

A szerves mikroszennyezők fogalma, csoportosítása és főbb forrásaik

A mikroszennyezők fogalma

Amikor környezeti szennyező anyagokról beszélünk, számos fogalommal kerülhetünk kapcsolatba, ezeket gyakran egymás helyettesítésére is használják, sokszor helytelenül. Az alábbiakban először 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 az 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 normál 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 kifejtő) 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 hatást, ezeket tartósan megmaradó vagy *perzisztens szerves szennyező anyagoknak (POP)* nevezzük [6]. Jellemzőik:

- erősen mérgező;
- perzisztens, azaz csak nagyon lassan bomlik le a környezetben nem veszélyes anyagokká;
- nagy távolságra szállítható, a légkörben, a vizekben és egyes élőlények szöveteiben, így országhatárokon áterjedő hatással is számolni kell;
- bioakkumulatív, azaz felhalmozódik az élőlények zsírszöveteiben.

Ezen anyagok felezési ideje több mint egy hónap, de gyakran több év [7, 8]. Többségük halogénezett (főként poliklórozott), vízben kevésbé, zsírban jól oldódó anyag, ami elősegíti zsírszövetekben való felhalmozódásukat. Sok közülük rákkeltő (karcinogén) hatású [9].

A nem perzisztens mikroszennyezők esetében a gyors lebomlást/átalakulást ellensúlyozza a folyamatos utánpótlódásuk [10]. A szerves mikroszennyezők alacsony koncentrációja miatt általában nem vonatkoznak rájuk környezetminőségi határértékek [11].

A *makroszennyezők* nagyobb mennyiségben (mg/l) fordulnak elő a környezeti elemekben, savakat, sókat, növényi tápanyagokat, szerves anyagokat foglalnak magukban. A hatás 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 (EP, új szennyezők)*, *emerging organic contaminants* (új szerves szennyezők) vagy *contaminants of emerging concern (CEC, növekvő aggodalomra okot adó szennyezők)* kifejezéssel illeti; az *emerging* szó a felszínre kerülésre, felbukkanásra, a *concern* (aggodalomra okot adó) pedig a feltételezett veszélyre utal. A jegyzet során az új szennyezők rövidítésére az angol nyelvből származó **CEC** rövidítést használjuk. Az angol nyelv találóan vonja terminusba azokat az újonnan kimutatható szintetikus vagy természetesen előforduló szennyező anyagokat, amelyek nem esnek szabályozás alá és nem részei a rutin monitoringprogramoknak, nincsenek rá környezetminőségi határértékek [12], de potenciális káros hatásuk és/vagy perzisztens tulajdonságuk miatt aggodalomra adnak okot, és megfelelő bizonyíték esetén környezeti előfordulásukat szabályozni fogják [13].

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 számontartott 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 határértékel szabályozott szennyező anyagok kibocsátása jelentősen lecsökkent, aminek eredményeként a figyelem elsősorban a nehezebben kimutatható, alacsonyabb koncentrációban megtalálható szennyező anyagokra terelődött. Emiatt, számos forrás külön kezeli az:

1. *új szennyezőket* (CEC) és a
2. *hagyományos szennyezőket*:
 - a) a perzisztens, bioakkumulatív, toxikus kémiai anyagokat (PBT),
 - b) a nagyon perzisztens, nagyon bioakkumulatív (*very persistent very bioaccumulative* – vPvB) anyagokat és
 - c) a perzisztens szerves szennyezőket (POP, *persistent organic pollutant*), vagy ahogy az Amerikai Környezetvédelmi Ügynökség (EPA) nevezi azokat, a bioakkumulatív, aggodalomra okot adó kémiai anyagokat (BCC, *bioaccumulative chemicals of concern* [14]).

Az Európai Bizottság 2005-ben megalapította az új szennyezők európai hálózatát, NORMAN Network elnevezéssel [13]. Az új szennyezők több mint 20 csoportját határozza meg, amelybe 2018-ban 1036 különböző szerves és szervetlen új szennyezőt soroltak [15].

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

A szerves mikroszennyezők csoportosítása és forrásai

A szerves mikroszennyezők többféleképpen kategorizálhatók. A csoportosítás történhet

- eredet szerint,
- a kibocsátási ágazat szerint (háztartás, ipar, mezőgazdaság, kereskedelem),
- kémiai tulajdonságok (szerves, szervetlen, illékony, nem illékony stb.) szerint.

Jelen jegyzetben a szerves mikroszennyezőkkel foglalkozunk, azok eredet szerinti csoportosítását alkalmazzuk. Fontos hangsúlyozni, hogy bármilyen csoportosítást alkalmazunk, a csoportosítás 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 lágyítókhoz, mivel rendelkeznek ezen tulajdonságokkal, ám összetett tulajdonságuk miatt mi most az „egyéb ipari kemikáliumok” közé soroljuk. Mindig a cél határozza meg, hogy milyen csoportosítási szempontot alkalmazunk. A szerves mikroszennyezők főbb csoportjai [16]:

1. Gyógyszermaradványok (PC)
 - a) Humán- és állati gyógyszerek
 - b) Illegális pszichoaktív szerek
2. Kozmetikai és testápoló szerek (PCP)
3. Rezisztenciagének
4. Peszticidek
5. Életviteli termékek és étel-miszer-adalékanyagok
6. Felületaktív anyagok
7. Fertőtlenítési melléktermékek
8. Égési melléktermékek
9. Egyéb ipari eredetű vegyületek
 - a) Poliklórozott bifenilek (PCB)
 - b) Biszfenolok
 - c) Per- és polifluorozott alkilezett vegyületek (PFAS)
 - d) Lágyítószer

- e) Égégsgátlók
 - f) Nanorészecskék
 - g) Üzemanyag-adalékok
10. Toxinok
 11. Fémorganikus vegyületek

Fejezetzáró kérdések

1. Mit nevezünk mikroszennyezőnek?
2. Mit nevezünk xenobiotikumnak?
3. Mi jellemző az új szennyezőkre (CEC-k)?
4. Milyen kategóriák szerint lehet a mikroszennyezőket csoportosítani?
5. Mely szennyezőkre nincsenek határértékek?
6. Mi a *perzisztens* szó jelentése?