

## A FELSZÍN ALATTI VIZEK SZENNYEZÉSEINEK ELTÁVOLÍTÁSA, A VÍZMINŐSÉGI KÁRELHÁRÍTÁS MÓDSZEREI 2. RÉSZ

### REMOVAL OF GROUNDWATER CONTAMINATION, METHODS OF WATER QUALITY DAMAGE RELIEF PART 2.

HEGEDŰS Hajnalka

(ORCID ID: 0000-0002-5207-0356)

[hegedus.hajnalka@uni-nke.hu](mailto:hegedus.hajnalka@uni-nke.hu)

#### Absztrakt

A körülöttünk zajló negatív tendenciák kedvezőtlen hatással vannak a vizeink mennyiségére és minőségére egyaránt. A vízminőség védelme magába foglalja mind a műszaki, mind a gazdasági és jogi beavatkozásokat, amelyeket a megfelelő vízminőség érdekében alkalmaznak. Ide sorolandók azok a beavatkozások, amelyek a vízminőség megtartását, a szennyezések elleni védekezést, valamint a vízminőségi kárelhárítást célozzák.

Miután ezen kétrészes cikk első felében a kárelhárítás fizikai és kémiai módszerei kerültek bemutatásra, jelen cikk a fenntartható vízminőség érdekében mindinkább teret nyelő biológiai módszerekre koncentrál, amelyek közül jó néhány még csak kísérleti stádiumban ismert, ugyanakkor nem egy bioremediációs eljárást már sikerrel alkalmaznak, és sikerességük, valamint természetközeli mivoltuk miatt folyamatosan fejlesztenek. "A mű a KÖFOP 2.1.2-VEKOP-15-2016-00001 azonosítószámú, „A jó kormányzást megalapozó közszolgálat-fejlesztés” elnevezésű kiemelt projekt keretében, a Nemzeti Közszolgálati Egyetem felkérésére készült."

**Kulcsszavak:** vízminőség, kárelhárítás, biológiai módszerek

#### Abstract

The negative trends of the modern way of life have unfavourable impact on the quantity and quality of our waters as well. Protection of water quality includes technical as well as economic and legal interventions that are applied to ensure good water quality. This comprises those interventions that are aimed at maintaining water quality, protection against pollution as well as water damage control.

While the physical and chemical decontamination methods were described in the first part of this two-part paper, this paper focuses on biological methods, which are gaining a more and more prominent role in order to ensure sustainable water quality. Although quite a few of them are still at the experimental stage, several bioremediation methods have already been applied successfully and due to their benefits and sustainable nature they are still under further development.

**Keywords:** water quality, water damage control, biological methods

A kézirat benyújtásának dátuma (Date of the submission): 2017.02.07.  
A kézirat elfogadásának dátuma (Date of the acceptance): 2017.05.09.

## BEVEZETÉS

A víz élettani szerepe általánosan ismert. Annak ellenére, hogy a Föld felszínének kétharmadát víz fedi, mégis majd' egy milliárd ember nem jut napi szinten tiszta ivóvízhez. A mennyiségi problémák mellett különféle minőségi nehézségek is dilemmát okoznak. A természetes és antropogén okokra visszavezethető vízszennyezések, a vizek nem megfelelő, nem fenntartható kitermelése miatt az egészséges ivóvíz kérdése egyre nyomasztóbb kérdéseket vet fel. Miután a víz elsődleges ásványkincssé lépett elő és biztonságpolitikai tényezőt is jelent, nem csak a vízbázisok védelmét kell szem előtt tartani, hanem az esetlegesen bekövetkezett káresemények elhárításának módszereit is. Szem előtt tartva mindazon követelményeket, amelyeket a környezet- és természetvédelem követel tőlünk a fenntartható életmódunk érdekében, illetve a tényt, hogy a kárfelszámolási tevékenységek, azok bizonyos módszerei ugyanúgy hatással vannak a vízbázisokra és rajtuk keresztül a környezetünkre, igyekeznünk kell, hogy a szennyezés eltávolítása önmagában ne jelentsen még extra terhelést. A kárfelszámolás mellett a károsodott erőforrások, az eredeti állapot helyreállítása is cél, tehát egyértelmű, hogy az elhárítási tevékenység, az alkalmazott módszerek is mind inkább a természetközeli, biológiai módszerek felé mutatnak, szemben a komolyabb talajmegbontással, infrastruktúrakiépítéssel, kitermeléssel járó fizikai és kémiai módszerekkel.

A cikksorozat első részében már részletesen bemutatott negatív folyamatok mind kedvezőtlenül befolyásolják a vizek minőségét, valamint mennyiségét. Emellett a mennyiségi problémák önmagukban is minőségeket hordoznak.

A kármentesítés módszerének megválasztása során sok tényezőt kell figyelembe venni. A környezeti és környezetvédelmi kockázatok mellett az elérendő tisztítási, helyreállítási állapot az egyik legfontosabb szempont, és természetesen nem elhanyagolhatóak az antropogén követelmények sem. [1] Ahogy az általános szennyvíztisztítás területén, úgy a rendkívüli szennyezések eltávolításánál is egyre inkább előtérbe kerülnek a biológiai, környezetbarát módszerek, az olyanok, amelyek mind kiépítésüket, mind működésüket tekintve költséghatékonyak (tehát energiaigényük minimális, nincs szükség szakképzett személyzetre, s nem utolsó sorban természet közeli, természetesek, illetve ha egyáltalán építményt igényelnek, azok tájba illőek. Az ilyen módszereket hívjuk összefoglaló néven biodegradációs módszereknek, azaz remediációnak<sup>1</sup>.

## BIOLÓGIAI ELJÁRÁSOK

A '60-as években kezdődtek el azok a kutatások, amelyekkel igyekeztek feltérképezni a mikroorganizmusok azon hatását, hogy miként képesek egyes szennyező anyagokat ártalmatlanítani. A kutatások eredményeképpen alakultak ki az olyan biotechnológiai eljárások, amelyekkel a talaj, talajvíz, talajlevegő, valamint a felszíni és felszín alatti vizek, illetve a csurgalékvizek szennyezéseit elvileg tudták kezelni, azokat képesek voltak kármentesíteni. A kutatások olyan szintre jutottak el, hogy mára már szinte minden, még a korábban perzisztensnek tekintett szerves eredetű szennyező anyagok lebontása is megtörténhet. Természetesen ezen mikrobiológiai kármentesítési eljárások csak olyan helyszíneken alkalmazhatók, ahol a kármentesítés tervezése folyamán tisztázták a terület-specifikus keretfeltételeket, illetve a biológiai eljárás jellemzőit. Amennyiben azonban adottak

---

<sup>1</sup>Gyógyítás, ártalmatlanítás, esetünkben a vegyi anyagokkal szennyezett környezeti elemek kockázatának elfogadható mértékűre csökkentése

a feltételek a mikrobiológiai eljárások alkalmazására, akkor azok mind ökonómiai, mind ökológiai szempontok alapján előnyösek lehetnek.

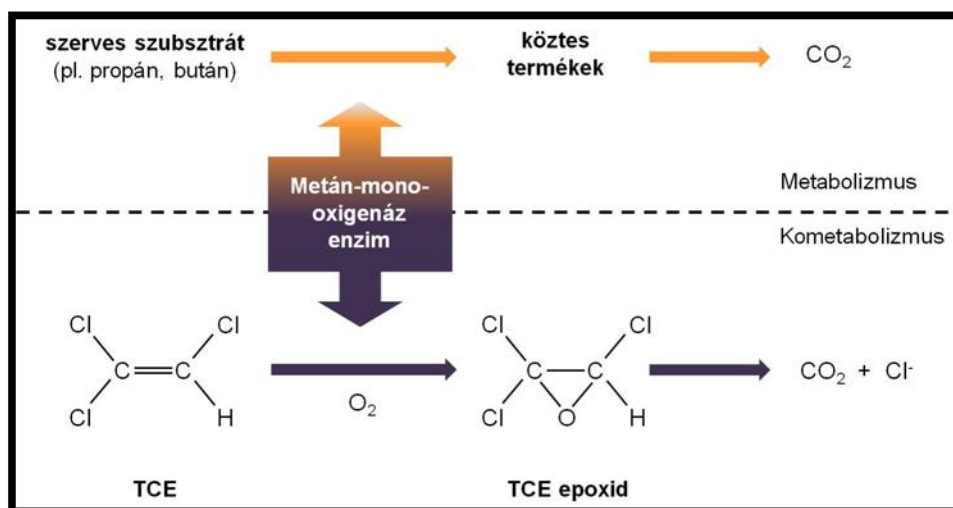
A biológiai eljárások alapjait olyan bennszülött mikroba adják, amelyek megtalálhatóak a természetben, eleve jelen vannak a szennyezett közegben is, vagy célzottan kitelepítik őket. A már jelenlévő mikrobaikat, baktériumokat, gombákat, amelyek az egyes közegek természetes öntisztulásért felelősek, megtámogathatják például egyedszámuk felszaporításával, illetve úgy is, hogy optimális környezetet biztosítanak nekik. Például aerob baktériumoknak a környezetét levegőztetéssel dúsítják fel, anaerob körülményeket kedvelő egyedeknél megnövelik a nitrát vagy foszfor tartalmat a talajban. Mindezekhez csatlakozhatnak az ún. tudatos oltóanyagok is, amelyeket laboratóriumban tenyésztene ki annak érdekében, hogy megsegítsék a természetes közegben esetlegesen rezisztenssé váló vagy mutálódó mikrobaikat. Gyakran éri támadás ezt az eljárást, egyesek azzal érvelnek, hogy a mikroorganizmusok kiszoríthatják a honos mikroflórát, vagy mert a bejuttatott baktériumtömeg egy hatókörön belül immobilizálódik. A gyakorlatban ezen eljárásokat használó szakemberek szerint azonban a megfelelően megválasztott eljárásmódokkal és az alkalmazás során a terület konstans monitorozásával, időbeli beavatkozással, a mikroba folyamatos megtámogatásával, etc. ezek a problémák orvosolhatóak, megelőzhetőek. [2]

Az egyik, mára legelterjedtebb ilyen eljárás a bioremediáció. A bioremediáció alapja a biodegradáció, amely során biológiai-, mikrobiológiai, biokémiai folyamatok zajlanak le mikroorganizmusok (pl. baktériumok, gombák, algák, egysejtű állatok) és egyéb magasabb rendű élőlények (növények, állatok), vagy azok termékei (pl. enzimek) segítségével. Az eljárás során a szennyezett talajt, talajvizet, felszín alatti vízbázist beoltják olyan mikrobaikkal, amelyek a természetben is jelen vannak. Ezek aztán a szennyező anyagokat lebontják – metabolizálják, vagy egészségre veszélytelen anyagokká alakítják és/vagy immobilizálják. A bioremediációt alkalmazhatják in situ és ex situ technológiaként, önmagukban és egymással kombinálva is. Viszonylag kis költséggel nagy területek kezelésére is alkalmas, anélkül, hogy a talaj alapvető tulajdonságait megváltoztatná. Az eljárás környezetbarát, már a legkülönbözőbb szennyező anyagok lebontására és/vagy eltávolítására is alkalmas a toxikus anyagoktól a nehézfémekig. Egyre nagyobb teret nyer az alkalmazása azért is, mert nem igényel különösen bonyolult infrastruktúrát és képzett munkaerőt, környezetbarát megoldás. Hátrányai között megemlítendő, hogy elég erőteljesen befolyásolják a környezeti adottságok, heterogén közegekben és területeken a folyamat lelassulhat, nem egyenletes. A szennyezőanyag függvényében nem mindig elégséges maga az eljárás, mert ha például nem metabolizálható szennyezés található a helyszínen, akkor meg kell oldani annak kitermelését és eltávolítását. Nehézfémek esetében például a lebontásra nincs lehetőség. Ezért azok esetében, az immobilizálás és az azutáni eltávolítás a cél. Ez történhet például úgy, hogy kevésbé vízdékony formába alakítják a szennyező anyagot (a súlyosan mérgező báriumból például bárium-szulfátot alakítanak, amely a többi bárium vegyülettel szemben nem oldódik vízben). Ahogy ki lehet például iszapba vagy növényekbe is ülepíteni őket, ahonnan már könnyebb az eltávolításuk. Az egyéb szerves szennyezőkkel is hasonló a helyzet. Ráadásul, eljárásfüggően természetesen nem egyszer olyan gázok, gőzök fejlődhetnek, amelyek elvezetéséről gondoskodni kell, különben akár robbanásveszélyesek is lehetnek.

A remediációs eljárásoknak különböző fajtái vannak: adszorpciós remediáció, fitoremediáció, bioremediáció, azon belül is ko-metabolikus, intenzifikált remediáció, etc. [3]

A *ko-metabolikus* folyamatok alkalmazásakor toluol vagy metán híg oldatát injektálják a szennyezett felszín alatti vízbe, amely oxigén jelenlétében, kvázi energiaforrásként, elősegíti a szerves szennyezők lebontását, feljavitja az alkalmazott mikroba lebontó képességét. Ez az

eljárás alkalmas klórozott oldószerek – pl. vinil-klorid, triklór-etilén – lebontására is, ahogy azt az 1. ábra bemutatja. Bár ezek a szubsztrátok magukban nem metanotrófok<sup>2</sup>, viszont az elsődleges szubsztrát oxidációját végrehajtó enzimek – metán-mono-oxigenáz – alkalmasak a szennyezőanyag, például kis molekulású, halogénezett szénhidrogének bontására, lebontására. Viszonylag új technológia, folyamatosan fejlesztés alatt van. Hátránya, hogy a metán fokozott robbanásveszélyessége miatt rendkívül szigorú tűzvédelmi előírások betartása szükséges. Bár az eljárás in situ folyamat, a tisztított vizet feltétlenül ki kell termelni, hogy sztrippeléssel vagy utószűréssel kezeljék. [3]

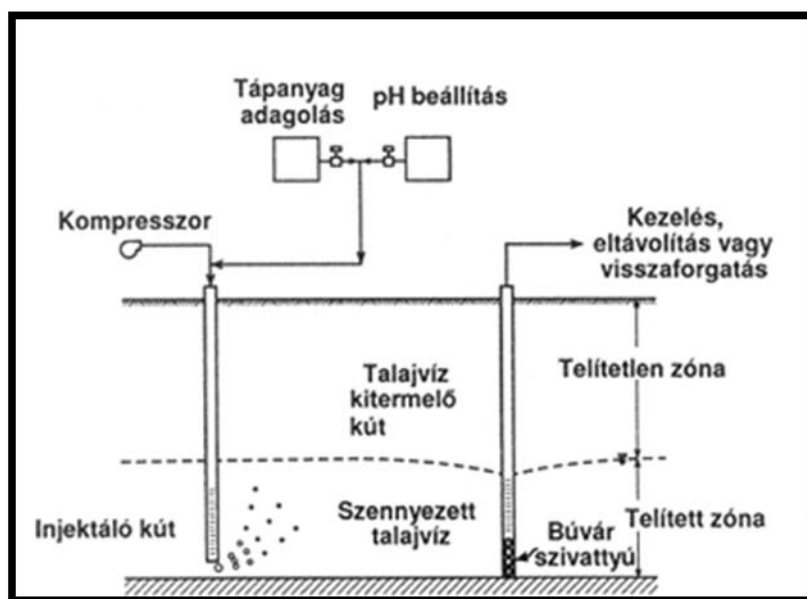


1.ábra: A triklóretilén ko-metabolizmusban történő lebontása metán-mono-oxigenáz enzim segítségével [4]

Az ún. *intenzifikált bioremediáció* egy in situ eljárás, amelyet mind felszín felett, mind felszín alatt alkalmaznak. Ennek során az egyes vizekben az elektron-akceptorok és a tápanyagok koncentrációját növelik meg, így fokozzák a szennyezőanyag lebontást. Aerob körülmények között természetesen az oxigén a legfőbb elektron-akceptor, anaerob körülmények között pedig a nitrát. A lebontási folyamatot, amely természetes körülmények között is lezajlik egyébként, tápanyag- és oxigénbevitellel – ez történhet befúvással, de hidrogén-peroxid bejuttatásával is – illetve mikroba tenyészet beoltásával intenzifikálják. Az aerob folyamatokat nyomás alatt végzik, különben a tisztítandó közeg kipárologtatja az oxigént. (ld.2. ábra) Az anaerob folyamatoknál szem előtt kell tartani a nitrátok eutrofizációs tulajdonságát is, ezért az úgynevezett „nitrát direktíva”<sup>3</sup> betartása mellett történhet a folyamat (sőt, egyes területeken a már igen magas nitrát tartalom miatt az anaerob eljárás nem is engedélyezett). A nem homogén közeg hatással lehet az eljárás sebességére. [2]

<sup>2</sup>metánfaló

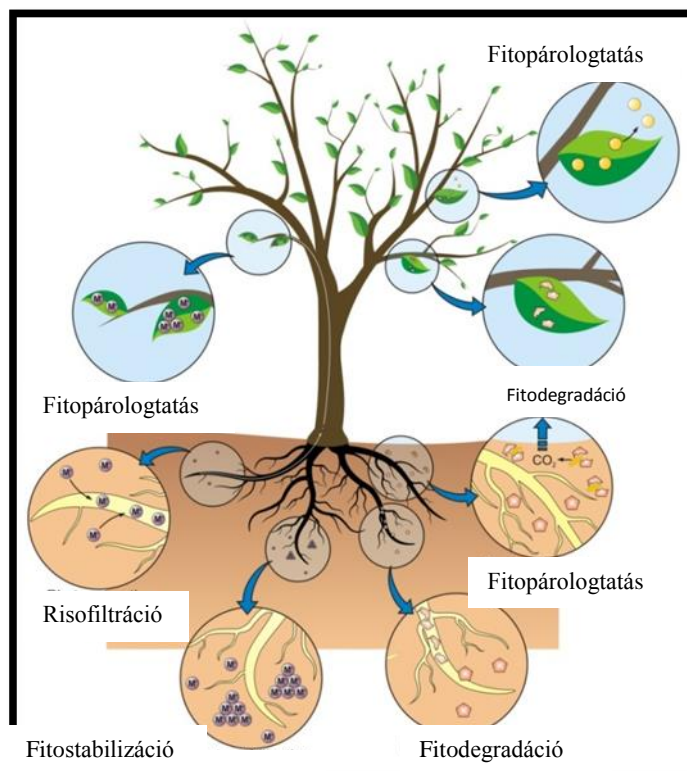
<sup>3</sup>Az EU nitrátokról szóló irányelve, 1991



2. ábra: Az intenzifikált bioremediáció folyamata [3]

A remediációs eljárások egy speciális csoportját képezik a *fitoremediációs* folyamatok, melyek során specifikusan kiválasztott növényekkel távolítják el vagy bontják le adott közegben az egyes szennyező anyagokat. [2] [5] Bár sok gyakorlati előnye is van, az egyes kármentesítéssel foglalkozó cégek inkább egyéb remediációs eljárások kiegészítő eljárásaként, illetve utóeljárásaként használják. (A vörösiszap katasztrófa után szennyezett terület fizikai, kémiai és biológiai eljárásokkal való megtisztítását követően ültették be a területet utókezelésként nyár-fűz társulásokkal.) Fitoremediációra alkalmasak egyes, a természetben is előforduló növények, illetve olyanok, amelyeket kifejezetten erre a célra nemesítenek tovább, megnövelve vagy kialakítva fém-akkumuláló tulajdonságaikat. A növények a rizoszféra<sup>4</sup> lévő mikroorganizmusok segítségével szabadítják meg a szennyezett közeget. A folyamatot több olyan tényező is befolyásolja, mint a kiválasztott növényfaj szennyezőanyag tűrése, növekedési sebessége, gyökérszónájának mélysége, etc. Természetesen a szennyezőanyagok koncentrációja sem haladhatja meg a növény számára toxikus határértéket. Csak akkor eredményes eljárás, ha a gyökérszóna a szennyezés helyével egybeesik. Egyes növények alkalmasak a szennyezőanyagok lebontására is, a cukorrépa például a nitroglicerint bontja, míg a nyárfa a triklór-etilént, mások csak az illékony szennyező anyagok, pl. higany elpárologtatására használhatóak.

<sup>4</sup> A talaj azon szűk zónája, amelyben a gyökerek által kiválasztott kémiai anyagok hatásukat kifejtik, ez a növényi gyökér közvetlen felszíne, beleértve a szorosan hozzátapadó talajrészecskéket és az elhalt növényi részeket is. KÁTAI J.: Talajökológia, Debrecen, 2011.



3.ábra: A fitoremediációs eljárások összefoglaló sematikus ábrája [6]

A vízbázisok megtisztítására is alkalmas fitoremediációs eljárások fajtáit mutatja be összefoglalóan a 3. ábra. Ezek:

- A *fitodegradáció* során az egyes növényfajok, illetve azok gyökerének mikroflórája a szennyező anyagokat ártalmatlan molekulákká – víz, szén-dioxid – alakítják lebontó enzimeik segítségével.
- A *fitostabilizációs* eljárások olyan növények alkalmazásával működnek, amelyek nehézfém-toleránsak. Ezek megakadályozzák, hogy a nehézfémek a szennyezett talajból a vízbázisba vagy a levegőbe jussanak. Az eljárás során tulajdonképpen a növénytakaró (általában fűfélék) fizikailag akadályozza a nehézfémek talajbeli mozgását, vándorlását, ami által kevésbé oldódhatnak bele a talajvízbe, illetve kerülhetnek ki a légkörbe.
- A *rizofiltráció* során a telepített növények gyökerei kötik meg, halmozzák fel vagy csapják ki a szennyezett vizekből a nehézfémeket. Az eljárásra jó néhány vízi és mocsári növény alkalmas, egyesek többféle oldott fém eltávolítására is képesek, másokat célzottan vetnek be pl. a króm, a mangán, a kadmium vagy a réztartalom csökkentésére. A rizofiltrációs eljárás alatt a növények gyökerei vagy a sejten kívüli térben csapják ki a fémeket, vagy azok a sejtfalon adszorbeálják őket, illetve a sejtekbe bejutva a citoplazmába, vakuólumokba bezárulnak, és nem toxikus formában elkülönítésre kerülnek. Később a rizofiltrációhoz használt növényeket a bennük tárolt nehézfémekkel egyetemben eltávolítják. Szennyezettségük okán ezek különleges bánásmódot igényelnek. Bár így még mindig hatalmas, szennyezett mennyiségű biomassa „áll rendelkezésre”, ebben a formában már könnyebben kezelhető. Tömegét komposztálással vagy égetéssel jelentősen lehet csökkenteni, így ha veszélyes hulladékként kerül elhelyezésre, sokkal kisebb volumenű veszélyes anyagot kell tárolni. Az elégetés által az energiatermeléshez, illetve indirekt módon a földgáz-megtakarításhoz is hozzájárulnak. Emellett, ha az égetés alacsony hőmérsékleten történik, akkor a hamuban jelenlévő fémek nagy részét



kohósítás után akár gazdaságosan ki is lehet nyerni, vagy a keletkezett salakot öntvényekhez felhasználni. [7] A keletkező szennyezett biomassa mellett a folyamatnak az is a hátránya, hogy a mentesítés nagyon hosszú időtartamú, még akkor is, ha hiperakkumuláló<sup>5</sup> növények alkalmazásával meggyorsítják a folyamatot, illetve ha különféle szereket adagolnak a nehézfémek kötésformáinak megváltoztatására. Ugyanakkor, mert több évig is eltart a szennyezett terület mentesítése, az évelő növények telepítésével viszont a talajeróziót tudják gátolni. A rizofiltrációs eljárás részét képezi a legtöbb modern szennyvíztisztítási technológiának is. Ahol lehetőség van rá a szennyvíztisztítóban, üvegházakat is bekapcsolnak a tisztítási folyamatba, és ott keringtetik a vizet a növények között. (ld. 4. ábra) Az eljárással nem csak a víz nehézfém-tartalmát szűrik tovább, de a nitrát-tartalmának csökkentését is célozzák. Az üvegházzal lefedett eleveniszapos medencékben a mikroorganizmusok oxigén felhasználása mellett lebontják az oldott szerves anyagot. Mindehhez olyan növényeket telepítenek nyílt vízfelszínre, melyeknek a gyökérzete 0,5-1,5 m mélyre nyúlik. Ezeket kiegészítik a medencékben elhelyezett mesterséges biofilmekkel<sup>6</sup>, amelyek együtt 2-3000 féle mikroorganizmusnak és egyéb magasabb rendű élőlénynek adnak életteret. Az anoxikus térben a nitrát-oxigéntartalmát hasznosítva történik meg az elődenitrifikáció, majd a levegőztető részben légbefújással biztosítják a lebontáshoz szükséges oxigénmennyiséget. A lebontási folyamat során mikroorganizmusokban gazdag aktív iszap keletkezik, amelyet később tovább feldolgoznak.



4. ábra: Részlet a Dél-pesti Szennyvíztisztító egyik üvegházában kialakított komplex ökoszisztémából [8]

<sup>5</sup>Hiperakkumulációról akkor beszélhetünk, ha egy növény adott szervében a fémkoncentráció meghaladja az 1000 mg/kg szárazanyag értékét, a növény tehát jóval nagyobb mennyiségben veszi fel az adott elemet, mint az annak talajbéli koncentrációjából következne.

<sup>6</sup>A biofilm olyan mikroorganizmusok közössége, amelyben a baktériumok az általuk kiválasztott polimer anyagokba beágyazódva élnek. Víz és szennyvíztisztítás, [http://www.epito.bme.hu/vcst/oktatas/feltoltesek/BMEEOVKASG3/hefop\\_asg3-viz\\_szennyviz\\_tiszt.pdf](http://www.epito.bme.hu/vcst/oktatas/feltoltesek/BMEEOVKASG3/hefop_asg3-viz_szennyviz_tiszt.pdf), letöltve: 2015.április 28., p.45.

- A *fitopárolgatatás* során a növények szelént, higanyt és egyéb illékony szerves vegyületeket vesznek fel a talajból és a vízből, majd ezek az evapotranszpiráció<sup>7</sup> folyamata révén eltávoznak a növényből. Bár ez a műszaki megoldás működik, nemigen használják, hiszen a szennyezett közegből el tudják párolgztatni ezzel az ott felgyülemllett vegyületeket, de ezek a párolgatatás után a légtérbe jutnak, ahol ugyanolyan mérgezőek, maximum kisebb koncentrációban jutnak a szervezetbe.

Eljárás	Kezelt közeg	Eljárási mechanizmus
<i>Fitodegradáció</i> vagy <i>fitotranszformáció</i>	felszíni és felszín alatti vizek	Szerves anyagok felvétele és degradációja növényekkel
<i>Fitostabilizáció</i>	talaj, felszín alatti vizek, bányameddők	Gyökérnedvek hatására végbemenő csapadék-képződés a fémek hozzáférhetőségének csökkenését eredményezve [5]
<i>Rizofiltráció</i>	felszíni vizek és nyomással átvezetett vizek	Fémfelvétel és denitrifikáció a növények gyökerein át
<i>Fitopárolgatatás</i>	talaj, felszín alatti vizek	A növények evapotranszpirációja révén az illékony vegyületek felvétel után eltávoznak a növényekből

1. táblázat: Fitoremediációs eljárások rövid összefoglalása (saját készítés)

*Bioreaktorokkal* szintén lehetőség van a vízbázisok megtisztítására, ez azonban a szennyezett vízbázis kitermelését igényli. Az eljárás során a bioreaktorokban a szennyezett vizet olyan mikroorganizmusokkal érintkeztetik, amelyek vagy fix filmes vagy szuszpendált állapotban vannak, például eleveniszapos vagy fluid ágyon egy levegőztető medencében. Szuszpendált állapotú mikroorganizmusok esetében levegő jelenlétében (aerob folyamat) történik meg a biológiai bomlás, melynek során szén-dioxid, víz és új sejtanyagok képződnek, a mikroorganizmusok pedig iszapot képeznek és leülepsznek az ülepítő tartályban. Ezt az iszapot az eredeti szennyeződés függvényében vagy visszavezetik a levegőztető medencébe vagy elszállításra, elhelyezésre kerül. A fix filmes rendszerekben (forgó tárcsás vagy csepegtetőtestes) inert anyagok felületén találhatóak a mikroorganizmusok, és ezeken áramoltatják át a szennyezett vizet.

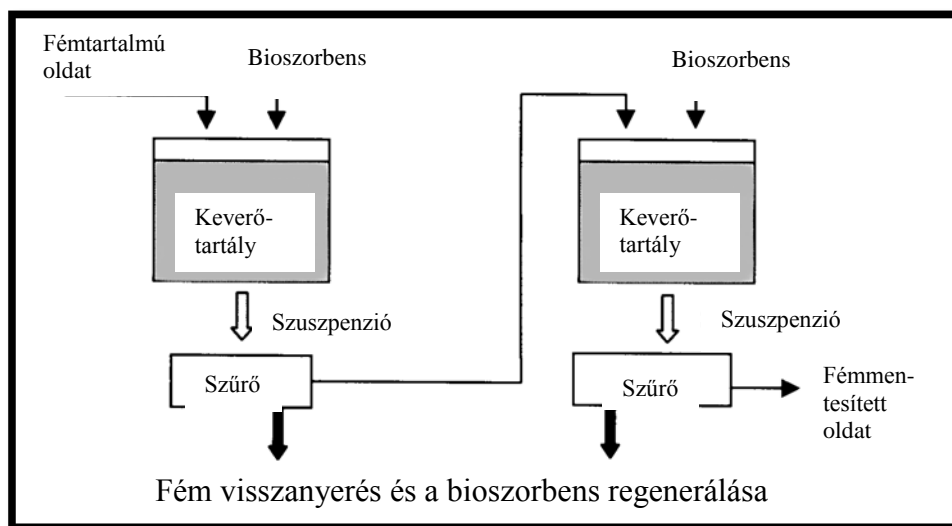
<sup>7</sup> A növényzet és a talaj együttes párolgása





5. ábra: Víz tisztító bioreaktor [9]

Megemlítendő biológiai eljárás még a *bioszorpció* is. Egyes mikroorganizmusok, illetve azok metabolikus termékei képesek a fémeket koncentrálni és akkumulálni híg vizes oldatból, vagy a szilárd fémrészecskék megkötésével, vagy a fémek oldhatatlanná tételével. Ennek a folyamatnak az is az előnye, hogy fémeket nyerhetnek általa vissza gazdaságosan. Emellett alkalmas a szennyvizek kezelésére is. Ezt a folyamatot szemlélteti a 6. ábra.

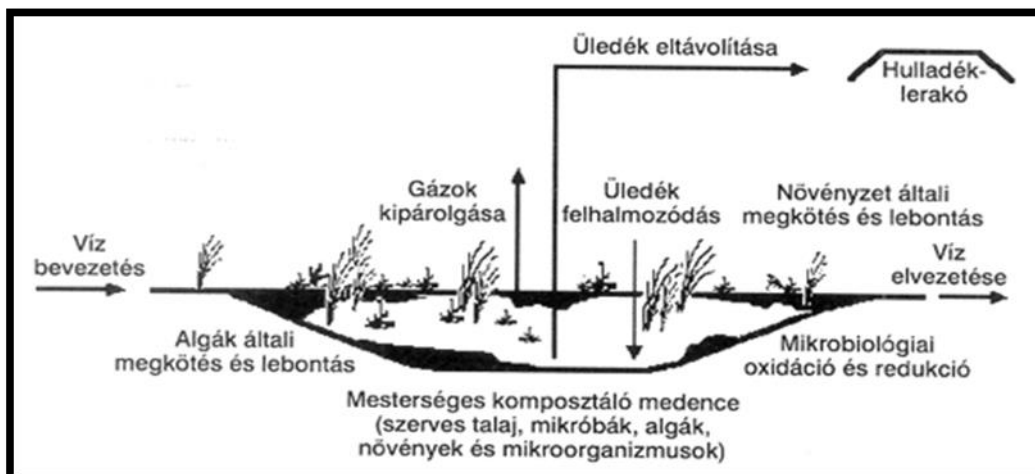


6. ábra: Kétféle bioszorpció rendszer [10]

Jóllehet sokan úgy értelmezik, hogy nem is történik beavatkozás, a kármentesítés egyik módszere a *természetes lebontás*. Ilyen természetes folyamatnak számít pl. a hígulás, kipárolgás, biológiai lebomlás, adszorpció. Ennek alkalmazásakor megtörténik a terület feltárása, a szennyeződés lebomlásának modellezése, melynek segítségével előre jelezhető, hogy milyen mértékű lebomlásra lehet számítani a hely és az idő függvényében. Ilyenkor

folyamatosan monitorozzák a lebomlás folyamatát, és ellenőrzik a sebességét. Természetesen ezt a megoldást közvetlen kockázat fennállása esetén tilos választani, ráadásul idő- és adatigényes folyamat, melynek során bármikor különleges beavatkozásra lehet szükség, amennyiben esetleg a lebomló, átmeneti állapotban keletkező anyagok még veszélyesebbek, mint a kiinduló szennyezők.

Az úgynevezett *wetlandok*, azaz mesterségesen létrehozott vizenyős területek több módszer együttes alkalmazásával jönnek létre (ld.alább a 7. ábra egy keresztmetszeti rajzzal és egy megvalósított wetland formációval). A kisebb tavak, mesterséges csobogók, halastavak kialakításával fizikai, geokémiai és biológiai folyamatok révén kötődnek vagy bomlanak le egyes, a vizekben jelenlévő szennyeződések. A wetland magában foglal jó néhány vizenyős területre jellemző flóra- és faunaelemet, illetve szerepet játszanak a medence alján létrejövő iszapban az algák, mikrobák és mikroorganizmusok is. A szennyező anyagok eltávolítása megtörténhet ioncserével, adszorpcióval, geokémiai vagy mikrobiális redukció/oxidáció útján való kicsapatással. A tisztítandó vizet a területre aerob és anaerob útvonalon is el lehet juttatni, az ezen régiókban megtalálható katalizáló baktériumok elősegítik az oxidációt és/vagy redukciót. A kicsapatott és adszorbeált szennyező anyagok leülepednek az iszapba, vagy elraktározódnak az egyes növényekben, illetve kiszűrődhetnek a porózus közege. A víz tisztítását, tisztulását sokszor mesterséges szökőkutak telepítésével, levegőztetéssel is segítik.



7.ábra: Mesterségesen létrehozott vizenyős terület, wetland lehetséges keresztmetszete és természetbeli megvalósítása [3][11]

Bár nem elsősorban káreset-elhárítási módszer, de a felsorolásból természetesen nem hiányozhat a szennyvíztisztítás sem, amely általában mechanikai, fizikai-kémiai, és biológiai részre tagolódik és integrál magába jó néhányat a fentebb említett módszerek közül.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Ahogy többször hangsúlyoztam, vízbázisaink legalább annyira sérülékenyek és támadhatóak, mint amennyire elengedhetetlenek a mindennapi életünkhöz. Az első és második cikkben bemutatott kármentesítési módszerek sokban hozzájárulnak ahhoz, hogy megszabadíthassuk környezetünket, és ezen belül vízkészleteinket bizonyos szennyezésektől. Ezen második cikk kifejezetten a vízbázisok mentesítésére alkalmazott műszaki megoldások biológiai módszereit célozta bemutatni. Az egyes technológiák külön-külön vagy egymással ötvözve, egymást kiegészítve is alkalmasak a felszíni, felszín alatti, a csurgalék- és talajvizek megtisztítására, az egyes szennyezőanyagok eltávolítására, még akkor is, ha némelyik gyakorlati alkalmazása pillanatnyilag még nem megoldható annak esetleges hátrányai miatt. A módszerek rohamosan fejlődnek, egyre újabbakat kísérleteznek ki, és egyre nagyobb hangsúlyt fektetnek a környezetbarát technológiák alkalmazására, amelyek kevésbé drasztikus beavatkozással járnak. Ezáltal feltehető, hogy idővel mind nagyobb teret nyernek majd a kármentesítésben. Hiszen nem egy biológiai eljárás tulajdonképpen a természetben is bekövetkező folyamatokat képezi le, csak felerősíti, felgyorsítja azokat, növények telepítésével rehabilitálja a környezetet, hozzájárulva a szennyezettség-mentesítés mellett a talajerózió elleni küzdelemhez, sőt, a megfelelő növényfajok alkalmazásával még a fenntartható energiatermeléshez is.

Hogy ezen módszereknek mennyire helyük van a kármentesítés során, bizonyította a nem is olyan régmúltban bekövetkezett Vörösizsap katasztrófát követő folyamat is, ahol a szennyezett talaj és a patak fizikai és kémiai mentesítési eljárásait már bioremediációs módszerekkel ötvözték, amelyek nem csak a talaj és a vízbázisok tisztulásához járulnak hozzá, de a tájképi környezetet is visszaállítják.

Valószínűleg megfontolandó lenne például fitodegradációs módszer használata Garé és Hidas települések környezetében is, hogy a Budapesti Vegyi Művek által ott deponált klórbenzol tartalmú vegyi hulladékból származó elszennyezett talajt, és rajta keresztül a vízbázisokat is megtisztítsák és regenerálják. Hiszen hiába került elszállításra a mérgező hulladék, a lerakóhely környezetében található talaj erősen telítődött a mérgező anyagokkal, és a településeket ellátó vízbázisokat fenyegetik. Ugyanez vonatkozik nem egy, itt nem nevesített szennyezés utáni rekultivációra is.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DR. HALÁSZ L., DR. FÖLDI L.: *Környezetvédelem II.*, ZMNE-BJKMK, ABV Tanszék, Budapest, 2007
- [2] DR. SZABÓ I.: *Remediációs eljárások a szennyezett vizek kárelhárításánál*; Előadás a SZIE Környezetbiztonsági és Környezettokológiai Tanszékén, Gödöllő, 2015. március
- [3] *Kármentesítési kézikönyv 4, Kármentesítési technológiák*, Környezetvédelmi Minisztérium, Budapest, 2001, <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmkezikk4/4-07.htm> (letöltve: 2015. Április 16.)
- [4] TÓTH E.: *A triklóretilén ko-metabolizmusban történő lebontása*; <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/BevProkariotakVilagaba/ch10s03.html> (letöltve: 2015. május 22.)

- [5] Debreceni Egyetem / Pannon Egyetem: *Talajvédelem-talajremediáció; Agrárkörnyezetvédelem modul*, [http://mta-taki.hu/sites/all/files/prints/taki\\_projektek\\_2001\\_2009\\_0.pdf](http://mta-taki.hu/sites/all/files/prints/taki_projektek_2001_2009_0.pdf) (letöltve: 2015. május 18.)
- [6] *A fitoremediációs eljárások összefoglaló sematikus ábrája*; <http://www.intechopen.com/source/html/46355/media/image1.jpeg> (letöltve: 2015. május 24.)
- [7] DR. LAKATOS Gy.: *Fitoremediáció*; [www.kvvm.hu/cimg/documents/Lakatos\\_Gyula\\_Fitoremediacio.ppt](http://www.kvvm.hu/cimg/documents/Lakatos_Gyula_Fitoremediacio.ppt) (letöltve: 2015. május 19.)
- [8] *Példa egy a szennyvíztisztítási folyamatba befogott üvegházról*, fotó: Kulcsár Zoltán, Dél-pesti Szennyvíztisztító, FCSM, üzemlátogatás 2014. február
- [9] *Bioreaktor*; [http://www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb08/Inst/lcb/img/img\\_symbole/bioreaktor.jpg/image\\_view\\_fullscreen](http://www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb08/Inst/lcb/img/img_symbole/bioreaktor.jpg/image_view_fullscreen) (letöltve: 2015. május 24.)
- [10] *Kétlépcsős bioszorpció rendszer*; [http://www.omfi.hu/cejoem/Volume7/Vol7No3-4/CE01\\_3-4-03.html](http://www.omfi.hu/cejoem/Volume7/Vol7No3-4/CE01_3-4-03.html) (letöltve: 2015. május 22.)
- [11] *Wetland*; <http://www.eautarcie.org/images/im002928.jpg> (letöltve: 2015. május 20.)