



---

**CYCLOLAB**

Cyclodextrin Research & Development Laboratory Ltd.  
Mail address: Budapest, P.O.Box 435, H-1525 Hungary  
Location: Illatos út 7., Budapest, H-1097-Hungary  
TEL: (361) 347-60-60 or -70, FAX: (361) 347-60-68  
E-mail: cyclolab@cyclolab.hu  
Homepage: www.cyclolab.hu

---

A 3D ball-and-stick model of a cyclodextrin molecule, showing a ring of six glucose units. The atoms are represented by colored spheres: purple for oxygen, yellow for carbon, cyan for hydrogen, and orange for oxygen. The model is centered on the page.

**SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK**  
**TRIKLÓRETIÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN**

**NKFP-3/020/2005**


**MOKKA**

**III/4c-6b**

*Készítették:* Fenyvesi Éva, Gruiz Katalin, Atkári Ágota, Balogh Klára, Varga Erzsébet,  
Molnár Mónika, Oláh Eszter, Martinek Andrea


*Ellenőrizte:* Dr. Sente Lajos

2008. november 30.

	<p align="center"><b>SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK</b></p> <p align="center"><b>TRIKLÓRETELÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN</b></p>	Report No: CYL III/4c-6b
		Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 2 of 31

## TARTALOM

Rövid kivonat.....	3
Bevezetés .....	4
2. Kísérleti rész .....	5
2.1. Felhasznált anyagok.....	5
2.2. Technológiai kísérletek .....	5
2.2.1. Félüzemi szabadföldi kísérlet szolubilizálószer (ciklodextrin) alkalmazásával ..5	
2.2.2. Szabadföldi kísérlet hidrogén-peroxid alkalmazásával félüzemi méretben.....6	
2.3. Vizsgálati módszerek .....	6
2.3.1. Klórozott szénhidrogének meghatározása GC-MS módszerrel.....6	
2.3.2. TCE koncentráció meghatározása göztéranalízises gázkromatográfiával.....6	
2.3.3. Klorid-, szulfát-, nitrát-, karbonát- és foszfát-ionok meghatározása kapilláris elektroforézissel .....	7
2.3.4. RAMEB-tartalom meghatározása talajvíz mintákban .....	7
3. Eredmények .....	8
3.1. Félüzemi szabadföldi kísérlet szolubilizálószer (ciklodextrin) alkalmazásával .....	8
3.2. Szabadföldi kísérlet hidrogén-peroxid alkalmazásával félüzemi méretben.....	12
Mellékletek .....	18
1 melléklet A félüzemi szabadföldi kísérlet terve .....	18
2. melléklet Kísérleti jegyzőkönyv .....	20
3. melléklet Térképek.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.1. melléklet A triklóretilén szennyezettséget mutató térkép az összes kúttal ....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
3.2. melléklet A félüzemi szabadföldi kísérletben használt kutak	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

	<p style="text-align: center;"><b>SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK</b></p> <p style="text-align: center;"><b>TRIKLÓRETELÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN</b></p>	Report No: CYL III/4c-6b
		Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 3 of 31


## Rövid kivonat

A szabadföldi kísérleteket a mezőlaki triklóretilénnel (TCE) régóta szennyezett modellterületen, a BME csoportjával közösen összeállított kísérleti terv alapján a Weprot Kft végezte. Technológiamonitoringként a vízminták klórozott szénhidrogén (triklóretilén) szennyezőanyag-tartalmán, pH-ján, vezetőképességén kívül a szerves anionokat (klorid, nitrit, nitát, szulfát, karbonát, foszfát) koncentrációját vizsgáltuk. Feladatunk a minták analízise és ennek alapján a kísérletek értékelése, a technológia verifikálása volt.

Két félüzemi méretű és egy teljes méretű szabadföldi kísérletre került sor.

Az első félüzemi kísérletben szolubilizáló adalék (random metilezett  $\beta$ -ciklodextrin, RAMEB) alkalmazásával végeztünk kísérletet 2 egymáshoz közeli kút bevonásával: a kiszivattyúzott vízbe kevertük a szolubilizálószer, majd visszatöltöttük a kútba. Az egyik kút kezeltek, a mási kút a kezeléseket szüneteiben termeltettük. Az utolsó kezelést követően felváltva szivattyúztuk a két kút egy rövidebb, illetve egy hosszabb hatóidő kivárása után. A szakaszos erőteljes szivattúzás hatására a nem kezelt kútban folyamatosan megjelent a szennyezett víz (átszivárgott az egy nagyságrenddel szennyezettebb RAMEB-bel kezelt kút környezetéből), emiatt a RAMEB-bel nem kezelt kútban jelentősen megnőtt, a RAMEB-bel kezelt kútban viszont a várakozással ellentétben csökkent a TCE-koncentráció. Megállapítottuk, hogy a váltott szivattyúzás és visszatöltés előnyösen hat a szennyezőanyag mobilizálására, viszont a szolubilizálószer jótékony hatása (talán a rövid ható idő miatt) nem jutott érvényre.

A második félüzemi kísérletben szintén két egymáshoz közeli kút használtunk. A váltott kutas szivattyúzást és visszatöltést *in situ* kémiai oxidációval kombináltuk: hidrogénperoxidot adtunk a visszatöltött vízhez, amit kénsavval megsavanyítottunk. Ez a technológia rendkívül hatásosnak bizonyult: 1 napos kezeléssel eltűnt a kutakból a szennyezőanyag. Megfigyeltük, hogy a nagyobb vízhozamú kútban sikeresebb volt a kezelés annak ellenére, hogy kevesebb oxidálószer adagoltunk.

	<b>SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK</b> <b>TRIKLÓRETELÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN</b>	Report No: CYL III/4c-6b
		Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 4 of 31

## Bevezetés

A mezőlaki kísérleti terület klórozott szénhidrogénekkal szennyezett. Triklóretilén (TCE) a fő szennyező komponens, amit korábban fémek zsírtalanítására használtak. Kisebb koncentrációban magasabban és alacsonyabban klórozott etilén és etán is kimutatható a talajvízben. A terület részletes felmérése, a jelenleg működő remediációs technológia (a talajvíz szivattyúzása és ex situ kezelése sztrippeléssel) leírása és az irodalomban fellelhető lehetséges technológiák elemzése korábbi tanulmányunkban található<sup>1</sup>.

Laboratóriumi kísérleteink eredménye szerint, melyeket egy tanulmányban foglaltunk össze<sup>2</sup>, szolubilizálószerrek, pl. ciklodextrin és tenzid segítik a triklóretilén oldódását a talajvízben. Ezekkel az adalékokkal a területen ma alkalmazott, a talajvíz kitermelésén és felszíni kezelésén (pump and treat) alapuló technológia intenzívebbé tehető. A Mezőlakraól származó talajjal és talajvízzel végzett laboratóriumi technológiai modellkísérleteink azt mutatták, hogy a Fenton reakció (kémiai oxidáció hidrogén-peroxiddal vas jelenlétében) *in situ* alkalmazása is jó megoldás lehet a triklóretilén-tartalom csökkentésére.

A szabadföldi kísérletben azt vizsgáltuk,


1. hogyan hat a szolubilizáló hatású ciklodextrin jelenléte a kitermelt víz klórozott szénhidrogén-tartalmára,
2. hogyan változik a klórozott szénhidrogén-koncentráció *in situ* oxidációs technológia során.

Mindkét esetben fontos, innovatív technológiai lépés volt a talajvíz mozgatása (kiszivattúzása és visszatöltése) a fázisok intenzívebb érintkeztetése érdekében.

Mindkét kísérletet félüzemi méretben végeztük el, 2-2 kutat használva, majd az *in situ* oxidációs technológiát a teljes szennyezett területen teljes méretben is alkalmaztuk.

<sup>1</sup> MOKKA tanulmány: BME III/4b – 1.c. Gruiz Katalin-Fenyvesi Éva: TCE és más klórozott szénhidrogénekkal szennyezett talajvíz remediálása. Esettanulmány: Mezőlak az innovatív remediáció modellterülete

<sup>2</sup> MOKKA tanulmány: CycloLab III/4c-6a Fenyvesi Éva, Balogh Klára, Oláh Eszter, Varga Erzsébet, Bártai Borbála, Molina Csaba, Molnár Mónika, Gruiz Katalin: Szabadföldi technológiák laboratóriumi megalapozása technológiai kísérletekkel. Triklóretilén eltávolítása talajmosással, in situ oxidációval és UV besugárzással. Szolubilizálószerrek és koszolvenszek hatása, 2008

	SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK	Report No: CYL III/4c-6b
	TRIKLÓRETELÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN	Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 5 of 31

Technológiamonitoringra vízmintákat vettünk, és vizsgáltuk a klórozott szénhidrogén (triklóretilén)-tartalmat, valamint a pH-n, vezetőképességen kívül a szerves anionokat (klorid, nitrit, nitát, szulfát, karbonát, foszfát).

A kísérletek értékelésére a MOKKA négy lépcsős verifikációs rendszerét alkalmaztuk<sup>3</sup>.

## 2. Kísérleti rész

### 2.1. Felhasznált anyagok

RAMEB: Random metilezett  $\beta$ -ciklodextrin (CYL 1859) Wacker Chemie (München, Németország)

Kénsav (Molar), foszforsav (Reanal), hidrogén-peroxid (Reanal).


A többi vegyszert a Reanaltól és a Molartól szereztük be.

### 2.2. Technológiai kísérletek

#### 2.2.1. Félüzemi szabadföldi kísérlet szolubilizálószer (ciklodextrin) alkalmazásával

A kísérlet tervét az 1. mellékletben találjuk, a kísérleti jegyzőkönyvet a 2. számú mellékletben. Ebben a kísérletben az MK-16 és MK-24 kutakat használtuk. A két kút távolsága 3,3 m. A kísérletet legalább 3-szoros kúttérfogatnyi talajvíz kiszivattyúzásával kezdtük előbb az MK-16, majd az MK-24 jelű kútból (1. mintavétel). Ezután ezt megismételtük úgy, hogy az MK-16-ból (ez a kút van legközelebb a szennyező triklóretilén lencséhez) 60 l vizet szivattyúztunk ki (2. mintavétel). Ebből 20 l-hez hozzákevertük a 1,5 l 50%-os RAMEB-oldatot, amit betöltöttünk a kútba, majd még 20 l vizet öntöttünk utána. A kút elnyelte a teljes térfogatot, mintát sem tudtunk venni. A másik kútból kiszivattyúztuk a 3-szoros kúttérfogatnyi vizet (360 l) (3. mintavétel). A kezelőkútba (MK-16) újabb 20 l RAMEB-bel elkevert talajvizet töltöttünk be, amit további 20 l víz hozzáadása követett. Újfént kiszivattyúztuk a 3-szoros kúttérfogatot a másik (MK-24) kútból (4. mintavétel). Majd ezt harmadszor is megismételtük (5. mintavétel). Két órával az utolsó beadagolás után az MK-16 kútból szivattyúztunk 60 l vizet, ami erősen habzott, majd a hatóidő növelése

<sup>3</sup> MOKKA tanulmány: BME III/3a – 1.c. Gruiz, K., Molnár, M., Fenyvesi, É.: Evaluation and verification of soil remediation, 2007

	<b>SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK</b> <b>TRIKLÓRETELÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN</b>	Report No: CYL III/4c-6b
		Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 6 of 31

érdekében ezt vissza is töltöttük. Másnap reggel szivattyúztunk ki 90 l vizet az MK-16 kútból (kicsit még ekkor is habzott) és 120 l vizet az MK-24 kútból (7. mintavétel), majd a mintavételt este megismételtük (12. mintavétel).

### ***2.2.2. Szabadsföldi kísérlet hidrogén-peroxid alkalmazásával félüzemi méretben***

Ehhez a kísérlethez a kivitelező Weprot Kft új kutat (M-3) létesített az MT-1 kút közelében. A kísérlet tervét az 1. mellékletben találjuk, a kísérleti jegyzőkönyvet a 2. számú mellékletben.

A beadagolást az M-3 kútban kezdtük a 8. mintavétel után (a mintavételek sorszáma folyamatos a két kísérletben), majd az MTE-1 kútban folytattuk (9. mintavétel), és megismételtük az M-3 kútban (10. mintavétel). Ezután 3-szoros mennyiségben adtuk az oxidálószer az MTE-1-es kúthoz (11. mintavétel), és ezt is megismételtük az M-3 kútban (12. mintavétel). Este mindkét kútból szivattyúztunk (13. mintavétel), majd másnap is mintát vettünk (14. mintavétel).

## **2.3. Vizsgálati módszerek**

### ***2.3.1. Klórozott szénhidrogének meghatározása GC-MS módszerrel***

A vizsgálatokat a Bálint Analitika Kft végezte az „Illékony halogénezett szénhidrogének meghatározása” című MSZ 1484-5:1998 számú szabvány szerint.

### ***2.3.2. TCE koncentráció meghatározása gőztéranalízises gázkromatográfiával***


A TCE koncentrációt gőztéranalízissel mértük a következőképpen:

1 ml talajvíz mintát és 50 µl DMF-t mértünk a HS edénybe (19,5 ml), jól lezártuk, majd 90°C-on 20 perc inkubálás után a gőztérből 95°C-os tűvel 1 ml mintát vettünk.

#### Kromatográfiás körülmények:

Gázkromatográf:	Shimadzu GC-17A
Detektor:	Lángionizációs detektor (FID)
Injektor:	Shimadzu AOC-5000 automata injektor
Szoftver:	Class VP 7.4

*Gázok:*

	<b>SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK</b> <b>TRIKLÓRETELÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN</b>	Report No: CYL III/4c-6b
		Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 7 of 31

Vivőgáz: Hélium (99,999 %)  
Segédgázok: Nitrogén (99,999%)  
Szintetikus levegő (99,999%)  
Hidrogén (Whatman Hidrogén generátorból)

Oszlop: Rtx-624 (30m x 0,32mm x 1,8µm)

Hőfokprogram: A kolonnát 60°C-on tartjuk 9 percig, majd 220°C-ra fűtjük 40°C/min-es felfűtési sebességgel, ezen a hőmérsékleten tartjuk 2 percig.

Injektor hőmérséklete: 200°C

Detektor hőmérséklete: 220°C

Split/splitless: Split 20:1

Lineáris áramlási sebesség: 34 cm/s

Injektált térfogat: 1 ml

### ***2.3.3. Klorid-, szulfát-, nitrát-, karbonát- és foszfát-ionok meghatározása kapilláris elektroforézissel***

A mintákat hígítás nélkül használtuk. A méréseket HP 3D CE típusú készüléken végeztük 33 cm hosszúságú szilika kapillárist alkalmazva 25 °C –on. Az injektálás 50 mbar nyomáson történt 4 másodpercig. A háttélelektrolit diamino-propán:Trisz:benzol-dikarbonsav puffer volt (pH 8). A kalibrációt megfelelő nátrium-sókkal végeztük.


### ***2.3.4. RAMEB-tartalom meghatározása talajvíz mintákban***

A talajvíz RAMEB tartalmának mennyiségi mérésére HPLC módszert dolgoztunk ki.

A méréseket Agilent 1100 készüléken végeztük, amelyet a diódasoros UV (DAD) detektor mellett fényszóródásos detektorral is felszereltünk, amely alkalmas az UV elnyeléssel nem rendelkező nem illékony molekulák detektálására.

Az elválasztásra speciális, a ciklodextrinekre szelektív kromatográfiás oszlopot használtunk (CD Screen, Chiroquest Kft.).

Az eluens rendszer acetonitrilt és vizet tartalmazott. Gradiens elúciót használtunk az apoláros RAMEB komponensek gyorsabb eluálására, amely lehetővé tette, hogy a több

	<b>SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK</b> <b>TRIKLÓRETELÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN</b>	Report No: CYL III/4c-6b
		Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 8 of 31

izomercsoportból álló RAMEB-et egy “csúcsba” nyomjuk össze, és így a mennyiségi kiértékelés is lehetővé válik. (A ág: 10% acetonitril, B ág: 90% acetonitril)

A minták dúsítására (10 ill. 100-szoros) szilárd fázisú extrakciót (SPE) használtunk (SPE cső: LiChrolut RP18, 500mg töltet). A felvitt vizes mintákat mosás, szárítás után 90%-os metanollal eluáltuk, majd beszárítás után kis mennyiségű eluensben (A ág) oldottuk, majd mértük.

### 3. Eredmények

#### 3.1. Félüzemi szabadföldi kísérlet szolubilizálószer (ciklodextrin) alkalmazásával


Laboratóriumi modellkísérleteink alapján random metil- $\beta$ -ciklodextrin (RAMEB) jelenlétében jelentősen nő a TCE vizes oldékonysága. Erre számítva végeztük a félüzemi szabadföldi kísérletet, melyben az MK-16 jelű kútba 3-szor betöltöttünk 1,5 l 50%-os RAMEB-oldatot 20 l talajvízbe keverve, és figyeltük a TCE koncentráció változását a szomszédos MK-24 jelű kútban is úgy, hogy a kísérleti terv szerint (1. melléklet) az egyik kútat kezeltük a másik kút a kezeléseik szüneteiben termeltettük. Az utolsó kezelést követően a két kút felváltva szivattyúztuk (2. melléklet, kísérleti jegyzőkönyv).

A minták klórozott szénhidrogén-tartalmát a Bálint labor mérte az MSZ 1484-5:1998 számú szabvány szerint GC-MS technikával. A szerves ionokat kapilláris elektroforézissel, a RAMEB-tartalmat HPLC-vel határoztuk meg. Az eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A pH hibahatáron belül állandó volt:  $7,2 \pm 0,1$  az MK-16 és  $7,1 \pm 0,1$  az MK-24 kútból származó mintákra. A vezetőképesség az MK-24 kútban nem változott ( $1200 \pm 11 \mu\text{S}$ ), de az MK-16 kútban az 5. mintavételre megnőtt feltehetően a klorid-koncentráció átmeneti növekedése miatt (1. ábra).

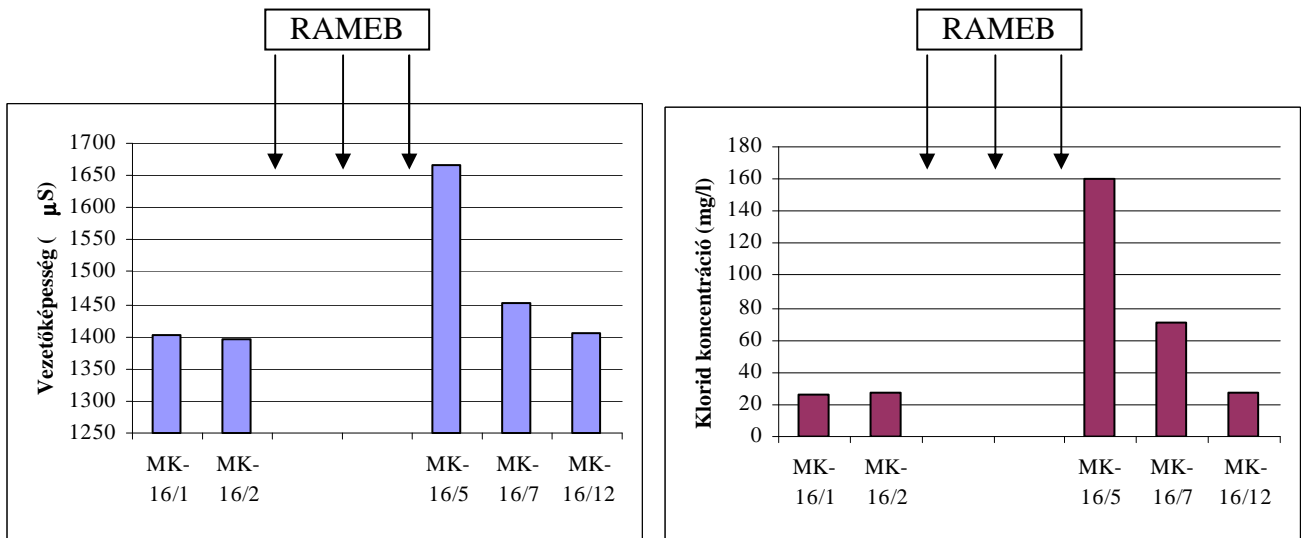
A kloridon kívül a többi ion koncentrációjára nem volt hatással a kezelés:  $438 \pm 27 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$ ,  $15,1 \pm 0,5 \text{ mg/l NO}_3^-$ ,  $529 \pm 26 \text{ mg/l HCO}_3^-$ . Az MK-24 kútban a klorid-koncentráció sem változott ( $12,8 \pm 1,2 \text{ mg/l}$ ). A többi ion:  $314 \pm 7 \text{ mg/l SO}_4^{2-}$ ,  $20,3 \pm 1,1 \text{ mg/l NO}_3^-$ ,  $539 \pm 21 \text{ mg/l HCO}_3^-$ .



	SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK	Report No: CYL III/4c-6b
	TRIKLÓRETELÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN	Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 9 of 31

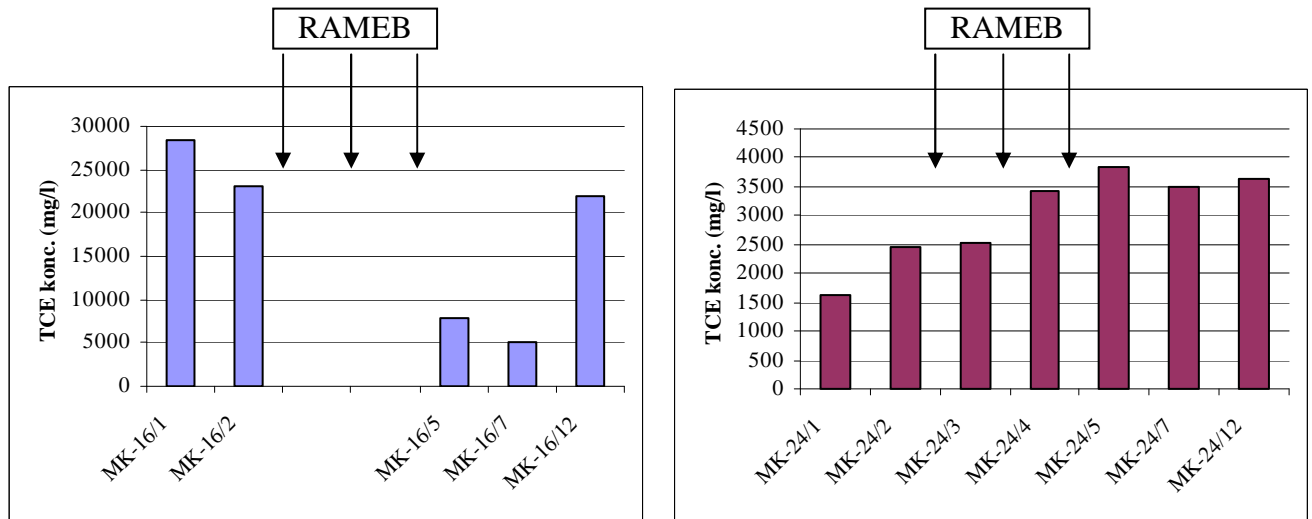
1. táblázat. A féلزemi kísérlet során vett minták jellemzői

	pH	vez.kép. ( $\mu$ S)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	RAMEB (%)	TCE ( $\mu$ g/l)	PCE ( $\mu$ g/l)	1,2- DCE ( $\mu$ g/l)	1,1- DCE ( $\mu$ g/l)	Triklóretán ( $\mu$ g/l)	Tetraklór- etán ( $\mu$ g/l)	Összes klórozott alifás ( $\mu$ g/l)
MK-16/1	6.86	1401	25.92	493.9	15.21	587.2		<b>28300</b>	3280	6.33	0.66	16.6	2.87	<b>31600</b>
MK-16/2	7.13	1395	27.76	463.1	14.51	570.5		<b>23000</b>	2460	12.3	2.33	12.2	1.58	<b>25500</b>
MK-16/5	7.27	1666	160.59	439.6	15.67	507.4	<b>0.56</b>	<b>7810</b>	540	10.4	0.62	2.8	0.12	<b>7810</b>
MK-16/7	7.26	1452	70.16	410.3	15.03	521.6	<b>0.55</b>	<b>5110</b>	177	12.5	0.83	2.35	nd	<b>5300</b>
MK-16/12	7.14	1404	27.88	465.1	14.71	558.8	<b>0.03</b>	<b>21900</b>	168	5.81	0.65	9.33	nd	<b>22100</b>
MK-24/1	6.97	1193	10.55	307.2	20.23	534.5		<b>1640</b>	186	13.2	0.2	0.76	0.15	<b>1840</b>
MK-24/2	7.14	1196	12.46	312.8	20.88	512.7		<b>2460</b>	278	10.1	0.21	1.65	0.43	<b>2750</b>
MK-24/3	7.16	1183	12.66	310.5	18.48	511.8	<b>&lt; 0.01</b>	<b>2510</b>	276	9.65	0.18	0.77	0.36	<b>2800</b>
MK-24/4	7.15	1199	14.03	307.2	19.41	560.9	<b>&lt; 0.01</b>	<b>3410</b>	390	10.2	0.35	1.11	0.37	<b>3810</b>
MK-24/5	7.12	1209	14.35	318.9	21.43	551.8	<b>&lt; 0.01</b>	<b>3830</b>	447	10.4	0.34	1.79	0.53	<b>4290</b>
MK-24/7	7.09	1214	12.82	325.2	20.19	560.4	<b>&lt; 0.01</b>	<b>3490</b>	401	12.6	0.31	1.32	0.39	<b>3910</b>
MK-24/12	7.13	1209	12.68	320.5	21.36	542.3	<b>&lt; 0.01</b>	<b>3630</b>	381	11.3	0.31	1.47	0.43	<b>4060</b>



1. ábra Vezetőképesség és klorid-koncentráció a RAMEB oldattal kezelt (MK-16) kútban

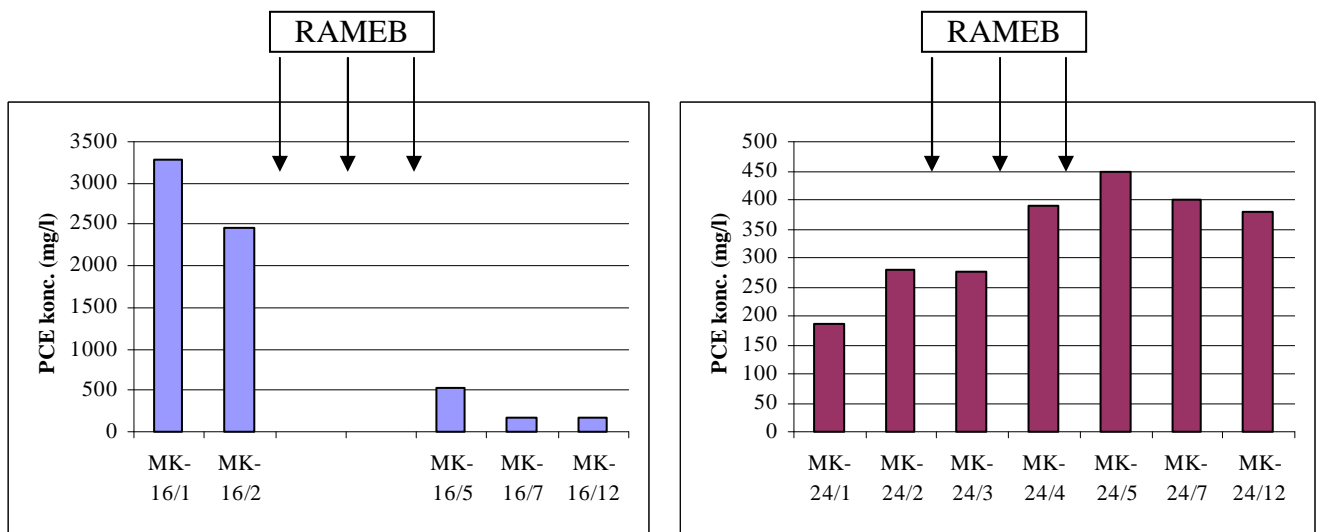
A TCE koncentráció mindkét kútból kiszívott talajvízben megváltozott: már önmagában a szivattyúzás hatására megindult egy kiegyenlítődés (az MK-16 kútban csökkent, az MK-24 kútban nőtt a TCE koncentráció), majd a szivattyúzással összekötött RAMEB kezelés hatására ez a folyamat tovább erősödött (2. ábra). A kezeléseket utáni nap reggelén (7-es mintavétel) még kisebb volt a TCE koncentráció az MK-16 kútban, majd estére visszaemelkedett (12-es mintavétel), közben az MK-24 kútban állandósult a TCE koncentráció.



2. ábra TCE koncentráció a RAMEB oldattal kezelt (MK-16, balra) és a szívott kútban (MK-24, jobbra)


A TCE koncentrációjának visszaemelkedése estére a RAMEB fizikai-kémiai tulajdonságainak figyelembevételével szinte törvényszerű, hiszen reggel a kitermelt 90 l vizet nem öntöttük vissza a kútba, nem hagytuk tovább hatni a RAMEB-et, mivel kíváncsiak voltunk, hogy a beadagolt RAMEB a másik kút szakaszos, erőteljes szivattyúzása hatására mennyire képes eltávolodni a kúttól, mennyi kötődik meg belőle a szabadföldi körülmények között, s milyen hatásokkal nyerhető vissza.

Hasonlú jellegű, még nagyobb mértékű változásokat mutatott a tetraklóretilén (PCE) koncentráció, ami 20-ad részére csökkent, és másnap estig sem emelkedett vissza az MK-16 kútban. (3. ábra) (a TCE koncentráció kb. 6-od részére csökkent, majd visszanozott). Az MK-24 kútban parallel módon változott e kétféle klórozott szénhidrogén koncentrációja.



3. ábra TCE koncentráció a RAMEB oldattal kezelt (MK-16, balra) és a szívott kútban (MK-24, jobbra)

A kezelés tehát egyértelműen sikeresnek mondható. A RAMEB-bel nem kezelt kútban nem jelent meg mérhető koncentrációban a RAMEB, mégis megemelkedett a klórozott szénhidrogének koncentrációja. A RAMEB-bel kezelt kútban viszont lecsökkent. Ennek alapján azt gondoljuk, hogy a hatások elsősorban a fázisok mozgásának (a kutak váltott szivattyúzásának) tudhatók be. Valószínűleg a RAMEB-kezeléssel hozható összefüggésbe viszont a klorid-koncentráció és a vezetőképesség átmeneti növekedése (ezt csak a RAMEB-

	<p align="center"><b>SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK</b></p> <p align="center"><b>TRIKLÓRETELÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN</b></p>	Report No: CYL III/4c-6b
		Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 12 of 31

bel kezelt kútban tapasztaltuk). Ennek okát még nem ismerjük, a RAMEB hatására eddig még azonosítatlan folyamat zajlott le, ahol a nagyfokú és gyors (habzás) csökkenés kémiai folyamatra utal.

### 3.2. Szabadsföldi kísérlet hidrogén-peroxid alkalmazásával félüzemi méretben


A hidrogén-peroxidos oxidációt enyhén savas közegben (a talajban lévő) vas katalizálja (Fenton reakció). Ennek során különféle átmeneti termékek, pl. diklóracetaldehid, diklórecetsav, triklóracetaldehid és triklórecetsav keletkezése közben széndioxidra és sósavra bomlik<sup>4</sup>. Ezt a reakciót használtuk ki, amikor a kutakba felváltva kénsavas hidrogén-peroxid oldatot töltöttünk (1. melléklet kísérleti terv, 2. melléklet kísérleti jegyzőkönyv).

A minták klórozott szénhidrogén-tartalmát a Bálint labor mérte az MSZ 1484-5:1998 számú szabvány szerint GC-MS technikával. A szervesen ionokat kapilláris elektroforézissel határoztuk meg. Az utolsó két mintavételnél a minták elektroferogramja a klorid-ionok helyén dupla csúcsot mutatott, melyet nem értékeltünk ki. Ehelyett csapadékos titrálással mértük a klorid-ion koncentrációt ezekben a mintákban. A kétféle módszer jó egyezést mutatott (ld. M-3/8, M-3/10 és M-3/12 minták). Az eredményeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

A minták pH-ja a 13. mintavételt leszámítva állandó volt (az MT-1 jelű kútból nyert mintákban  $6,6 \pm 0,5$ , az M3 jelű kútban  $6,7 \pm 0,3$ . Az M3/13 minta pH-ja 2,6). A vezetőképesség parallel változott a beadagolt kénsav miatt emelkedő szulfát koncentrációval (4. és 5. ábra).

---

<sup>4</sup> Chu, W.W., Choy, K.: The study of lag phase and rate improvement of TCE decay in UV/surfactant systems. Chemosphere, 41, 1199-1204, 2000

	SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK	Report No: CYL III/4c-6b
	TRIKLÓRETELÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN	Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 13 of 31

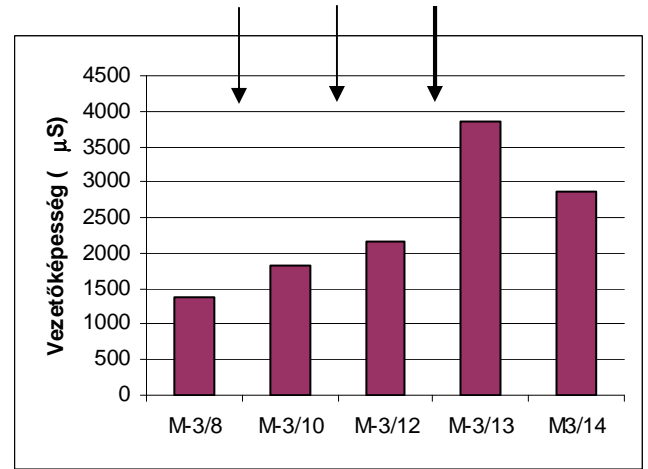
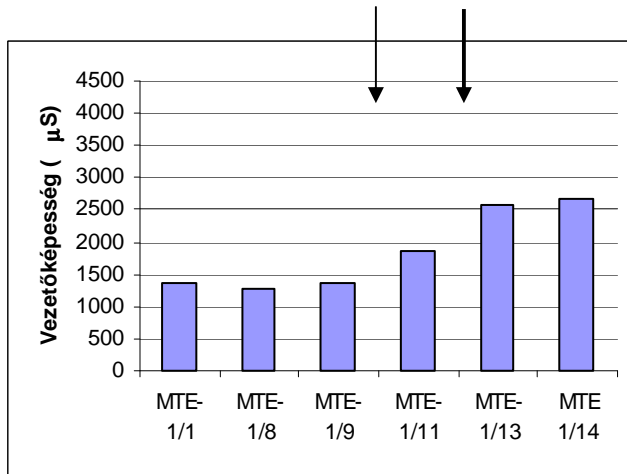
2. táblázat. A félüzemi kísérlet során vett minták jellemzői

	pH	vez.kép. ( $\mu\text{S}$ )	$\text{Cl}^-$ (mg/l) <sup>a</sup>	$\text{Cl}^-$ (mg/l) <sup>b</sup>	$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/l)	$\text{NO}_3^-$ (mg/l)	$\text{HCO}_3^-$ (mg/l)	TCE ( $\mu\text{g/l}$ )	PCE ( $\mu\text{g/l}$ )	1,2- DCE ( $\mu\text{g/l}$ )	1,1- DCE ( $\mu\text{g/l}$ )	Triklóretán ( $\mu\text{g/l}$ )	Tetraklór- etán ( $\mu\text{g/l}$ )	Összes klórozott alifás ( $\mu\text{g/l}$ )
MTE-1/1	6,91	1360	23,05		439,4	31,42	611,0	<b>4850</b>	281	12,1	0,97	6,48	0,13	<b>5150</b>
MTE-1/8	6,94	1277	15,13		370,6	47,64	581,4	<b>1280</b>	99,4	9,05	0,18	0,98	nd	<b>1390</b>
MTE-1/9	7,08	1357	20,51		437,5	37,72	605,6	<b>2990</b>	186	9,34	0,49	5,82	0,14	<b>3190</b>
MTE-1/11	6,26	1872	24,15		1688	29,61	241,9	<b>91,8</b>	36,6	< 0,01	< 0,01	7,29	0,17	<b>136</b>
MTE-1/13	5,72	2570	*	23,9	2932	< 5	50,6	<b>2,6</b>	0,36	< 0,01	< 0,01	4,83	0,12	<b>7,92</b>
MTE 1/14	6,62	2680	*	18,6	2689	< 5	148,2	<b>n.d.</b>	nd	< 0,01	< 0,01	nd	nd	<b>nd</b>
M-3/8	7,02	1365	20,73	19,5	421,7	33,85	642,3	<b>6930</b>	305	25	1,04	7,77	0,18	<b>7270</b>
M-3/10	6,52	1818	25,91	22,6	1391	28,19	410,2	<b>703</b>	97,4	0,93	< 0,01	8,71	0,18	<b>810</b>
M-3/12	6,44	2170	27,66	24,8	1961	25,78	347,7	<b>208</b>	52,2	0,2	< 0,01	13,3	0,32	<b>274</b>
M-3/13	2,55	3850	*	22,1	3443	< 5	< 10	<b>146</b>	30,4	0,17	< 0,01	11,4	0,2	<b>188</b>
M3/14	6,2	2880	*	15,1	3011	< 5	65,9	<b>0,37</b>	0,54	< 0,01	< 0,01	8,03	0,24	<b>9,18</b>

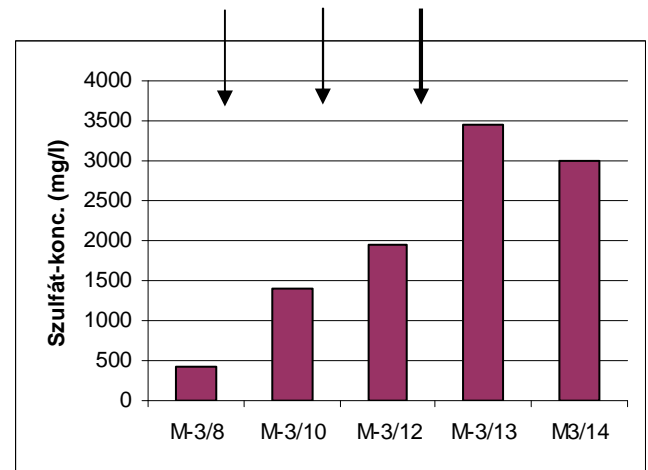
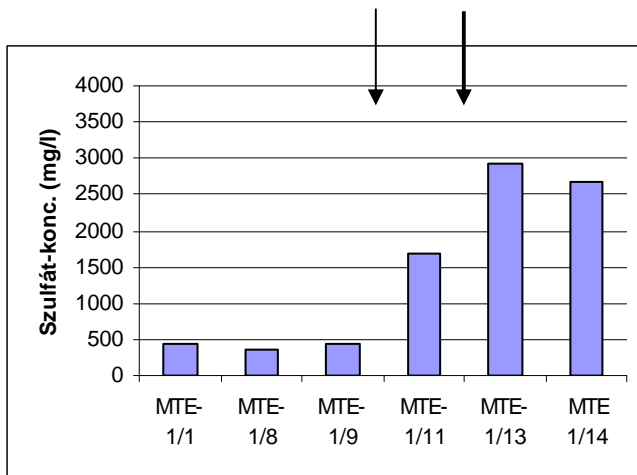
<sup>a</sup> kapilláris elektroforézissel mérve

<sup>b</sup> csapadékos titrálással (Volhard szerint) mérve

\* nem értékelhető ki a torzult csúcsalak miatt

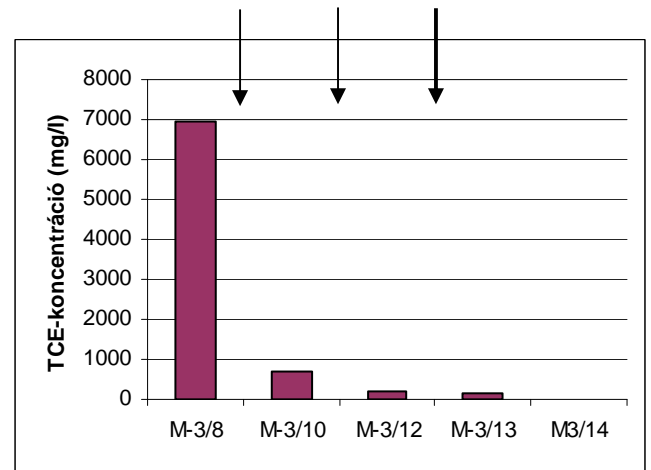
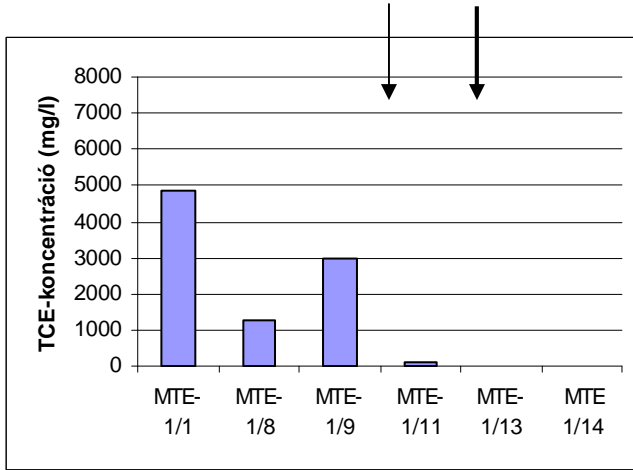


4. ábra Vezetőképesség a kutakban (MTE-1, balra) (M-3, jobbra). A nyilak a hidrogénperoxid beadagolást jelzik (vastagabb nyíl 3-szoros mennyiség).

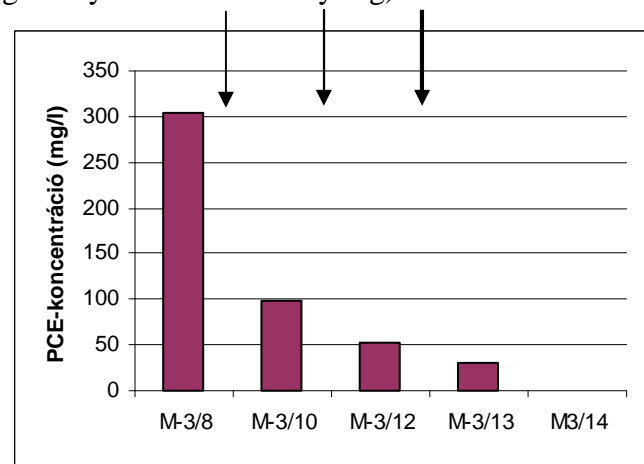
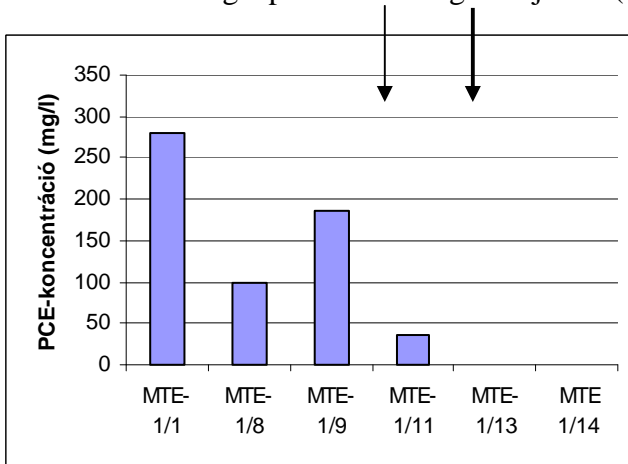


5. ábra Szulfát-koncentráció a kutakban (MTE-1, balra) (M-3, jobbra). A nyilak a hidrogénperoxid beadagolást jelzik (vastagabb nyíl 3-szoros mennyiség).

A TCE koncentráció kis mértékben csökken már a szivattyúzás hatására is az MTE-1 kútban, és gyakorlatilag eltűnik az oxidálószer-beadagolás hatására (6. ábra). Valamivel lassúbb változást figyeltünk meg a perkloroetilén esetében (7. ábra).




6. ábra Triklóretilén-koncentráció a kutakban (MTE-1, balra) (M-3, jobbra). A nyilak a hidrogénperoxid beadagolást jelzik (vastagabb nyíl 3-szoros mennyiség).



7. ábra Perklóretilén-koncentráció a kutakban (MTE-1, balra) (M-3, jobbra). A nyilak a hidrogénperoxid beadagolást jelzik (vastagabb nyíl 3-szoros mennyiség).

Az *in situ* kémiai oxidáció váltott kutas kezeléssel rendkívül hatásosnak bizonyult: 1 napos kezeléssel eltűnt a kutakból a szennyezőanyag. A TCE-koncentráció értékekből számítva összesen **1,9 g** TCE-t távolítottunk el a technológia során: közel 1,0 g TCE-t az MTE-1 kútból (a 14-es mintavétel során a 240 l kitermelt vízben nem maradt mérhető TCE– ugyanennyi vízben a kísérlet előtt 1164 mg TCE volt) és 0,8 g-t az M-3 kútból (a

	<b>SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK</b> <b>TRIKLÓRETIÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN</b>	Report No: CYL III/4c-6b
		Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 16 of 31

14-es mintavétel során a 120 l kitermelt vízben összesen 0,04 mg TCE maradt – ugyanennyi vízben a kísérlet előtt 831 mg TCE volt).

Érdekes megfigyelni, hogy a nagyobb vízhozamú MTE-1 kútban sikerebb volt a kezelés annak ellenére, hogy kevesebb oxidálószeret adagoltunk. Ez a jelenség több egymást erősítő hatással magyarázható: egyrészt az MTE-1-es kút elsősorban az M-3-as kút felől kapja a szennyezőanyag utánpótlást, így ha megszüntetjük „a legközelebbi forrást” akkor egyértelműen csökkenő koncentrációjú szennyezett víz érkezik a MTE-1 kútba (ld. Teljes léptékű kísérlet M-3 kezelése MTE-1 termeltetése) így egyszerűbb dolga van a kisebb koncentrációban adagolt hidrogén-peroxidnak. Másrészt a jobb vízáadó képességű kút gömb alakú környezete valószínűleg nagyobb mértékben átjárható a hidrogén-peroxid számára is, így erőteljesebb és hosszabb távú hatás érhető el.

A klorid-koncentrációból számított lebomlott TCE: **2,8 g** (3. táblázat).


3. táblázat A lebomlott TCE mennyiségének számítása

	MTE-1	M-3
Klorid konc. a kezelés előtti mintavételnél (mg/l)	15,1	19,5
Max. klorid-konc. a kezelés alatt (mg/l)	24,1	24,8
Kitermelt víz (l)	180	120
Keletkezett klorid (mg)	1624	636
Lebomlott TCE (mg)	2004	785

A kezelés végére visszaállt a klorid-ion-koncentráció mindkét kútban.

Összesen 3 kg (90 M) hidrogénperoxidot használtunk fel (10 liter 30%-os oldatot) az 1,9–2,8 g (14–21 mmol) TCE eltávolításához. A vegyszerköltség kb. 5000 Ft (2550 Ft H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldat +2400 Ft kénsav oldat), a munkaerőköltség 32 000 Ft (2 ember 1 napi munkaerő-költsége). A kísérlet során mind a hidrogén-peroxidot nagy feleslegben alkalmaztuk és a munkaerő költség is túlzott, hiszen kb. 1,5 órányi munka volt a 2 ember számára. A reálisan számított fajlagos költség tehát az eltávolított TCE-re vonatkoztatva: kb. **2 000 Ft/g**.



	<b>SZABADFÖLDI KÍSÉRLETEK</b> <b>TRIKLÓRETIÉNNEL SZENNYEZETT TERÜLETEN</b>	Report No: CYL III/4c-6b
		Compiled by: Fenyvesi É.
		File: CYL III4c6b TCE
		Date: 2008. 11. 30.
		Page : 17 of 31

A vízkezelő rendszer 2004 év végétől 2008. év október végéig összesen 40 hónapot üzemelt. 2008-as áron az üzemeltetés önköltsége (munkaerő, áramfelhasználás, a rendszer karbantartása, meghibásodott elemek cseréje, aktív szén-csere) 400 000 Ft/hó. A rendszer a 40 hónap alatt összesen 25 kg TCE-t (összesen 27 kg összes klórozott szénhidrogént) távolított el a kitermelt 23 173 m<sup>3</sup> talajvízből.

16 000 000 Ft/25 kg szennyezőanyag = 640 Ft/g szennyezőanyag. Az egységár a kiépített technológia egyszeri bekerülési költségét nem tartalmazza.

A telephelyen működő technológia ma nem a leghatékonyabb gyakorlatban alkalmazott ex situ eljárás a víznél nehezebb szennyezőanyag kitermelésére. A szivattyús kitermelés helyett a drénes kitermelő rendszer volna a leghatékonyabb ex situ eljárás a klórozott szénhidrogének kinyerésére. A gyakorlatban azonban ennek jelentősen magasabb egyszeri kiépítési (6-7 méter mélységbe drének fektetését) költségét nem vállalják a szennyezett területek tulajdonosai. (Pedig a drénes eljárás alkalmazásával még biztosan csökkenne a fenti egységár és lerövidülne a mentesítés ideje is.)

A telephelyen alkalmazott kísérleti technológia fő költségét a munkaerő igénye okozza. A kísérleti technológia a jelen formájában nem a legköltséghatékonyabb eljárás, viszont „gépesítésével” például automata adagolószivattúk, vegyszer bekeverő rendszer stb. segítségével, azaz a kísérleti technológia ipari technológiává történő tovább fejlesztésével azzá válhat.

Minden esetben érdemes a technológiák egyszeri bekerülési (kiépítési) költségét is figyelembe kell venni (ha az időigényt nem is lehet becsülni) nem csak az üzemeltetésit, hiszen egy technológia életképességében ez is döntő szerepet játszik. (Pl.: automata hidrogén-peroxid adagoló rendszer vagy sztrippelő)

## Mellékletek

### 1 melléklet A félüzemi szabadföldi kísérlet terve

#### Ciklodextrines szabadföldi kísérlet 2008.08.25.

Lépés	Becsült időpont	Kút	Munkafolyamat	Becsült időtartam	Mintavétel	Megjegyzés
1	9:00	MK-16	3xkúttérfogat kitermelése ~ 15 l	15-20 perc	Kitermelés után cső végéről	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp, vízszintmérés (előtte)
	9:30	MK-24	3xkúttérfogat kitermelése ~ 120 l	20-25 perc	Kitermelés után cső végéről	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp, vízszintmérés (előtte)
	10:00	MTE-1	3xkúttérfogat kitermelése ~ 300 l	35-45 perc	Kitermelés után cső végéről	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp, vízszintmérés (előtte)
2	11:00-11:30	MK-16 MK-24	Várakozás - visszatöltődés	még 30 perc		
3	11:30	MK-24	3xkúttérfogat kitermelése ~ 120 l	20-25 perc	Kitermelés után cső végéről	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp
	12:00	MK-16	~ 60 l	30-40 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp
	12:40	MK-16	azonnal 15-20 l bekevert <b>CD-és víz beöntése</b>	30 perc		vízszintmérés
4	12:40-12:55		Várakozás	15 perc		
	12:55	MK-24	szivattyúzás, amíg adja, de max 45 perc	45 perc	Kitermelés után cső végéről	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp
	13:40	MK-16	15-20 l bekevert <b>CD-és víz beöntése</b>	30-40 perc		vízszintmérés
5	13:40-13:55		Várakozás	15 perc		
	13:55	MK-24	szivattyúzás, amíg adja, de max 45 perc	45 perc	Kitermelés után cső végéről	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp
	14:40	MK-16	15-20 l bekevert <b>CD-és víz beöntése</b>	30-40 perc		vízszintmérés
7	14:40-14:55		Várakozás	15 perc		
	14:55	MK-24	szivattyúzás, amíg adja, de max 45 perc	45 perc	Kitermelés után cső végéről	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp
8	15:45	MK-16	<b>CD-és víz kitermelése</b> , amíg adja max 30 perc	30 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp
9	16:15-17:45	MK-24	Várakozás - végállapotra	90 perc		
		MK-16				
10	17:45	MK-24	3xkúttérfogat kitermelése ~ 15 l	15-20 perc	Kitermelés után cső végéről	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp
		MK-16	3xkúttérfogat kitermelése ~ 120 l	20-25 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp

### Hidrogén-peroxidos szabadföldi kísérlet 2008.08.26.

Lépés	Becsült időpont	Kút	Munkafolyamat	Becsült időtartam	Mintavétel	Megjegyzés
1	9:00	MK-24	3xkúttérfogat kitermelése ~ 120 l	20-25 perc	Kitermelés után cső végéről	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp, vízszintmérés (előtte)
	9:30	MK-16	3xkúttérfogat kitermelése ~ 15 l	15-20 perc	Kitermelés után cső végéről	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp, vízszintmérés (előtte)
	10:00	M-3	3xkúttérfogat kitermelése ~ 200 l	40 perc		vízszintmérés (előtte)
	10:40	MTE-1	3xkúttérfogat kitermelése ~ 300 l	30 perc		vízszintmérés (előtte)
2	11:10-11:55	M-3	Várákozás - visszatöltődés	45 perc		
		MTE-1				
3	12:15	M-3	200 l víz kitermelése	40 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz <b>megtartás</b> , pH, vezképp
	13:00	MTE-1	200 l víz kitermelése	30 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz kiöntése, pH, vezképp
	13:30	M-3	200 l bekevert <b>peroxidos (0,15%) víz beöntése</b>	15-20 perc		pH=3 állítás pH papírral, hordó kimosása a beöntés után
4	13:50	MTE-1	200 l víz kitermelése	30 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz <b>megtartás</b> , pH, vezképp
	14:20	MTE-1	200 l bekevert <b>peroxidos (0,15%) víz beöntése</b>	15-20 perc		pH=3 állítás pH papírral, hordó kimosása a beöntés után
5	14:40	M-3	200 l víz kitermelése	40 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz <b>megtartás</b> , pH, vezképp
	15:10	M-3	200 l bekevert <b>peroxidos (0,15%) víz beöntése</b>	15-20 perc		pH=3 állítás pH papírral
6	15:30	MTE-1	200 l víz kitermelése	30 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz <b>megtartás</b> , pH, vezképp
	16:00	MTE-1	200 l bekevert <b>peroxidos (0,6%) víz beöntése</b>	15-20 perc		pH=3 állítás pH papírral, hordó kimosása a beöntés után
7	16:20	M-3	200 l víz kitermelése	40 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz <b>megtartás</b> , pH, vezképp
	17:00	M-3	200 l bekevert <b>peroxidos (0,6%) víz beöntése</b>	15-20 perc		pH=3 állítás pH papírral, hordó kimosása a beöntés után
8	17:00-18:00	MTE-1	Várákozás - végállapotra	60 perc		
		M-3				
9	18:00	M-3	200 l víz kitermelése	40 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz visszaöntése, pH, vezképp, vízszint
		MTE-1	200 l víz kitermelése	30 perc	Tároló hordóból (egységesített)	Kitemeltvíz visszaöntése, pH, vezképp, vízszint

## 2. melléklet Kísérleti jegyzőkönyv

### I. Ciklodextrines terepi kísérlet – 2008.08.25.

Kísérletben vizsgált kutak: MK-24 (Sokoró Kft. területén)

MK-16 (Johnson Controls Kft. területén)

(MK-24 csőperem tereptől: 0,0 m)

(MK-16 csőperem tereptől: 1,0 m)

#### 1. Lépés

**MK-16/1**, nyugalmi vízszint (csőperemtől): 3,07 m

Szivattyúzás: 80 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: 15 l) – 9:20-tól 9:28-ig

Mintavétel: cső végéről

$T = 14,3 \text{ °C}$

Vezkép = 663  $\mu\text{S}$

pH = 7,52

A kútból meglehetősen büdös víz jött (ez biztos, hogy a TCE szaga volt, hisz már előző – 2008. május – mintavételkor is ezt éreztük!)

**MK-24/1**, nyugalmi vízszint (tereptől): 2,01 m

Szivattyúzás: ~200 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~120 l) – 9:50-től 10:10-ig

Mintavétel: cső végéről

$T = 16,9 \text{ °C}$

Vezkép = 654  $\mu\text{S}$

pH = 7,10

MK-16 – MK-24 távolsága ~ 3,30 m

**MTE-1/1**, vízszint (csőperemtől): 2,52 m – előtte lett leállítva a termelőkút szivattyúja! (nem nyugalmi vízszint!)

Szivattyúzás: ~200 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~120 l)

Mintavétel: cső végéről

$$T = 16,8 \text{ °C}$$

$$\text{Vezkép} = 668 \text{ } \mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,54$$

## 2. Lépés

A várakozási időt az MTE-1 kút szivattyúzásával töltöttük (lásd. feljebb), így itt plusz időt már nem várakoztunk.

## 3. Lépés

**MK-24/2**, nyugalmi vízszint (csőperemtől): 2,01 m

Szivattyúzás: 360 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: 120 l) – 11:30-tól 12:15-ig

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 18,4 \text{ °C}$$

$$\text{Vezkép} = 644 \text{ } \mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,24$$

**MK-16/2**, vízszint (csőperemtől 12:35-kor): 3,17 m

Szivattyúzás: 120 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~15 l), félretevése – 12:35-től 13:05-ig

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 20,7 \text{ °C}$$

$$\text{Vezkép} = 632 \text{ } \mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,53$$

60 liter víz szétosztása 3 db 20 l-es kannákba (1,5 – 2 l térfogat kihagyása a CD-nek)

20 l bekeverése 1,5 l CD-vel azonnal beöntöttük (a kanna összerázásakor, és a vödörrel, tölcsérrel történő beöntéskor csak rendkívül csekély habzást tapasztaltunk). Mindent elnyelt a kút s rátöltöttünk még 20 l kitermelt vizet, melyet szintén rögtön elnyelt a kút (13:05-kor végeztünk itt).

Vízszint beöntés után: 3,10

#### 4. Lépés

A várakozási időt minden esetben a cuccok kocsiba pakolásával és a két cég közötti autókázással töltöttük.....

**MK-24/3**, vízszint (csőperemtől 13:20-kor): 2,02 m

Szivattyúzás: 360 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: 120 l) – 13:25-től 14:10-ig

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 24,9 \text{ °C}$$

$$\text{Vezkép} = 593 \text{ } \mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,18$$

#### **MK-16**

20 l bekeverése 1,5 l CD-vel azonnal **beöntöttük**. Mindent elnyelt a kút s rátöltöttünk még 20 l kitermelt vizet, melyet szintén rögtön elnyelt a kút.

vízszint (csőperemtől) beöntés előtt (14:35-kor): 3,08 m

vízszint (csőperemtől) beöntés után (14:45-kor): 2,94 m

#### 5. Lépés

**MK-24/4**, vízszint (csőperemtől 14:56-kor): 2,08 m

Szivattyúzás: 360 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: 120 l) – 14:56-től 15:38-ig (ekkor a vízszint 2,75 m)

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 24,1 \text{ °C}$$

$$\text{Vezkép} = 564 \text{ } \mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,51$$

#### **MK-16**

20 l bekeverése 1,5 l CD-vel azonnal **beöntöttük**. Mindent elnyelt a kút s rátöltöttünk még 20 l kitermelt vizet, melyet szintén rögtön elnyelt a kút.

vízszint (csőperemtől) beöntés előtt (15:53-kor): 3,08 m

vízszint (csőperemtől) beöntés után (16:02-kor): 2,80 m

## 6. Lépés

**MK-24/5**, vízszint (csőperemtől 16:12-kor): 2,02 m

Szivattyúzás: 360 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: 120 l) – 16:12-től 16:55-ig

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 23,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Vezkép} = 567 \text{ } \mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,48$$

## 7. Lépés

**MK-16/5**, vízszint (csőperemtől 17:10-kor): 3,08 m

Szivattyúzás: 60 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~15 l), hordóba gyűjtése – 17:10-től 17:25-ig

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 22,7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Vezkép} = 754 \text{ } \mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,78$$

Nagyon, nagyon habzott a kitermelt víz, olyan volt mintha a kútba öntöttünk volna egy doboz habfürdőt (szép fehérhab, mely utána hosszabb idő elteltével szépen lassan eltűnt a kitermelt víz felszínéről ugyanúgy, mint a habfürdő). (Csak a telefonommal tudtam lefényképezni, melyhez jelenleg nincs áttöltő kábel, de bárkinek szívesen átküldöm MMS-ben.)

A mintavétel után jobbnak láttuk még egy éjszakán át dolgozni a rétegben az anyagot, így visszatöltöttük mind a 60 l-t a kútba(, mely mind a 60 l-t egyből elnyelte)!!

## 8. Lépés

Elmaradt, azaz a 90 perc egy teljes éjszakára módosult.

## 9. Lépés

Így elmaradt az MK-16/6 és az MK-24/6 minták megvétele.

A mintavételek és a szivattyúzások során mind a két kút folyamatosan adta a vizet (egyszer sem tudtuk őket leszívni).

## II. Hidrogén-peroxidos terepi kísérlet – 2008.08.26.

Kísérletben vizsgált kutak: MTE-1

M-3 (Johnson Controls Kft. területén)

(MTE-1 csőperem tereptől: 0,37 m)

(M-3 csőperem tereptől: 1,10 m)

### 1. Lépés

**M-3**, nyugalmi vízszint (csőperemtől): 3,16 m

**MTE-1**, nyugalmi vízszint (csőperemtől): 2,44 m

**MK-3**

Szivattyúzás: 120 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~200 l) – 8:03-tól 8:30-ig

Célja az állott víz kitermelése volt. A kút nehezen adta a vizet a 120 l kitermelése során várakoznunk kellett, hogy ismét megjelenjen a kútban a víz.

**MK-16/7**, vízszint (csőperemtől 8:30-kor): 3,10 m

Szivattyúzás: 90 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~15 l), hordóba gyűjtése – 8:30-tól 8:45-ig

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$T = 20,1 \text{ °C}$

Vezkép = 1060  $\mu\text{S}$

pH = 7,60

A kitermelt „CD-és víz” továbbra is nagyon habzott – talán csak egy picit csekélyebb mértékben, mint előző nap este.

A kitermelt vizet kiöntöttük!

**MTE-1/8**

Szivattyúzás: ~200 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~300 l) – 8:49-től 9:05-ig

Célja az állott víz kitermelése volt.



Mintavétel: cső végéről

$$T = 21,3 \text{ °C}$$

$$\text{Vezkép} = 683 \text{ }\mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,11$$

**MK-24/7**, vízszint (csőperemtől 9:18-kor): 2,01 m

Szivattyúzás: 120 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~120 l), hordóba gyűjtése – 9:18-tól 9:30-ig

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 22,4 \text{ °C}$$

$$\text{Vezkép} = 677 \text{ }\mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,21$$

## 2. Lépés

Várakozás visszatöltődésre, mely alatt az MK-24-es kutat szivattyúztuk (lásd. fentebb)

Vízszintmérés (10:00):

$$\text{MTE-1: } 2,52 \text{ m}$$

$$\text{M-3: } 3,23 \text{ m}$$

Vízszintmérés (10:10):

$$\text{MTE-1: } 2,49 \text{ m}$$

$$\text{M-3: } 3,195 \text{ m}$$

Már elég jól visszaállt újra a vízszint, így hozzáfogtunk az M-3 szivattyúzásához.

## 3. Lépés

**M-3/8**

Szivattyúzás: 120 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~200 l) – 10:14-től 10:50-ig

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 21,3 \text{ °C}$$

$$\text{Vezkép} = 699 \text{ }\mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,24$$

A kút vizét többször leszívtuk, így várakoznunk kellett, hogy végre ki tudjuk termelni a 120 l-t.

M-3 kitermelt vizébe ~ 0,7 l hidrogén-peroxid bekeverése (oldat konc. ~ 0,16 %), pH beállítása kénsavval (pH papír segítségével).

A 120 l víz visszaöntése M-3-ba tölcsér segítségével vödörözve.

Folyamatosan tudtuk beönteni, jól nyelte a kút.

Vízszint mérés (11:20):

MTE-1: 2,38 m (a korábban benne lévő termelőszivattyú kiemelése után: 2,44 m – ezután így dolgoztunk, hogy ez ki volt véve)

M-3: 2,43 m

#### 4. Lépés

##### **MTE-1/9**

Szivattyúzás: 180 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~300 l) – 11:20-tól 11:40-ig

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 21,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Vezkép} = 1060 \text{ } \mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,16$$

A kút a szivattyúzás során ekkor még folyamatosan adta a vizet.

Vízszint (11:45):

MTE-1: 5,07 m

M-3: 3,28 m

Vízszint (11:55):

MTE-1: 5,07 m

M-3: 3,80 m

180 l vízbe 1 l hidrogén-peroxid bekeverése pH beállítás kénsavval (ellenőrzés pH papírral, 12:03)

2,5 hordónyi víz beöntése után megtelt a kút (12:10), így várakoznunk kellett.

Beöntés befejezése (12:16)

Vízszint:

MTE-1: 1,28 m

M-3: 2,99 m

Hordók és a szivattyú átmosása egy távolabbi kevésbé szennyezett kút vizével (12:20-tól 12:25-ig).

Vízszint (12:26):

MTE-1: 1,82 m

M-3: 2,98 m

Az M-3-as kútban közben buborékok keletkezését tapasztaltuk (néhány nagy buborék folyamatosan jelentkezett).

## 5. Lépés

### **M-3/10**

Szivattyúzás: 120 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~200 l) – 12:28-tól 13:12-ig

A kút vizét többször leszívtuk (először 50 l kitermelése után), így várakoznunk kellett, hogy végre ki tudjuk termelni a 120 l-t.

Vízszint (12:35):

MTE-1: 2,13 m

M-3: 5,76 m

Vízszint (12:53):

MTE-1: 2,36 m

M-3: 5,55 m

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

T = 22,5 °C

Vezkép = 1240  $\mu$ S

pH = 6,58

M-3 kitermelt vizébe ~ 0,7 l hidrogén-peroxid bekeverése (oldat konc. ~ 0,16 %), pH beállítása kénsavval (pH papír segítségével).

A 120 l víz visszaöntése M-3-ba tölcser segítségével vödörözve (13:25).

Folyamatosan tudtuk beönteni, jól nyelte a kút.

Vízszint beöntés előtt (13:25):

MTE-1: 2,51 m

M-3: 5,08 m

Vízszint beöntés után (13:31):

MTE-1: 2,43 m

M-3: 1,63 m

Hordók és a szivattyú kimosása.

## 6. Lépés

### **MTE-1/11**

Szivattyúzás: 180 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~300 l) – 13:35-től 14:05-ig

A kút vizét többször leszívtuk, így várakoznunk kellett, hogy végre ki tudjuk termelni a 180 l-t.

Vízszint (13:47):

MTE-1: 5,44 m

M-3: 2,87 m

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

T = 21,5 °C

Vezkép = 1270  $\mu$ S

pH = 6,10

180 l vízbe 4 l hidrogén-peroxid bekeverése ( ~ 0,64 %-os oldat) pH beállítás kénsavval (ellenőrzés pH papírral, 14:11)

Vízszint (14:13):

M-3: 3,16 m

Bekevert hidrogén-peroxidos víz beöntése (14:15), megtelt a kút (14:24).

Beöntés vége (14:30)

Vízszint (14:30):

MTE-1: 0,90 m

M-3: 3,03 m

Hordók és a szivattyú kimosása.

## 7. Lépés

**M-3/12**

Szivattyúzás: 120 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~200 l) – 14:32-től.

A kút vizét többször leszívtuk, így várakoznunk kellett, hogy végre ki tudjuk termelni a 120 l-t.

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$T = 23,1 \text{ °C}$

Vezkép = 1370  $\mu\text{S}$

pH = 6,51

M-3 kitermelt vizébe ~ 2,64 l hidrogén-peroxid bekeverése (oldat konc. ~ 0,64 %), pH beállítása kénsavval (pH papír segítségével).

Beöntés vége (15:35)

Hordók és a szivattyú kimosása.

## 8. Lépés

Várakozás a vízszintek visszaállítására.

Vízszint (15:45):

MTE-1: 2,25 m

M-3: 3,17 m

Közben:

## **M-16/12**

Szivattyúzás: 90 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~15 l) – még kicsit habzott.

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 19,5 \text{ °C}$$

$$\text{Vezkép} = 693 \text{ } \mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,48$$

Hordók és a szivattyú kimosása.

Vízszint (16:18):

$$\text{MTE-1: } 2,32 \text{ m}$$

$$\text{M-3: } 2,83 \text{ m}$$

Vízszint (16:34):

$$\text{MTE-1: } 2,35 \text{ m}$$

$$\text{M-3: } 2,95 \text{ m}$$

Vízszint (16:40):

$$\text{MTE-1: } 2,37 \text{ m}$$

$$\text{M-3: } 3,00 \text{ m}$$

Úgy döntöttünk, hogy tovább várakoztunk, mivel az M-3, MTE-1 kútban továbbra is gázfejlődést tapasztaltunk.

## **MK-24/12**

Nyugalmi vízszint: 2,01m (17:10).

Szivattyúzás: 120 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~120 l)

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$$T = 21,1 \text{ °C}$$

$$\text{Vezkép} = 643 \text{ } \mu\text{S}$$

$$\text{pH} = 7,51$$

Vízszint (17:22):

MTE-1: 3,11 m

M-3: 2,41 m

## 9. Lépés

### **MTE-1/13**

Szivattyúzás: 120 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~300 l) – 17:22-től 17:40-ig.

A kút vizét többször leszívtuk, így várakoznunk kellett, hogy végre ki tudjuk termelni még a 120 l-t is.

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$T = 22 \text{ °C}$

Vezkép = 1430  $\mu\text{S}$

pH = 4,54

### **M-3/13**

Szivattyúzás: 60 l víz kitermelése (3xkúttérfogat: ~200 l) – 18:05.

A kút vizét többször leszívtuk, így várakoznunk kellett, hogy végre ki tudjuk termelni még a 60 l-t is.

Mintavétel: hordóból – egységesített minta

$T = 22,7 \text{ °C}$

Vezkép = 2340  $\mu\text{S}$

pH = 2,84

Atkári Ágota

Weprot Kft