

1. A szerves mikroszennyezők fogalma, csoportosítása és főbb forrásai

1.1. A mikroszennyezők fogalma

Amikor környezeti szennyező anyagokról beszélünk, számos fogalommal kerülhetünk kapcsolatba, ezeket gyakran egymás helyettesítésére is használják, sokszor helytelenül. Az alábbiakban legelőször a mikroszennyezőkkel és a környezeti szennyező anyagokkal kapcsolatos fogalmakat ismertetjük.

A *környezeti szennyező anyagok* azokat az anyagokat foglalják magukba, amelyek a környezetbe (legalább részben) emberi tevékenység hatására kerülnek, és veszélyt jelentenek az élő szervezetre, illetve az ökoszisztémára. Három faktor határozza meg a szennyező anyag káros hatásának súlyosságát: kémiai tulajdonsága, koncentrációja és a környezetben való tartós fennmaradása (perzisztenciája). Egyes szennyező anyagok biológiailag lebomlanak, így nem maradnak meg hosszú távon a környezetben.

A környezetszennyezés a környezet valamely elemének a kibocsátási határértéket meghaladó terhelése a 1995. évi LIII. törvény alapján [1]. A környezetszennyezés a környezetet, illetve az embert közvetve vagy közvetlenül veszélyeztető, károsító tevékenység, amely valamely környezeti elem (talaj, víz, levegő, élővilág stb.) fizikai, kémiai vagy biológiai szennyeződését, károsodását eredményezi.

A *xenobiotikum* szó a görög *xenos* (*idegen*) szóból származik. A xenobiotikum kifejezés minden olyan szerves és szervetlen anyagot magában foglal, amely az adott élőlény számára idegen, az élőlények (illetve egy adott faj) evolúciója során kialakult anyagcsere-útvonalakba nem illeszkedik (például toxikus fémek, gyógyszerek, perzisztens szerves szennyező anyagok), nem szükséges a normális élettani és biokémiai funkciók, valamint a homeosztázis fenntartásához [2] [3] [4] [5].

A xenobiotikumok többnyire mérgező anyagok, eredetüket tekintve lehetnek természetesek (például az alapkőzetből származó arzén, a toxinok, a gombák által termelt antibiotikumok) vagy antropogén anyagok (például az ipari eredetű ólom, szintetikus gyógyszerek, rovarölő szerek).

Azok a toxikus anyagok, amelyek egy adott élőlény számára nem idegenek, nem számítanak xenobiotikumnak. Például a méhek mérgében található hisztamin az emberi szervezet is termeli, képes azt metabolizálni, így az ember számára nem xenobiotikum.

Azokat a szennyező anyagokat, amelyek a környezetben nagyon alacsony koncentrációban találhatók meg, *mikroszennyezőknek* nevezzük. A mikroszennyező kifejezésben a „mikro” előtag arra utal, hogy literenként csupán mikrogrammnyi mennyiségben vannak jelen, esetenként azonban az 1 ng/l koncentrációt sem érik el. Kémiai csoportosítás szerint szerves és szervetlen mikroszennyezőket különböztetünk meg. *Szervetlen mikroszennyezők* lehetnek a nehézfémek, az arzén, a cianidok és vegyületeik. A *szerves mikroszennyezők* olyan biológiailag nehezen lebontható, gyakran perzisztens, bioaktív (az élő sejtekre, szövetekre hatást kifejítő) anyagok, amelyek nagyon alacsony koncentrációban (kevesebb mint néhány µg/l) fordulnak elő a környezetben, és potenciálisan káros hatásúak a környezetre és/vagy az élő szervezetekre. A szerves mikroszennyezők a konvencionális (hagyományos) szennyvíztisztítási eljárásokkal nem távolíthatók el. Sok közülük nem, vagy

nagyon lassan bomlik le, és hosszú időn keresztül képes kifejteni káros hatását, ezeket tartósan megmaradó vagy *perzisztens szerves szennyező anyagoknak* (angolul: *persistent organic pollutants* – POPs) nevezzük, amelyek felezési ideje több mint egy hónap, de gyakran több év [6] [7]. Többségük halogénezett (főként poliklórozott), vízben kevésbé, zsírban jól oldódó anyag, ami elősegíti zsírszövetekben való felhalmozódásukat. Sok közülük rákkeltő (karcinogén) hatású [8]. A nem perzisztens mikroszennyezők esetében a gyors lebomlást/átalakulást ellensúlyozza a folyamatos utánpótlódásuk [9]. A szerves mikroszennyezők alacsony koncentrációja miatt általában nem vonatkoznak rájuk környezetminőségi határértékek [10].

A *makroszennyezők* nagyobb mennyiségben (mg/l) fordulnak elő a környezeti elemekben, savakat, sókat, növényi tápanyagokat, szerves anyagokat foglalnak magukban. A határ a mikro- és a makroszennyező között nehezen szabható meg, gyakran az adott helytől, szituációtól függ.

A fejlődő analitikai módszereknek köszönhetően egyre több szennyező anyag kimutatására van lehetőség, így újabb és újabb anyagokról derül ki, hogy nagyon alacsony koncentrációban ugyan, de megtalálhatók a környezetben, és potenciálisan káros hatásúak lehetnek, ezeket új szennyezőknek nevezzük. Az angol szakirodalom ezeket *emerging pollutants* (új szennyezők – EP), *emerging organic contaminants* (új szerves szennyezők) vagy *contaminants of emerging concern* (növekvő aggodalomra okot adó szennyezők – CEC) kifejezéssel illeti; az *emerging* szó a felszínre kerülésre, felbukkanásra, a *concern* (aggodalomra okot adó) pedig a feltételezett veszélyre utal. A tankönyvben az új szennyezők rövidítésére az angol nyelvből származó CEC rövidítést használjuk. Az angol nyelv találón vonja terminusba azokat az újonnan kimutatható szintetikus vagy természetesen előforduló szennyező anyagokat, amelyek nem esnek szabályozás alá, és nem részei a rutin monitoring programoknak, nincsenek rájuk környezetminőségi határértékek [11], de potenciális káros hatásuk és/vagy perzisztens tulajdonságuk miatt aggodalomra adnak okot, és megfelelő bizonyíték esetén környezeti előfordulásukat szabályozni fogják [12].

Az új szennyezők nem feltétlenül az utóbbi évek környezetkárosító hatásainak következtében jutottak a környezetbe, gyakran hosszú időn keresztül, folyamatosan kerülnek a környező vizekbe, talajba, de az analitika nem volt olyan fejlettségi szinten, hogy az alacsony koncentrációban található szennyező anyagokat is képes legyen detektálni. Más esetekben új kémiai anyagok szintézise, vagy a már meglévők felhasználásában, kibocsátásában bekövetkezett változás jelent újabb, potenciális veszélyt a környezetre. Tehát az új szennyezők kategória a környezetvédelmi szempontból új, aggályos vegyületeket foglalja magába. Ezen anyagok listája folyamatosan változik, új anyagok jelennek meg, illetve a korábban új szennyezőként számon tartott anyagokról született tudományos eredmények hatására szabályozásuk időközben megtörténik, így azokat már nem sorolják az új szennyezők közé, és *hagyományos szennyezőknek* nevezik.

Az elmúlt évtizedekben a jogi szabályozások következtében a környezetminőségi határértékkel szabályozott szennyező anyagok kibocsátása jelentősen lecsökkent, amelynek eredményeként a figyelem elsősorban a nehezebben kimutatható, alacsonyabb koncentrációban megtalálható szennyező anyagokra terelődött. Emiatt számos forrás külön kezeli az:

- új szennyezőket (CEC) és a
- hagyományos szennyezőket:
 - a perzisztens, bioakkumulatív, toxikus kémiai anyagokat (PBT),
 - a nagyon perzisztens, nagyon bioakkumulatív (*very persistent very bioaccumulative* – vPvB) anyagokat, és
 - a perzisztens szerves szennyezőket (*persistent organic pollutant* – POP), vagy ahogy az Amerikai Környezetvédelmi Ügynökség (EPA) nevezi azokat, a bioakkumulatív, aggodalomra okot adó kémiai anyagokat (*bioaccumulative chemicals of concern* – BCC [13]).

Az Európai Bizottság 2005-ben megalapította az új szennyezők európai hálózatát, NORMAN Network elnevezéssel [12]. Az új szennyezők több mint 20 csoportját határozza meg, amelybe 2018-ban 1036 különböző szerves és szervesetlen új szennyezőt soroltak [14].

Jelen tankönyvben mind az új szennyezőkkel, mind a már ismert és határértékkel rendelkező szerves mikroszennyezőkkel foglalkozunk, amelyeket a továbbiakban együttesen szerves mikroszennyezőként említünk.

1.2. A szerves mikroszennyezők csoportosítása és forrásai

A szerves mikroszennyezők többféleképpen kategorizálhatók. A csoportosítás történhet eredet szerint, kibocsátási ágazat/felhasználás szerint (háztartás, ipar, mezőgazdaság, kereskedelem); illetve kémiai tulajdonságok (szerves, szervesetlen, illékony, nem illékony stb.) szerint. Jelen tanulmányban a szerves mikroszennyezőkkel foglalkozunk, azok kibocsátás/felhasználás szerinti csoportosítását alkalmazzuk (1.1. táblázat), mivel a szakirodalom jelentős része is ez alapján csoportosít, a különböző csoportok ismertetésénél a kémiai tulajdonságokat is bemutatjuk. Fontos hangsúlyozni, hogy bármilyen csoportosítást alkalmazunk, az nem tökéletesen diszjunkt, mivel gyakran átfedések vannak az egyes csoportok között, illetve vannak olyan vegyületek, amelyek több csoporthoz is tartozhatnak. Így például a poliklórozott bifenileket (PCB) sorolhatnánk az égésgátlókhöz vagy a lágýtítókhoz, mivel rendelkeznek ezen tulajdonságokkal; az összetett tulajdonságuk miatt mi most az „egyéb ipari kemikáliumok” közé soroljuk őket. Mindig a cél határozza meg, hogy milyen csoportosítási szempontot alkalmazunk.

1.1. táblázat

A szerves mikroszennyezők csoportosítása (Knisz Judit)

| Szerves mikroszennyezők | Csoport | Példák |
|-------------------------------|----------------------------------|---|
| 1. Humán- és állatgyógyszerek | Antibiotikumok | Trimetrimprim Ciprofloxacín Szulfametoxazol |
| | Fájdalomcsillapítók | Acetil-szalicilsav Diklofenák Ibuprofen |
| | Antidiabetikumok | |
| | Epilepsziaellenes szerek | Karbamazepin |
| | Pszichiátriai szerek | Diazepám |
| | Vérlipid-szabályozók | Etofibrát Fenofibrát |
| | Gyulladáscsökkentők | Pentoxifilin Fenacetin |
| | Szív- és érrendszeri gyógyszerek | Propranolol Atenolol |
| | Vérnyomáscsökkentők | |
| | Endogén és szintetikus hormonok | Ösztadiol Ösztroin Ösztriol |

| Szerves mikroszennyezők | Csoport | Példák |
|---|--|---|
| | Kontrasztanyagok | Iopromide Jodipamid Iopromide Iopamidol |
| | Növekedési hormonok (anabolikus szteroidok) | |
| 2. Illegális pszichoaktív szerek | | Kokain Heroin Morfin |
| 3. Kozmetikai és testápoló szerek (PCP) | Illatanyagok és szintetikus pézsma | Tonalid |
| | Fényvédők | Benzofenon-4 (BP-4) |
| | Fertőtlenítőszer | Triklozán |
| | Antioxidánsok, tartósítószer | Parabének |
| | Rovarriasztók | Dietil-Toluamid (DEET) |
| 4. Rezisztenciagének | | Tet(O), Sul(L) |
| 5. Peszticidek | Gyomirtók (herbicidek) | Alaklór Glifozát Atrazin Bentazon Parakvat Diquat 2,4-diklórfenoxi-ecetsav |
| | Rovarirtó szerek (insecticid) | Karbamil Dieldrin DDT Szerves klórvegyületek Szerves foszfátok Karbamátok Piretroidok |
| | Gombaölő szerek (fungicidek) | Vinklozolin |
| | Rágcsálóirtók (rodenticidek) | Arzén-trioxid Bárium-karbonát |
| | Talajfertőtlenítő szerek | Etilén-dibromid Metil-bromid Foszfid |
| 6. Életviteli termékek és élelmiszer-adalék- anyagok | | Koffein Aceszulfám Szacharin Ciklamát Butilált-hidroxianizol (BHA) |
| 7. Felületaktív anyagok | | Nonilfenol |
| 8. Fertőtlenítési melléktermékek | | THM-ek, haloecetsavak |
| 9. Égési melléktermékek | | Dioxin Policiklusos aromás szénhidrogének (PAH) |
| 10. Egyéb ipari eredetű vegyületek | Poliklórozott bifenilek (PCB) | |
| | Biszfenolok | Biszfenol A |
| | Per- és polifluorozott alkilezett vegyületek (PFAS) | Perfluoroktánsav (PFOA) |
| | Lágyítószer | Dietil-ftalát (DEP) |
| | Égésgátlók | Brómozott bifenil-észterek (PBDE) Pentabromobifenil (Penta-BBP) |
| | Nanorészecskék | Fullerének |
| | Üzemenyag-adalékok | Metil-terc-butil-éter |
| 11. Toxinok | Cianotoxinok | Mikrocisztinek |

| Szerves mikroszennyezők | Csoport | Példák |
|-----------------------------|---------|---|
| 12. Fémorganikus vegyületek | | Dimetil-higany Tributil-ónoxid Roxarson |

Bibliográfia

1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól.
- Dinka DD. Environmental Xenobiotics and Their Adverse Health Impacts-A General Review. *Journal of Environment Pollution and Human Health*. 2018;6(3):77–88.
- Patel DK, Sen DJ. Xenobiotics: An Essential Precursor for Living System. *American Journal of Advanced Drug Delivery*. 2013;1(3):263–270.
- Soucek P. Xenobiotics. In: Schwab M, editor. *Encyclopedia of Cancer*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2011. p. 3964–3967.
- Juchau MR, Chen H. Chapter 17 – Developmental Enzymology: Xenobiotic Biotransformation. In: Slikker W, Chang LW, editors. *Handbook of Developmental Neurotoxicology*. San Diego: Academic Press; 1998. p. 321–337.
- Jacob J. A Review of the Accumulation and Distribution of Persistent Organic Pollutants in the Environment. *International Journal of Bioscience, Biochemistry and Bioinformatics*. 2013;3(6):657–661.
- Hill MK. *Understanding Environmental Pollution: A Primer*. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press; 2004.
- Fölművelésügyi Minisztérium. Vegyi Anyagok Szabályozása [Internet]. [letöltve: 2018. 12. 11.]. Elérhető: <http://vegianyag.kormany.hu/stockholmi-egyezmeny>.
- Verlicchi P, Galletti A, Petrovic M, Barceló D. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: An overview of micropollutants and sustainable treatment options. *Journal of Hydrology*. 2010;389(3):416–428.
- Arslan M, Ullah I, Müller JA, Shahid N, Afzal M. Organic Micropollutants in the Environment: Ecotoxicity Potential and Methods for Remediation. In: Anjum NA, Gill S, Tuteja N editors. *Enhancing Cleanup of Environmental Pollutants*. Springer International Publishing AG; 2017.
- Sauve S, Desrosiers M. A review of what is an emerging contaminant. *Chem Cent J*. 2014;8(1):15.
- NORMAN Network [Internet]. [letöltve: 2018. 12. 12.]. Elérhető: www.norman-network.net.
- Wania F, MacKay D. Peer Reviewed: Tracking the Distribution of Persistent Organic Pollutants. *Environmental Science & Technology*. 1996;30(9):390A–396A.
- NORMAN Network. NORMAN List of Emerging Substances [Internet]. [letöltve: 2018. 12. 12.]. Elérhető: www.norman-network.net/?q=node/81#sub5.