

## HIDROBIOLÓGIA

- 1. A biológiai vízminőséget leíró fogalmak (halobitás, trofitás, szaprobitás, toxicitás): meghatározásuk, felmérési módjaik és típusaik. Eutrofizáció**
- 2. A vízszennyezések típusai és biológiai következményeik**
- 3. A vizek természetes öntisztulása**

1. Angelier E. 2003. *Ecology of streams and rivers*, Science Publishers, Enfield.
2. Felföldy L. 1981. *A vizek környezettana*. Általános hidrobiológia, Mezőgazd. Kiadó, Budapest.
3. Mălăcea I. 1969. *Biologia apelor impurificate. Bazele biologice ale protecției apelor*. Ed. Acad. R.S.România, București.
4. Padisák J. 2005. *Általános limnológia*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.

## 1. A BIOLÓGIAI VÍZMINŐSÉGET LEÍRÓ FOGALMAK (HALOBITÁS, TROFITÁS, SZAPROBITÁS, TOXICITÁS): MEGHATÁROZÁSUK, FELMÉRÉSI MÓDJAIK ÉS TÍPUSAIK. EUTROFIZÁCIÓ

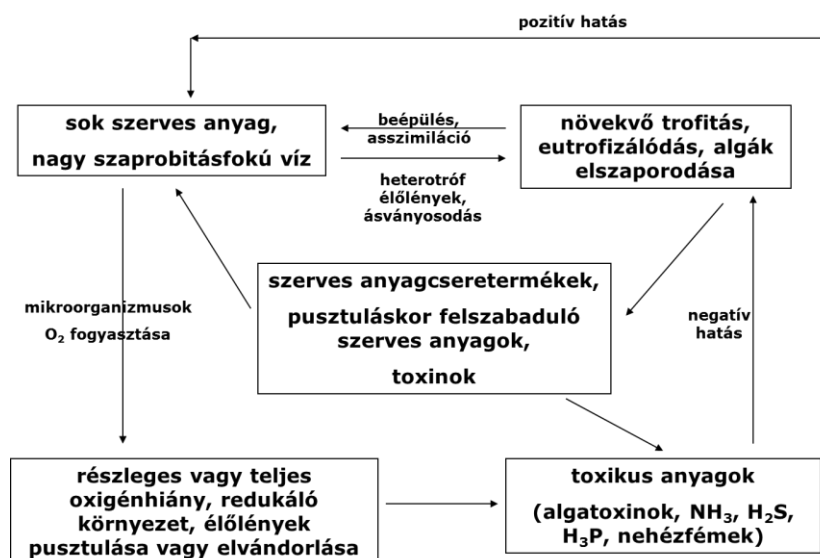
A víz tulajdonságainak összessége jelenti a **vízminőséget**. Nem helyes, ha a vízminőséget kizárólag az emberi felhasználás szempontjából definiáljuk, ill. mérjük fel, figyelembe kell venni a vizek benépesítő élőlényeket is. A jó vízminőség tehát azt is jelenti, hogy a víz tulajdonságai összességükben olyanok, hogy kedveznek a vízi élőlények életműködéseinek, és lehetővé teszik a közösségek fennmaradását.

A **biológiai vízminőség** a víz biológiai szempontból fontos jellemzőinek (elemeinek, összetevőinek) összességét jelenti. Felföldy Lajos munkássága alapján (1981, 1987) négy biológiai vízminőségi jellemzőt (tulajdonságcsoporthoz) különböztetünk meg: halobitást, trofitást, szaprobitást és toxicitást.

A **biológiai vízminőségi jellemzőket** elsősorban az vízi élőlény-közösségek vizsgálatával tudjuk becsülni, amelyhez viszont szükségesek fizikai és kémiai vizsgálatok is. Az élőlények alapján történő vízminősítésnek (**biomonitorozásnak**) az alapja az élőlényeknek az a tulajdonsága, hogy genetikailag és élettanilag megszabott igényekkel és tűréshatárokkal rendelkeznek a környezetük legtöbb jellemzőjének értékével szemben, így kisebb-nagyobb mértékben érzékenyek a körülményeik és életfeltételeik változásaira. A változásokra pedig, különösen a jelentős nagyságú változásokra, reagálnak, egyrészt egyedi szinten (morfológiai és fiziológiai módosulásokkal), másrészt pedig közösségi szinten (pl. a populációk egyedszámának változásával, a közösségek fajszerkezetének, -diverzitásának, összetételének és szerkezetének változásával), jelezve (**bioindikáció**) a környezetük minőségét és annak módosulásait bármilyen irányba.

A biológiai vízminőségi fogalmak közötti fontosabb összefüggéseket az 1. ábra mutatja be, amelyről egyrészt leolvasható, hogy a víz oldott szerves anyag-tartalmának növekedésével nő a víz szaprobitása. A vízi lebontó szervezetek hatására végbemenő szerves anyag lebomlással, ásványosodással egyidőben viszont nő a víz szerves anyag-tartalma (ezzel együtt általában a szerves növényi tápanyagokként szolgáló  $\text{NO}_3^-$  és  $\text{PO}_4^{3-}$  ionok koncentrációja is), amely tehát a víz trofitásának növekedését jelenti. A magasabb szaprobitás így adott esetben hosszabb távon magasabb trofitást eredményez. Ez fordítva is végbemehet abban az esetben, ha elsősorban valamilyen külső szennyező forrásból (műtrágyázott mezőgazdasági területek, állattenyésztésből származó hígtrágya, egyes iparágak stb.) nagy mennyiségű  $\text{NO}_3^-$  és  $\text{PO}_4^{3-}$  iont tartalmazó szennyvíz ömlik egy befogadó víztestbe (a víznek nő a szerves anyag-tartalma, tehát a víz eutrofizálódik). Ilyenkor, ha más feltételek is teljesülnek (pl. optimális hőmérsékleti és fényviszonyok esetében), a szerves növényi tápanyag túlkínálat miatt az algák,

cianobaktériumok és egyes vízi hajtásos növények annyira elszaporodnak a víztestben, hogy a “vízvirágzásként” ismert jelenség következik be, minden kellemetlen következményével.



1. ábra. A biológiai vízminőségi fogalmak (halobitás, trofitás, szaprobítás, toxicitás) közötti összefüggések

Tehát idővel a szerves anyagok magas koncentrációjából adódó magas trofitás az asszimiláció és szerves anyag képződés révén magas szaprobítást eredményez. Továbbá, a túlszaporodott cianobaktériumok és algák éjjelente szünetelő fotoszintézise és későbbi lebomlása következtében részleges vagy teljes oldott oxigén-hiány léphet fel, valamint cianotoxinok, algatoxinok és más, az anaerob lebomlásból származó toxikus hatású vegyület ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_3\text{P}$ ) keletkezhet, ezzel tehát nő a víz toxicitása.

## HALOBITÁS

Felföldy L. (1981) szerint a halobitás „a kontinentális vizek biológiai szempontból fontos szervesetlen kémiai tulajdonságainak összessége”. Egy víztest halobitásfoka elsősorban a vízgyűjtő terület geológiai és geokémiai sajátosságaitól függ, és csak ritka esetben mesterséges bevezetésektől (bányavizek, egyes szennyvizek). A halobitás kifejezésére használjuk a szalinitást is, amelyet a hidrobiológiában rendszerint ezrelékben fejezünk ki ( $\text{S}\text{‰}$ ), és amely alatt a kontinentális vizekben található összes ion koncentrációját értjük (ezrelékben).

A vizek halobitásfoka becsülhető: *a.* kémiai módszerekkel (ismert térfogatú víz párlási maradékából, a víz elektromos fajlagos vezetőképességének az értékéből ( $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ), a főbb ionok típusának és mennyiségének meghatározása által analitikai kémiai módszerekkel; *b.* ökológiai módszerekkel, azaz ismert halobionta indikátorszervezetek listájával kell összevetni a vízből, bevonatból vagy üledékből gyűjtött mintákban azonosított fajok listáját (1. táblázat).

1. táblázat. Halobionta fokozatok és jellemzésük

<b>HALOBIONTA FOKOZAT</b>		<b>JELLEMZÉS</b>
<i>polihalobionta</i>		30‰ sótartalmat igénylő, csak itt élő fajok
<i>mezohalobionta</i>	<i>euri-mezohalobionta</i>	0,2-30‰ sótartalmat tűrő fajok
	<i><math>\alpha</math>-mezohalobionta</i>	10‰ fölötti sótartalmat igénylő fajok
	<i><math>\beta</math>-mezohalobionta</i>	0,6-10‰ közötti sókoncentrációt igénylő fajok
<i>oligohalobionta</i>		0,6‰ alatti sótartalmat tűrő, sóban szegény vizekre jellemző, „édesvízi” fajok
<i>halofobikus fajok</i>		sókerülő, lágy „édesvizet” igénylő fajok, sósabb vízben csak rövid ideig életképesek

## TROFITÁS

Felföldy L. (1981) szerint a trofitás „*a szerves anyagot létrehozó, ezzel a víz minőségét befolyásoló adottságok, jelenségek gyűjtőfogalma*„. A meghatározásba beletartozik tehát minden olyan tényező, amely a szerves anyagoknak a szerves anyagokból való létrehozásához kapcsolódik, például a szerves növényi tápanyagok minősége, mennyisége és változása a vízben, a szerves tápanyagot építő fotoautotrofikus élőlények (egyes baktérium-csoportok, algák, hajtásos vízinövények) minősége és mennyisége, illetve a fotoautotrofikus élőlények működésének a víz minőségét alakító különféle folyamatai.

Megkülönböztetünk potenciális és aktuális trofitást. A potenciális trofitás egy adott víztestre jellemző növényi tápanyagkínálat mértékét jelenti (elsősorban a N és P kínálatra vonatkoztatva), míg az aktuális trofitás egy adott pillanatban kialakult trofitási szintet jelent. Az aktuális trofitás függ a fotoszintetikus szerves anyag termelés erősségétől, a fotoszintetizáló élőlények mennyiségétől, valamint az *a*-klorofill mennyiségétől adott pillanatban és adott víztestben. Egy adott víztest potenciális és aktuális trofitása évszaktól függően is eltérő lehet, például a Duna, amely potenciálisan politrofikus (általában véve nagy szerves növényi tápanyagkínálattal jellemezhető), a téli évszakban aktuálisan oligotrofikus vagy oligomezotrofikus, tavasztól őszig pedig az eutrofikus-hipertrofikus zónában helyezkedik el.

## Eutrofizáció

A trofitás hosszabb távú növekedését nevezzük eutrofizálódásnak, amely tehát egy adott tó vagy folyóvíz szervesen növényi tápanyag-kínálatának növekedését jelenti (elsősorban  $\text{NO}_3^-$  és  $\text{PO}_4^{3-}$  vonatkozásában). Az eutrofizálódás során a külső, allochton anyagoknak a vízbe való bejutását egy biológiai reakció követi a vízi fotoautotróf szervezetek részéről, amelyek a szervesen tápanyagok mennyiségének növekedésére rendszerint nagymértékű elszaporodással válaszolnak, extrém esetben „vízvirágzást” idézve elő. Ezt a biológiai reakciót a szervesen tápanyagoknak a Liebig-féle minimum törvény szerinti hasznosítása szabályozza, amely törvény lényegében azt mondja ki, hogy bármennyi is van jelen az elégséges szint fölött a rendszerben a legtöbb szervesen növényi tápanyagból, a növényi életmódú szervezetek mégsem tudnak addig nagymértékben elszaporodni, ameddig akár csak egy olyan esszenciális tápanyag is akad, amelynek a mennyisége nem éri el a szükséges szintet egy adott pillanatban.

A hiányos mennyiségű tápanyagot, illetve kémiai elemet nevezzük **limitáló tényezőnek**. A gyakorlatban a vízi fotoautotróf szervezetek számára ez rendszerint épp a  $\text{PO}_4^{3-}$  és  $\text{NO}_3^-$  ionokat jelenti. Ebből kifolyólag, mivel a többi szükséges szervesen tápanyagból rendszerint elegendő mennyiségű található a vízben, amikor a limitáló tényezőként működő  $\text{PO}_4^{3-}$  és  $\text{NO}_3^-$  koncentrációja is (valamilyen direkt vagy indirekt hatásra) az optimális szint fölé emelkedik, a vízi fotoszintetizáló szervezetek nagymértékű elszaporodásának már nincs akadálya, és bekövetkezik a kisebb-nagyobb mértékű **„vízvirágzás”**, amikor például a cianobaktérium vagy algasejtek száma több száz és több millió között lehet 1 ml vízben. A  $\text{PO}_4^{3-}$  és  $\text{NO}_3^-$  ionok koncentrációja növekedhet közvetlenül (direkt módon) azáltal, hogy ezek a **szervesen növényi tápanyagok** kívülről kerülnek a vízbe (pl. műtrágyából vagy állati eredetű hígtrágyából), valamint közvetve (indirekt módon) abban az esetben, amikor az előzőleg vízbe jutott szerves anyagok lebomlásából keletkeznek.

Eutrofizálódás természetes folyamatként is végbemehet, pl. tavak feltöltődésével párhuzamosan, hosszú időn át. Emberi beavatkozás nélkül, az ilyen hosszú időn át, fokozatosan bekövetkező eutrofizálódást nem kíséri drasztikus vízminőségromlás, minden kellemetlen következményével, a vízi élőlénytársulások a szukcesszió során pedig úgyszintén fokozatosan, átmenetekkel, éles váltások nélkül követik egymást. Ezzel szemben a mesterséges eutrofizálódás antropogén hatásra megy végbe, és rendszerint hirtelen vízminőség-romlással jár, gyakori tünete a kiterjedt „vízvirágzás”. A vízvirágzás cianobaktériumok, algák és/vagy vízi hajtásos növények nagymértékű elszaporodását jelenti a víztest átvilágított rétegeiben, amely így jól látható zöldes (ritkán vörös) réteggént jelentkezik a vízfelszínen. A vízvirágzás kísérőjelenségei között szerepelnek: jellegzetes szag (hal-, penész-, fű- vagy földszag), az elpusztult szervezetek

lebomlása következtében kialakult részleges vagy teljes oxigénhiány, anaerob körülmények (különösen éjjel), a vízi élőlényközösségek megváltozása, a fajdiverzitás csökkenése, puhatestűek, halállomány pusztulása. A vízminőség romlása egyben a toxicitás növekedését is jelenti vízvirágzáskor, de ebben az esetben a felhalmozódó toxinokat az elszaporodó élőlények termelik (cianotoxinok, algatoxinok, szaprotróf baktériumok (*Clostridium*-ok) toxinjai) vagy az anaerob lebomlásból keletkezett toxikus vegyületek ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ). Vízvirágzáskor emberi szempontból is többnyire használhatatlanná válik a víz (pl. a cianotoxinok jelenléte bőr-, máj- és idegrendszeri működési zavarokat eredményezhet). A vízvirágzások megelőzési módjai közé tartoznak a N- és P-tartalmú szennyvizek bevezetésének ellenőrzése, szűrőgető életmódú élőlények (pl. kagylók), növényevő halak betelepítése, vagy esetenként vegyszeres ( $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{AsO}_3$ ) kezelés (algicid hatású vegyületek).

A trofitás becslésére főképpen az elsődleges termelés vagy az ezzel összefüggő mutatók mérése szolgál: N, P (esetleg C, Si), mint limitáló tényezők mennyiségének meghatározása, az oldott  $\text{O}_2$  mérése (pl. sekély tavakban az  $\text{O}_2$  napi ritmusa a trofitástól függ, ugyanakkor politrofikus tavakban gyakori az éjjeli  $\text{O}_2$  hiány), *a*-klorofill mennyiségének meghatározása, valamint trofitási indexek számítása trofobionta indikátorlisták felhasználásával (fajösszetétel, algaszámlálás, algaindexek).

## SZAPROBITÁS

Felföldy L. (1981) szerint a szaprobitás „... *a szerves anyagokat szervetlen összetevőikre bontó és ezzel a vízminőséget befolyásoló adottságok és jelenségek gyűjtőfogalma...*”, beleértve a heterotróf élőlények számára hozzáférhető szerves anyagok minőségét, mennyiségét és változásait a vízben, a lebontó szervezetek típusát, mennyiségét és működésüknek a vízminőséget alakító folyamatait, továbbá külső környezeti tényezőket (oxigénfogyasztás, keletkező  $\text{CO}_2$ ). Az **autoszaprobitás** a vízben keletkezett autochton szerves anyagok bomlására, az **alloszaprobitás** pedig a vízbe kívülről kerülő, idegen, allochton szerves anyagok bomlására vonatkozó fogalom. Az alloszaprobitás lehet természetes (vízbe hulló avar, állatok ürüléke) és felléphet emberi tevékenység következményeként.

A szaprobitás, illetve a vízben található szerves anyagok mennyisége becsülhető a kémiai oxigénigény meghatározásával (savas kálium-permanganátos  $\text{KOI}_{\text{Mn}}$  és savas kálium-dikromátos  $\text{KOI}_{\text{Cr}}$  módszerrel), a biokémiai oxigénigény ( $\text{BOI}_5$ ) meghatározásával, valamint biomonitorozás során szaprobionta indikátorfajok listájának felhasználásával.

A folyóvizek természetes tisztulása kapcsán figyelték meg és írták le a folyó lefolyási irányába haladva a különböző **szaprobitási zónákat** (szakaszokat), kezdve a szennyezési pont közelében elhelyezkedő poliszaprob (szerves anyagokkal legerősebben terhelt) zónával és

fokozatosan haladva az  $\alpha$ -mezoszaprób és  $\beta$ -mezoszaprób zónákon át a szerves anyagokkal legkisebb mértékben terhelt oligoszaprób zóna irányába. A szaprobitási zónák főbb jellemzői az alábbiakban:

1. A **poliszaprób** zónát kémiaiilag az összetett, biológiai bomlásra képes szerves anyagok nagy mennyisége jellemzi (fehérjék, polipeptidek, szénhidrátok). Ezek legtöbbször kommunális vagy szervesanyag-hulladékot tartalmazó ipari szennyvizekkel kerülnek a befogadóba. A lebomlás folyamatai közül az oxidáció a legfontosabb, ezért ennek a zónának a vize oxigénmentes vagy oxigén csak nyomokban található benne. Kellemetlen szagú és mérgező kénhidrogén és ammónia, illetve fekete, szulfidtartalmú üledék (rothadó iszap) jellemzi. A víz biokémiai oxigénigénye, a  $\text{BOI}_5$  50, állóvizekben  $100 \text{ g O}_2 / \text{m}^3$  fölött lehet.  $\text{KOI}_{\text{Cr}}$   $200 \text{ g O}_2 / \text{m}^3$  körül van. Élővilága egyhangú, lakói főleg baktériumok és állati egysejtűek, kevés faj, de néha hatalmas mennyiségben. A bomlásból még nem szabadulnak fel ásványi növényi tápanyagok, így ha folyik benne autotróf, fotoszintetikus szervesanyag-építés, akkor annak az alapja külső tápsóforrás lehet (oligotrófiával összekötött poliszaprobia). Sok esetben az autotrófia teljesen hiányzik (atrofikus poliszaprobia).

2. A **mezoszaprób** zónában már előrehaladottabb oxidáció zajlik a vízben és az üledékben egyaránt. A bejutó szerves anyagok egy része már ásványosodott és az autochton anyagforgalomba került. Két al-zónát különböztetünk meg: **2a.** Az  **$\alpha$ -mezoszaprobikus** zóna vizében még sok aminosav található, mint a fehérjék bomlásterméke. A víz már tartalmaz oxigént, elsősorban az itt már szaporodni kezdő algák fotoszintézisének eredményeként, és az oxigéntartalomnak éles napszakos ritmusa van (az oxigén éjszaka sokkal kevesebb, mint nappal), de a maximum ritkán emelkedik 50% telítettség fölé. A víz biokémiai oxigénigénye  $\text{BOI}_5$  10 (állóvizekben 20)  $\text{g O}_2 / \text{m}^3$ ,  $\text{KOI}_{\text{Cr}}$  20—80  $\text{g O}_2 / \text{m}^3$ . Az oxigén jelenléte miatt a fekete vas(II)-szulfid ( $\text{FeS}$ ) sárgásbarna vas(III)-oxidá ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) oxidálódik, az üledék felszínének fekete színe megszűnik, és mivel kénhidrogént nem tartalmaz, kellemetlen szaga sincs. Az élővilág változatosabbá válik, de még sok bennük a lebontó baktérium. Az allo- és autoszaprobitás körülbelül azonos szerepet játszik ebben az zónában, a lebomlás igen élénk, de még nem teljes és részben anaerob úton történik. **2b.** A  **$\beta$ -mezoszaprobikus** zónában az oxidálódás és ásványosodás folytatódik, a szerves anyagok mennyisége tehát kevesebb. Az oxigéntartalom egészen kedvező lehet, és az 50% telítettséget messze felülmúlja, de napi ritmusa még határozott. A  $\text{BOI}_5$  5 (állóvízben 10  $\text{g O}_2 / \text{m}^3$  körül van, a  $\text{KOI}_{\text{Cr}}$  kevesebb, mint 10  $\text{g O}_2 / \text{m}^3$ . Ebben a zónában már igen változatos flóra és fauna alakul ki. A nitrogéntartalmú szerves vegyületeknek baktériumok általi lebomlása jelentős mennyiségű nitrátot, nitritet és ammóniát eredményez, ami kedvez a növényi szervezetek elszaporodásának. Az ilyen vizekben nagy a fajszaám (a biodiverzitás) és az egyedsűrűség. Legtöbb természetes vizünk ide tartozik, ahol az

autoszaprobitás az élénk növényi termelés miatt felülmúlhatja az alloszaprobitást és a lebomlás már csak aerobikus úton zajlik.

3. Az **oligoszaprób** zóna ritka, emberi tevékenységektől távol eső helyeken, hegyekben található. Ebben a zónában teljes a szerves anyagok oxidációja és a mineralizáció. Az üledék is oxidálódott. A víz átlátszó, kivéve, ha fenéig felkeveredő sekély tóról van szó, de oxigénben akkor is gazdag és az oldott oxigéntartalomnak nincs napi ritmusa. A vizet a tiszta vizekre jellemző természetes élővilág népesíti be. Allochton szervesanyag-ellátás nincs vagy jelentéktelen, a növények által termelt szervesanyagot az autoszaprobitás tökéletesen feldolgozza, sem szerves lerakódás, sem növényi tápanyagfölösleg nem keletkezik.

## TOXICITÁS

Felföldy L. (1981) szerint a toxicitás a víz mérgezőképességét jelöli a benne levő toxikus anyagok eredményeként. A „toxikus” fogalom relatív: koncentrációtól, az egyes fajok érzékenységétől függ, amely életszakaszonként különbözhet. Megkülönböztetünk reverzibilis és irreverzibilis mérgezéseket, lokális és generális mérgezést, természetes toxinokat (alगतoxinok, cianobaktérium-toxinok,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) és az emberi tevékenység eredményeként vízbe kerülő toxinokat, az élőlényekre közvetlen, direkt káros hatást és közvetett, indirekt káros hatást (az oxigéntermelés, a lebontás és a természetes tisztulás gátlásán keresztül ható) gyakorló toxinokat.

A toxinok jelenléte és hatása a vízben kémiai (keveredés, hígulás és szinergista hatások miatt ritkán lehetséges), biokémiai (bizonyos enzimekre specifikusan, már kis koncentrációban is ható toxinok esetén) és **biológiai tesztek** (tesztélőlények élettani reakciói alapján) vizsgálható.

## 2. A VÍZSZENNYEZÉSEK TÍPUSAI ÉS BIOLÓGIAI KÖVETKEZMÉNYEIK

**Vízzszennyezésnek** nevezünk valamilyen, a vízbe jutó, a víz eredeti állapotát, tulajdonságait megváltoztató szennyező anyag hatását. Kiss Keve Tihamér (1998) meghatározásában „...vízzszennyezésnek kell fölfognunk minden olyan hatást, ami a felszíni, felszín alatti vizeink minőségét úgy módosítja, hogy a víz alkalmassága a benne zajló természetes folyamatok biztosítására és az emberi használatra csökken vagy megszűnik.”.

Megkülönböztetünk természetes szennyeződést és mesterséges vízzszennyezést. **Természetes vízzszennyeződésről** beszélhetünk például a következő esetekben: esőzéskor bemosódott nagy mennyiségű szerves anyag (levelek és más növényi maradványok, állatok tetemei stb.), a medret alkotó, magas sótartalmú kőzetekből beoldódó ásványi anyagok ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ), folyókon kialakított mélyebb víztározóknál a toxikus anyagokat, nehézfémeket tartalmazó hipolimnion összekeveredhet az epilimnionnal, majd a toxikus anyagok a tározóból kifolyó



vízzel továbbjutnak alsóbb folyószakaszokat szennyezve. Természetes szennyeződés következménye is lehet oxigénhiányos állapot és az élőlényközösségek megváltozása.

**Mesterséges vízszennyezés** történhet szilárd, folyékony és gázhalmazállapotú szennyező anyagok, illetve pontszerű és diffúz szennyezés révén. A pontszerű szennyezés háztartási és ipari szennyvizekre jellemző, kezelése szennyvíztisztítással történik. Diffúz szennyezésre példák a mezőgazdasági területekről esővízzel bemosódott műtrágya- és gyomirtó-fölösleg. A diffúz szennyezés elkerülése nem szennyvíztisztítás, hanem sokkal inkább szervezési, megelőzési kérdés. Az antropogén eredetű szennyező anyagok negatív hatása rendszerint erőteljesebb, mint a természetes szennyező anyagok hatása, mivel hirtelen, nagyobb mennyiségben kerülnek a vizekbe és sokszor az élőlények számára hozzáférhetetlen és/vagy toxikus hatású vegyületek.

A háztartási, a települési és egyes ipari szennyvizek elsősorban **szerves anyagokkal terheltek**. A **háztartási szennyvizek** jellemző komponensei: szerves anyagok a lebomlás különböző stádiumaiban, hormonok, vitaminok, detergensok, szerves anyagok bomlásának köztes- és végtermékei ( $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , zsírsavak, indol), ásványi sók ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ), alkalomadtán komoly fertőzésveszélyt jelentő szaprofita és patogén baktériumok (*Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae*, *Shigella dysenteriae*, *Escherichia coli*, *Streptococcus faecalis*, *Bacillus anthracis*, *Mycobacterium tuberculosis*), parazita egysejtűek és férgek (*Ascaris lumbricoides*, *Enterobius vermicularis*, *Taenia solium*). A **települési szennyvizek** összetételében a háztartási szennyvizek mellett csapadék (esővíz) is részt vesz, különösen vegyes csatornázású településeken. A települési szennyvizek kémiai összetétele nagyon változatos, az ipari létesítmények típusától és az egy főre eső vízfogyasztástól függően. Számottevő szerves anyag-tartalma mellett jelentős lehet a szervesetlen anyag-tartalma is (háztartásból  $\text{PO}_4^{3-}$ , gyárak szennyvizeiből Zn, Cu, Cr, Mn, Ni, Pb-sók). **Egyes ipari szennyvizek** szintén nagy mennyiségű szerves anyagot tartalmaznak, pl. élelmiszeripar (cukor, keményítő, tej, alkohol, konzervek, sör, élesztő), vágóhidak, húsfeldolgozó ipar (mosóvizek, oldószerek,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ , cukor, erjedő tejtermékek, *Bacillus anthracis*), bőrfeldolgozó ipar (szerves anyagok, Cr- és As-sók,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ , patogén mikroorganizmusok), textil-, cellulóz- és papíripar, festék- és műanyaggyárak (olajok, festékek, ragasztó- és rostanyagok, szulfidok, hexózok, pentózok, aldehidek, alkoholok, acetal, Ca- és Al-sók).

Az **ipari szennyvizek többsége** ugyanakkor elsősorban **szervesetlen anyagokat** tartalmaz nagy mennyiségben, pl. bányavizek, fémfeldolgozó üzemek szennyvizei (Fe, Mg, Ni, Mn, As, Pb, Zn-sók, cianidok, fenolok, szénpor,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  stb., nagyon savas vizek ( $\text{pH} = 2-4,5$ )).

Minimális mértékű **alkalomszerű szennyezések** is felléphetnek szemétteltelepekről származó „csurgalék”, utakról lemosódó szennyeződések, a ma már divatjamúlt kender és len áztatása révén közvetlenül a folyóvízbe, állatok fürdetése révén. A sokkal komolyabb

következményekkel járó, sokszor katasztrófa jellegű alkalomszerű szennyezési baleseteket háttérben viszont sokszor emberi hanyagság és meggondolatlanság áll (üzemi vízszennyezési balesetek, zagytározók átszakadása, kőolajszállító hajók sérülései).

A vízszennyezéseket különböző szempontok szerint csoportosíthatjuk. Néhány fontosabb szempont:

### **1. A KÖVETKEZMÉNYEK JELLEGE SZERINT:**

**1A. AKUT SZENNYEZÉS:** az „elviselhető” határ feletti koncentrációban, hirtelen, alkalomszerűen, katasztrófajelleggel bekövetkező, ugyanakkor folyóvizeken tovahaladó szennyezések.

**1B. KRÓNIKUS SZENNYEZÉS:** nem halálos koncentrációkban, állandó jelleggel fennálló szennyezés, amely azért veszélyesebb, mert hatása nem mindig feltűnő, vagy csak bizonyos idő elteltével érzékelhető (sokszor csak kémiai módszerekkel kimutatható szennyezés, nem okoz szemmel látható változást).

**1C. POTENCIÁLIS SZENNYEZÉS:** a toxikus anyagok kis koncentrációban vannak jelen, és bizonyos feltételek teljesülése (vízhozamcsökkenés, szárazság, hőmérsékletnövekedés, szinergizmus) mellett fejtik ki a hatásukat.

### **2. A SZENNYEZŐ ANYAGOK TERMÉSZETE SZERINT:**

**2A. KÉMIAI VÍZSZENNYEZÉS: szerves anyagokkal** (*fehérjék, cukrok, zsírok; szappanok, detergensok; kőolajszármazékok, aromás vegyületek, amelyek toxikus hatásúak, illetve a vízfelületen létrejött olajfilm gátolja az  $O_2$  vízbe oldódását; szíanyagok, amelyek lehetnek toxikusak, és befolyásolják a fénybejutást, fényelnyelést, fotoszintézist, láthatóságot a vízben); szervesetlen anyagokkal* (*savak és bázisok, amelyek hatása a pH, tápanyagfelvétel, korrózió,  $H_2S$  termelődése kapcsán mutatkozik meg; nem mérgező, vízben oldódó szervesetlen sók, mint amilyenek a  $Na^+$ ,  $Cl^-$  (háztartás, élelmiszeripar, kizsáras a kőolaj feldolgozása során),  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$  (szervesetlen és szerves „forrásból”),  $Ca^{2+}$  és  $Mg^{2+}$  sók (vízkeménység),  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ; toxikus szervesetlen anyagok ( $Cl_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$ , nehézfémek sói); redukálószerke, amelyek bányavizekben, mocsarak vizében  $O_2$  csökkenést, csapadékkiválást és lerakódást eredményezhetnek és  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ ,  $SO_3^{2-}/SO_4^{2-}$ ,  $NO_2^-/NO_3^-$  egyensúlyban okozhatnak zavarokat).*

**2B. FIZIKAI VÍZSZENNYEZÉS: szilárd anyagok szuszpenzióival** (szén mosása, fémérczek flotációs kezelése, üveggyártás, textil- és cellulózipar, kaolin, gipsz,  $TiO_2$ ,  $BaSO_4$ ; a szuszpenziók leülepedhetnek a fenékküledékre vagy a szilárd mederanyagra az élővilág jellegzetes megváltozását okozva; a szaporodóhelyek tönkremennek, a halikrák betemetődve elpusztulnak; mechanikai hatást gyakorolnak a bentonra és nektonra; a víz zavarossá válik,

csökken az átlátszóság, csökken a fotoszintézis és az  $O_2$  termelés, zavart szenved az öntisztulási képesség; a ragadozó halak látás- és táplálkozásvárait okozhatják; felsértik a halak kopolyúit, amelyek így könnyebben felülfertőződhetnek parazitákkal; a színes anyagok elnyelnek bizonyos hullámhosszú fénysugarakat és hatással vannak a vizek hő- és fényviszonyaira; a cellulóztartalmú rostok „lepedéket” alkotnak a víz felületén, lebomlásukkor toxikus gázok, kiterjedt gombatelepek jöhetnek létre); **színes szennyezések** révén (a színes szennyezéseket általában Fe- és Cr-tartalmú vegyületek okozzák; sokszor figyelhető meg interakció a különböző vegyületek között, pl. a szénlepárláshoz használt víz és vastartalmú víz keveredésekor vörös vagy barna tiocianátok, fenolok keletkezhetnek, más esetben taninok, cserzőanyagok (bőrfeldolgozás) keveredése Fe-tartalmú vizekkel sötétzöld vagy fekete színeződést eredményezhet); **zavarosság** fokozása révén (szilárd anyagok kolloidok és finom szuszpenzió formájában; nem feltétlenül szennyeződés eredménye („szőke Tisza”)); a csökkent átlátszósághoz alkalmazkodnak az élőlények, lásd. a barlangvizek örökletesen vak, áttetsző vagy fehéres testű állatait, vagy a vízi állatok pigmentáltságának hiányát vagy csökkenését állandóan zavaros, átlátszatlan vizekben).

**2C. FIZIOLÓGIAI (ÉLETTANI) VÍZSZENNYEZÉS: íz- és szagrontó vegyületek** (kis koncentrációban is erős hatásuk lehet, ugyanakkor előfordulhat szinergista hatás, vagyis egyik vegyület felerősíti a másik hatását, pl.  $Cl_2$  és fenol; Fe- és Mn-sók jellegzetes fémes ízt kölcsönöznek a víznek; a  $H_2S$ ,  $NH_3$ , fenolok,  $Cl_2$ , aminok, cianidok szintén kellemetlen szagot és ízt eredményeznek; alkoholok, észterek, ketonok, aldehidek, szerves savak, rovar- és gyomirtószeresek, detergensok, egyes algák szekréciós anyagai is íz- és szagrontó vegyületek; akkumulálódás a halak húzában, növények leveleiben, gyümölcsökben; az íz- és szagrontó vegyületek eltávolítása megkísérélhető vegyszeres kicsapódás, ózonos vagy aktív szén kezeléssel).

**2D. BIOLÓGIAI VÍZSZENNYEZÉS:** szaprotróf, patogén és parazita baktériumok, gombák, protozoák, férgek és petéik (ülepítéssel eltávolíthatók); következményeit tekintve ide sorolható a vízvirágzás is sokrétű tünetegyüttesével.

### 3. A VIZEK TERMÉSZETES ÖNTISZTULÁSA

A vizek természetes öntisztulási képessége arra vonatkozik, hogy szennyezés után az eredeti fizikai-kémiai-biológiai paraméterek természetes úton visszaállnak két alapvető, egymást kiegészítő folyamat révén: egyrészt a szerves anyagok lebomlása, teljes oxidációja, másrészt pedig a szervetlen vegyületek fotoszintetikus asszimilációja, beépülése révén.

Részleteiben az öntisztulás bonyolult fizikai, kémiai, biológiai folyamat, amelyet egymással kölcsönhatásban levő tényezők befolyásolnak:

**1. FIZIKAI TÉNYEZŐK:** **ülepedés** (a lebegő anyagok természetétől, a szemcseméretől, gáztermelési folyamatoktól, a víz folyási sebességétől, sűrűségétől, viszkozitásától, hőmérsékletétől függ; az öntisztulás során megfigyelhető előnyös folyamat a baktériumok és különböző peték „járulékos” leülepedése); **fény** (befolyásolja a kémiai és biológiai folyamatok (fotoszintézis) lezajlását, az UV sugárzásnak pedig baktericid hatása van); **hőmérséklet** (befolyásolja az ülepedés sebességét, a kémiai reakciók sebességét, az élőlények anyagcsere-reakcióit, a víz  $O_2$  viszonyai, bizonyos anyagok toxikus hatását); **vízmozgások** (elősegítik az összekeveredést és levegőztetést, csökkentik az ülepedés sebességét, elősegítik az elnéptelenedett folyószakaszok élőlényekkel való újranépesedését, hozzájárulnak mikrohabitatumok kialakulásához).

**2. KÉMIAI TÉNYEZŐK:** **oxigén** (szerepet játszik a szerves anyagok oxidációs lebomlásában, egyes szerves anyagok oxidációs átalakulásában, élőlényekkel való benépesedésben; mennyisége a vízben elsősorban a vízmozgásoktól és a hőmérséklettől függ; az oldott oxigénmennyiség csökkenésének okai között a heterotróf légzés, a szerves anyagok bakteriális lebomlása és a szerves anyagok oxidációja ( $H_2S$ ,  $FeCl_2$ ,  $SO_3^-$ ) szerepelnek); **széndioxid** (fontos szerepet játszik a pH-függő egyensúlyi  $CO_2$ ,  $HCO_3^-$ ,  $CaCO_3$  rendszerben és a pH és sav-bázis egyensúly fenntartásában  $HCO_3^-$ -ban gazdag vizekben vagy savas, bázikus vizek beömlésekor).

**3. BIOLÓGIAI TÉNYEZŐK:** a természetes öntisztulásban szerepet játszó vízi élőlények tevékenysége a különböző társulások minőségi és mennyiségi összetételétől, valamint a táplálkozási (trofikus) kapcsolatok, **táplálékláncok és –hálózatok** minőségétől, típusaitól, összetettségétől függ. A bonyolult biotóp-biocönózis kapcsolatokban a természetes, nem szennyezett vizekben **dinamikus egyensúlyi állapot** áll fenn. A szennyezés felborítja ezt az egyensúlyt, a helyreállításának feltétele pedig az öntisztulás mindkét fázisának végrehajtása az arra alkalmas élőlények hozzájárulásával: az **oxidatív fázisban** oxidációs, bakteriális lebomlás, ásványosodás (mineralizáció) megy végbe **heterotróf szervezeteknek**, baktériumoknak, **lebontóknak** köszönhetően; az **asszimilációs fázisban** pedig a keletkezett és jelen levő szerves anyagok, fényenergia hasznosításával és az **autotróf szervezetek**, a **termelők** közreműködésével szerves anyagok formájában beépülnek az élőlények sejtjeibe. Állandó jellegű, konstans szennyező források esetén a jellemző társulások fokozatos cserélődnek, míg időszakosan működő szennyező források esetén két, jellegzetes, egymást váltó biocönózis alakul ki két átmeneti állapottal.

## A VIZEK TERMÉSZETES ÖNTISZTULÁSÁBAN SZEREPET JÁTSZÓ FONTOSABB ÉLŐLÉNY-CSOPORTOK

A **BAKTÉRIUMOK** elkezdi a szerves anyagok lebontását. Víz- és talajbaktériumokat, az ember tápcsatornájából származó baktériumokat találunk a vizekben. Az autotróf baktériumok a kemoszintézis és fotoszintézis révén az asszimilációs fázis fontos részvevői a növényekkel együtt, fontos képviselőik a cianobaktériumok és a kénbaktériumok. A heterotróf baktériumok közül a szaprotróf életmódúak talán a legfontosabb csoportot jelentik az öntisztulásban, ugyanis a szerves anyagok lebontása, mineralizációja elsősorban ezeknek a baktériumoknak a feladata. Az aerob baktériumok dominanciája az öntisztulás szempontjából előnyösebb, kívánatosabb, ugyanakkor az anaerob baktériumoknak is jelentős szerepe lehet adott körülmények között. A szerves anyagok lebontása (bakteriális) enzimek segítségével történik, amelyeknek a működése hőmérséklettől, pH-tól, toxinoktól függ. Az exoenzimek a komplex, nagyobb molekulájú szerves anyagok előzetes, sejten kívüli lebontására alkalmas fehérje-molekulák. A tulajdonképpeni lebontási folyamatok hidrolízisek, illetve oxidációs és redukciós reakciók. A baktériumok kiemelkedő jelentősége a lebontásban nem csupán nagy egyedszámuknak köszönhető, hanem annak is hogy tevékenységüket nagy felületen fejtik ki (1 kg baktérium 4000 m<sup>2</sup> felületnek felel meg), valamint optimális környezetben gyors szaporodásra képesek. A bakteriális lebontási és asszimilációs folyamatok függenek a hőmérsékleti ingadozásoktól (általában magasabb hőmérsékletet is eltűnnek, de a nagyobb ingadozásokhoz csak lassan tudnak alkalmazkodni), a vízkémiai tulajdonságoktól, a fényintenzitástól, a pH értékétől (csak bizonyos tartományaiban életképesek pl. 5,5 – 8,5), valamint toxikus anyagok, UV és radioaktív sugárzás jelenlététől, amelyeknek baktériumölő hatásuk van. Anaerob bakteriális folyamatok: fehérjék, cukrok, zsírok lebomlása egyszerűbb alkotókra; húgysav (urea) átalakítása  $\text{NH}_4^+$ -á;  $\text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^-$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ . Aerob folyamatok: a teljes oxidáció  $\text{CO}_2$ -á és  $\text{H}_2\text{O}$ -é; szerves nitrogén  $\rightarrow \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$ ; kén  $\rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ ; foszfor  $\rightarrow \text{PO}_4^{3-}$ ; A lebontásnak ellenálló anyagokat is ismerün, pl. egyes detergenset, peszticideket, a lignint (felezési ideje 3-6 hónap).

A **CSILLÓS ÉS OSTOROS EGYSEJTŰEK** a baktériumok kísérői az vízi öntisztulási folyamatokban. Szerepet játszanak a nagyobb szerves anyag aggregátumok szétosztásában. Bár szerves anyagokat (detrituszt) is fogyasztanak, főleg baktériumokkal táplálkoznak, így nem engedik, hogy azok populációi a nyugalmi fázisba jussanak, ezáltal hozzájárulnak a baktériumok állandó szaporodásához és aktivitásának fennmaradásához.

Egyes **VÍZI GERINCTELENEK** (szivacsok, mohaállatok, kagylók) szűrőgető életmódjuknak köszönhetően szintén jelentősebb szerepet játszanak a vizek természetes öntisztulásában (pl. egyes *Anodonta* fajok képesek akár 40 l vizet is átáramoltatni a szervezetükön 24 óra leforgása

alatt). Bizonyos férgek és rovarlárvák (*Tubifex*, *Chironomus*) az üledék, iszap felkeverése révén (transzportőr szervezetek) hozzájárulnak az üledék átszellőzéséhez, az üledékben eltemetett szerves anyagok anaerob lebomlásához és a redukált szervesanyagok oxidációjához, a toxikus anyagok kijutásához az üledékből, valamint elősegítik az  $O_2$  és az aerob szervezetek mélyebbre jutását az üledékbe. Nem elhanyagolható szempont az sem, hogy a nagy lárvatömegek stabilizálják az üledéket.

A vízi **FOTOSZINTETIZÁLÓ NÖVÉNYEK** (mohák, harasztok, virágos növények) és növényi életmódúak (cianobaktériumok, algák) két legfontosabb funkciója a természetes öntisztulásban, hogy az oxigéntermelés révén hozzájárulnak a szerves anyagok anaerob lebomlásához, ugyanakkor pedig a lebomlásból, ásványosodásból keletkezett vagy a kívülről bekerült szerves (növényi tápanyag)anyagokat ( $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$ ) a fotoszintézis során asszimilálják, beépítik a testükbe, ezáltal visszaállítva a kémiai egyensúlyt és táplálékot biztosítva a fogyasztók számára. További fontos hozzájárulásaik a vizek természetes öntisztulásához: egyes oldott szerves anyagokat is fel tudnak venni és testükbe beépíteni; nehézfémek (Cu, Zn, Ni) bioakkumulációjára képesek; a hajtásos növények és a fonalas algák „szűrők” is egyben, mivel a felületükön visszatartott szilárd szerves anyagokhoz a fotoszintézisből származó  $O_2$  jelenlétében közvetlenül hozzáférnek a baktériumok. Az öntisztulás hatékonyságát befolyásolja a vízi növényzet sűrűsége, a vegetációs periódus hossza, de például a növények kora (növekedési vagy előregedési fázis) is. A növények  $NO_3^-$ ,  $PO_4^{3-}$  asszimiláló képességét hasznosítani lehet a szennyvíztisztítási technológiai folyamatok záró lépéseként, a mechanikai és aktív iszapos lebontási fázisok után, a szennyvíz szervesanyag-tartalmának csökkentése céljából. Az így is „megtisztított” szennyvíz nem fog a későbbiekben a befogadó víztestben eutrofizációt és vízvirágzást előidézni.