et al. (2021): *Public perception of air pollution sources across Europe.* Ambio 50, 1150–1158. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01450-5>

McMichael A. (1993): *Global environmental change and human population health: a conceptual and scientific challenge for epidemiology.* Int J. Epidemiol. 22:1-8. doi: 10.1093/ije/22.1.1. PMID: 8449629.

Mead NM. (2008): *Benefits of Sunlight: a Bright Spot for Human Health.* Environmental Health Perspectives • Vol:116, number 4| 161-167. doi: 10.1289/ehp.116-a160.

Menne B, Ebi K. (2006): *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health.* Springer Steinkopff Verlag Darmstadt.

Monarca S, Donato F, Zerbini I, Calderon RL, Craun GF. (2006): *Review of epidemiological studies on drinking water hardness and cardiovascular diseases.* Eur J Cardiovasc Prev Rehabil. 2006 Aug;13(4):495-506. doi: 10.1097/01.hjr.0000214608.99113.5c.

Monteiro A, Ribeiro I, Tchepel O, Carvalho A, Martins H, Sá E, Ferreira J, Galmarini S, Miranda AI, Borrego C. (2013): *Ensemble techniques to improve air quality assessment: focus on O₃ and PM.* Environmental Modelling & Assessment. doi: 10.1007/s10666-012-9344-0.

Morava Endre (2002): *A magyarországi májhalálozás epidemiológiája.* Magyar Tudomány • 2002/4. <http://www.matud.iif.hu/02apr/morava.html>

Morgenstern V, Zutavern A, Cyrys J, et al. (2007): *Respiratory health and individual estimated exposure to traffic-related air pollutants in a cohort of young children.* Occup Environ Med. 64(1):8-16. Epub 2006 Aug 15. doi: 10.1136/oem.2006.028241.

Murray CJL, Lopez AD. (2013): *Measuring the global burden of disease.* New England Journal of Medicine, 369: 448–457. doi: 10.1056/NEJMr1201534.

Nah K, Bede-Fazekas Á, Trájer AJ, Wu J. (2020): *The potential impact of climate change on the transmission risk of tick-borne encephalitis in Hungary.* BMC Infect Dis. 2020 Jan 13;20(1):34. doi: 10.1186/s12879-019-4734-4. PMID: 31931734; PMCID: PMC6958747.

Naess Ø, Nafstad P, Aamodt G, et al. (2007): *Relation between concentration of air pollution and cause-specific mortality: four-year exposures to nitrogen dioxide and particulate matter pollutants in 470 neighborhoods in Oslo, Norway.* Am J Epidemiol. 165(4):435-43. doi: 10.1093/aje/kwk016. Epub 2006 Nov 29.

NATÉR (2013): Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer. <https://nater.mbfisz.gov.hu/> <http://nater.mfgi.hu/>

Nádor G, Páldy A, Pintér A, Vincze I. (2000): *A mortalitás térbeli eloszlásának statisztikai elemzése: a leíró epidemiológiai módszer korlátjai.* Egészségtudomány, 44. (4) 292-311. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-0616-3_17

Nádor G, Páldy A, Vincze I. (2004): *Szennyező pontforrás egészségkárosító hatásának vizsgálata a Visontai hőerőmű környezetében.* Térinformatika 2004; 16:6 11.
Nemzeti Rákregiszter, Országos Onkológiai Intézet. <https://onkol.hu/nemzeti-rakregiszter>

OECD (2014): *The Cost of Air Pollution - Health Impacts of Road Transport.* High level session Meeting of the Environmental Policy 23-24 Apr, 2014. <https://doi.org/10.1787/9789264210448-en>

OECD (2021): *Health at a Glance 2021: OECD Indicators*. OECD Publishing, Paris.
<https://doi.org/10.1787/ae3016b9-en>

O'Neill MS, Hajat S, Zanobetti A, Ramirez-Aguilar M, Schwartz J. (2005): *Impact of control for air pollution and respiratory epidemics on the estimated associations of temperature and daily mortality*. Int J Biometeorol 50:121-129. doi: 10.1007/s00484-005-0269-z.

Oral Health Data Portal: WHO, Oral Health Country/Area Profile Programme, Malmö University.
<https://www.who.int/data/gho/data/themes/oral-health-data-portal>

Ostro B, Broadwin R, Green S, et al. (2006): *Fine particulate air pollution and mortality in nine California counties: results from CALFINE*. Environ Health Perspect. 114(1):29-33.
doi: 10.1289/ehp.8335.

Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, and Hanson CE, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007, 391-431.

Páldy A, Bobvos J, Vámos A. (2000): *Levegőszennyezettség rövid távú koncentráció változásának hatása a napi halálózásra Budapesten*. (APHEA-2 vizsgálat). Budapesti Közegészségügy 4:337-342.

Páldy A, Bobvos J, Vámos A, et al. (2005): *The effect of temperature and heat waves on daily mortality in Budapest, Hungary, 1970-2000* In: *Extreme weather events and public health responses*. Ed. by Kirch W, Menne B, Bertollini R. WHO, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005, pp 99-107.
https://doi.org/10.1007/3-540-28862-7_10

Páldy A, Bobvos J, Vámos A, et al. (2007): *Effect of Elevated Temperature on Daily Emergency Ambulance Calls: A Time Series Analysis in Budapest, Hungary 1998-2004*. Central European Journal of Occupational and Environmental Medicine 13, 159-169.
https://www.nnk.gov.hu/cejoem/Volume13/Vol13No2/CE07_2-04.html

Páldy A, és Bobvos J. (2008): *A 2007. évi magyarországi hőhullámok egészségi hatásainak elemzése – előzmények és tapasztalatok*. Klíma21 Füzetek 52, 3-15.
<https://m2.mtmt.hu/api/citation/23714184>

Páldy A, Bobvos J, Apatini D, és mtsai. (2008): *A 2007. év néhány, az időjárás változékonysága szempontjából jelentősebb esemény környezetegészségügyi értékelése*. Éghajlati és agrometeorológiai tanulmányok. 10. Országos Meteorológiai Szolgálat Éghajlati Osztály, Budapest 2008, 63-78.
<https://m2.mtmt.hu/api/publication/1710910>

Perez L, Declercq C, Iñiguez C, Aguilera I, Badaloni C, Ballester F, Bouland C, Chanel O, Cirarda FB, Forastiere F, Forsberg B, Haluza D, Hedlund B, Cambra K, Lacasaña M, Moshammer H, Otorepec P, Rodríguez-Barranco M, Medina S, Künzli N. (2013): *Chronic burden of near-roadway traffic pollution in 10 European cities (APHEKOM network)*. Eur Respir J.42(3):594-605.
doi: 10.1183/09031936.00031112. Epub 2013 Mar 21.

PESETA report, https://joint-research-centre.ec.europa.eu/peseta-projects/peseta-ii/peseta-ii-reports_en

Pintér A, Páldy A, Nádor G, Vincze I, Zsámbokiné Bakacs M. (2001): *Térinformatikai módszerek a környezet-egészségügyi kutatásokban*. Egészségtudomány, 45(3): 228-243.

Pirard P, Vandentorren S, Pascal M, et al. (2005): *Summary of the mortality impact assessment of the 2003 heat wave in France*. Euro Surveill. 10,153-6.

Plank J, Rezucha M, Rojkovi D. (1961): *The incidence of hemorrhagic fever in Europe. Almanach of the Regional Pathology of Eastern Slovakia.* 1, 291-301.

Pope CA 3dr, Burnett RT, Thurston GD, et al. (2004): *Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease.* Circulation. 109:71-77. doi: 10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F.

Pope CA 3dr, Schwartz J, Ransom MR. (1992): *Daily mortality and PM10 pollution in Utah Valley.* Arch Env Health. 47:211-17. doi: 10.1080/00039896.1992.9938351.

Pope CA 3dr, Burnett RT, Thun MJ, et al. (2002): *Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution.* Jama 287(9):1132-41. doi: 10.1001/jama.287.9.1132.

Pulmonológiai hálózat epidemiológiai és működési adatai (2004-2014). Az Országos Korányi TBC és Pulmonológiai Intézet évkönyvei, 2005-2015. <https://www.koranyi.hu>

Quigley R, et al. (2006): *Health impact assessment international best practice principles [online].* Fargo, USA; International Association for Impact Assessment. https://activelivingresearch.org/sites/activelivingresearch.org/files/IAIA_HIABestPractice_0.pdf

Raaschou-Nielsen O, Sørensen M, Ketzel M, et al. (2013): *Long-term exposure to traffic-related air pollution and diabetes-associated mortality: a cohort study.* Diabetologia. 56(1):36-46. doi: 10.1007/s00125-012-2698-7. Epub 2012 Aug 24.

Randolph SE. (2001): *The shifting landscape of tick-borne zoonoses: tick-borne encephalitis and Lyme borreliosis in Europe.* Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 29; 356, 1045-56. doi: 10.1098/rstb.2001.0893.

Randolph SE. (2004): *Evidence that climate change has caused 'emergence' of tick-borne diseases in Europe?* Int. J. Med. Microbiol. 293, S5-S15. [https://doi.org/10.1016/S1433-1128\(04\)80004-4](https://doi.org/10.1016/S1433-1128(04)80004-4)

Ranft U, Schikowski T, Sugiri D, et al. (2009): *Long-term exposure to traffic-related particulate matter impairs cognitive function in the elderly.* Environ Res. 109(8):1004-11. doi: 10.1016/j.envres.2009.08.003. Epub 2009 Sep 4.

Rácz GR, Bán E, Ferenczi E, et al. (2006): *A simple spatial model to explain the distribution of human tick-borne encephalitis cases in Hungary.* Vector-borne and zoonotic diseases 6, 369-378. doi: 10.1089/vbz.2006.6.369.

Robine JM, Cheung SL, Le Roy S, et al. (2008): *Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003.* C R Biol. 331, 171-8. doi: 10.1016/j.crvi.2007.12.001.

Román Zs. (2022): *A Hyalomma marginatum kullancs és a krími-kongói vérzések előfordulásának kockázata Magyarországon.* Egészségtudomány, 66 (2). pp. 4-11. <https://doi.org/10.29179/EgTud.2022.2.4-11>

Rudnai P, Farkas I, Sárkány E, Horváth A, Farkas H, Kertész M, et al. (1990): *Budapesti lakosok vérólom vizsgálata.* Egészségtudomány, 34, 273-281.

Rudnai P, Farkas I, Somogyi J, Horváth A, Sajgó M, Sárkány E, et al. (1994): *A soproni gyermekek egészségi állapotának értékelése a levegőszennyezettség összefüggésben 2. A soproni gyermekek egészségi állapotának értékelése szűrővizsgálatok alapján.* Népegészségügy, 75, 234-240. <https://nepegeszsegugyi-egyesulet.hu/sites/default/files/2021-07/nepeg2101-compressed.pdf>

Rudnai P, Varró MJ, Rudnai T, Náray M, Schoket B, Anna L, et al. (2009): Associations between children's blood lead level and their health status. *Epidemiology* 20(6):S260. doi: 10.1097/01.ede.0000362869.64255.7b.

Rudnai P, Náray M, Rudnai T, Tóth E, Kanizsai J. (2011): *Néhány toxikus fém koncentrációja a vörösiszappal elárasztott területen élő gyermekek vizeletében.* *Népegészségügy*, 89(3): 230-236. https://nepegeszsegugyi-egyesulet.hu/sites/default/files/2020-08/89_3_2011.pdf

Rudnai P. (1997): *A beltéri (indoor) levegőminőség egészségügyi jelentősége.* In: Kuba Gellért szerk: *Ökológikus építészet. Jegyzet.* Budapesti Műszaki Egyetem, 1997, pp. 10/1-10/10

Rückerl R, Schneider A, Breitner S, et al. (2011): Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological evidence. *Inhal Toxicol.* 23(10):555-92. doi: 10.3109/08958378.2011.593587.

Rylander C, Odland JØ, Sandanger TM. (2013): Climate change and the potential effects on maternal and pregnancy outcomes: an assessment of the most vulnerable - the mother, fetus, and newborn child. *Glob Health Action.* 2013 Mar 11;6:19538. doi: 10.3402/gha.v6i0.19538.

Samoli E, Zanobetti A, Schwartz J, et al. (2009): The temporal pattern of mortality responses to ambient ozone in the APHEA2 project. *J Epidemiol Community Health* 63(12):960-6. doi: 10.1136/jech.2008.084012.

Sauvant MP, Pepin D. (2002): Drinking water and cardiovascular disease. *Food Chem Toxicol.* 40(10):1311-25. doi: 10.1016/s0278-6915(02)00081-9.

Sárváry Attila és mtsai. (2019): *A magyarországi emlő- és méhnyakszűrés retrospektív vizsgálatának jellemzői a halálozási és megbetegedési adatok tükrében.* *Orvosi Hetilap* 2019. 160. évf. 49. sz., p. 1948-1956. <https://doi.org/10.1556/650.2019.31518>

Schettler T. (2005): *Heart Disease and the Environment.* Science and Environmental Health Network. <http://www.healthandenvironment.org/cardiovascular>

Schindler BK, Esteban M, Koch HM, Castano A, Koslitz S, Cañas A, et al. (2014): The European COPHES/DEMOCOPHES project: Towards transnational comparability and reliability of human biomonitoring results. *Int. J. Hyg. Environ. Health* 2014 Jul, 217(6):653-61. doi: 10.1016/j.ijheh.2013.12.002.

Schwartz J, Marcus A. (1990): Mortality and air pollution in London: s time-series analysis. *Am J. Epidemiol* 131:185-194. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a115473. PMID: 2403468.

Schwartz J (1991): Particulate air pollution and daily mortality in Dertoit. *Environ.Res.* 56: 204-213. doi: 10.1016/s0013-9351(05)80009-x. PMID: 1769365.

Schwartz J, Dockery DW. (1992a): Increased mortality in Philadelphia associated with daily air pollution concentrations. *Am Rev Respir Dis*;. 145: 600-604. doi: 10.1164/ajrccm/145.3.600. PMID: 1546841.

Schwartz J, Dockery DW. (1992b): Particulate air pollution and daily mortality in Steubenville, Ohio. *Am J Epidemiol* b; 135: 12-19. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a116195.

Schwartz J, Slater D, Larson TV, Pierson WE, Koenig JQ. (1993): Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle. *Am Rev Respir Dis.* 1993 Apr;147(4):826-31. doi: 10.1164/ajrccm/147.4.826. PMID: 8466116.

Schwartz J. (1996): *Air pollution and hospital admissions for respiratory disease.* Epidemiology, 7: 20–28. doi: 10.1097/00001648-199601000-00005. PMID: 8664396.

Semenza JC, Paz S. (2021): *Climate change and infectious disease in Europe: Impact, projection and adaptation.* Lancet Reg Health Eur. 2021 Oct;9:100230. doi: 10.1016/j.lanepe.2021.100230. Epub 2021 Oct 7. PMID: 34664039; PMCID: PMC8513157.

Shah PS, Balkhair T. (2011): *Air pollution and birth outcomes: a systematic review.* Knowledge Synthesis Group on Determinants of Preterm/LBW births. Environ Int. 37(2):498-516. doi: 10.1016/j.envint.2010.10.009. Epub 2010 Nov 26.

Singer BD, Ziska LH, Frenz DA, Gebhard DE, Straka JG. (2005): *Research note: Increasing Amb a 1 content in common ragweed (Ambrosia artemisiifolia) pollen as a function of rising atmospheric CO2 concentration.* Funct Plant Biol. 2005 Aug;32(7):667-670. doi: 10.1071/FP05039.

Southerland VA, Brauer M, Arash Mohegh A, Hammer MS, et al. (2022): *Global urban temporal trends in fine particulate matter (PM_{2.5}) and attributable health burdens: estimates from global datasets.* Lancet Planet Health 2022; 6: e139–46. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(21\)00350-8](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(21)00350-8)

Spix C, Heinrich J, Dockery D, Schwartz J, et al. (1993): *Air pollution and daily mortality in Erfurt, East Germany, 1980-1989.* Environ Health Perspt. 01:518-526. doi: 10.1289/ehp.93101518.

SWD (2013) 136 final: *Adaptation to climate change impacts on human, animal and plant health.* <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=SWD:2013:136:FIN>

Takács I, Dank M, Majnik J, Nagy G, Szabó A, Szabó B, Szekanecz Z, Sziller I, Toldy E, Tislér A, Valkusz Z, Várbíró S, Wikonkál N, Lakatos P. (2022): *Magyarországi konszenzusajánlás a D-vitamin szerepéről a betegségek megelőzésében és kezelésében [Hungarian consensus recommendation on the role of vitamin D in disease pre-vention and treatment].* Orv Hetil. 2022 Apr 10; 163(15):575-584. Hungarian. doi: 10.1556/650.2022.32463. PMID: 35398814.

The Global Burden of Diseases, Injuries, and Risk Factors Study (GBD). Institute for Health Metrics and Evaluation. <http://www.healthdata.org/gbd>

Touloumi G, Samoli E, Katsouyanni K. (1996): *Daily mortality and "winter type" air pollution in Athens, Greece-a time series analysis within the APHEA project.* JECH. 50: s47-51. doi: 10.1136/jech.50.suppl_1.s47.

Trájer AJ, Páldy A. (2008a): *Az általános felmelegedés kliniko-farmakológiai vonatkozásai.* Egészségtudomány, 52, 37-46. https://egeszsegtudomany.higienikus.hu/cikk/Trajer_Paldy1.pdf

Trájer AJ, Páldy A. (2008b): *Az általános felmelegedés gyógyszerertani vonzatai.* Egészségtudomány, 52:2, 48-56. https://egeszsegtudomany.higienikus.hu/cikk/Trajer_Paldy2.pdf

Trájer AJ, Páldy A. (2021): *Az antropogén éghajlatváltozás várható növény-, állat-és humánegészségügyi következményei a 21. század második felében.* Egészségtudomány (2021) 65 (1), 4-29. <https://doi.org/10.29179/EgTud.2021.1.4-29>

Trájer AJ. (2021): *The potential impact of climate change on the seasonality of Phlebotomus neglectus, the vector of visceral leishmaniasis in the East Mediterranean region.* Int J Environ Health Res. 2021 Dec;31(8):932-950. doi: 10.1080/09603123.2019.1702150. Epub 2019 Dec 20. PMID: 31859534.

Tseng C, Chong C, Tseng CP, Hsueh Y, Chiou H, et al. (2003): *Long-term arsenic exposure and ischemic heart disease in arseniasis-hyperendemic villages in Taiwan.* Toxicol Lett 137(1-2):15-21. doi: 10.1016/s0378-4274(02)00377-6.

Tseng W. (1977): *Effects and dose-response relationship of skin cancer and blackfoot disease with arsenic.* Environmental Health Perspectives 19:109-119. doi: 10.1289/ehp.7719109.

UNEP (United Nations, Environment Programme) (2019): *The lead compaign.*
<https://www.unenvironment.org/explore-topics/transport/what-we-do/partnership-clean-fuels-and-vehicles/lead-campaign>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019): *World Urbanization Prospects: The 2018.* Revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations.
<https://population.un.org/wup/publications/Files/WUP2018-Report.pdf>

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2022): *World Population Prospects 2022: Summary of Results.* UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3.
https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf

US EPA (1995): U.S. Environmental Protection Agency and the U.S. Consumer Product Safety Commission. *The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality.* 1995; EPA Document 402-K-93-007.

US EPA (2024): *Human health risk assessment [online].* United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/risk/human-health-risk-assessment>

Vargáné Hajdú P, Boján F. (1996): *Demográfiai és epidemiológiai módszerek a népegészségügyben.* Literatura Medica Kiadó, 1996.

Várkonyi T. (1977): *A levegőszennyeződés.* Műszaki Könyvkiadó, 132 p.

Venables KM, Allitt U, Collier CG, Emberlin J, Greig JB, Hardaker PJ, Highham JH, Laing-Morton T, Maynard RL, Murray V, Strachan D, Tee RD. (1997): *Thunderstorm-related asthma-the epidemic of 24/25 June 1994.* Clinical and Experimental Allergy, 27: 725-736. PMID: 9249264.

Virtanen JK, Voutilainen S, Rissanen TH, Mursu J, et al. (2005): *Mercury, fish oils, and risk of acute coronary events and cardiovascular disease, coronary heart disease, and all-cause mortality in men in eastern Finland.* Arterioscler Thromb Vasc Biol. 25(1):228-33. doi: 10.1161/01.ATV.0000150040.20950.61.

Watts N, Adger WN, Agnolucci P, Blackstock J, Byass P, Cai W, et al. (2015): *Health and climate change: policy responses to protect public health.* Lancet. 2015 Nov 7;386(10006):1861-914. doi: 10.1016/S0140-6736(15)60854-6. Epub 2015 Jun 25. PMID: 26111439.

Weilhammer V, Schmid J, Mittermeier I, Schreiber F, Jiang L, Pastuhovic V, Herr C, Heinze S. (2021): *Extreme weather events in europe and their health consequences - A systematic review.* Int J Hyg Environ Health. 2021 Apr;233:113688. doi: 10.1016/j.ijheh.2021.113688. Epub 2021 Jan 30. PMID: 33530011.

Western LM, Vollmer MK, Krummel PB, et al. (2023): *Global increase of ozone-depleting chlorofluorocarbons from 2010 to 2020.* Nat. Geosci. 16, 309–313 (2023).
<https://doi.org/10.1038/s41561-023-01147-w>

WHO (1993): *WHO Global strategy for health and environment* WHO Geneva, 1993.
https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/59479/WHO_EHE_93.2.pdf?sequence=1

WHO (2003): *Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide.* Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany 13–15 January 2003.
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/107478/E79097.pdf?sequence=1>

WHO (2006): *Air quality guidelines - global update 2005.*
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/107823/9789289021920-eng.pdf?sequence=1>

WHO (2008): *Heat-Health Action Plans guidance.* Ed. by Matthies F, Bickler G, Marin NC, Hales S. World Health Organisation. Zika virus Fact sheet Updated February 2016.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789289071918>

WHO (2010): *WHO Human health risk assessment toolkit: chemical hazards.* IPCS harmonization project document; no.8 Geneva; World Health Organization.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789241548076>

WHO (2013): Regional Office for Europe: *Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project.* Technical report.
<https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/341712/WHO-EURO-2013-4101-43860-61757-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

WHO (2014): *7 million premature deaths annually linked to air pollution.* Media Centre news release. Geneva. World Health Organization.
<https://www.who.int/news/item/25-03-2014-7-million-premature-deaths-annually-linked-to-air-pollution>

WHO (2014a): The Global Health Observatory: *Global Health Estimates: Life expectancy and leading causes of death and disability.* Geneva; World Health Organization.
http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/

WHO (2014b): World Health Organization – *Burden of Disease From the Joint Effects of Household and Ambient Air Pollution for 2012.* Geneva. World Health Organization. <https://www.ccacoalition.org/resources/world-health-organization-burden-disease-joint-effects-household-and-ambient-air>

WHO (2015): Regional Office for Europe, OECD (2015). *Economic cost of the health impact of air pollution in Europe: Clean air, health and wealth.* Copenhagen. WHO Regional Office for Europe.
<https://iris.who.int/handle/10665/350716>

WHO (2016): Regional Office for Europe: *Health risk assessment of air pollution: general principles.*
<https://iris.who.int/handle/10665/329677>

WHO (2018): *WHO Housing and health guidelines.* Geneva: World Health Organization; 2018. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241550376>

WHO (2020): *WHO methods and data sources for global burden of disease estimates 2000-2019.* WHO, Geneva. Global Health Estimates Technical Paper WHO/ DDI/DNA/GHE/2020.3
https://www.who.int/docs/default-source/gho-documents/global-health-estimates/ghe2019_daly-methods.pdf

Zanobetti A, Gold DR, Stone PH, et al. (2009): *Reduction in heart rate variability with traffic and air pollution in patients with coronary artery disease.* Environ Health Perspect. 118(3):324-30. doi: 10.1289/ehp.0901003. Epub 2009 Nov 18.

Zitek K, Benes C. (2005): *Longitudinal epidemiology of leptospirosis in the Czech Republic (1963-2003).* Epidemiol Mikrobiol Imunol. 54, 21-6. Czech. PMID: 15807384.

