

KLÓROZOTT ALIFÁS  
SZÉNHIDROGÉNNEL  
SZENNYEZETT FÖLDTANI  
KÖZEG ÉS FELSZÍN ALATTI  
VÍZ KÁRMENTESÍTÉSE  
BIOSZÉNNEL

Tervezési feladat

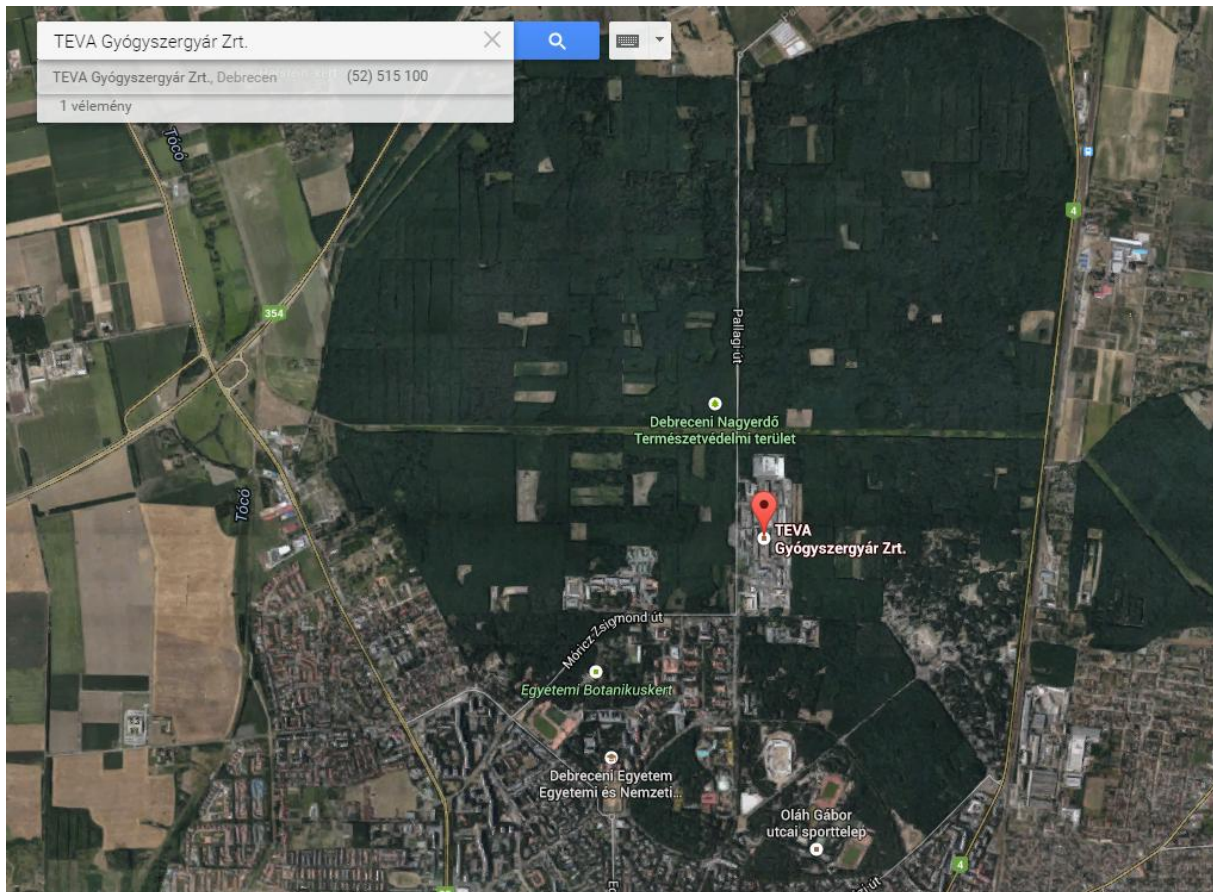
Készítette: Csizmár Panni  
2015. április 12.

## 1 Szennyezett terület jellemzői

Kelet-Magyarország régióban, a debreceni TEVA Gyógyszergyár Zrt. területén valamint közvetlen környezetében igen súlyos klórozott alifás szénhidrogén (fiktív) szennyezés található (1. kép). A szennyező anyag jelentős koncentrációban van jelen mind a földtani közegben mind a felszín alatti vízben, ivóvízbázisokat nem fenyegetve.

A klórozott alifás szénhidrogének a leggyakoribb talaj és talajvíz szennyező anyagok. Az iparban oldószerként és extrahálószerként alkalmazzák. Ha bekerülnek a talajba, akkor nagy affinitással kötődnek a talajszemcsékhez valamint kedvezőtlen fizikai-kémiai tulajdonságukból adódóan (víznél nagyobb sűrűségűek, rosszul oldódnak vízben) könnyen létrehozhatnak egy külön nem vizes fázist (DNAPL- Dense Non-Aqueous Phase Liquid). Ebből a tulajdonságukból fakadóan több évtizeddel ezelőtti szennyezések a mai napig kimutathatóak.

A területre leginkább humuszos homoktalaj jellemző, de néhol találkozhatunk barna erdőtalajjal is. Az érintett szennyezett terület a gyártelep egy olyan részén található, ahol nincsenek épületek. A szennyezés kiindulási pontja egy pontforrás, mely a triklóretilént tartalmazó hordók helytelen tárolásából fakadóan okozott szennyezést. A szennyező anyag a talaj egyre mélyebb rétegeibe hatolt, míg el nem érte a talajvizet, ahol egy külön nem vizes fázist hozott létre. Az így kialakult szennyezési csóva területe **kb. 100 m<sup>2</sup>**. Hozzávetőlegesen a földtani közegben a szennyező anyag **2-5 m mélyig** jutott le.



1. kép A szennyezett terület elhelyezkedése

A szennyező anyag koncentrációk a következőképpen alakulnak a két közegben:

- Földtani közeg: a triklór-etilén (TCE) és cisz-1,2-diklóretilén (c-1,2-DCE) **230 mg/kg** és **420 mg/kg**
- Felszín alatti víz: a triklór-etilén (TCE) **870 µg/l** és a cisz-1,2-diklóretilén (c-1,2-DCE) **930 µg/l**

Ezek a koncentrációk igen nagyfokú szennyezésre utalnak, mivel a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben, a következő **(B) szennyezettségi határértékek** vannak meghatározva:

TCE, c-1,2-DCE földtani közegben: **0,1 mg/kg**

TCE, c-1,2-DCE felszín alatti vízben: **10 µg/l** és **1 µg/l**

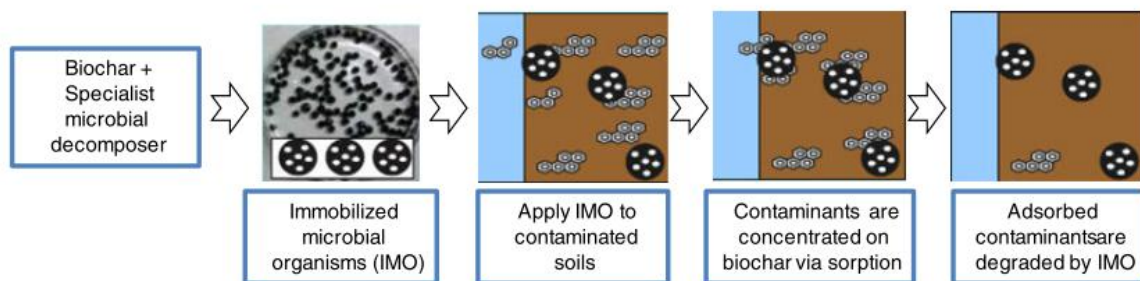
## 1 Technológia részletes leírása

A (klórozott alifás szénhidrogénnel) szennyezett területek kármentesítésének tervezése előtt figyelembe kell venni mind a szennyezett terület mind a szennyező anyag tulajdonságait és e tulajdonságok alapján kiválasztani a leghatékonyabb kármentesítési technológiát. Korábban említett kedvezőtlen szennyező anyag fizikai-kémiai tulajdonsága miatt az ex situ remediációs technológiák alkalmazása nagyon költségigényes lenne, ezért in situ kármentesítési technológia alkalmazása mellett döntöttem.

Mindkét technológia esetében fa hulladékból készült bioszén és egy viszonylag új technikát (IMT- Immobilized microorganism technique) kombinálok egymással.

A bioszén fel nem használható fa hulladékokból készül, ezért elősegíti a fenntarthatóságot és csökkenti a hulladékok mennyiségét. A bioszén számos kedvező hatással bír: nagy felületű, magas mikroporozitású, ezért nagy affinitással köti meg a szerves szennyező anyagokat, illetve fokozza talaj termelőképességét.

Az immobilizált mikroorganizmus technika lényege, hogy egy karrierre (pl: bioszén) rögzítik az adott szennyező anyag lebontására alkalmas baktérium(ok)at, amit ezután bejuttatnak a szennyezett területre, ahol az adott szennyező anyag szorpcióval megkötődik a bioszén felületén, ahol a karrieren rögzített baktérium közvetlenül lebontja azt.



2. kép Az immobilizált mikroorganizmus technika

## 1.1 Szennyezett talaj kármentesítése IMT-vel kombinált bioaugmentációval

Mivel igen nagy kiterjedésű szennyezett talajról beszélünk, ezért egy ex situ remediációs technológia alkalmazása nem lenne költséghatékony, ebből a megfontolásból **in situ bioremediációt** (bioaugmentációt) alkalmazok. Ennek a technológiának az előnyei közé tartozik az, hogy helyben kivitelezhető, talajkitermelés hiánya miatt a szállítási költségek alacsonyak, valamint a helyi környezet csak minimálisan változik meg az eljárás során, a szennyező anyag eliminálása folyamatos.

A bioaugmentáció, annyival több egy egyszerű biostimulációnál, hogy a tápanyagok injektálása mellett speciális deklorináló mikrobaközösségeket (pl: *Dehalococcoides sp.*, *Desulfitobacterium dehalogenans*, *Desulfomonile tiedjei*, *Sulfurospirillum sp.*, *Geobacter lovleyi*, *Dehalobacter restrictus*, stb.) is bejuttatunk a talajba. Erre a lépésre azért van szükség, mert az ilyen típusú baktérium törzsek sok esetben hiányoznak a szennyezett területről, ennek következtében a szennyező anyagok lebontása nagyon lassan megy végbe.

Az immobilizált mikroorganizmus technika alkalmazása során nagyon fontos, hogy a felhasznált karrier környezetbarát legyen, mivel a talajba juttatás után az adalékanyagot nem használjuk újra, ezért ennek pl. lebomlónak kell lennie. A karrierek fontosak abból a szempontból, hogy egy védő közeget hoznak létre annak érdekében, hogy csökkentsék a kompetíciót az őshonos baktériummal szemben. A karrier nemcsak a mikroorganizmus számára szolgál adszorpciós helyként, hanem a szennyező anyag számára is. A karrieren adszorbeálódott szennyező anyag mennyisége befolyásolja a szennyező anyag hozzáférhetőségét a talajban.

### 1.1.1 Felhasznált anyagok, módszerek és várható eredmények

A karrierre egy kevert kultúrát, a KB-1 kultúrát immobilizáljuk. A KB-1 kultúra egy kevert kultúra, mely a deklórozó mikroorganizmus (*Dehalococcoides sp.*) mellett más baktériumokat (metanogén, acetogén, szulfát redukáló baktériumok) is tartalmaz. Ezek a mikroorganizmusok segítik a deklórozó törzs növekedését azáltal, hogy a kedvező redukzív környezetet alakítanak valamint tápanyagokat és vitaminokat szintetizálnak. A *Dehalococcoides sp.* törzs az anaerob redukzív deklórozás folyamatán keresztül bontja le a klórozott alifás szénhidrogéneket. A folyamat érdekessége, hogy maga a szennyezőanyag elektron akceptorként, míg a hidrogén elektron donorként szolgál a baktérium enzimei számára. A redukzív deklórozás során a szennyező anyagban található klór atomok hidrogén atomokra cserélődnek és kloridion formájában távoznak. A baktérium számára szükség van C-forrásra is, ezt a szerepet a bioszén tölti be. Esetleg ha nagyon lassan táródna fel a bioszén, akkor szükség lehet plusz C-forrás adagolására is. A bioszénen immobilizált kultúra mellett elektrondonorként poliacetátot is adagolunk a rendszerbe. A poliacetát a talajvízzel keveredve laktáttá alakul, amelyet a baktérium enzimei átalakítanak és hidrogén keletkezik.

A baktériumok immobilizációja adszorpcióval történik. Egy kémcsőben összemérjük a baktériumokat és a bioszenet, majd különböző anyagokat adunk a keverékhez (pl: alginát,  $\text{CaCl}_2$ ), végül 12 órán át hagyjuk keményedni a karriert. Ezután egy csőben összemérjük az immobilizált mikroorganizmusokat és a szennyező anyagot (TCE).

A bioszén karrierre felvitt oltókultúrát egy egyszerű bekeveréssel fogjuk bejuttatni a talajba. A bekeverés 5%-ban történik. A bekeverést egy traktor segítségével végezzük, mely kb. 50 cm-es, mély szántással keveri a talajba a bioszén karriert az oltókultúrával. Az első bekeverés után három hónappal megismételjük a bekeverést. Ezután, minden hónapban megmérjük a szennyezőanyag koncentráció változását. Ha monitoring tevékenység során nem tapasztalunk szennyező anyag csökkenést, tovább folytatjuk a háromhavonta történő bekeverést.

A kármentesítés időtartama maximum 5 év. Ez idő alatt cél a kármentesítési célállapot határérték elérése, amit a 219/2004. (VII. 21.) Korm. Rendelet szerint kell meghatározni a (B) szennyezettségi határérték figyelembevételével.

### 1.1.2 Technológia monitoring

A kármentesítés során folyamatosan, havi mintavétellel végzünk technológia monitoringot, melynek segítségével nyomon követjük a szennyező anyag (TCE) koncentráció változását. A monitoring tevékenység során igyekszünk minél több helyről talajmintát venni és azt minél jobban homogenizálni.

A kármentesítés befejezése után a monitorozással az eljárás ellenőrizhető. Másrésztől, vizsgáljuk vagy igazoljuk a kármentesítési célérték elérését. A monitoring tevékenység körülbelül 4 évig zajlik negyed évenkénti mintavételezéssel. A mintavételezések alkalmával a következő paramétereket vizsgáljuk: szennyező anyag koncentráció, bomlási végtermékek, tápanyagsók, elektron donorok/akceptorok, szennyezőt bontó baktériumszám, a terület jellemzői: pH, redoxpotenciál, elektromos vezetőképesség, hőmérséklet.

### 1.1.3 Technológia verifikáció

#### **Technológiai hatékonyság**

A technológia 90-95%-os hatékonysággal tudja eltávolítani a szennyező anyagot a szennyezett területről.

#### **Környezeti hatékonyság**

- Kármentesítés előtt:  $RQ = PEC/PNEC = 230/0,1 = 2300$
- Kármentesítés után:  $RQ = PEC/PNEC = 18,4/0,1 = 184$

A technológia alkalmazás korlátjai:

- lokális kockázat: toxikus intermedierek keletkezése (VC)
- globális kockázat: a technológia energiafelhasználása, időigénye

#### **Gazdasági hatékonyság**

*Ex situ* technológia költségekkel összevetve ez a technológia jóval olcsóbb, mert nincs talajkitermelés. Viszont a monitoring tevékenység növeli a költségeket. Technológia költsége kb. 5- 10 millió Ft között változhat.

#### **Költségek:**

#### **Bekeveréshez szükséges traktor üzemeltetési költségei (üzemanyag ára és a munkaerő):**

1 bekeverést kb. 1 – 2 óra alatt el lehet végezni.

Munkaerő 1000 Ft/óra

Üzemanyag: 370 Ft/l

Egy traktor 4 óra alatt kb. 40 l üzemanyagot fogyaszt

1 óra/ 10 l/ 3700 Ft

1 bekeverés kb. 4700 Ft

**1 évben a legrosszabb esetben négyszer történik bekeverés:  $4 \times 4700 \text{ Ft} = 18\,800 \text{ Ft}$**

#### **KB-1 oltókultúra ára:**

50 L oltókultúra/bekeverés

100 L oltókultúra ára: 840 000 Ft -> 50 L oltókultúra ára: 420 000 Ft

4 bekeverés/ év -> **1 680 000 Ft/ év kerül az oltókultúra.**

Bioszén előállítás és szállítása (közös tervezés részéből)

Bioszén alapanyag a fanyesedék: kb 7,5 Ft/kg áron lehet beszerezni.

1 tonna = 7500 Ft

**40 tonna = 300 000 Ft**

A beszerzett alapanyagot egy kell szállítani a 100 km-re lévő pirolizálóba. Ilyen nagy mennyiség szállítása kedvezőbb vasúttal.

**Vasúti szállítás: 150 Ft/km, 90 km= 13 500Ft**

1 vagonra kb. 40 tonna fér el

A vasúttól el kell szállítani az alapanyagot kisteherautóval a 10 km-re lévő pirolizálóba. Ehhez át kell rakodni az alapanyagot a kisteherautóra. Ezt egy markolóval kb. 1 óra alatt meg lehet valósítani. **A markoló órabére 5000 Ft.**

Kisteherautó szállítás: 250 Ft/km, 10 km= 2500 Ft/ km

1 teherautó kb. 10 tonnát tud egyszerre szállítani,

**40 tonna alapanyag szállítása a pirolizálóig: 4x2x2500 Ft/km= 20 000 Ft**

**Összesen: 300 000 Ft+13 500 Ft+5000 Ft+20 000 Ft= 338 500 Ft**

Monitoring tevékenység: 2 00 000 – 3 000 000 Ft/év



## SWOT-elemzés

### ELŐNYÖK

- Teljes mértékben lebontható a szennyezőanyag etilénig, nem keletkezik toxikus köztitermék
- Egyszerű eljárás, agrotechnikai eszközök alkalmazásával kivitelezhető
- A technológia alacsony költségű
- Környezettudatos, hiszen hulladékból készült anyagot használ fel
- A bioszén nagy szerves anyag tartalma és egyéb kedvező tulajdonságai miatt még a talaj minőségét is javíthatja

### HÁTRÁNYOK

- A szennyezőanyag lebontásának mértéke és gyorsasága függ a talajban jelenlévő degradációra alkalmas baktériumoktól, ezért a technológiát az adott talajra kell optimalizálni
- A hatékonyságot rontják a talaj kedvezőtlen tulajdonságai (pH, hőmérséklet, C forrás)
- A nagymértékű monitoring növeli a költségeket

### LEHETŐSÉGEK

- Más típusú hulladékokból előállítható bioszén is használható lehet
- Más szennyezőanyaggal szennyezett terület kármentesítésére is alkalmas lehet a módszer (pl. PAH-ok)

### VESZÉLYEK

- Gondoskodni kell a keletkezett etilén és sósav eltávolításáról
- Nem megfelelő technológiai hatékonyság esetében felhalmozódhat a szubsztrátnál még toxikusabb vinil-klorid

#### 1.1.4 Zöld bioremediáció

A zöld bioremediáció alatt, azokat a legjobb menedzsment gyakorlatokat (BMPs- Best Management Practices) értjük, melynek segítségével csökkenthető magának a kármentesítése technológiának az ökológiai lábnyoma. A zöld bioremediáció központi elemei közé tartozik az energiafelhasználás csökkentése valamint helyettesítése más megújuló energiaforrásokkal, üvegházhatású gázok kibocsátásnak csökkentése, vízfelhasználás csökkentése, hatékonyabb anyagfelhasználás és hulladékok keletkezésének minimalizálása, kármentesítés során az ökoszisztéma védelme. A zöld remediációs gyakorlatok a kármentesítés kezdetétől a monitoring tevékenység végéig alkalmazhatóak.

A technológia zöldítését elősegíti az, hogy bioszenet használunk fel szemben más kémiai anyagokkal, illetve az oltóanyag bejuttatása során napenergiát is fel lehet használni, ezzel is csökkentve az energia felhasználást.

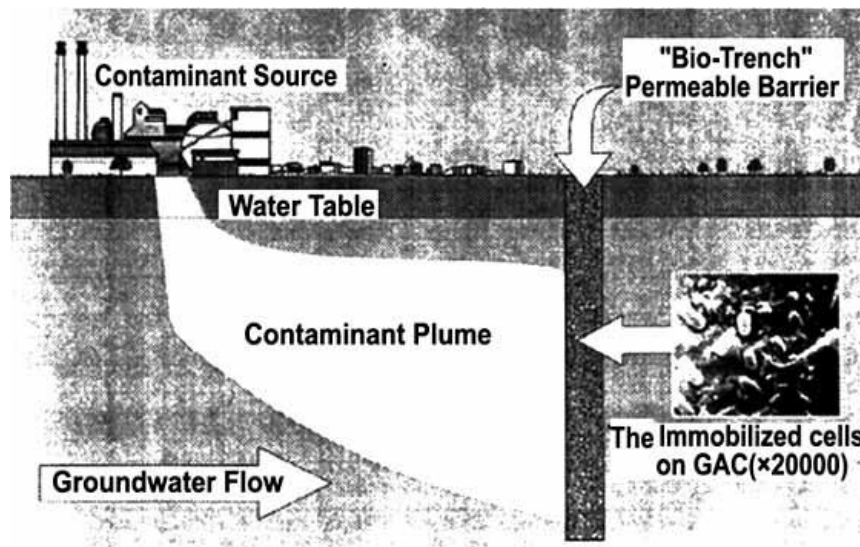
## 1.2 Szennyezett felszín alatti víz kármentesítése IMT-vel kombinált PRB-vel

A szennyezett felszín alatti víz esetében permeábilis reaktív részfalat (PRB) fogok alkalmazni. Más kármentesítési technológiát is számításba vettem, mint például az *in situ* sztrippelést, de ennek a technológiának a negatívuma, a magasabb energia költségek mellett, hogy a szennyezett levegőt is ártalmatlanítani kell (bioszűrők vagy aktív szenes szűrők alkalmazásával), ami a költségeket nagyban növeli.

A permeábilis reaktív részfal a felszín alatti víz áramlási irányába épített átfolyós reaktor. A szennyezett felszín alatti víz tisztítása *in situ* módon történik, azaz a víz kiszivattyúzása nélkül. A szennyező anyag ártalmatlanítását a reaktív részfal töltete végzi, oly módon, hogy a szennyezett felszín alatti víz keresztüláramlik a részfalon és a szennyező anyagok a töltetben lebomlanak vagy adszorbeálódnak.

Általában a reaktív részfal töltete a nanovas, azonban ennek az anyagköltsége nagyon magas, így a bioszén alkalmazása egy jó alternatívája a nanovasnak, mert költséghatékonyabb. Ebből az okból kifolyólag fogom a bioszén karrierként alkalmazni az immobilizált mikroorganizmus technika segítségével. Ez a bioszén, tápanyag és C forrásként fog szolgálni a klórozott alifás szénhidrogének lebontását végző baktériumok számára. Továbbá HRC-t (Hydrogen Release Compounds - hidrogén leadó anyagok) is fogok a rendszerhez adni, mint elektron donor. A kiválasztott anyag a poliacetát, ami a talajvízzel keveredve laktáttá alakul át.

A következő ábrán látható egy PRB, aminek a töltetét képezik az immobilizált sejtek.



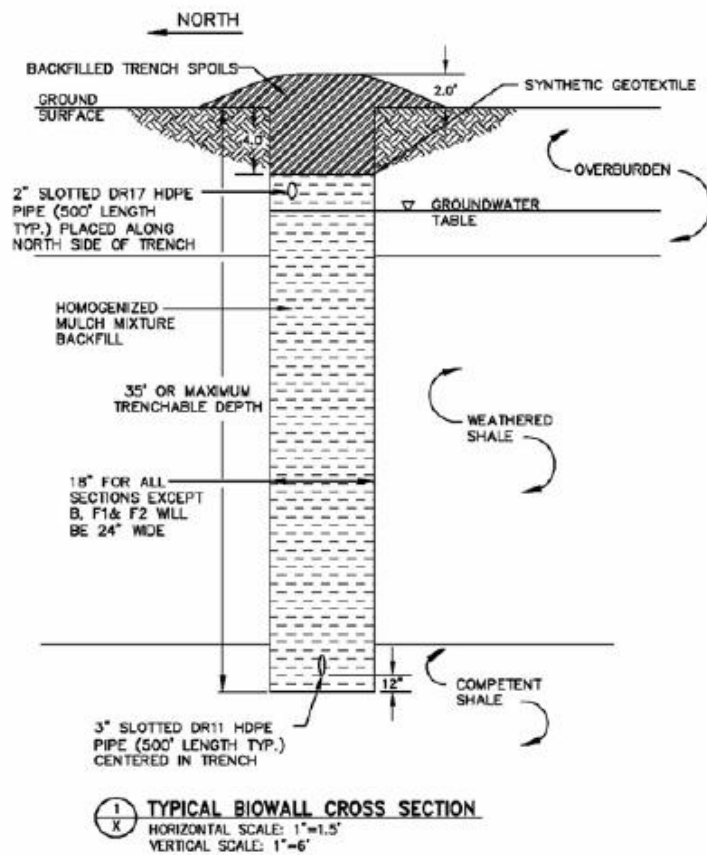
3. kép PRB töltet immobilizált sejtekkel

A PRB kialakítása előtt, a technológia sikeressége érdekében a szennyezett területnek számos kritériumnak meg kell felelnie. Ezek a következők:

- a szennyezett terület közelében ne legyen olyan infrastruktúra, amit megzavarna az ásás és a munkálatok
- a szennyezett csóva 9-10 méternél nem lehet mélyebben
- kevesebb, mint 10000 µg/L szennyező anyag legyen jelen a szennyezett területen
- bizonyítok a szennyezett területen lezajló anaerob deklórozási folyamatra (pl: cDCE)
- hidraulikus konduktivitás kisebb, mint  $3 \cdot 10^{-4}$  cm/sec
- pH 6,5-7,5

Ha ezek a kritériumok teljesülnek, akkor meg lehet kezdeni a PRB tervezését. A tervezési folyamat során nagy hangsúlyt kell fektetni a reaktív résfal megfelelő méretének tervezésére, mivel egy rosszul megtervezett résfal a kármentesítés sikertelenségét eredményezheti.

A résfal hosszúságát tekintve, olyan hosszúnak kell lennie, hogy az egész szennyezési csóvát végig érje. A résfal optimális vastagsága 0,5-1 m között változik, ez a paraméter, ami befolyásolja a szennyező anyag tartózkodási idejét a töltetben. A résfal maximum mélysége 10 m lehet. A következő ábrán látható egy helyesen megtervezett résfal.



3. kép Egy reaktív résfal keresztmetszete

A résfal helyes kialakítása mellett fontos a töltet összetétele is. Általában a hatékony összetétel arány a következő: 50 % bioszén és 40 % homok és 10 % szerves anyagok (pl: Fe, és szulfát). Homokra a permeabilitás növelés érdekében van szükség, míg a szerves anyagokra, azért mert a biológiai szulfát reakció során szulfid keletkezik, ami reagál a vassal és vas-szulfid keletkezik, ami triklór-etilén átalakítását gyorsítja meg c-1,2-DCE-vé.

Az ilyen módszerrel létrehozott PRB akár 10-15 évig is működőképes és ez idő alatt a töltetet csak 3-5 évente kell újratölteni.

### 1.2.1 Technológia monitoring

A kármentesítés során havonta végzünk technológia monitoringot. A monitoring során a szennyezőanyag koncentrációját, sejtszámot (*Dehalococcoides spp.*) valamint a szerves anyagok koncentrációját vizsgáljuk. A szennyezési csóva körül 10 monitoring kutat helyezünk el, melyből havonta veszünk mintát bailer segítségével.

A kármentesítés befejezése után a monitorozással az eljárás ellenőrizhető, másrészt vizsgáljuk vagy igazoljuk, hogy a kármentesítési célt elértük. A monitoring tevékenység körülbelül 4 évig zajlik negyed évenkénti mintavételezéssel. A mintavételezések alkalmával a következő paramétereket vizsgáljuk: szennyező anyag koncentráció, bomlási végtermékek, tápanyagsók, elektron donorok/akceptorok, szennyezőt bontó baktériumszám, a terület jellemzői: pH, redoxpotenciál, elektromos vezetőképesség, hőmérséklet.

## 1.2.2 Technológia verifikáció

### Technológiai hatékonyság

A technológiával közel 85-98 %-os hatékonysággal lehet eltávolítani a szennyező anyagot.

### Környezeti hatékonyság

- Kármentesítés előtti RQ= PEC/PNEC = 870/10=87
- Kármentesítés utáni RQ= PEC/PNEC = 26,1/10=2,61

A technológia alkalmazás korlátjai:

- lokális kockázat: toxikus intermedierek keletkezése (VC)
- globális kockázat: a technológia energiafelhasználása, időigénye

### Gazdasági hatékonyság

Bioszén előállítás és szállítása: Az előző részben részleteztem.

KB-1 oltókultúra:

PRB kialakítása:

A résfal elkészítéséhez szükség van acéllemezre és további kiegészítőkre, valamint munkaerőre.

A tervezett résfal kb. 10 m hosszú és 5 m mély lesz.

Egy 1m x 2m-es acéllemez ára: kb. 12 000 Ft. A kiegészítők együtt: kb. 15 000 Ft/m<sup>2</sup>

**10x5x15 000 Ft = 750 000 Ft**

Az elkészült résfalat be kell helyezni egy kiásott gödörbe. Ehhez szükség van egy markológépre és munkaerőre.

Markológép bérleti díja 1 órára: 5000 Ft

Az ásáshoz kell egy nap és két ember. A munkások bére 1000 Ft/óra.

**5000 Ft x 8 + 2 x 8000 Ft = 56 000 Ft.**

**Összesen: 750 000 Ft + 56 000 Ft = 806 000 Ft**

Monitoring tevékenység (monitoring kutak kialakítása, munkaerő, analitikai vizsgálat):

1 monitoring kút fúrása kb. 20 000 Ft. Én a résfalhoz 10 monitoring kutat tervezek:

10x20 000 Ft = 200 000 Ft

Összetett analitikai vizsgálati csomagok: kb 10- 20 000 Ft/ kút

10x20 000 Ft = 200 000 Ft

**Összesen: 200 000 Ft + 200 000 Ft = 400 000 Ft**

## SWOT-elemzés

### ELŐNYÖK

- Költséghatékonyabb, mintha nanovas töltet alkalmaznánk (bioszén töltettel kialakított PRB közel harmadannyiba kerül, mint egy nanovas töltetű PRB)
- Mélyebb rétegekben (9-10 m) is alkalmazható
- Fenntartási díj alacsony, kis helyigény, alacsony energia költségek
- Felhasznált adalékanyagok olcsók

### HÁTRÁNYOK

- Nagyon sok kritériumnak kell megfelelnie a szennyezett területnek
- A töltetet 4-5 évente kell cserélni, ami növeli a költségeket
- A nagymértékű monitoring rontja a költségeket
- A résfal kiásása nagyon megemeli a költségeket

### LEHETŐSÉGEK

- A szennyezett terület mérete, alakja szerint többféle résfal is alkalmazható
- Nem megfelelő hatékonyság esetében előkezelést (kutakba injektálás) lehet alkalmazni

### VESZÉLYEK

- Gondoskodni kell a keletkezett etilén és sósav eltávolításáról
- Nem megfelelő technológiai hatékonyság esetében felhalmozódhat a szubsztrátnál még toxikusabb vinil-klorid

### 1.2.3 Zöld bioremediáció

A PRB alapján véve egy zöld technológia, mivel passzív működésű, nincs plusz energia és víz felhasználás több mint 10-15 évig is működhet beavatkozás nélkül. Viszont a résfal kialakításához szükség van gépekre, amelyek üzemanyaggal működnek. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése érdekében bioüzemanyagot használata javasolt. A bioszén szállítása a szennyezett területre is növeli a technológia energia lábnyomát. Ennek csökkentése érdekében érdemes minél közelebbi pirolizálót keresni. A technológia zöldítését elősegíti még az is, hogy bioszenet használunk fel szemben más kémiai anyagokkal.

#### Forrásjegyzék

Zhang, Xiaokai: 2013, Using biochar for remediation of soil contaminated with heavy metals and organic pollutants, Environ Sci Pollut Res 20:8472–8483

Baoliang Chen, Miaoxin Yuan, Linbo Qian: 2012, Enhanced bioremediation of PAH contaminated soil by immobilized bacteria with plant residue and biochar as carriers, J Soils Sediments (2012) 12:1350–1359

Lincheng Zhou, Guiying Li, Taicheng An, Jiamo Fu and Guoying Sheng: 2008, Recent Patents on Immobilized Microorganism Technology and Its Engineering Application in Wastewater Treatment, Recent Patents on Engineering, 2, 28-35

<http://costperformance.org/remediation/pdf/Final-Biowall-Protocol-05-08.pdf>

<http://clu-in.org/download/remed/Bioaug2005.pdf>

[http://mokkka.hu/db1/rec\\_list.php?db\\_type=mysql&lang=hun&sheet\\_type=37&datasheet\\_id=1414&sorszam=1414&order=user&sheet\\_type\\_filter=0&sheet\\_lang\\_filter=HU&alluser\\_filter=](http://mokkka.hu/db1/rec_list.php?db_type=mysql&lang=hun&sheet_type=37&datasheet_id=1414&sorszam=1414&order=user&sheet_type_filter=0&sheet_lang_filter=HU&alluser_filter=)

[http://mokkka.hu/db1/rec\\_list.php?db\\_type=mysql&lang=hun&sheet\\_type=37&datasheet\\_id=1414&sorszam=1414&order=user&sheet\\_type\\_filter=0&sheet\\_lang\\_filter=HU&alluser\\_filter=](http://mokkka.hu/db1/rec_list.php?db_type=mysql&lang=hun&sheet_type=37&datasheet_id=1414&sorszam=1414&order=user&sheet_type_filter=0&sheet_lang_filter=HU&alluser_filter=)