

SZÖVEGKÖZI ÁBRÁK.....	II
SZÖVEGKÖZI TÁBLÁZATOK	II
ÁBRÁK	III
MELLÉKLETEK.....	IV
TÁBLÁZATOK.....	IV
FOTÓK	IV
ÖSSZEFOGLALÁS.....	1
1. ALAPADATOK.....	3
1.1 AZ ÉRINTETT TERÜLET ELHELYEZKEDÉSE LEHATÁROLÁSA	3
1.2 TULAJDONVISZONYOK ÉS A JELENLEGI TERÜLETHASZNÁLAT	3
1.3 AZ ÉRINTETT TERÜLETEK BEMUTATÁSA	3
1.4 A TÉNYFELTÁRÁSRA ÉS MŰSZAKI BEAVATKOZÁS ELKÉSZÍTÉSÉRE KÖTELEZETT ADATAI	3
1.5 A TÉNYFELTÁRÁS ÉS MŰSZAKI BEAVATKOZÁS KÉSZÍTŐINEK, KÖZREMŰKÖDŐINEK ADATAI	3
2. ELŐZMÉNYEK	5
3. AZ ÉRINTETT TERÜLET BEMUTATÁSA	7
3.1 A TERÜLET TERMÉSZETI ADOTTSÁGAI.....	7
3.1.1 Természetföldrajzi viszonyok.....	7
3.1.2 A térség vázlatos mélyföldtani felépítése.....	7
3.2 A REGIONÁLIS HIDROGEOLÓGIAI VISZONYOK ÁTTEKINTÉSE	8
3.2.1 Talajvíz	8
3.2.2 Rétegvizek	8
3.3 A TERÜLET ÉRZÉKENYSÉGE	9
4. A TÉNYFELTÁRÁS MÓDSZERE ÉS A MŰSZAKI BEAVATKOZÁS TERVEZÉSÉNEK LÉTESÍTMÉNYEI	10
4.1 FÚRÁSI MUNKÁLATOK	10
4.2 MINTAVÉTELEZÉS.....	12
4.3 LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK	12
4.3.1 Analitika	12
4.4 A TELEPHELY KÖRNYEZETFÖLDTANI VISZONYAI	13
4.5 HELYSZÍNI MÉRÉSEK, VIZSGÁLATOK	15
4.5.1 Geodézia.....	15
4.5.2 A talajmechanikai vizsgálatok eredményei	15
4.5.3 Folyadékszint mérések	16
4.5.4 Kúttesztek.....	17
5. A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA	24
5.1 A SZABADFÁZISÚ SZÉNHDROGÉN ELŐFORDULÁSA.....	24
5.2 A TALAJ SZÉNHDROGÉN SZENNYEZETTSÉGE	24
5.3 A TALAJVÍZ SZÉNHDROGÉN SZENNYEZETTSÉGE	27
5.4 A TERMÉSZETES LEBOMLÁSI FOLYAMATOK VIZSGÁLATA.....	32
5.5 IN-SITU KÉMIAI OXIDÁCIÓS (ISCO) KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI.....	33
5.5.1 Az in-situ kémiai oxidációról általánosan.....	33
5.5.2 Az ISCO laborkísérlet eredményei.....	34
5.5.3 Az ISCO terepi teszt eredményei.....	37
5.6 OXIGÉN INJEKTÁLÁSOS TEREPI TESZT EREDMÉNYEK.....	37
5.7 A MIKROBIOLÓGIAI LEBOMLÁSI FOLYAMATOK VIZSGÁLATA.....	38
6. HIDRAULIKAI ÉS TRANSPORT MODELLEZÉS	41
6.1 A HIDRAULIKAI MODELL.....	41
6.2 A TRANSPORT MODELL	43
6.3 A MODELL ÁLTAL ELŐRE JELZETT ÁLLAPOT	44
7. AZ EGYSZERŰSÍTETT MENNYISÉGI KOCKÁZATFELMÉRÉS	45

7.1	AZ ALKALMAZOTT MENNYISÉGI KOCKÁZATFELMÉRÉS MÓDSZERE	45
7.2	A KOCKÁZATFELMÉRÉS KONCEPCIÓJA	45
7.3	A KOCKÁZATFELMÉRÉS EREDMÉNYEI	47
7.4	„D” KÁRMENTESÍTÉSI CÉLÁLLAPOT HATÁRÉRTÉK	48
8.	MŰSZAKI BEAVATKOZÁS VIZSGÁLT MÓDOZATAI	50
8.1	AZ ISCO KÁRMENTESÍTÉS LEHETŐSÉGEI	50
8.2	AZ IN-SITU MIKROBIOLÓGIAI KÁRMENTESÍTÉS LEHETŐSÉGEI	50
8.3	A VIZSGÁLT MŰSZAKI BEAVATKOZÁSI TECHNOLÓGIÁK KÖLTSÉGEINEK VÁZLATOS ISMERTETÉSE	52
9.	A TERVEZETT MŰSZAKI BEAVATKOZÁS	53
9.1	A MŰSZAKI BEAVATKOZÁS FŐBB LÉPÉSEI	53
9.1.1	A talajszennyeződés felszámolása.....	53
9.1.2	A talajvíz szennyeződés gócponti megfigyelése	54
9.2	A TECHNOLÓGIA KÖRNYEZETI HATÁSAI	55
9.3	A MŰSZAKI BEAVATKOZÁS IDŐÜTEMEZÉSE, BECSÜLT KÖLTSÉGE.....	55
10.	A MŰSZAKI BEAVATKOZÁSHOZ KAPCSOLODÓ KÁRMENTESÍTÉSI MONITORING	56
10.1	A MONITORING RENDSZER LÉTESÍTMÉNYEINEK A BEMUTATÁSA	56
10.2	A MONITORING RENDSZER ÜZEMELTETÉSE.....	56
10.3	A MONITORING KUTAK PRÓBAÜZEME	57
10.4	A MONITORING VIZSGÁLATOK DOKUMENTÁLÁSA	57
11.	A MŰSZAKI BEAVATKOZÁS VÁRHATÓ EREDMÉNYE	58

Szövegközi ábrák

1. sz. szövegközi ábra: A három csatornás kút elvi metszete.
2. sz. szövegközi ábra: A talajvízszint változása Pf2 kútban a slugteszt során.
3. sz. szövegközi ábra: A talajvízszint változása Pf3 kútban a slugteszt során.
4. sz. szövegközi ábra: A talajvízszint változása Pf5 kútban a slugteszt során.
5. sz. szövegközi ábra: A Pf2 kút beejtéses slugtesztjének kiértékelése (a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).
6. sz. szövegközi ábra: A Pf2 kút kiemeléssel slugtesztjének kiértékelése (a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).
7. sz. szövegközi ábra: A Pf3 kút beejtéses slugtesztjének kiértékelése (a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).
8. sz. szövegközi ábra: A Pf3 kút kiemeléssel slugtesztjének kiértékelése (a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).
9. sz. szövegközi ábra: A Pf5 kút beejtéses slugtesztjének kiértékelése (a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).
10. sz. szövegközi ábra: A Pf5 kút kiemeléssel slugtesztjének kiértékelése (a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).
11. sz. szövegközi ábra: Az oxigén injektálás során észlelt talajvízszint változások.
12. sz. szövegközi ábra: A 087/10 hrsz. ingatlan és az azon feltárt talajvíz szennyeződés.
13. sz. szövegközi ábra: A kockázatfelmérés koncepciója.
14. sz. szövegközi ábra: A TPH-val szennyezett talajtömeg, a tartály sikkbeli körvonalával megjelenítve.

Szövegközi táblázatok

1. sz. szövegközi táblázat: Az érintett terület sarokponti koordinátái.
2. sz. szövegközi táblázat: A vizsgálati pontok műszaki paraméterei és EOY koordinátái.
3. sz. szövegközi táblázat: A rétegszelektív mintavételi pontok paraméterei.

4. sz. szövegekőzi táblázat: A talaj és talajvízmintákon elvégzett laboratóriumi vizsgálatok összefoglalása.
5. sz. szövegekőzi táblázat: A fűrésok vázlatos rétegsorai.
6. sz. szövegekőzi táblázat: A talajmechanikai vizsgálatok eredményei.
7. sz. szövegekőzi táblázat: A talajminták plasztikus indexe.
8. sz. szövegekőzi táblázat: Az egyidejű vízszintmérési adatok.
9. sz. szövegekőzi táblázat: A szivárgási tényező becsült értékei.
10. sz. szövegekőzi táblázat: Az észlelt szabadfázisú szénhidrogén vastagsága.
11. sz. szövegekőzi táblázat: A talaj TPH szennyezettsége.
12. sz. szövegekőzi táblázat: A talaj BTEX szennyezettsége.
13. sz. szövegekőzi táblázat: A szennyezet talaj, „B” és „D” határértékekre való lehatárolása, mélységközönként.
14. sz. szövegekőzi táblázat: A talajvíz TPH és BTEX szennyezettsége.
15. sz. szövegekőzi táblázat: A réteg szelektív mintavételi pontokban mért TPH és BTEX koncentrációk.
16. sz. szövegekőzi táblázat: A talajvíz PAH szennyezettsége - I.
17. sz. szövegekőzi táblázat: A talajvíz PAH szennyezettsége – II.
18. sz. szövegekőzi táblázat: A talajvíz asszimilatív kapacitásának meghatározásához alkalmazott paraméterek.
19. sz. szövegekőzi táblázat: Benzolra vonatkoztatott aerob és anaerob biodegradációs asszimilatív kapacitás eredményei.
20. sz. szövegekőzi táblázat: A kémiai oxidáló szerek reakció során jelentkező hatásai.
21. sz. szövegekőzi táblázat: ISCO talajmintákon elvégzett laborvizsgálatok eredményei.
22. sz. szövegekőzi táblázat: ISCO talajvízmintákon elvégzett laborvizsgálatok eredményei.
23. sz. szövegekőzi táblázat: Az ISCO terepi teszt eredményei.
24. sz. szövegekőzi táblázat: A talaj- és talajvíz-mintákon észlelt aerob mikrobák száma.
25. sz. szövegekőzi táblázat: A talaj- és talajvíz-mintákon észlelt anaerob mikrobák száma.
26. sz. szövegekőzi táblázat: A modellterület sarokponti EOVI koordinátái.
27. sz. szövegekőzi táblázat: A kalibrált szivárgási tényező értékei.
28. sz. szövegekőzi táblázat: A porozitás és tárolási paraméterek.
29. sz. szövegekőzi táblázat: A modell transzport paraméterei.
30. sz. szövegekőzi táblázat: A Talajból talajvízben számolt bemosódás eredmények TPH-ra.
31. sz. szövegekőzi táblázat: A talajból talajvízben számolt bemosódás eredmények, xilolra, összes egyéb alkilbenzolokra, összes PAH-ra.
32. sz. szövegekőzi táblázat: A talajra számolt „D” kármentesítési határértékek.
33. sz. szövegekőzi táblázat: A talajvízre javasolt „D” kármentesítési célállapot határérték.
34. sz. szövegekőzi táblázat: A megvizsgált kármentesítési technológiák becsült költsége.
35. sz. szövegekőzi táblázat: „D” kármentesítési célállapot határérték feletti talaj térfogata.
36. sz. szövegekőzi táblázat: A kármentesítési monitoring kutak helye.
37. sz. szövegekőzi táblázat: A talajra javasolt „D” határértékek.

Ábrák

1. sz. ábra: Áttekintő helyszínrajz (1:10000 térkép).
2. sz. ábra: A vizsgált terület bemutatása sarokponti koordinátákkal (kataszteri térkép).
3. sz. ábra: A mintavételi pontok helye.
4. sz. ábra: Az egyidejű talajvízszintek (mBf) (2008.10.15).
- 5.a. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége (mg/kg).
- 5.b. sz. ábra: A „B” szennyezettségi határérték felett szennyezett talajtest -TPH-.
- 5.c. sz. ábra: A „D” kármentesítési határérték felett szennyezett talajtest –TPH-.
- 5.d. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 0,5 m mélységben.
- 5.e. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 1 m mélységben.
- 5.f. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 1,5 m mélységben.
- 5.g. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 2,0 m mélységben.
- 5.h. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 2,5 m mélységben.
- 5.i. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 3,0 m mélységben.
- 5.j. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 3,5 m mélységben.
- 5.k. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 4,0 m mélységben.
- 5.l. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 4,5 m mélységben.
- 5.m. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 5,0 m mélységben.
- 5.n. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 5,5 m mélységben.
- 5.o. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége 6,0 m mélységben.

- 5.p. sz. ábra: A talaj TPH szennyezettsége, lehatárolás töréspontokkal.
- 6.a. sz. ábra: A talaj BTEX szennyezettsége (mg/kg).
- 6.b. sz. ábra: A „B” határértékre szennyezett talaj térfogata – egyéb alkilbenzolok összesen-.
- 6.c. sz. ábra: A „D” kármentesítési határértékre szennyezett talaj térfogata –egyb alkilbenzolok összesen-.
- 6.d. sz. ábra: A talaj egyéb alkilbenzol szennyezettsége 2,5 m mélységben.
- 6.e. sz. ábra: A talaj egyéb alkilbenzol szennyezettsége 3,5 m mélységben.
- 6.f. sz. ábra: A talaj egyéb alkilbenzol szennyezettsége, lehatárolás töréspontokkal.
- 7.a. sz. ábra: A talaj összes PAH szennyezettsége (mg/kg).
- 7.b. sz. ábra: A „B” határértékre szennyezett talaj térfogata –összes PAH-.
- 7.c. sz. ábra: A „D” kármentesítési határértékre szennyezett talaj térfogata –összes PAH-.
- 7.d. sz. ábra: A talaj összes PAH szennyezettsége 2,5 m mélységben.
- 7.e. sz. ábra: A talaj összes PAH szennyezettsége 3,5 m mélységben.
- 7.f. sz. ábra: A talaj összes PAH szennyezettsége, lehatárolás töréspontokkal.
8. sz. ábra: A talajvíz TPH szennyezettsége (µg/l).
9. sz. ábra: A talajvíz Benzol szennyezettsége (µg/l).
10. sz. ábra: A talajvíz Toluol szennyezettsége (µg/l).
11. sz. ábra: A talajvíz Etil-benzol szennyezettsége (µg/l).
12. sz. ábra: A talajvíz Xilol szennyezettsége (µg/l).
13. sz. ábra: A talajvíz egyéb alkilbenzol szennyezettsége (µg/l).
14. sz. ábra: A talajvíz összes PAH szennyezettsége (µg/l).
15. sz. ábra: A talajvíz Naftalinok szennyezettsége (µg/l).
16. sz. ábra: ISCO terepi teszt eredmények TPH-ra.
17. sz. ábra: A tervezett trágyatartályok helye a szennyezett talajvízhez viszonyítva.
18. sz. ábra: A műszaki beavatkozás tervrajza, figyelembe véve a jövőbeli területhasználatokat.
19. sz. ábra: A tervezett kármentesítési monitoring kúthálózat.
20. sz. ábra: A tervezett kármentesítési monitoring kutak műszaki paraméterei.

Mellékletek

1. sz. melléklet: Tulajdoni lap másolat, kataszteri térkép.
2. sz. melléklet: Légyfotók.
3. sz. melléklet: A tényfeltárást elrendelő határozat.
4. sz. melléklet: Tervezői jogosultság igazolása.
5. sz. melléklet: Laborvizsgálatok jegyzőkönyvei.
6. sz. melléklet: Fúrási rétegsorok.
7. sz. melléklet: Geodéziai vizsgálatok jegyzőkönyve.
8. sz. melléklet: Talajmechanikai vizsgálatok jegyzőkönyvei.
9. sz. melléklet: Mikrobiológiai laborvizsgálatok jegyzőkönyvei.
10. sz. melléklet: A modellfejezet mellékletei.

Táblázatok

- 1 sz. táblázat: A TPH-ra szennyezett talaj „B” és „D” izohipszáinak töréspontjai EOV koordinátákkal.
2. sz. táblázat: Az egyéb alkilbenzolokra szennyezett talaj „B” és „D” izohipszáinak töréspontjai EOV koordinátákkal.
3. sz. táblázat: Az összes PAH-ra szennyezett talaj „B” és „D” izohipszáinak töréspontjai EOV koordinátákkal.
4. sz. táblázat: Talajvíz TPH-ra szennyezett talajvíz „B” izohipszáinak a töréspontjai.

Fotók

1. sz. Fotó: Mintavételi pontok kialakítása „direct push” módszerrel.
2. sz. Fotó: Talajminta.
3. sz. Fotó: Béléscső a 3 csatornás vízmintavételhez.
4. sz. Fotó: A 3 csatornás mintavételi pontok felülnézete.
5. sz. Fotó: ISCO terepi teszt terület bemutatása.
6. sz. Fotó: A vízben feloldott oxidálószer.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az R&J Termelő Kereskedő és Szolgáltató Kft. területén észlelt felszín alatti szennyeződés feltárására a Tiszántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség a 9981/2007 sz. határozatában tényfeltárás elvégzését rendelte el.

A feladat elvégzésére TIKÖVIZIG pályázatot írt ki, amelyet irodánk a Golder Associates (Magyarország) Kft. nyert meg (20-89/2008 ügyiratszám). A szerződésben rögzítetteknek megfelelően, irodánk elkészítette a terület tényfeltárási záródokumentációját, és műszaki beavatkozási tervét.

A vizsgálatra kijelölt területen kezdetben előzetes szennyeződés feltáró fúrásokat végeztünk, amelyek alapján kijelöltük a későbbi talaj és talajvíz mintavételi pontokat. A mintavételi pontokat szónikus fúróberendezés használatával alakítottuk ki, és rétegszelektív talajvíz mintavételi pontokat is kiépítettünk.

A vizsgált felszín alatti közeg többnyire finomhomokos, iszapos, a terepi mérések időszakában megütött talajvízszintek 3,06 – 3,40 m között voltak a terepszint alatt.

Az analitikai vizsgálatok eredményei alapján, a talajban és a talajvízben egyaránt, alapvetően TPH (szénhidrogén) szennyeződést találtunk. A legmagasabb koncentrációval jellemezhető mintavételi pont a Pf1. Ebben a pontban a talajszennyeződés 24400 mg/kg TPH, a talajvíz szennyeződés 17600 µg/l TPH. A szennyezett felszín alatti térrész lehatárolása „B” szennyezettségi határértékre (talajra és talajvízre) megtörtént. A rétegszelektív talajvíz mintavételek eredményei alapján bizonyítható, hogy a szennyeződés mélység szerinti eloszlása a felszín alatti közeg heterogenitása alapján változik.

A mennyiségi környezeti kockázatfelmérés szerint, egyedül a szennyezetlen talajvíz testet találtuk kockázatos hatásviselőnek, így a talajvíz további elszennyeződésének kockázatát a talajszennyeződésből való bemosódással számolva vizsgáltuk meg. Ennek megfelelően, a kockázatot jelentő komponensekre „D” kármentesítési célállapot határértékeket határoztunk meg a talajra vonatkozóan, melyeket az alábbi táblázatban mutatunk be:

Komponens	„D” kármentesítési célállapot határérték (mg/kg)
TPH	7850
Egyéb alkilbenzolok összesen	15,3
Összes PAH	2,5

A szennyezett talajvíz elmozdulásának a lehetőségét hidraulikai és transzport modell segítségével vizsgáltuk. A modell eredmények alapján elmondható, hogy nem várható a szennyezett talajvíz elmozdulása, és mivel a talajvíz szennyeződés sem humán egészségügyi, sem környezeti kockázatot nem jelent, ezért a „D” kármentesítési célállapot határértéknek a talajvízben oldott, mért maximális szénhidrogén komponens koncentrációkat javasoljuk. A „D” értékeket az alábbi táblázatban mutatjuk be:

Komponens	Talajvízre mért maximális koncentráció érték javasolt „D” kármentesítési célállapot határérték (µg/l)*
TPH	17600
Egyéb alkilbenzolok összesen	86
Naftalinok	7,38
Összes PAH naftalinok nélkül	5,9

A fentiek alapján műszaki beavatkozásra csak a szennyezett talaj esetében van szükség. A Pf1 pont környezetében található talajszennyeződés felszámolására talajcserét terveztünk.

Mivel a munkára vonatkozó megrendelés értelmében a műszaki beavatkozás tervezése kvázi egy időben zajlott a tényfeltárás végzésével, a tervezéshez különböző in-situ kármentesítési technológiák – úgymint mikrobiológiai lebontás és in-situ kémiai oxidáció (ISCO) – alkalmazási lehetőségeit vizsgáltuk meg laborban és terepen.

Az in-situ mikrobiológiai kármentesítés laboratóriumi vizsgálati eredményi szerint a területen szegényes a mikroflóra populáció, ezért egy esetleges műszaki beavatkozáshoz külső (exogén) baktérium populáció bevitelére lenne szükség. A beoltott mikroflóra tápanyagigényeinek kielégítésére többnyire foszforban gazdag tápanyagra van szükség.

Az ISCO laboratóriumi, és terepi teszt eredményei azt mutatják, hogy ez a technológia hatékonyan alkalmazható a talajvíz tisztítására. A „D” kármentesítési célállapot határértékek ismeretében azonban nem indokolt a szennyezett talajvíz kármentesítése, elegendőnek tartjuk rendszeres monitoring vizsgálatok végzését. A talaj kármentesítését követően további 4-évre javasolunk talajvíz monitoring vizsgálatokat negyedéves gyakorisággal.

1. ALAPADATOK

1.1 Az érintett terület elhelyezkedése lehatárolása

A vizsgálati terület a 4. számú főút Püspökladány és Kaba közti szakaszán található, Püspökladány külterületén, a településtől 12 km-re az út északi oldalán. A telephely a főútról aszfaltozott üzemi úton közelíthető meg. (1. sz. ábra). A vizsgált terület szomszédságában mezőgazdasági területek (szántóföldek) találhatóak.

1.2 Tulajdonviszonyok és a jelenlegi területhasználat

A földhivatali nyilvántartás szerint a vizsgált, Püspökladány 087/10 terület tulajdonosa az R&J Termelő Kereskedő és Szolgáltató Kft. (4125 Debrecen, Holló J. utca 4.). A kataszteri térképet a tulajdoni lap másolattal együtt az 1. sz. mellékletben csatoltuk a jelentéshez.

A területen a tulajdonos sertéstelepet üzemeltet.

1.3 Az érintett területek bemutatása

A tényfeltárási vizsgálattal és műszaki beavatkozás tervezésével érintet terület (2. sz. ábra) sarokponti koordinátáit a 1. sz. szövegekői táblázatban tüntettük fel.

Sarokpont jele	EOV Y	EOV X
1	810442	224274
2	810483	224266
3	810466	224242

1. sz. szövegekői táblázat: Az érintett terület sarokponti koordinátái.

A vizsgálatra kijelölt területen feltárt felszín alatti szénhidrogén szennyeződés az olajfűtésű kazán üzemeltetése alatt történt havária esemény során alakult ki. Az olajtüzelésű rendszer jelenleg nem üzemel, azonban az egyes berendezések, mint: olajszivattyú-ház, kazánház (1. sz. fotó); fűtőolaj lefejtő akna (2. sz. fotó) és felszín alatti vezetékek fellelhetők a helyszínen. A felszíni tartályok már nem láthatók azonban ezek helye fellelhető a területen (3. sz. fotó).

1.4 A tényfeltárássra és műszaki beavatkozás elkészítésére kötelezett adatai

Tiszántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság	
Címe:	4025 Debrecen, Hatvan u. 8-10.

1.5 A tényfeltárássra és műszaki beavatkozás készítőinek, közreműködőinek adatai

A tényfeltáráss végzője és a műszaki beavatkozás tervezője	
Cégnév:	Golder Associates (Magyarország) Kft.
Címe:	1021 Budapest, Hűvösvölgyi u. 54.
Cégyjegyzékszám:	01-09-160184

<u>Közreműködők:</u>	
Geodézia:	Kiss József Földmérő Mérnök
Székhelye:	2083 Solymár, Munkás u. 8.
Engedélyének nyilvántartási száma:	GD1 13-8763
Fúrési munkálatok, talajmintavétel:	Geo-Engineering Kft.
Székhelye:	1223 Budapest, Erdőhegy u. 10.
A végzett tevékenységek felsorolása:	fúrési és ideiglenes kútszövezési munkák
A talaj, talajvíz mintavétel:	Golder Associates (Magyarország) Kft.
Székhelye:	1021 Budapest, Hűvösvölgyi u. 54.
A végzett tevékenységek felsorolása:	Talaj és talajvíz mintavétel
Mintavételi akkreditáció száma:	NAT-1-1147/2006
Az akkreditáció érvényessége:	2010. június 19.
Analitikai vizsgálatok:	Wessling Hungary Kft.
Székhelye:	1047 Budapest, Fóti út 56.
Vizsgálati akkreditáció száma:	NAT-1-1398/2008, DAP-PL-4155.00
Az akkreditáció érvényessége:	2012. április 21.

2. ELŐZMÉNYEK

A Püspökladány, 087/10 hrsz. ingatlanon, az R&J Termelő Kereskedő és Szolgáltató Kft., mint tulajdonos üzemelteti az 1970-ben létesített sertéstelepet. A telep üzemeltetéséhez szükséges egységes környezethasználati engedélyezési eljáráshoz kapcsolódóan, a Felügyelőség 4046/01/2002 sz. határozatában teljes körű környezetvédelmi felülvizsgálatra kötelezte a tulajdonost. A felszín alatti közegre elkészült részdokumentáció (Hajdúsági Környezetgazdálkodási Egyesülés, 4025 Debrecen, Miklós u. 38) eredményei alapján, a Felügyelőség megállapította, hogy a telepen található olajszivattyú-ház környezetében – az akkor még alkalmazott intézkedési határértéket meghaladó mértékű – szénhidrogén típusú talaj-, és talajvíz szennyeződés fordul elő.

A szennyeződést feltehetőleg a terület tulajdonosának jogelődje okozta, a Püspökladányi ZÖLDMEZŐ Agráripári Szövetkezet, aki működése idején olajfűtést alkalmazott. A fűtőberendezést a jogutód, R&J Kft. használhatatlan állapotban vette át, így a szennyezéssel kapcsolatosan felelősség nem terheli.

A múltbeli területhasználat változásának nyomon követése „légifotók” segítségével lehetséges. A légifotókat a 2. sz. *mellékletben* mutatjuk be. Az 1966-os légifotón a mai telephely helyén még termőföldek voltak. Az 1976-os légifotón azonban, már a telephely teljes egészében, a mai kiépítettségének megfelelően látható. Már ekkor létezett a kazánház és a szivattyúház, tehát valószínűleg már a kezdetektől olajfűtést használtak az egykori sertéstelepen. Az archív légifotók mellé egy aktuális műholdfelvételt (google) is mellékelünk.

Az egykori sertéstelep olajfűtésű kazánháza 1992. tavaszáig üzemelt. A havária – a környezetvédelmi felügyelőség munkatársának közlése alapján – 1988-ban történt, tehát ebben az időpontban juthatott a fűtőolaj a felszín alatti közegben. A havária során, a szivattyúházból kivezető egyik fűtőolaj nyomóvezetéke tört el, és a kiömlő szénhidrogén a talajban elsikkadt. A kiömlő fűtőolaj mennyiségéről, esetleges kárenyhítési munkálatokról nem volt fellelhető információ.

A Felügyelőség a 1859/40/2004 határozatában elrendelte a tényfeltárást a Püspökladány 087/10 hrsz. ingatlanon. Eközben a ZÖLDMEZŐ Agráripári Szövetkezet megszűnt (4. Fpk. 09-00-000115/45 bírósági végzés), tehát a Szövetkezet a Felügyelőség által előírt kármentesítési kötelezést elutasította.

A fentiek alapján, a Kvt 56 § (1) bek. b) pontja értelmében, a központi költségvetés hozzájárul a környezeti károk felszámolásához azon esetekben, amikor az másra nem hárítható, illetőleg a károk okozója ismeretlen, vagy a károkozásért való felelőssége nem érvényesíthető. Így a környezetszennyezés megszüntetése a Magyar Állam, ill. az általa feljogosított állami szerv a Tiszántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (TIKÖVIZIG) feladata.

A TIKÖVIZIG (cím 4025 Debrecen, Hatvan u. 8-10.) a Közbeszerzési Törvény 299.§ (1) b) pontja alapján egyszerűsített közbeszerzési eljárás keretén belül ajánlattételi felhívást küldött cégünknek 20-63/2008. ügyiratszámú levelében, az OKKP keretében megvalósuló kármentesítések tárgykorében. Az ajánlattételi felhívás, részekre történő ajánlattétel (c. pont) III. része esetében, kiegészítő tényfeltárást elvégzésére kért ajánlatot a Püspökladány 087/10. helyrajzi számú területre vonatkozóan.

A tényfeltárás elvégzését a Tiszántúli Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (TKTVF) rendelte el a 9981/2007 sz. határozata alapján (3. sz. *melléklet*). A tényfeltárás elvégzését az OKKP keretében a TIKÖVIZIG végzi, mint a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium (KvVM) kármentesítési feladatok irányításával megbízott szervezete.

A TIKÖVIZIG a pályázatok elbíráláskor (20-89/2008 ügyiratszám) a Golder Associates (Magyarország) Kft-t nevezte meg nyertes ajánlattevőnek, és bízta meg a tényfeltárás elvégzésével és egyidejűleg a műszaki beavatkozás tervezésével (20-86/2008 ügyiratszám). (4. sz. *melléklet*)

A fentiek alapján irodánk elkészítette a Püspökladány 087/10 helyrajzi számú területre a tényfeltárási záródokumentációt és a műszaki beavatkozási tervet. Ezzel párhuzamosan elkészítettük és benyújtottuk a TKTVF részére a monitoring rendszer vízjogi létesítési engedélyezési tervét is a 18/1996. (VI.13.) KHVM rendelet 2. sz. mellékletének tartalmi követelményei alapján.

3. AZ ÉRINTETT TERÜLET BEMUTATÁSA

3.1 A terület természeti adottságai

3.1.1 Természetföldrajzi viszonyok

A vizsgált terület a Hajdúságban, a Dél-hajdúság elnevezésű kistáj DNy-i csücskében található. A kistáj geomorfológiai szempontból löszös iszappal fedett, holocén – pleisztocén korú hordalékkúp-síkság. Az alacsony, ármentes síkság felszíne gyengén tagolt, az átlagos relatív relief mindössze $2,5 \text{ m/km}^2$, a tengerszint feletti magasság 88-110 m között változik. A kistáj D-i részét sűrűn fedik a különböző feltöltődési stádiumban lévő egykori folyómedrek (parti és övzátonyok). Így van ez a vizsgált terület környezetében is, a Google internetes műholdfotón (2. sz. melléklet) is jól látható az ÉK-felől DNy-felé progradáló folyóvízi övzátonyok sorozata.

Püspökladány környékének éghajlata mérsékelt meleg és száraz. Az évi napfénytartam megközelíti a 2000 órát. Ebből nyáron átlagosan 810 órát, télen csak 185 órát süt a nap. Az évi középhőmérséklet $9,9\text{-}10,0^\circ\text{C}$ között ingadozik. A vegetációs időszak átlaghőmérséklete: $16,8\text{-}17,0^\circ\text{C}$. A nyári legmelegebb maximumok, ill. a téli leghidegebb minimumok sokévi átlaga: $+34,0\text{-}34,2^\circ\text{C}$ és $-16,5 - -17,0^\circ\text{C}$. Az évi csapadékmennyiség 570 mm körül ingadozik, a vegetációs időszakban 310-330 mm várható. Az eddig a legnagyobb 24 órás csapadékot a kistájon belül, a közeli Kabán mérték, 88 mm-t. A hótakarós napok évi átlagos száma 38-40, az átlagos maximális hóvastagság 16-18 cm. A terület ariditási indexe 1,24-1,33, az éves vízhiány meghaladja a 130 mm-t.

A nagyobb élővízfolyások, mint a Hortobágy-Berettyó, a Kösely és a Keleti-főcsatorna, a területtől több mint 10 km-es távolságra folynak.

A kistáj termőtalajainak legnagyobb részét a kedvező termékenységű réti csernozjomtalajok alkotják. Ezek a talajok a löszös területekre jellemzők, mechanikai összetételük vályogos, szervesanyag-tartalmuk 3-4 %.

3.1.2 A térség vázlatos mélyföldtani felépítése

A térség mélyföldtani felépítése a múltban mélyült, nagyszámú szénhidrogén kutatófúrás rétegsora alapján viszonylag jól ismert.

Területünk,- szerkezetföldtani szempontból - a Tiszai főegység Szolnok egységének („Szolnok-Máramarosi flisöv”) déli részéhez tartozik. Itt a medencealjzatot késő-kréta (szenon) – eocén – oligocén korú törmelékes, flisoid üledékek alkotják (Szolnoki Flis Formáció = „Nádudvari Komplexum”). A medencealjzat felszíne hozzávetőlegesen 2100 méteres mélységben húzódik. A paleogén üledékekre a miocén közepétől egészen a pannóniai kor elejéig, riolitos-dácitos piroklasztit összlet rakódott le (Tari Dácittufa Formáció, Tokaji Vulkanit Formáció). A vulkáni formációk pontos vastagsága nem ismert, de áttörve a fekűt alkotó idősebb képződményeket, akár több száz méter is lehet.

Az alsó-pannon formációkat (Endrődi Formáció, Algyői Formáció), nyíltvízi medencefáciések – szürke agyagmárga, aleurit és homokkő – képviselik, vastagságuk eléri a 900-1000 métert.

A felső-pannon nyíltvízi formációk (Algyői Formáció, Újfalui Homokkő Formáció, Zagyvai Formáció) vastagsága meghaladja a 700 métert. Az uralkodó litofáciesek a szürke agyagmár-gák és aleuritok.

A negyedidőszaki folyóvízi rétegsor agyagok és homokok sűrű váltakozásával jellemezhető, az egyes rétegek átlagos vastagsága 5-10 méter. A pleisztocén folyóvízi üledékösszlet várható összvastagsága a területen eléri a 250 métert. A folyóvízi rétegek fedőjében a felszínen, infúziós lösszel keveredett, felső-pleisztocén korú folyóvízi szikes agyagok települnek. Az óholocén folyóvízi medreket aleuritos képződmények töltik ki néhány méteres vastagságban.

3.2 A regionális hidrogeológiai viszonyok áttekintése

3.2.1 Talajvíz

Püspökladány és Kaba között egységes, összefüggő, általában nyomásalatti talajvíztükör található. A talajvízszint átlagos mélysége a felszín alatt, a vizsgált helyszín körzetében mindössze 2-3 méter. A talajvíz a késő-pleisztocén korú felszínközeli finomtörmelékű összletben (homokliszt, iszap, agyag) ÉK felől DNy-felé áramlik, $i = 0,001$ m/m hidraulikus esés mellett, mennyisége – a vízáadó rétegek finom szemcseösszetétele miatt – nem jelentős.

A talajvízszint sokévi ingadozása, a finomszemcsés vízáadó összlet miatt, több méteres is lehet.

A talajvíz kemizmusa nátrium-hidrogénkarbonátos, összes oldott sótartalma magas, átlagos keménysége 10-20 nk° közötti. A talajvíz magas nátriumion-tartalma miatt a termőtalaj szikesedésre hajlamos.

3.2.2 Rétegvizek

Hasznosítható rétegvizeket a vastag pleisztocén folyóvízi összletek és a felső-pannon korú formációk magasabb szintjei tároznak. A pleisztocén rétegsor alján, 200 méter alatt, jó vízáadórétegek települnek, de az innen nyert víz magas gáz-tartalmú. A felső-pannon összletben sok homokos, jó vízáadóréteg van, de a víz magas hőmérséklete korlátozza a felhasználást.

A vizsgált területen és közvetlen környezetében a múltban 2 db kataszteri kút mélyült.

Az 1970-ben létesített 109 méteres talpmélységű K-171. sz. kutat három szintben szűrőzték (50,9-64,8 m, 67,8-72,8 m, 95,9-102,0 m), a kút nyugalmi vízszintje -3,0 m-ben (85,679 m Bf.) állt be. 16,9-18,1 liter/perc/méter fajlagos vízhozamok mellett 13 °C-os víz nyerhető. A víz összes oldott sótartalma alacsony (555,71 mg/l), a víz kémiai jellege nátrium-hidrogénkarbonátos.

Az 1974-ben fúrt K-181. sz. kataszteri kút talpmélysége 190 m volt. A szűrőzött szakaszok: 135,5-145,5 m, 152,0-158,0 m, 176,5-182,5 m. A kút nyugalmi vízszintje -2,3 m (86,31 m Bf.) volt, 48,8-58,0 liter/perc/méter fajlagos vízhozamok mellett 18 °C-os víz volt nyerhető.

3.3 A terület érzékenysége

A 7/2005. (III. 1.) KvVM rendelet, valamint a 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet 2. sz. mellékletének 1.a. „Felszín alatti vizek állapota szempontjából érzékeny területek” térképmelléklete szerint, a vizsgált terület az érzékeny területek közé tartozik.

4. A TÉNYFELTÁRÁS MÓDSZERE ÉS A MŰSZAKI BEAVATKOZÁS TERVEZÉSÉNEK LÉTESÍTMÉNYEI

4.1 Fúrási munkálatok

A szennyeződés feltárása érdekében, valamint a terepi tesztek kivitelezéséhez a vizsgálatra kijelölt területen a következő létesítmények kerültek kialakításra:

- 15 db felderítő fúrás, max. 3,2 m mélységig, összesen 46,8 fm,
- 16 db talaj- és talajvíz-mintavételi pont, max. 6,0 m mélységig, összesen 83 fm,
- 1 db injektáló pont, 5,5 fm,
- 2 db réteg szelektív mintavételi pont, összesen 13,5 fm.

A vizsgálati pontok helyét a 3. sz. ábrán és 2. sz. szövegekzi táblázatban tüntettük fel.

A területen első körben felderítő fúrásokat végeztünk, amelynek célja a szennyeződés tágabb területen való előfordulásának a vizsgálata volt. A felderítő fúrásponatok (P1...P15) légterében RKI Eagle kézi fotoionizációs műszerrel mértük a talajlevegő könnyenilló szénhidrogén tartalmát n-hexán-ra vonatkoztatva. Az eredmények alapján a talajlevegőben könnyenilló szénhidrogének nem voltak kimutathatóak. Mindezen terepi vizsgálatok eredményei alapján tűztük ki a később kialakított talaj-, és talajvíz mintavételi pontok helyét. A felderítő fúrások maximálisan 3,2 m mélységig mélyültek a talajvíz telítetlen zónájában. A szennyezett területek lehatárolásához, a talajminták szennyezettségét érzékszervi úton vizsgáltuk. A vizsgálatokat a Golder Associates Kft. (1021 Budapest, Hűvösvölgyi út 54.) végezte el.

A mintavételi pontok kialakítását a Geo-Engineering Kft. (1223 Budapest, Erdőhegy u. 10.) végezte. A talajvíz mintavételi pontok (Pf1...Pf16), hangfrekvenciás rezgésszámú (szónikus) fúróberendezés segítségével, forgatás nélküli besajtolással lettek kialakítva (lásd. 4. sz. fotó). Az 5. sz. fotón a fúrás során kinyert zavartalan talajfuratot, magmintát mutatjuk be.

Védőcsőben került elhelyezésre a Ø40 mm átmérőjű PVC béléscső, 0,5 m iszapzsák felett a kutak 2,5-5,5 m szakaszon lettek beszűrözve. A védőcső 1 m-es visszahúzását követően a gyűrűsteret kavicsolással biztosították. A vízmintavétel kishozamú, ún. „low flow” technológiával történt. Az injektáló pont (IS) hasonló módon került kialakításra, azonban az IS pontba Ø40 mm KPE béléscsővet helyeztek, 3,33-5,0 m között szűrözve.

Minta jele	EOV Y	EOV X	EOV Z	Csőperem magasság (m)	Talpmélység (m)	Szűrőzés (m-m)
Pf-1	810466,63	224253,68	89,18	0,31	6,0	2,5-5,5
Pf-2	810479,47	224265,89	89,03	0,22	5,5	2,5-5,0
Pf-3	810450,17	224267,49	89,05	0,36	5,5	2,5-5,0
Pf-4	810456,17	224257,44	89,08	0,32	5,5	2,5-5,0
Pf-5	810455,25	224247,31	89,09	0,33	5,5	2,5-5,0
Pf-6	810462,66	224239,15	89,05	0,33	5,5	2,5-5,0
Pf-7	810474,05	224241,35	89,04	0,29	5,5	2,5-5,0
Pf-8	810486,58	224262,69	88,75	-	5,5	2,5-5,0
Pf-9	810480,02	224251,94	89,07	0,35	5,5	2,5-5,0
Pf-10	810473,43	224259,90	89,00	0,32	5,5	2,5-5,0

Minta jele	EOV Y	EOV X	EOV Z	Csőperem magasság (m)	Talpmélység (m)	Szűrőzés (m-m)
Pf-11	810465,69	224268,83	89,45	-	8,0	3,5-3,8; 5,35-5,65; 7,4-7,7
Pf-12	810474,87	224275,16	89,03	0,3	5,5	2,5-5,0
Pf-13	810482,79	224273,08	88,80	-	5,5	2,5-5,5
Pf-14	810444,72	224264,58	89,09	0,36	5,5	2,5-5,0
Pf-15	810456,67	224273,81	89,00	0,35	5,5	2,5-5,0
Pf-16	810445,42	224274,68	88,96	0,38	5,5	2,5-5,0
PRSZ1	810475,23	224265,42	89,52	-	5,5	3,4-3,7; 4,0-4,3; 4,6-4,9
IS	810478,48	224267,67	89,65	-	5,5	3,3-5,0

2. sz. szövegekzi táblázat: A vizsgálati pontok műszaki paramétereit és EOY koordinátái.

A vízmintavételi pontok közül 2 db három csatornás réteg szelektív kútként került kialakításra. A három csatornás CMT vízmintavételi pontok (Pf11, PRSZ1) kialakításához elvesző csúccsal ellátott, 68 mm átmérőjű, egymáshoz menetesen rögzített, vízáró acél védőcső került besajtolásra (forgatás nélkül). A kívánt mélység elérését követően a védőcsőbe került elhelyezésre a 28 mm átmérőjű műanyag bélésű (Solinst® termék), melyben 3 db, egyenként 9,5 mm átmérőjű, egymástól különálló belső hosszanti cső (furat) van kialakítva (6. és 7. sz. fotók). A behelyezést megelőzően a kívánt különböző mintavételi mélységeknek megfelelően hasítják fel kívülről a belső furatokat egy-egy helyen, 0,2 m hosszban. A megnyitott szakasz alját gumidugóval letömítik, majd a hasíték köré fém szitaszövetet tekernek és rögzítenek. Így az egyes furatokba, csak a kijelölt mélységek között történhet a vízbeáramlás az alkalmazott „low flow” mintavételi eljárással, oly módon, hogy a különböző mélységekből szivattyúzott vizek nem keverednek. A bélésű behelyezését követően az acél védőcső visszahúzásra került. A megnyitott szakaszok közötti részek bentonittal lettek tömítve. A vízmintavételek kishozamú, „low flow” technológiával történtek, a rétegben a vertikális vízmozgás kialakulásának a megakadályozása érdekében. A három csatornás CMT kutak egy általános függőleges metszetét a 1. sz. szövegekzi ábrán mutatjuk be¹.

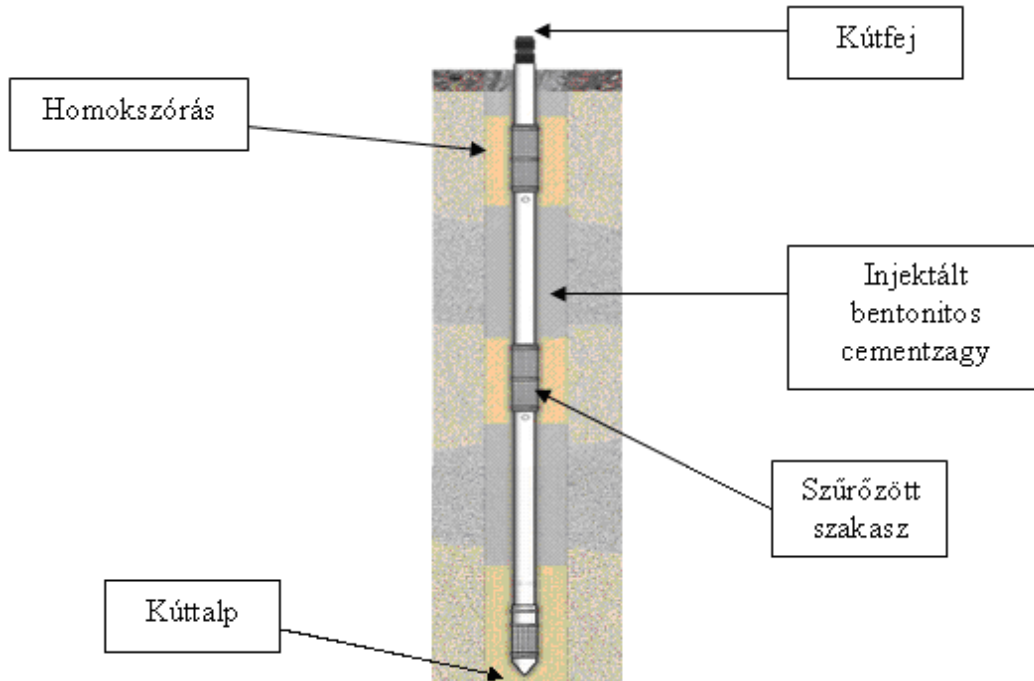
Az általunk kialakított három csatornás kutakban a rétegek a következőképpen lettek elkülönítve (3. sz. szövegekzi táblázat).

Minta jele	Pf11	PRSZ1
Mélységköz	3,5-3,8 m	3,4-3,7 m
	5,35-5,65 m	4,0-4,3 m
	7,4-7,7 m	4,9-5,2 m

3. sz. szövegekzi táblázat: A rétegszelektív mintavételi pontok paramétereit.

A vizsgálati területen kialakított ideiglenes vízmintavételi pontok (Pf1...Pf16, IS, PRSZ1), a terepi vizsgálatok befejezését követően eltömmedékelésre kerültek.

¹ Geo-Engineering (www.cpt.hu) alapján



1. sz. szövegközi ábra: A három csatornás kút elvi metszete.

4.2 Mintavételezés

A talaj és talajvíz mintavételeket a Golder Kft. szakemberei végezték az MSZ-21464. sz. szabvány előírásai szerint. A mintavételek paramétereit vízmintavételi jegyzőkönyvben rögzítettük, melyeket irodánk irattárában archiváltunk. Irodánk a Nemzeti Akkreditáló Testület által NAT-1-1147/2006 számon akkreditált mintavevő szervezet.

4.3 Laboratóriumi vizsgálatok

4.3.1 Analitika

A tényfeltáráshoz és a műszaki beavatkozás tervezéséhez begyűjtött talaj- és talajvíz-minták analitikai vizsgálatait a Wessling Hungary Kft. (1047 Budapest, Fóti út 56.) végezte (4. sz. szövegközi táblázat). A laboratórium a Nemzeti Akkreditáló Testület által NAT-1-1009 számon akkreditált vizsgáló laboratórium. A laboratóriumi vizsgálati eredményeket az 5. sz. melléklet tartalmazza.

72 db talajmintán végeztünk TPH-IR vizsgálatokat. Ebből a legszennyezettebb 3-3 db ponton EPH, VPH és PAH analitika történt. A talajvíz minták, összesen 17 db, EPH, VPH valamint PAH komponensekre lettek megvizsgálva. Általános vízkémiai vizsgálatokat (ÁVK) végeztünk a Pf2, Pf3 és Pf12 jelű talajvíz mintákon.

Mikrobiológiai vizsgálatokat végeztünk 2 db talaj és 2 db talajvíz mintán (Pf1 és Pf11). A vizsgálatokat a Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Közalapítvány Biotechnológiai Intézete végezte el.

Laboratóriumi körülmények között kémiai oxidációs (ISCO) vizsgálatokat végeztünk ugyanazon talaj és talajvíz mintán (Pf2), különböző típusú és koncentrációjú oxidálószer alkalmazásával.

zásával. A vizsgálatokat a Golder egyik kémiai laboratóriumi ismeretekkel és gyakorlattal rendelkező munkatársa végezte el a Wessling Hungary Kft. laboratóriumában.

Vizsgálat típusa	Vizsgálati módszer	Szabvány száma	Vizsgált minták száma (db)
Talajminták			
TPH	FT-IR	MSZ/T 21470-99:2004	72+12(ISCO)
EPH,VPH	GC-MS, GC-FID	HP-6890-GCMS_04-5973, HP-6890-GC_08-FID/FID	6
PAH	GC-MS	HP-6890-GCMS_06-5973	6
Talajvíz-minták			
ÁVK	UV2-100 UV-VIS spektrofotométer, PE Optima 5300 DV ICP-OES, Metrohm 850 Professional IC, Inolab pH / vez.kép. mérő	MSZ 1484-3:2006 MSZ EN ISO 11885:2000 MSZ ISO 10523:2003 MSZ EN 27888:1998 MSZ EN ISO 8467:1998 MSZ EN ISO 9963-1:1998 MSZ EN ISO 10304-1:1998 MSZ EN 26777:1998 MSZ ISO 7150-1:1992	3
VPH	GC-FID/PID	WBSE-26:2004, MSZ 1484-4:1998	17+28(ISCO)
EPH	GC-FID	MSZ EN ISO 9377-2:2001	17+28(ISCO)
PAH	GC-MS	MSZ 1484-6:2003, EPA Method 8270C:1996	17+16(ISCO)

4. sz. szövegekzi táblázat: A talaj és talajvízmintákon elvégzett laboratóriumi vizsgálatok összefoglalása.

4.4 A telephely környezetföldtani viszonyai

A terület környezetföldtani viszonyait a területen 2008. augusztus-szeptember időszakában mélyült fúrások rétegsorai alapján tekintjük át.

A 5. sz. szövegekzi táblázat a területen mélyült fúrások vázlatos rétegsorait mutatja: A fúrási rétegsorokat a 6. sz. mellékletben mutatjuk be.

Fúrás jele	Antropogén feltöltés (m – m)	Humuszos termótalaj (holocén) (m – m)	Kisképlékenységű folyóvízi, löszös üledékek (f-pleisztocén) (m – m)	Nagyképlékenységű folyóvízi, pelites üledékek (f-pleisztocén) (m – m)
Pf1.	0,0-0,5	0,5-1,8	1,8-6,0	
Pf2.	0,0-1,5	1,5-2,0	2,0-5,2	5,2-5,5
Pf3.	0,0-0,3	0,3-1,0	1,0-5,2	5,2-5,5
Pf4.	0,0-0,4	0,4-1,0	1,0-5,1	5,1-5,5
Pf5.	-	0,0-0,5	0,5-5,3	5,3-5,5
Pf6.	-	0,0-0,6	0,6-4,8	4,8-5,5
Pf7.	-	0,0-1,7	1,7-5,2	5,2-5,5
Pf8.	0,0-0,3	0,3-1,7	1,7-5,1	5,1-5,5
Pf9.	0,0-0,3	0,3-1,7	1,7-5,1	5,1-5,5
Pf10.	-	0,0-1,8	1,8-4,9	4,9-5,5

Fúrás jele	Antropogén feltöltés (m – m)	Humuszos termőtalaj (holocén) (m – m)	Kisképlékenységű folyóvízi, löszös üledékek (f-pleisztocén) (m – m)	Nagyképlékenységű folyóvízi, pelites üledékek (f-pleisztocén) (m – m)
Pf11.	0,0-0,2	0,2-1,5	1,5-5,8	5,8-8,0
Pf12.	0,0-0,5	0,5-1,7	1,7-5,0	5,0-5,5
Pf13.	0,0-0,3	0,3-1,8	1,8-	5,1-5,5
Pf14.	-	0,0-1,7	1,7-4,8	4,8-5,6
Pf15.	0,0-0,2	0,2-0,7	0,7-4,8	4,8-5,5
Pf16.	-	0,0-1,8	1,8-4,8	4,8-5,5
P1.	0,0-0,2	0,2-1,5	1,5-3,1	
P2.	0,0-0,3	0,3-1,6	1,6-3,2	
P3.	0,0-0,2	0,2-0,9	0,9-3,1	
P4.	0,0-0,1	0,1-1,5	1,5-3,1	
P5.	0,0-0,2	0,2-1,6	1,6-3,2	
P6.	0,0-0,2	0,2-1,3	1,3-3,1	
P7.	0,0-0,4	0,4-1,2	1,2-3,1	
P8.	-	0,0-0,7	0,7-3,1	
P9.	0,0-0,1	0,1-1,6	1,6-3,1	
P10.	-	0,0-0,8	0,8-3,2	
P11.	-	0,0-0,8	0,8-3,1	
P12.	-	0,0-1,5	1,5-3,1	
P13.	-	0,0-1,6	1,6-3,1	
P14.	0,0-0,1	0,1-1,6	1,6-3,2	
P15.	0,0-0,2	0,2-1,5	1,5-3,1	
IS	-	0,0-1,7	1,7-5,2	5,2-5,5
PRSZ1.	-	0,0-1,7	1,7-5,1	5,1-5,5

5. sz. szövegközi táblázat: A fúrások vázlatos rétegsorai.

A vizsgált területen, a felszínen és felszín közelben sok helyen inhomogén, antropogén feltöltés nyomozható. A feltöltés vastagsága változó, általában csak néhány dm-es, maximális vastagság 1,5 m. Néhány feltárási pontban hiányzott. Szerkezete laza, színe fekete, anyaga kavicsos, homokos, homoklisztes, betonnal és építési törmelékkel keveredve.

A feltöltés alatt mindenütt sötétbarna, fekete humuszos termőtalaj réteg következik, amely az alatta lévő löszös feképződmények holocén korú málladéka. Anyaga agyagos, iszapos homokliszt, vastagsága változó, 0,5 – 1,8 méter között ingadozik.

A humuszos termőréteg fekéjében sárga, sárgásszürke, folyóvízi infúziós löszös képződményeket – iszapos homokliszt, homokliszt, finomhomok és homoklisztes agyag – találunk. Vastagságuk általában 1,5-3 méter között változik. Plaszticitás szempontjából ezek az üledékek iszapos homoklisztnak, iszapnak és sovány agyagnak minősülnek, de előfordulnak kohéziómentes talajok is. Gyakoriak a csigamaradványok és a mészkonkréciók.

Az infúziós löszös rétegek alatt mindenütt sárga, szürke, rozsdáeres, nagy képlékenységű, folyóvízi agyagok következnek. Plasztikus indexük 26,3-54,0 % között változik, de jellemzőek a 30%-nál nagyobb értékek. A réteg teteje a felszíntől általában 4,8 – 5,3 méteres mélységben húzódik, de a Pf1. fúrásban csak 6 méterben érték el. Környezetföldtani szempontból fontos képződmények ezek, mivel az olajszenyeződés jelentősebb vertikális migrációját hatékonyan akadályozzák.

4.5 Helyszíni mérések, vizsgálatok

4.5.1 Geodézia

A vizsgálati pontok (Pfl...16, PRSZ1, IS jelűek) EOVS koordinátáinak meghatározását Kiss József Földmérő Mérnök (2083 Solymár, Munkás u. 8.) GPS és mérőállomás használatával végezte. A GPS vevőpár alkalmas egymástól több kilométer (maximum 25 km) távolságra levő pontok néhány milliméteres pontosságú beméréséhez. A mérés során Sokkia Stratus egy-frekvenciás GPS vevőpárt alkalmaztak. Az egyik vevőt egy már ismert EOVS koordinátájú helyszínen állították fel, míg a másik GPS készülékkel a bemérendő pontokra álltak. Az alkalmazott mérőállomás típusa: SET 4C volt. A geodéziai mérések eredményét a 7. sz. mellékletben és a 2. sz. szövegek közötti táblázatban mutatjuk be.

4.5.2 A talajmechanikai vizsgálatok eredményei

Talajminősítő talajmechanikai vizsgálatokat főleg a finomszemcsés, pelites üledékek pontosabb litológiai besorolása céljából végeztünk.

A Pf2., a Pf3., a Pfl1. és a Pfl6. jelű, összesen 13 db talajmintát vizsgáltunk, a vizsgálatok az ML-Geotechnika Kft. talajmechanikai laboratóriumában (1184 Budapest, Lakatos u. 61-63.) történtek.

Az összes talajmintából a természetes víztartalmat (W %), a folyási határt (W_L %), a sodrási határt (W_P %) és származtatott adatként a plasztikus indexet (I_p %) és a relatív konzisztencia indexet (I_c) határoztattuk meg. 6 db zavartalan kiszűrt mintából változó víznyomású készülékkel megmérték a szivárgási tényezőt. A talajmechanikai vizsgálatok eredményeit az 6. és 7. sz. szövegek közötti táblázatban tüntettük fel.

Minta jele	W (%)	W_L (%)	W_p (%)	I_p (%)	I_c	k (cm/sec)
Pf2.	/2,0 m	20,5	31,1	18,2	12,9	-
	/4,5 m	22,5	29,6	17,7	11,9	-
	/5,3-5,5 m	30,1	58,0	26,8	31,2	$2,6 \times 10^{-7}$
Pf3.	/0,5-1,0 m	12,2	39,9	21,2	18,7	$3,9 \times 10^{-5}$
	/3,5-3,7 m	23,2	31,4	20,4	11,0	-
	/5,3-5,5 m	30,7	83,5	29,4	54,0	*
Pf6.	/2,7-2,9 m	26,0	33,2	21,2	12,0	-
	/4,5-4,7 m	24,5	28,4	17,6	10,8	-
	/5,3-5,5 m	34,4	82,5	31,6	50,9	*
Pfl1.	/2,9-3,2 m	22,3	38,8	20,0	18,8	$5,3 \times 10^{-5}$
	/4,7-5,3 m	22,9	26,7	17,6	9,1	-
	/6,0-7,0 m	24,3	52,6	22,7	29,9	$3,2 \times 10^{-5}$
	/7,4-7,7 m	24,3	46,4	20,1	26,3	-

W (%) = természetes víztartalom; W_L (%) = folyási határ; W_p (%) = sodrási határ

I_p (%) = plasztikus index; I_c = relatív konzisztencia index; k (cm/sec) = szivárgási tényező;

* a nagyplaszticitású minták a kísérletek során teljesen vízzárónak bizonyultak

6. sz. szövegek közötti táblázat: A talajmechanikai vizsgálatok eredményei.

Minta jele	Ip (%)	A minta elnevezése plastikus index alapján
Pf2. /2,0 m	12,9	iszap
/4,5 m	11,9	iszap
/5,3-5,5 m	31,2	kövér agyag
Pf3. /0,5-1,0 m	18,7	sovány agyag
/3,5-3,7 m	11,0	iszap
/5,3-5,5 m	54,0	kövér agyag
Pf6. /2,7-2,9 m	12,0	iszap
/4,5-4,7 m	10,8	iszap
/5,3-5,5 m	50,9	kövér agyag
Pf11. /2,9-3,2 m	18,8	sovány agyag
/4,7-5,3 m	9,1	iszapos homokliszt
/6,0-7,0 m	29,9	közepes agyag
/7,4-7,7 m	26,3	közepes agyag

7. sz. szövegtáblázat: A talajminták plastikus indexe.

A folyási határ (W_L) és a plastikus index (I_p) számértékei alkalmasak a különböző genetikájú finomszemcsés laza üledékek azonosítására is. Az ún. Casagrande-diagram alapján a vizsgált pelites talajminták közepes ill. nagy plasticitású, szervesetlen, többé-kevésbé konszolidált agyagok. A minták egy részét kis kohéziójú talajok alkotják. A fúrasi rétegsorok leírása (ld. 6. sz. melléklet) a talajmechanikai nevezéktan szerint történt. A talajmechanikai vizsgálatok laboratóriumi jegyzőkönyvei a 8. sz. mellékletben találhatóak.

4.5.3 Folyadékszint mérések

A 2008. október 15-én végzett egyidejű vízszint mérések adatait 8. sz. szövegtáblázatban mutatjuk be.

Megfigyelő pont jele	Talajvízszint csőperemtől (m)	Talajvízszint terepszinttől (m)	Talajvízszint (mBf.)
Pf1.	3,70	3,40	85,48
Pf2.	3,48	3,28	85,55
Pf3.	3,57	3,17	85,48
Pf4.	3,60	3,25	85,48
Pfa4.	3,75	3,25	85,49
Pf5.	3,65	3,30	85,44
Pf6.	3,62	3,27	85,43
Pf7.	3,56	3,26	85,48
Pf8.	3,21	3,21	85,54
Pf9.	3,56	3,16	85,51
Pf10.	3,48	3,13	85,52
Pf11.	3,94	3,14	85,51
Pf12.	3,47	3,17	85,56
Pf13.	3,24	3,24	85,56
Pf14.	3,61	3,21	85,48
Pf15.	3,50	3,10	85,50

Megfigyelő pont jele	Talajvízszint csőperemtől (m)	Talajvízszint terepszinttől (m)	Talajvízszint (mBf.)
Pf16.	3,46	3,06	85,50
PRSZ1.	4,00	3,20	85,52
IS	4,10	3,30	85,55

8. sz. szövegekői táblázat: Az egyidejű vízszintmérési adatok.

A táblázat adatai szerint, a mérések időpontjában a talajvíztükör a telephelyen 3,06 – 3,40 m mélységben húzódott. Az egyidejű vízszintmérési adatokból talajvíz térképet szerkesztettünk (lásd. 4. sz. ábra). A térkép tanúsága szerint, a vizsgált területen a talajvíz ÉK-ről DNY-felé áramlik, ez jól egyezik a térségi áramlási iránnyal. A talajvíz esése viszonylag kicsi, a Pf13. és a Pf5. pontok vízszintjeit tekintve, 38 méter távolságon belül mintegy 0,12 méter ($i = 0,0031$ m/m).

A talajvíz a területen a negyedidőszaki löszös, folyóvízi finomszemű üledékekben tározódik. A talajvíztartó nem egységes, uralkodóan iszapos, homoklisztes, de iszapos homokok is előfordulnak. A vízrekesztő fekü átlagosan 5 méteres mélységben húzódik, nagy képlékenységű ($I_p > 30\%$) folyóvízi agyagok alkotják.

A fúrásokban az először észlelt ún. megütött talajvízszintek rendre alacsonyabbak, mint a 24 órás nyugalmi vízszintek. Ennek oka elsősorban a víztározó rétegek rossz vízvezető képességében keresendő, ami miatt a talajvíz, csak lassan gyűlik össze a fúrólukban.

A vízáadó rétegek vízvezetőképessége gyenge – közepes, az elvégzett talajmechanikai vizsgálatok alapján a szivárgási tényezők $k = 10^{-5}$ cm/sec nagyságrendűek. A homokosabb rétegek esetében a „k” értéke 1-2 nagyságrenddel nagyobb is lehet.

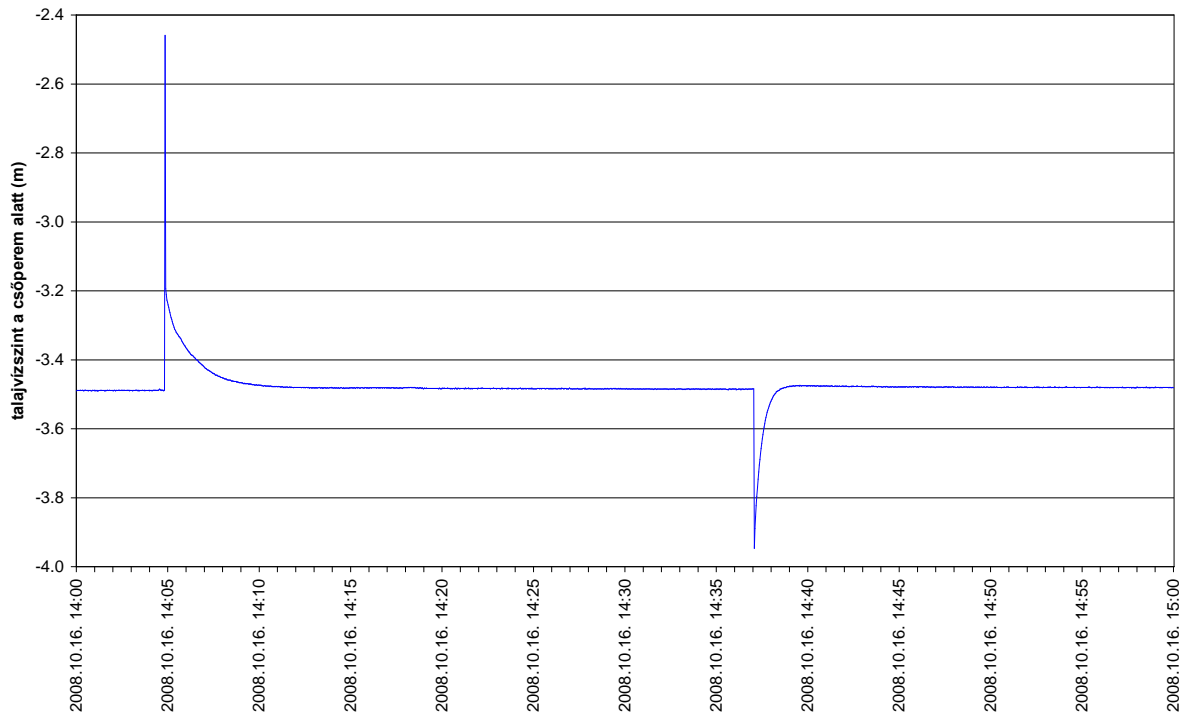
A talajvíz kemizmusa – a Pf3. és a Pf12. pontok vízelemzési adatai alapján – nátrium-hidrogénkarbonátos, magas nitrát-, klorid- és szulfátion tartalommal.

4.5.4 Kúttesztek

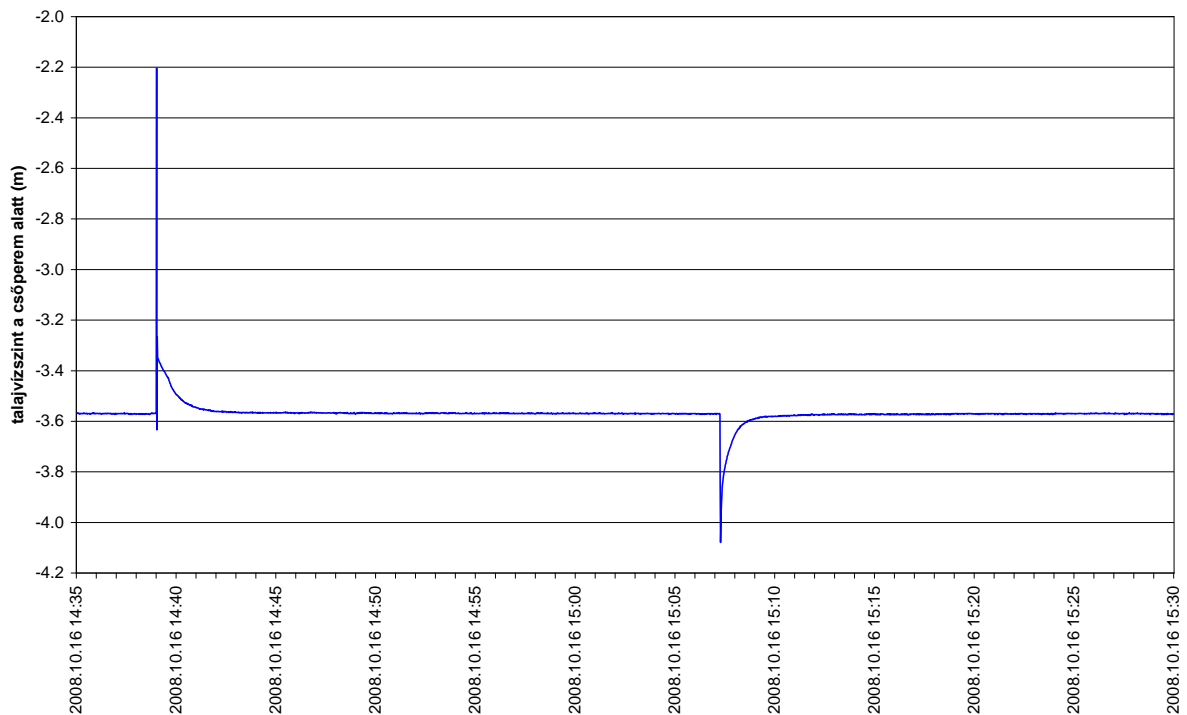
2008.04.23-án a Golder Kft. hidraulikai teszteket végzett a Pf2, Pf3 és Pf5 jelű megfigyelő kutakban az üledékek hidraulikai paramétereinek meghatározása céljából. Mindhárom kútban ún. *slugtesztet* végeztünk. A slugteszt során a kútban pillanatszerű vízszintváltozást hozunk létre, majd mérjük a vízszint időbeli változását a nyugalmi állapotba való visszatérésig. A vízszintváltozás üteméből következtethetünk a vizsgált réteg vízvezető képességére (szivárgási tényezőjére).

A vizsgált figyelőkutakban úgy hoztuk létre a vízszintváltozást, hogy a kútba tömör tárgyat (ezt hívjuk *slugnak*) ejtettünk. Esetünkben ez egy 970 mm hosszú, 25 mm átmérőjű henger volt. A beejtett tárgy a térfogatának megfelelő vízkiszorítást hozott létre, azaz a kútban a vízszint (nyomásszint) pillanatszerűen megemelkedett. Dataqua-típusú automatikus vízszintregisztráló műszerrel mértük a vízszint időbeli változását a nyugalmi állapotba való visszatérésig. Ezután a *slugot* hirtelen kiemeltük a kútból, ami pillanatszerű vízszintcsökkenést okozott. A vízszint visszatöltődésének ütemét szintén mértük, egészen a nyugalmi állapotba való visszatérésig.

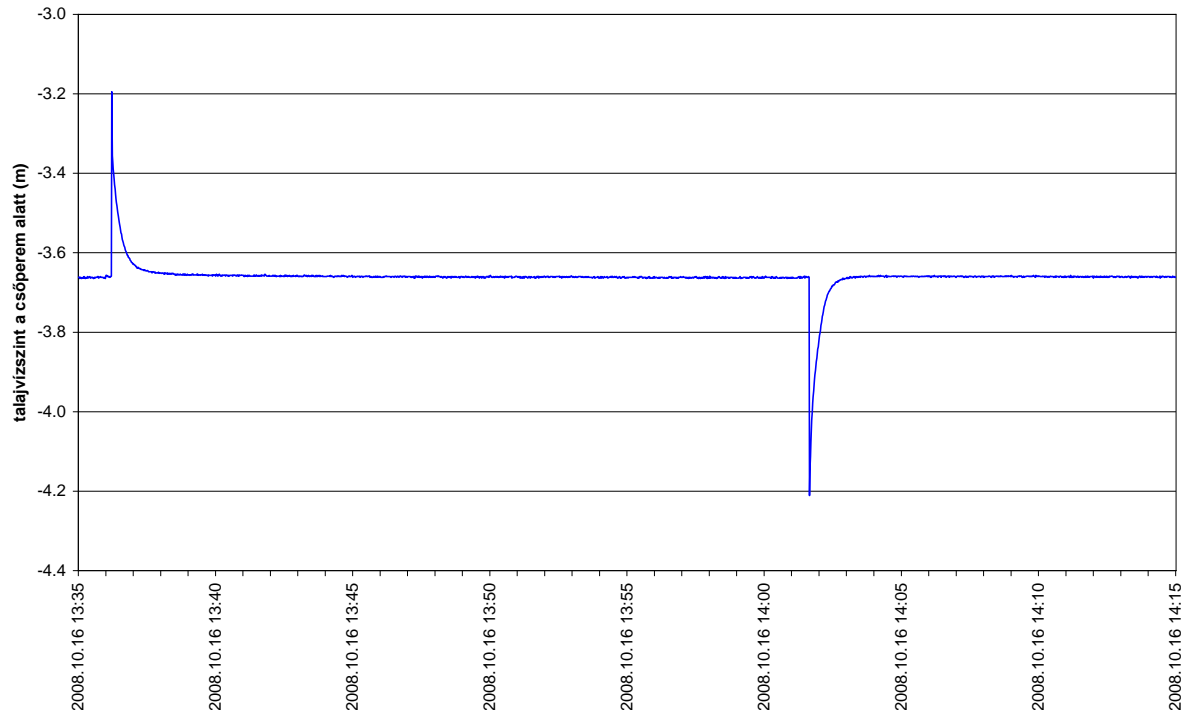
A Pf2 kútban mért vízszintváltozást az 2. sz. szövegekői ábra mutatja be, a Pf-3 vízszintjét a 3. sz. szövegekői ábra, míg a Pf5 jelű kútban mért értékeket a 4. sz. szövegekői ábra.



2. sz. szövegekői ábra: A talajvízszint változása Pf2 kútban a slugteszt során.



3. sz. szövegekői ábra: A talajvízszint változása Pf3 kútban a slugteszt során.

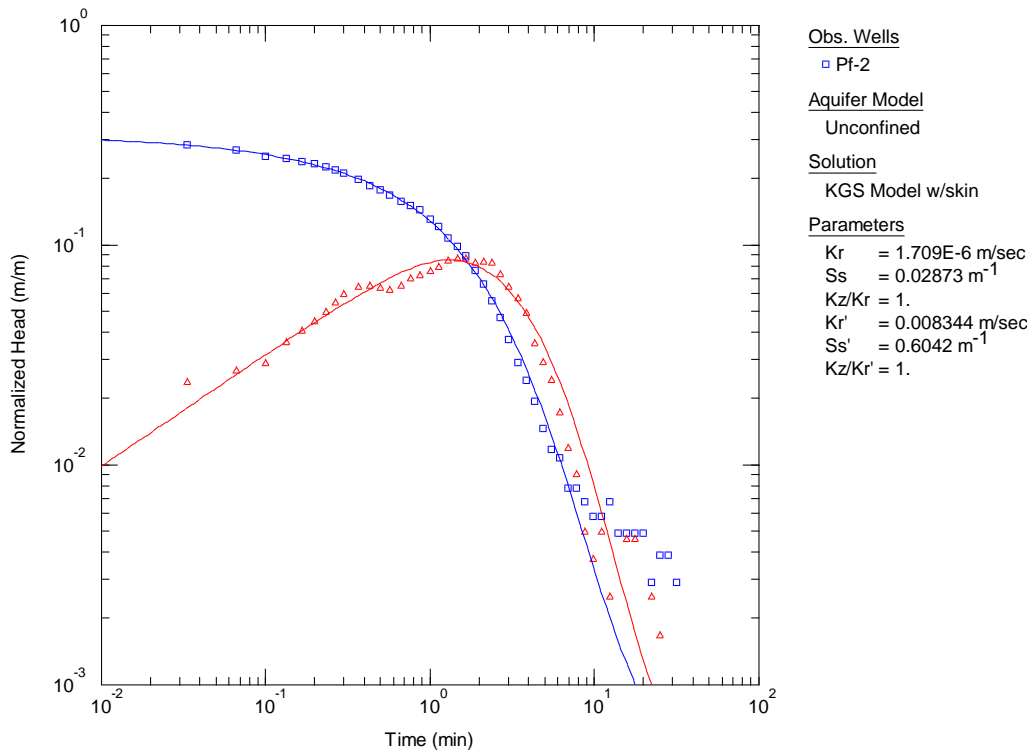


4. sz. szöveggözi ábra: A talajvízszint változása Pf5 kútban a slugteszt során.

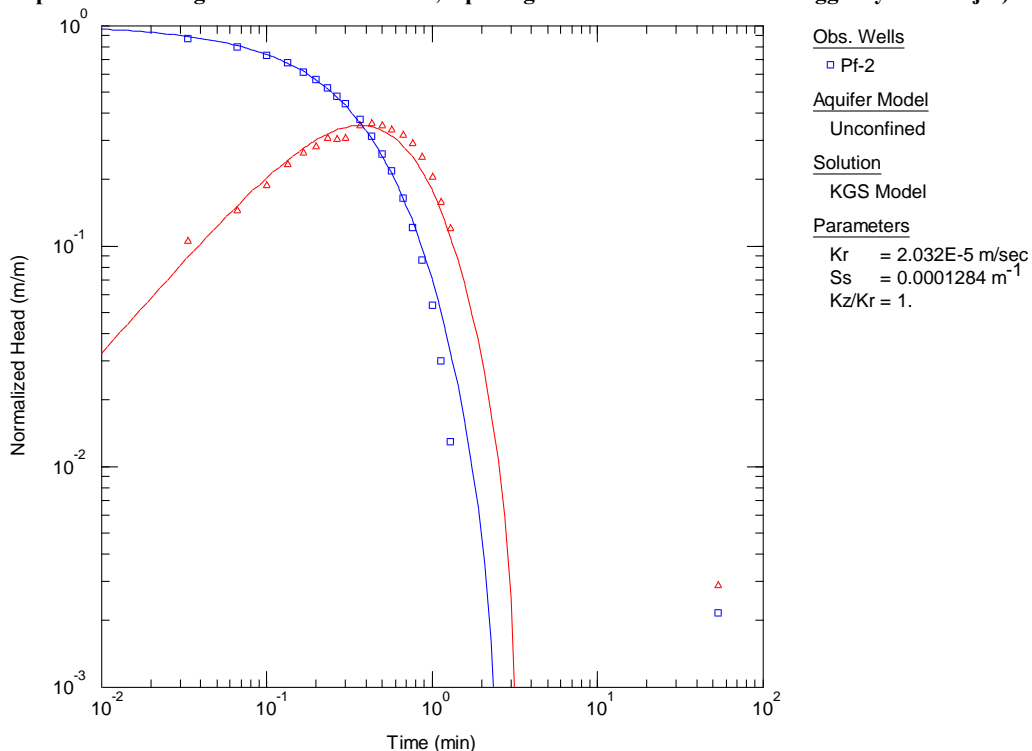
A hidrodinamikai vizsgálatok kiértékelését az AQTESOLV kúthidraulikai elemző szoftverrel végeztük (fejlesztő: HydroSolve Inc., referenciák: <http://www.aqtesolv.com/>). Az AQTESOLV szoftver a víztermeléses, ill. slugteszt kiértékelését is lehetővé teszi különböző elméleti kúthidraulikai modellek (kútfüggvények) alkalmazása esetére. Mi a slugteszt kiértékelése során a HYDER és társai által 1994-ben publikált modellt használtuk², amelyet az AQTESOLV KGS-módszernek nevez. Ez az egyetlen elméleti modell, amely lehetőséget ad a nyílt tükrű áramlási rendszer és a kavicsolt gyűrűstér, illetve a kút körüli megváltozott átteresztőképességű zóna hatásának együttes figyelembe vételére. Az 5-10 sz. szöveggözi ábra mutatja be az egyes kutak beejtési és kiemelési tesztjének kiértékeléséhez használt ún. *diagnosztikus grafikonokat*.

Az ábrákon látható, hogy a beejtési teszttel meghatározható szivárgási tényezők kb. egy nagyságrenddel kisebbek, mint a kiemelési teszt esetében kapott értékek. A beejtési teszteket, csak úgy tudtuk kiértékelni, ha figyelembe vettük a kút körüli kavicsgyűrű hatását is (ennek hidraulikai paraméterei a K_r szivárgási tényező és S_s fajlagos tárolóképesség), míg a kiemelési tesztek kiértékelésekor ennek hatása nem jelentkezik, illetve a kapott paraméterek feltehetőleg a talajvíztartó réteg és a szűrőkavics kombinált hatását jelzik.

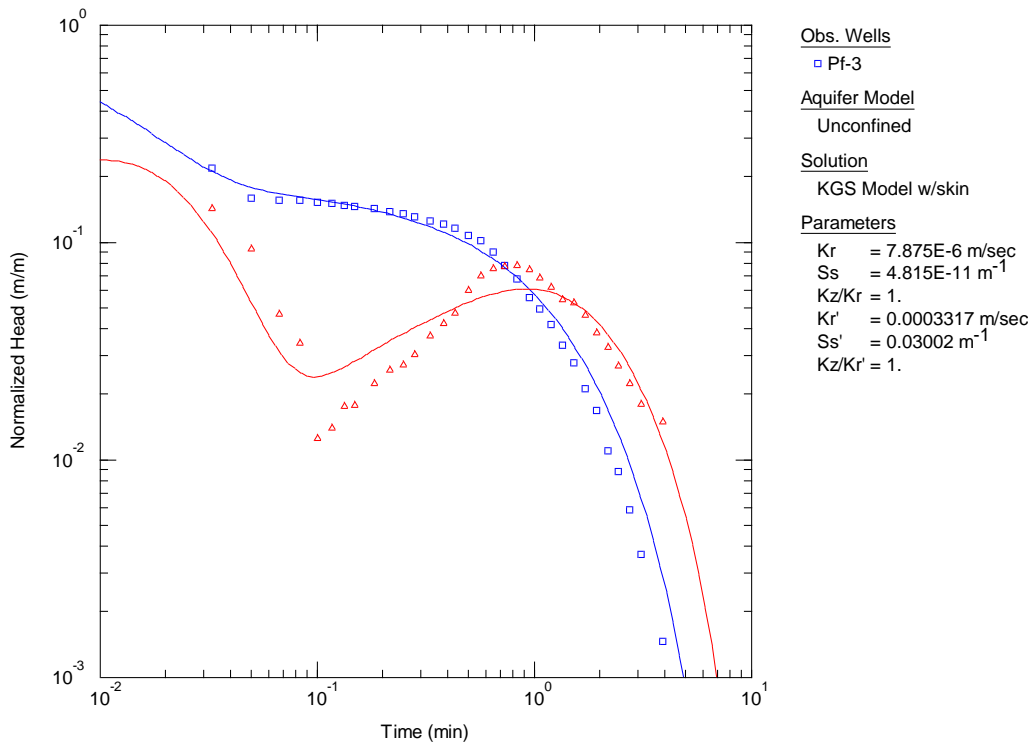
² HYDER, Z, J.J. BUTLER, JR., C.D. MCELWEE AND W. LIU, 1994. Slug tests in partially penetrating wells, *Water Resources Research*, vol. 30, no. 11, pp. 2945-2957.



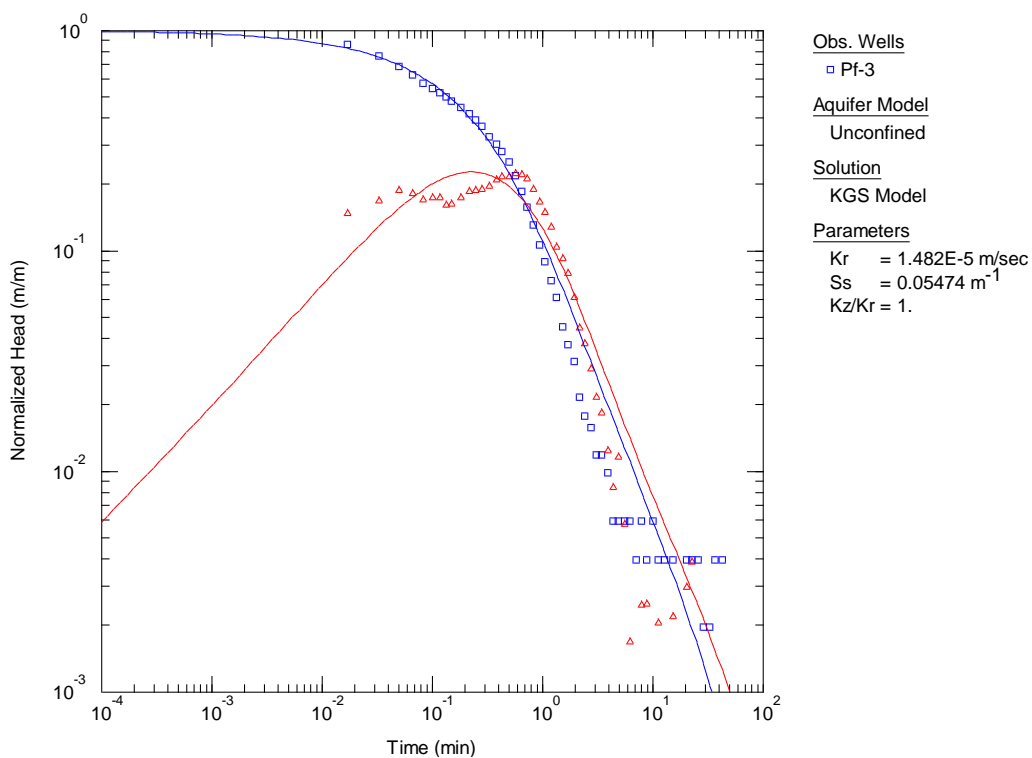
5. sz. szöveggözi ábra: A Pf2 kút beejtéses slugtesztjének kiértékelése
(a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).



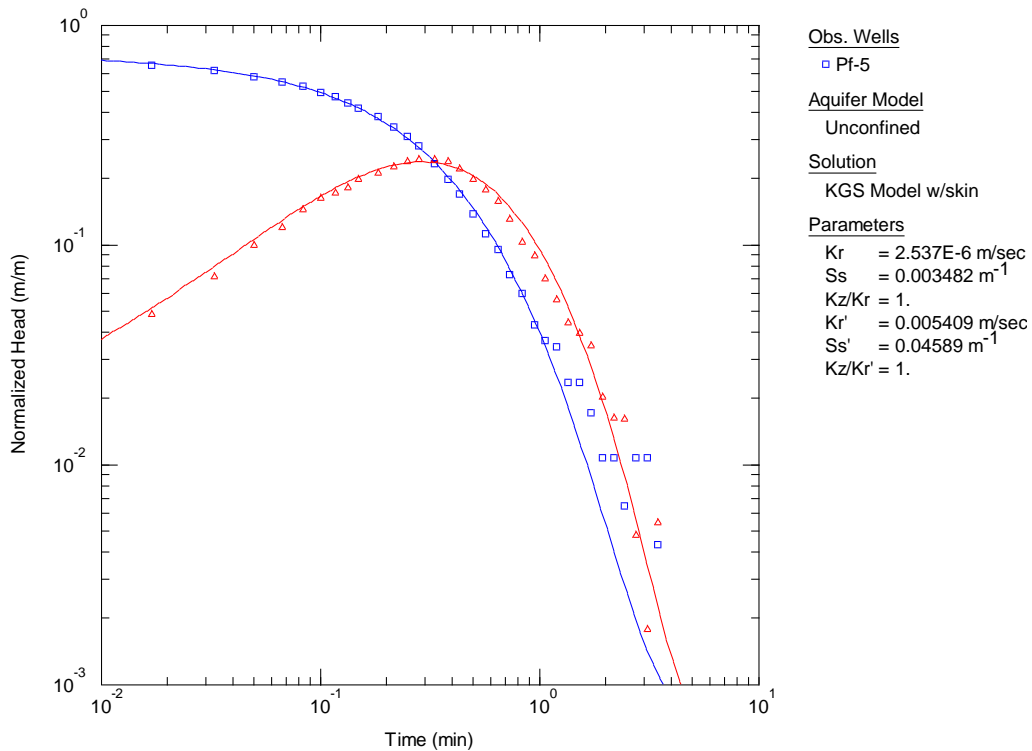
6. sz. szöveggözi ábra: A Pf2 kút kiemeléses slugtesztjének kiértékelése
(a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).



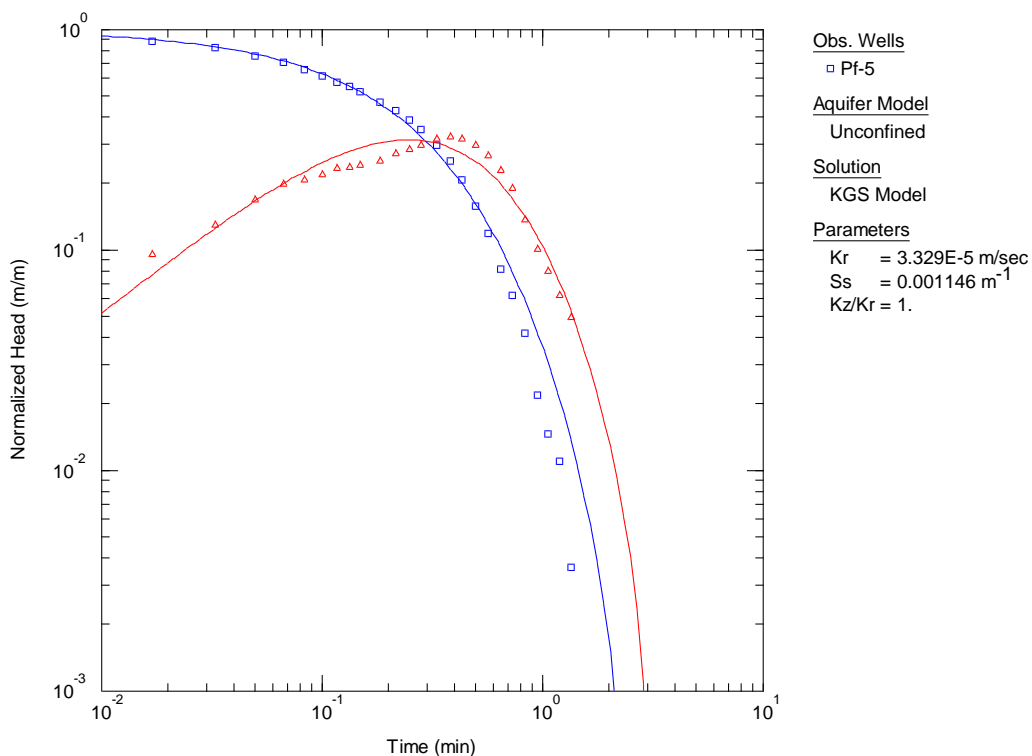
7. sz. szöveggözi ábra: A Pf3 kút beejtéses slugtesztjének kiértékelése
(a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).



8. sz. szöveggözi ábra: A Pf3 kút kiemeléses slugtesztjének kiértékelése
(a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).



9. sz. szöveggözi ábra: A Pf5 kút beejtéses slugtesztjének kiértékelése
(a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).



10. sz. szöveggözi ábra: A Pf5 kút kiemeléses slugtesztjének kiértékelése
(a kék négyzetek a mért vízszinteket jelölik, a folytonos kék görbe az elmélet kútfüggvényét, a piros háromszögek a derivált értékeket, a piros görbe az illesztett elméleti függvény deriváltját).

Az

ban közöljük az egyes tesztek kiértékelése alapján meghatározott szivárgási tényező értékeket. Az AQTESOLV lehetőséget ad az egyes becsült paraméterek *standard hibájának* becsülésére is. A szivárgási tényező becsült standard hibáját szintén feltüntettük a táblázatban. Egy teszt kiértékelésekor alkalmazott elméleti kútfüggvény matematikai illesztésével becsült szivárgási tényező HORNE szerint³ akkor tekinthető megbízhatónak, ha a standard hiba relatív értéke (a becsült értékhez viszonyítva) nem éri el a 10 %-ot. Amint az a táblázatból is látható, a standard hiba egyik kútnál sem teljesíti ezt a feltételt a beejtéses tesztfázis esetében, ezért a számított szivárgási tényező értékek csak tájékoztató jellegűek. A kiemeléses tesztek esetében a hiba mindig 10% alatt marad, viszont a használt modell és a kapott érték nem pusztán a talajvíztartó rétegre jellemző, hanem implicit módon tartalmazza a szűrőkavics hatását is.

Kút jele	Tesztfázis	Szivárgási tényező [m/s]	Szivárgási tényező standard hibája [m/s]	Relatív standard hiba
Pf2	Beejtés	$1,7 \times 10^{-6}$	$1,2 \times 10^{-5}$	716%
	Kiemelés	$2,0 \times 10^{-5}$	$2,3 \times 10^{-7}$	1%
Pf3	Beejtés	$7,9 \times 10^{-6}$	$1,5 \times 10^{-6}$	19%
	Kiemelés	$1,5 \times 10^{-5}$	$7,8 \times 10^{-7}$	5%
Pf5	Beejtés	$2,5 \times 10^{-6}$	$3,6 \times 10^{-5}$	1412%
	Kiemelés	$3,3 \times 10^{-5}$	$7,7 \times 10^{-7}$	2%

9. sz. szövegekői táblázat: A szivárgási tényező becsült értékei.

Hidrogeológiai modellezés számára – ekvivalens szivárgási tényezőként – a $k = 1 \times 10^{-6}$ – 1×10^{-5} m/s tartomány használatát javasoljuk.

³ HORNE, R. N., 1995: Modern Well Test Analysis. — Petroway, Palo Alto, 257 p.

5. A VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA

5.1 A szabadfázisú szénhidrogén előfordulása

A felszín alatti szennyeződés vizsgálatokor a Pf1 pontban szabadfázisú szénhidrogént észleltük. A szabadfázisú szénhidrogén vastagsága nem haladta meg az 5 mm-t, azaz esetenként csak filmszerű kivastagodás volt észlelhető. A vizsgálati eredményeket a 10. sz. szövegekői táblázatban közöljük.

Minta jele	Vizsgálat időpontja	Szabadfázisú CH vastagsága
Pf1	2008.09.17	5 mm
Pf1	2008.09.24	5 mm
Pf1	2008.10.15	film
Pf1	2008.10.28	film

10. sz. szövegekői táblázat: Az észlelt szabadfázisú szénhidrogén vastagsága.

5.2 A talaj szénhidrogén szennyezettsége

A talaj mintavételt megelőzően szennyeződés felderítő vizsgálatokat végeztünk a területen 15 db pontban. A felderítő vizsgálatokra felhasznált pontok helyét a 3. sz. ábrán mutatjuk be. Az érzékszervi meghatározás alapján felderített szennyezett pontok ismeretében jelöltük ki a később kialakításra kerülő talaj-, és talaj vízmintavételi pontok helyét.

A talajszennyeződést TPH-ra 18 db mintavételi pontban vizsgáltuk. A mintavételezés 0,5 m gyakorisággal történt. A Pf1 és a Pf2 pontokban 0,5 m mélységtől 6,0 méterig. A többi mintavételi pontban azonban 2,5-4,5 m mélységközben vizsgáltuk a talajszennyeződést. A vizsgálati eredmények laboratóriumi jegyzőkönyveit az 5. sz. mellékletben mutatjuk be, az eredményeket a 10. sz. szövegekői táblázatban is feltüntettük a „B” és a „D” határértékekhez hasonlítva. A TPH-val szennyezett talaj „B” és „D” izohipszái töréspontjainak EOV koordinátáit az 1. sz. táblázatban ismertetjük. A talaj TPH szennyeződés szelettérképeit az 5/a.-5/o.sz. ábrákon mutatjuk be.

A vizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a Pf1 és Pf2 pontokban jelentős a TPH szennyeződés, és különösen igaz ez a Pf1 pont esetében (max. 24400 mg/kg). A talajszennyeződés a Pf1 és Pf2 pontokban felszín közelben a legszámottevőbb (0,5-1,0 m), ami lényegében a szennyezőanyag felszínről való beszivárgásának tulajdonítható. Az IS és a PRSZ1 pontokban 960 mg/kg és 770 mg/kg TPH koncentrációt találtunk. Továbbá „B” szennyezettségi határértéket kissé meghaladó szennyeződést, a Pf3 és a Pf11 pontokban is észleltünk. Az összes többi mintavételi pontban a TPH koncentrációk mérési határérték (20 mg/kg) alatt voltak.

A talajszennyeződés vertikális eloszlásának a lehatárolása megtörtént, még a legszennyezettebb pontokban (Pf1 és Pf2) is maximálisan csak 5,0 m mélységig volt „B” szennyezettségi határérték feletti a TPH szennyeződés. „D” kármentesítési határérték feletti szennyeződés csak a Pf1 pontban fordul elő, maximálisan 3,5 m mélységben. A TPH-val „B” szennyezettségi határérték feletti szennyezett talajtest térfogata 2600 m³. A TPH-val szennyezett, „D” kármentesítési határérték feletti szennyezettségű talajtest térfogata 300 m³. A talaj TPH eredményeket az 11. sz. szövegekői táblázatban mutatjuk be

A TPH-val legnagyobb szennyezettséggel jellemezhető pontokban 3-3 db talajmintából GC-FID mérést, valamint BTEX és összes PAH vizsgálatokat is végeztünk.

Mintavételi pont jele	Mélység	TPH (mg/kg)	Mintavételi pont jele	Mélység	TPH (mg/kg)
„B” szennyezettségi határérték		100	„B” szennyezettségi határérték		100
„D” kármentesítési határérték		7850	„D” kármentesítési határérték		7850
Pf1	0.5	24400	Pf7	2.5	<20
	1	13500		3.5	<20
	1.5	14800		4.5	<20
	2	17800	Pf8	2.5	<20
	2.5	8270		3.5	<20
	3	5310		4.5	<20
	3.5	7850	Pf9	2.5	<20
	4	2450		3.5	<20
	4.5	1610		4.5	<20
	5	820	Pf10	2.5	<20
	5.5	70		3.5	<20
6	<20	4.5		<20	
Pf2	0.5	<20	Pf11	2.5	<20
	1	1140		3	210
	1.5	40		3.5	<20
	2	120	Pf12	2.5	<20
	2.5	910		3.5	<20
	3	1080		4.5	<20
	3.5	610	Pf13	2.5	<20
	4	90		3.5	<20
	4.5	<20		4.5	<20
	5	<20	Pf14	2.5	<20
5.5	<20	3.5		<20	
		4.5		<20	
Pf3	2.5	130	Pf15	2.5	<20
	3.5	440		3.5	<20
	4.5	<20		4.5	<20
Pf4	2.5	<20	Pf16	2	40
	3.5	<20		3	<20
	4.5	<20		3,5	<20
Pf5	2.5	<20	IS	2.5	960
	3.5	<20		3.5	<20
	4.5	<20		4.5	<20
Pf6	2.5	<20	PRSZ1	2.5	770
	3.5	<20		3.5	<20
	4.5	<20		4.5	<20

11. sz. szövegtáblázat: A talaj TPH szennyezettsége.

Az eredmények alapján elmondható, hogy a talajszennyeződés nem BTEX jelegű. Az eredményeket a 12. sz. szövegtáblázatban mutatjuk be. Egy pontban (Pf1 2,5m) találtunk „B” szennyezettségi határértéket (0,5 mg/kg) meghaladó xilol koncentrációt, 1,39 mg/kg értékkel. Egyéb alkilbenzolok a Pf1 pont két különböző mélységében voltak mérhetőek 2,5 m és 5,3 m)

„B” szennyezettségi határérték feletti koncentrációban (21,4 mg/kg és 3,7 mg/kg). A TPH-val legszennyezettebb pontokban mért BTEX és PAH koncentrációk analógiái alapján, az alacsonyabb TPH szennyeződéssel jellemezhető mintákban nem fordulhatnak elő a fenti komponensek „B” szennyezettségi határérték felett.

Komponens (mélységköz)	Benzol (mg/kg)	Toluol (mg/kg)	Etil-benzol (mg/kg)	Xilolok összesen (mg/kg)	Egyéb alkilbenzolok összesen (mg/kg)	Összes PAH
„B” szennyezettségi határérték	0.2	0.5	0.5	0.5	0.5	1
„D” kármentesítési határérték					15.3	2.5
Pf1 (2,5m)	<0.05	<0.05	0,55	1,39	21,4	38.2
Pf1 (3,5m)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.25	3,7	3.82
Pf1 (4,5m)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.25	<0.5	<0.58
Pf2 (2,5m)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.25	<0.5	<0.58
Pf2 (3,0m)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.25	0.5	0.61
Pf2 (3,5m)	<0.05	<0.05	<0.05	<0.25	<0.5	<0.58

12. sz. szövegtáblázat: A talaj BTEX szennyezettsége.

Az egyéb alkilbenzolokra szennyezett talajtest „B” szennyezettségi határérték feletti térfogata 800 m³, míg a „D” kármentesítési célállapot határértéket meghaladó szennyeződés térfogata ~5 m³. Az egyéb alkilbenzolokra szennyezett talaj „B”, és „D” izohipszák töréspontjainak EOY koordinátái a 2. sz. táblázatban láthatók. Az egyéb alkilbenzolokkal szennyezett talajtest vertikális szeletterképeit a 6/a.-6/e. sz. ábrákon mutatjuk be.

Összes PAH-ra a „B” szennyezettségi határértéket meghaladó talaj szennyeződés térfogata 200 m³, míg a „D” kármentesítési célállapot határértéket meghaladó szennyeződés térfogata 70 m³. Az összes PAH-al szennyezett talaj „B” és „D” izohipszáinak töréspontjait EOY koordinátákkal, a 3. sz. táblázatban mutatjuk be. Az összes PAH-al szennyezett talajtest vertikális kiterjedését a 7/a.-7/e. sz. ábrákon bemutatott szeletterképeken szemléltetjük.

A szennyezett talajtest „B” és „D” határértékekre vonatkozó területi kiterjedését mélységközönként, a 13. sz. szövegtáblázatban mutatjuk be.

Komponens	Mélységköz (m)	„B” szennyezettségi határérték (m ²)	„D” kármentesítési határérték (m ²)
TPH	0,5	645	170
	1	500	70
	1,5	420	70
	2	420	75
	2,5	630	10
	3	800	-
	3,5	630	8
	4	400	-
	4,5	330	-

Komponens	Mélységköz (m)	„B” szennyezettségi határérték (m ²)	„D” kármentesítési határérték (m ²)
	5	280	-
	5,5	50	-
	6	-	-
PAH	2,5	110	30
	3,5	70	5
Egyéb alkilbenzolok összesen	2,5	400	10
	3,5	300	-

13. sz. szöveggözi táblázat: A szennyezet talaj, „B” és „D” határértékekre való lehatárolása, mélységközönként.

Összefoglalva elmondható, hogy a „B” érték feletti talajszennyeződés lényegében a Pf1, Pf2 és Pf3 vizsgálati pontok környezetére szorítkozik, maximálisan 5,0 méteres mélységig. Az eredmények alapján a TPH szennyeződés mutatkozott méreteiben legnagyobbak. A „B” szennyezettségi határérték feletti szennyezett talajtest térfogata 2600 m³. A kármentesítésre szoruló talajtömeg a Pf1 pont környezetében található. A „D” kármentesítési célállapot határérték feletti talajszennyeződés térfogata 300 m³.

5.3 A talajvíz szénhidrogén szennyezettsége

A talajvíz szénhidrogén szennyezettségének a feltárása érdekében 17 db pontban vizsgáltuk a TPH, BTEX és PAH szennyezettséget. Két mintavételi pontban réteg szelektív vizsgálatokat végeztünk, melyek célja a talajvíz szénhidrogén szennyeződésének vertikális feltárása volt. A réteg szelektív pontokban szintén a TPH, BTEX és PAH komponensek koncentráció értékeit vizsgáltuk. Az eredményeket a „B” szennyezettségi határértékekkel összehasonlítva a 14. és 15. sz. szöveggözi táblázatokban. A 8. sz. ábrán mutatjuk be a „B” határérték izohipszáját töréspontjaival, míg az ehhez rendelt EOv koordinátákat a 4. sz. táblázatban csatoltuk a jelenítéshez.

Minta jele	TPH	Benzol	Toluol	Etil-benzol	Xilolok összesen	Egyéb alkilbenzolok összesen
„B” szennyezettségi határérték	100	1	20	20	20	20
IS	174	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf1	17600	0,9	<1	<1	<5	86
Pf2	271	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf3	493	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf4	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf5	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf6	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf7	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf8	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf9	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf10	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf-12	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf13	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf14	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20

Minta jele	TPH	Benzol	Toluol	Etil-benzol	Xilolok összesen	Egyéb alkilbenzolok összesen
"B" szennyezettségi határérték	100	1	20	20	20	20
Pf15	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf16	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pfa4	5130	<0,2	<1	<1	<5	<20

14. sz. szövegtáblázat: A talajvíz TPH és BTEX szennyezettsége.

Minta jele	Mélységköz	TPH	Benzol	Toluol	Etil-benzol	Xilolok összesen	Egyéb alkilbenzolok összesen
"B" szennyezettségi határérték		100	1	20	20	20	20
PRSZ1	3,4-3,7 m	1240	<0,2	<1	<1	<5	<20
	4,0-4,3 m	81	<0,2	<1	<1	<5	<20
	4,9-5,2 m	1420	<0,2	<1	<1	<5	<20
Pf11	3,5-3,8 m	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
	5,35-5,65 m	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20
	7,4-7,7 m	<50	<0,2	<1	<1	<5	<20

15. sz. szövegtáblázat: A réteg szelektív mintavételi pontokban mért TPH és BTEX koncentrációk.

A laboreredmények jegyzőkönyveit az 5. sz. *mellékletben* csatoltuk a jelentéshez.

Az eredmények bemutatását megelőzően a Pf2 pontban történt mintavételeket, és az ehhez kapcsolódó észrevételeket ismertetjük. A Pf2 pontban, a fúrás munkálatokat követően, (2008.09.11.) talajvíz mintavétel történt az in-situ kémiai oxidációs labor kísérletekhez. Ennek a mintának a TPH koncentrációja 36 700 µg/l volt. A fúrást követő héten (2008.09.17.) teljes körű talajvíz-mintavétel történt az alapállapot vizsgálat céljával, amikor is a Pf2 pontra kapott TPH koncentráció érték 20 800 µg/l-re csökkent. Mindkét esetben a laborjegyzőkönyvek megjegyzik, hogy a mintán szabadfázisú szénhidrogént találtak. Az ISCO terepi tesztet megelőzően (2008.10.15) újabb mintavétel történt a terepi teszt terület megfigyelő kútjaiból, így a Pf2 pontból is. E mintavétel eredményeként a talajvíz TPH koncentrációja már csak 271 µg/l-nek adódott. A fenti koncentrációkban talált drasztikus csökkenés arra enged következtetni, hogy a Pf2 pont a fúrás során elszennyeződött. Ezt támasztják alá a Pf2 pontban kapott talaj TPH koncentrációk is, mivel az itt mért 1000 mg/kg TPH koncentráció érték nem indokolja a több 10 000 µg/l TPH koncentráció értéket a talajvízben. Mindezek alapján a 2008. október 15-i mintavételt tartjuk a Pf2 pontból reprezentatívnak.

Az összes alifás szénhidrogén (TPH) szennyezettségi határérték („B”=100 µg/l) feletti szennyeződését csak néhány pontban (Pf1, Pf2, Pf3, Pfa4, IS, PRSZ1) találtuk. Az összes többi

mintavételi pontban mérési határérték (50 µg/l) alatti koncentrációkat kaptunk. A vizsgált területen, a „B” szennyezettségi határérték felett szennyezett talajvíz kiterjedése 200 m².

A talajvizet, könnyen illó aromás szénhidrogén komponensek vonatkozásában, egy pontban (Pf1) találtuk szennyezettnek. A mért koncentráció értékek közül az egyéb alkilbenzolok mutattak „B” szennyezettségi határérték feletti koncentrációt. Ebben a pontban volt a legmagasabb a TPH szennyeződés a talajban és a talajvízben egyaránt. Az összes egyéb alkilbenzolokra a „B” szennyezettségi határérték feletti mértékben szennyezett talajvíztest felszíni vetületének területe ~7 m². A talajvízben mért, benzol, toluol, etil-benzol és xilol koncentrációk mérési határérték alatt voltak észlelhetők. Az eredményeket a „B” szennyezettségi határértékekkel összehasonlítva, a 14. és 15. sz. szövegközi táblázatokban valamint a 9. és 13. sz. ábrákon mutatjuk be.

Policiklikus aromás szénhidrogén (PAH) komponensek esetében a „B” szennyezettségi határérték feletti koncentrációkat a Pf1, IS, Pfa4, PRSZ1 pontokban észleltünk (lásd. 16. és 17. sz. szövegközi táblázat). A PAH szennyeződés kiterjedését a 14. és 15. sz. ábrákon mutatjuk be. A PAH komponensekkel szennyezett talajvíz test felszíni vetülete ~13 m².

A réteg szelektív talajvíz mintavételre kiképezett kutak közül (15. sz. szövegközi táblázat) a PRSZ1 pontban mértünk a „B” szennyezettségi határérték feletti TPH koncentrációt a felső (3,4-3,7 m), valamint az alsó rétegből (4,9-5,2) származó mintákban. A pont fúrás rétegsorából (6. sz. melléklet) kiderül, hogy a középső szűrőzött réteg (4,0-4,3) iszapos homokliszt, míg az alsó és felső rétegek nem iszaposak, csak homoklisztek. Feltehetően a felszín alatti közeg heterogenitása ad magyarázatot a szennyeződés vertikális eloszlására, azaz a középső réteg talajvizében a szennyeződés kis koncentrációját az iszapos közeg kisebb permeabilitása okozza. Az eredményekből az is kiderül, hogy a felszín alatti közeg heterogenitásából adódóan a szennyeződés az alsóbb helyzetű talajvíz rétegben is előfordul. A BTEX koncentrációk mindkét pontban mérési határérték alatt voltak. A PRSZ1 pont alsó rétegből származó mintából PAH szennyeződést is kimutattunk. A talajvíz szénhidrogén szennyeződést vertikálisan a területen elterjedt –PRSZ1 mintavételi pont esetében 5,1 métertől megjelenő- sárga agyagréteg határolja le (lásd. 5. sz. szövegközi táblázat).

Összességében elmondható, hogy a talajvízben oldott szénhidrogén szennyeződés lehatárolásra került „B” szennyezettségi határértékig. A területen a TPH szennyeződés a legkiterjedtebb (704 m²). A legszennyezettebb pontban (Pf1) a talajvíz egyéb alkilbenzol és PAH koncentrációja is magasabb a „B” határértéknél. Néhány pontban összes PAH és naftalin komponensek vonatkozásában is szennyeződés volt kimutatható. A talajvízben oldott szennyeződés vertikális kiterjedését a vízáadó réteg permeabilitás inhomogenitása határozza meg.

Minta jele	Összes PAH naftalinok nélkül (µg/l)	Naftalin (µg/l)	2-Metilnaftalin (µg/l)	1-Metilnaftalin (µg/l)	Naftalinok összesen (µg/l)	Acenaftilén (µg/l)	Acenaftén (µg/l)	Fluorén (µg/l)	Fenantrén (µg/l)	Antracén (µg/l)	
"B" szennyezettségi határérték	2				2	0,2	0,05	0,05	0,1	0,05	
IS	0,7	0,18	0,14	0,15	0,47	<0,02	0,14	0,23	0,28	0,02	
Pf1	5,9	1,27	1,17	4,94	7,38	<0,02	0,59	2,09	1,56	0,53	
Pf2	<0,3	0,1	<0,03	0,1	0,2	<0,02	0,06	0,15	0,03	<0,02	
Pf3	<0,3	<0,03	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Pf4	<0,3	<0,03	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	0,02	0,02	<0,02	
Pf5	<0,3	0,03	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	0,03	0,03	<0,02	
Pf6	<0,3	0,04	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	0,03	0,08	<0,02	
Pf7	<0,3	0,04	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	0,02	0,02	<0,02	
Pf8	<0,3	0,06	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	0,03	0,03	<0,02	
Pf9	<0,3	0,05	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	0,03	0,03	<0,02	
Pf10	<0,3	0,04	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	0,03	0,03	<0,02	
Pf12	<0,3	0,15	0,04	0,05	0,24	<0,02	<0,02	0,03	0,03	<0,02	
Pf13	<0,3	0,07	<0,03	0,03	0,1	<0,02	<0,02	0,03	0,05	<0,02	
Pf14	<0,3	<0,03	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	0,02	0,03	<0,02	
Pf15	<0,3	0,04	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Pf16	<0,3	<0,03	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
Pfa4	1,6	0,26	0,1	0,21	0,57	<0,02	0,12	0,5	0,06	0,04	
PRSZ1	3,4-3,7 m	1,0	0,20	<0,03	1,25	1,45	<0,02	0,35	0,46	0,04	0,05
	4,0-4,3 m	0,7	0,27	0,06	1,20	1,53	<0,02	0,11	0,24	0,28	0,02
	4,9-5,2 m	1,5	0,32	0,06	1,84	2,22	<0,02	0,18	0,35	0,76	0,07
Pf11	3,5-3,8 m	<0,3	<0,03	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
	5,35-5,65 m	<0,3	<0,03	<0,03	<0,03	<0,09	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
	7,4-7,7 m	<0,3	0,12	0,05	0,06	0,23	<0,02	<0,02	0,11	0,06	<0,02

16. sz. szövegtáblázat: A talajvíz PAH szennyezettsége - I.

Minta jele	Fluorantén (µg/l)	Pirén (µg/l)	Benz(a)ant racén (µg/l)	Krizén (µg/l)	Benz(b)flu orantén (µg/l)	Benz(k)flu orantén (µg/l)	Benz(e)pir én (µg/l)	Benz(a)pir én (µg/l)	Indeno(1.2 .3-cd)pirén (µg/l)	Dibenz(a,h))antracén (µg/l)	Benz(g,h,i) perilén (µg/l)
"B" szennyezettségi határérték	0,1	0,1	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
IS	<0,02	0,04	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf1	0,21	0,59	0,06	0,25	0,03	<0,01	0,024	0,012	<0,005	<0,005	<0,005
Pf2	<0,02	0,03	<0,01	0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf3	<0,02	0,06	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf4	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf5	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf6	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf7	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf8	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf9	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf10	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf12	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf13	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf14	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf15	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf16	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pfa4	0,16	0,41	0,06	0,23	0,02	<0,01	0,027	0,012	<0,005	<0,005	<0,005
PRSZ1	3,4-3,7 m	0,02	0,06	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
	4,0-4,3 m	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
	4,9-5,2 m	0,03	0,09	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Pf11	3,5-3,8 m	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
	5,35-5,65 m	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
	7,4-7,7 m	<0,02	<0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

17. sz. szövegközi táblázat: A talajvíz PAH szennyezettsége – II.

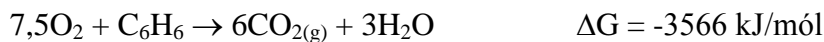
5.4 A természetes lebomlási folyamatok vizsgálata

A felszín alatti közegben lezajló mikrobiológiai folyamatok elősegíthetik, felgyorsíthatják a szénhidrogének lebomlását. A biodegradáció alapvetően redox folyamatokon alapszik. A mikroorganizmok elektron átvitel révén oxidálják/redukálják a környezetükben található szerves és szervetlen anyagokat, melynek során energiát nyernek.

A szén elengedhetetlen energiaforrás a mikroorganizm számára, e célra a környezetükben fellelhető szénhidrogén-származékokat, szerves anyagokat használják. A mikroszervezeteknek „elektron-akceptorokra” van szükségük, valamint táplálékra, ásványi anyagokra (nitrogén, foszfor), amit a közvetlen környezetükből vesznek fel. A folyamat hatékonysága az „elektron-akceptorok” jelenlététől függ, oxigénhiány esetén más komponensek, mint nitrát, vas(III), mangán(IV) és szulfát is működhetnek elektron-akceptorként abban az esetben, ha az adott mikroorganizmus tolerálja ezeket a komponenseket. A továbbiakban a legalapvetőbb aerob és anaerob folyamatok reakcióit mutatjuk be.

A talajvízben a bomlási folyamatokat a következőképpen értékeltük.

Aerob biodegradációs folyamatok (aerob respiráció és kometabolizmus) közül döntő jelentőségű az aerob respiráció. Ennek mechanizmusa benzol esetén az alábbi egyenlettel írható le:



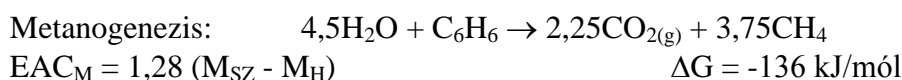
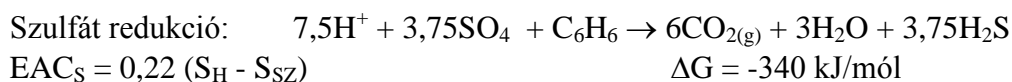
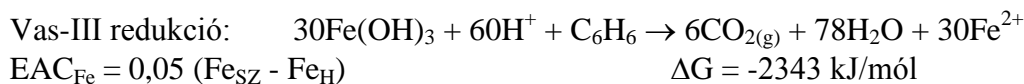
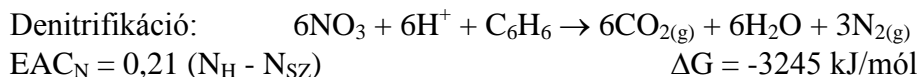
Az egyenletből megállapítható, hogy 0,32 mg/l benzol lebontásához 1 mg/l O₂ szükséges. Az aerob respiráció szénhidrogén asszimiláló kapacitása (Expressed Assimilative Capacity) az:

$EAC_{\text{DO}} = 0,32 (\text{O}_H - \text{O}_{\text{SZ}})$ egyenlet alapján számítható, ahol:

O_H = a háttér oldott oxigén koncentrációja,

O_{SZ} = a szennyezett terület oldott oxigén koncentrációja.

Az anaerob biodegradáció az alábbi folyamatok során, a megadott sorrendben mehet végbe:



A fentebb vázolt reakcióegyenletek alapján látható, hogy minél nagyobb szénatomszámú egy vegyület, a lebontásához annál több „elektron-akceptor” szükséges, vagyis annál lassúbb a természetes lebomlás folyamata.

A szennyezett talajvíztest mikrobiológiai aktivitásának közvetett módon való kimutatására 3. db talajvízmintát használtunk fel: Pf2, Pf3, Pf12. A laboratóriumi mérések eredményeit az 5. sz. mellékletben mutatjuk be. A számítások paramétereit a 18. sz. szöveggözi táblázat: A talajvíz asszimilatív kapacitásának meghatározásához alkalmazott paraméterek. sz. szöveggözi táblázatban foglaltuk össze. Háttér értéként a Pf12. mintavételi pont eredményeit használtuk fel.

Vizsgált paraméterek (mg/l)	Mintavételi pont jele		
	Pf2	Pf3	Pf12
Oldott oxigén	0,3	2,34	3,51
Nitrát	64	145	153
Szulfát	88	684	207
Vas(II)	0,72	<0,02	<0,03
Metán	<0,04	<0,04	<0,04

18. sz. szöveggözi táblázat: A talajvíz asszimilatív kapacitásának meghatározásához alkalmazott paraméterek.

Az egyes folyamatokra kapott asszimilatív kapacitások összege adja meg a területen a talajvíz összes asszimilatív kapacitását.

$$\Sigma EAC = EAC_{DO} + EAC_{Fe} + EAC_M + EAC_S + EAC_N$$

A kapott asszimilatív kapacitás-értékeket a 19. sz. szöveggözi táblázatban foglaltuk össze.

Mintavételi pont jele	Aerob asszimilatív kapacitás (mg/l)	Anaerob asszimilatív kapacitás (mg/l)	Összes asszimilatív kapacitás (mg/l)
Pf2	1,03	137,72	138,75
Pf3	0,37	1,71	2,05

19. sz. szöveggözi táblázat: Benzolra vonatkoztatott aerob és anaerob biodegradációs asszimilatív kapacitás eredményei.

Néhány komponens esetén (metán, oldott oxigén), a vizsgálati eredmények alapján, asszimilatív kapacitás nem volt számítható. A Pf3 pontban mért nagyon magas szulfát tartalomtól (684 mg/l) adódóan, a szulfát redukcióból származó asszimilatív kapacitás sem értékelhető e pontban. A számított asszimilatív kapacitás értékek alapján megállapítható, hogy a szennyezett Pf2. pontban a talajvíz jelentős a biodegradációs kapacitással jellemezhető, mely döntően az anaerob denitrifikációból származik.

5.5 In-situ kémiai oxidációs (ISCO) kísérletek eredményei

5.5.1 Az in-situ kémiai oxidációról általánosan

Az ISCO során a telített közegbe jutott oxidálószer a szénhidrogéneket széndioxiddá és vízé alakítja át. Különböző oxidálószer alkalmazható az ISCO kármentesítés során, melyek hatékonysága és mellékhatásai reagensenként változóak (20. sz. szöveggözi táblázat).

Oxidálószer	Redox potenciál (V)	Mellékhatások	Golder által alkalmazott oxidálószer

Oxidálószer	Redox potenciál (V)	Mellékhatások	Golder által alkalmazott oxidálószer
Permanganát (MnO_4^-)	1,68	a fémek oxidálása, mangándioxid kicsapódás	+
Persulfát ($S_2O_8^{2-}$)	2,01	a talajvíz kémhatásának megváltozása,	+
Aktivált persulfát ($SO_4^{\cdot-}$) (citromsavassavassulfát aktiváló szer)	2,6	a szulfát koncentrációk növekedése	+
Hidrogén-peroxid (H_2O_2)	1,78	a talajvíz kémhatásának megváltozása,	+
Fenton reagens (OH^{\cdot}) (citromsavassavassulfát aktiváló szer)	2,8	hőképződés, gázképződés	+
Ózon (O_3)	2,07	a talajvíz kémhatásának megváltozása, gázképződés	-

20. sz. szövegtáblázat: A kémiai oxidáló szerek reakció során jelentkező hatásai.

A szénhidrogén szennyeződésnek különböző formái ismeretesek:

- a talajvízben oldott szennyeződés,
- vízzel nem elegyedő fázis (NAPL), amely fajsúlya függvényében a víz felszínén (LNAPL) vagy annak az alján úszik (DNAPL),
- a talajhoz kötött szennyeződés és
- talajgáz szennyeződés.

Egyértelmű, hogy az in-situ kémiai oxidációs módszer (ISCO) a telített zónában található vízben oldott szénhidrogének kármentesítésére alkalmazható a legköltséghatékonyabban.

Az injektálás hatására és/vagy a talajvízszint emelkedése során, a talajhoz kötött szénhidrogének deszorpciójára is sor kerül, valamint a vízzel nem elegyedő fázis szintén beoldódik a talajvízbe. Az ISCO kármentesítés lehet időigényes attól függően, hogy milyen magas az oldott szennyeződés koncentrációja, illetve a szennyezett gócpontokból (talaj, talajvíz) érkezik-e utánpótlás. Ezért az ISCO kármentesítés alkalmazását megelőzően, a talajvíz felszínén található szabad szénhidrogénfázis fölözéssel való eltávolítása, valamint a talajban található szennyezett gócpontok megszüntetése szükséges. A vizsgált terület helyszín-specifikus körülményeinek figyelembevételével lehet döntést hozni a kármentesítés során használható oxidálószer típusáról. Ezért a kármentesítés tervezése során első körben laboratóriumi körülmények között vizsgáljuk az egyes oxidálószer hatását, majd a labor eredmények alapján választjuk ki a terepi teszthez legalkalmasabbnak ítélt oxidálószer.

5.5.2 Az ISCO laborkísérlet eredményei

Az ISCO laboratóriumi vizsgálatokat, 2008. szeptember 12. és 15-én végeztük el. A laboratóriumi vizsgálatok eredményeit a 21.-22. sz. szövegtáblázatokban mutatjuk be.

Fentonra, csak a PÜSF5, PÜSF10, PÜSF20 talajmintákon végeztünk vizsgálatokat kísérleti jelleggel, azonban már kezdetben kizártuk a terepen való alkalmazhatóságát, mivel a vizsgált terület iszapos-homoklisztes víztartójába való injektálás igen nehéz, így – a Fenton gyors reakciója miatt – a kezelhető felszín alatti térrész csekély.

Minta jele	TPH-IR (alumínium-oxidos tisztítás után) ¹
	mg/kg
Kezdeti koncentráció	10100
PÜS-F-5	4640
PÜS-F-10	2320
PÜS-F-20	10500
Püs SO4 10	540
Püs SO4 50	510
Püs ASO4 10	990
Püs ASO4 50	520
Püs KMnO4 10	760
Püs KMnO4 50	1060

21. sz. szövegekői táblázat: ISCO talajmintákon elvégzett laborvizsgálatok eredményei.

Minta Jele	TPH (C5-C40)	Benzol	Toluol	Etil-benzol	Xilolok összesen	Egyéb alkilbenzolok összesen
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Kezdeti koncentráció (P12 jelű minta)	37600					
Püs SO4 100	1380	0,9	3	<1	<5	<20
Püs SO4 500	2040	<0,2	<1	<1	<5	<20
Püs ASO4 100	831	<0,2	<1	<1	<5	<20
Püs ASO4 500	1850	<0,2	<1	<1	<5	<20
Püs KMnO4 50	516	<0,2	<1	<1	<5	<20
Püs KMnO4 100	315	<0,2	<1	<1	<5	<20
Püs KMnO4 200	528	<0,2	<1	<1	<5	<20
Püs KMnO4 500	643	<0,2	<1	<1	<5	<20
Püs KMnO4 1000	1440	<0,2	<1	<1	<5	<20

22. sz. szövegekői táblázat: ISCO talajvízmintákon elvégzett laborvizsgálatok eredményei.

Az eredmények alapján látható, hogy talajra a perszulfát (PÜS SO4) és az aktivált perszulfát (PÜS ASO4) mintákban oxidálódott el legnagyobb mértékben a TPH. Ezzel szemben a talajvízben található szennyező anyagok lebontására, a kálium-permanganát volt a leghatékonyabb. Mivel az ISCO kármentesítést elsősorban talajvízhez terveztük, éppen ezért a talajvíz ISCO eredmények alapján a kálium permanganátot választottuk a terepi teszt kivitelezéséhez.

Komponens	alapállapot (2008.10.15)					1 nap elteltével (2008.10.16)					12 nap elteltével (2008.10.28)					
	IS (injektáló pont)	Pf2	PRSZ1 1réteg	PRSZ1 3réteg	Pf12	IS (injektáló pont)	Pf2	PRSZ1 1réteg	PRSZ1 3réteg	Pf12	IS (injektáló pont)	Pf2	PRSZ1 (1réteg)	PRSZ1 (2réteg)	PRSZ1 (3réteg)	Pf12
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)
Benzol	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Toluol	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Etil-benzol	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Xilolok összesen	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<2	<2	<2	<2	<2	<2
Egyéb alkilbenzolok összesen	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<15	<15	<15	<15	<15	<15
TPH (C5-C40)	183	271	1300	132	<50	<50	452	803	78	<50	<50	400	1160	<50	88	<50
Naftalín	<0,03	0,10	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,06	0,21	0,27	<0,03	<0,03	0,05	0,09
2-Metilnaftalín	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,10	0,04	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
1-Metilnaftalín	<0,03	0,10	<0,03	0,06	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,16	0,46	<0,03	<0,03	0,09	<0,03
Naftalinok összesen	<0,09	0,20	<0,09	0,09	<0,09	<0,09	0,13	<0,09	<0,09	<0,09	0,47	0,77	<0,09	<0,09	0,14	0,12
Acenaftilén	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Acenaftén	<0,02	0,06	<0,02	0,02	<0,02	<0,02	0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,16	<0,02	<0,02	0,03	<0,02
Fluorén	0,02	0,15	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,02	0,04	0,42	<0,02	<0,02	0,04	0,02
Fenantrén	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,41	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Antracén	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Fluorantén	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Pirén	<0,02	0,03	0,13	<0,02	<0,02	<0,02	0,09	0,09	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	0,04	<0,02	<0,02	<0,02
Benz(a)antracén	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Krizén	0,01	0,01	0,05	<0,01	0,01	<0,01	0,03	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01
Benz(b)fluorantén	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benz(k)fluorantén	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Benz(e)pirén	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Benz(a)pirén	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Indeno(1,2,3-cd)pirén	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Dibenz(a,h)antracén	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Benz(g,h,i)perilén	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Összes PAH naftalinok nélkül	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	1,1	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3

23. sz. szövegtáblázat: Az ISCO terepi teszt eredményei.

5.5.3 Az ISCO terepi teszt eredményei

Az ISCO terepi tesztet az erre kiképzett ún. teszt területen végeztük el (8. sz. *fotó*). A teszt területen (16. sz. *ábra*) az IS pont injektáló pontnak lett kialakítva, míg ettől 2,03 m távolságra a Pf2, 3,96 m távolságra a PRSZ1 és 8,32 m távolságra a Pf12 megfigyelő pontokat létesítettük.

A terepi teszt során 25 kg kálium-permanganátot oldottunk fel (9. sz. *fotó*) 1000 l vízben és injektáltuk a felszín alatti környezetben. Már az injektálás ideje alatt vizuálisan (lila elszíneződés) észlelhető volt az oxidálószer megjelenése a Pf2. pontban.

A terepi tesztet megelőzően, valamint az injektálást követő első és 12. napon mintavételeztük az injektáló és a megfigyelő pontokat. A vizsgálati eredményeket a 23. sz. *szövegközi táblázatban* valamint a 16. sz. *ábrán* mutatjuk be. A táblázatban zölddel jelöltük azon koncentráció értékeket, amelyek csökkenést mutatnak az injektálást követően, pirossal azokat, ahol koncentráció-növekedés volt észlelhető az injektálást követően.

Az injektáló kúthoz legközelebb álló mintavételi pontban (Pf2) az injektálást követően mindkét esetben TPH koncentráció-növekedést észleltünk. A PRSZ1. mintavételi pontban, réteg szelektív mintavétel történt, pontosabban a kút felső és alsó szűrői által feltárt talajvíz réteget tudtuk megmintázni, mivel a középső szűrőszakaszon nem szivárgott be mintázható mennyiségű talajvíz. A felső rétegben az injektálást követő napon látványos csökkenést észleltünk, azonban az ezt követő 12. napon a kezdeti állapottól alacsonyabb, de az utolsó mintavételhez képest magasabb volt a TPH koncentráció. Az alsó talajvízrétegben már alapállapotban alacsony volt a TPH koncentráció, ezt követően egy kissé csökkent, majd ismét növekedett. Az injektáló ponttól legtávolabb eső mintavételi pontunk már alapállapotban is mérési határérték alatt volt, így az ezt követő vizsgálati időszakokban is. A PAH koncentrációkról elmondható, hogy általánosságban csökkentek az injektálást követő napon, majd a 12. napi mintavételezés eredményei az eredeti állapothoz képest növekedést mutatnak.

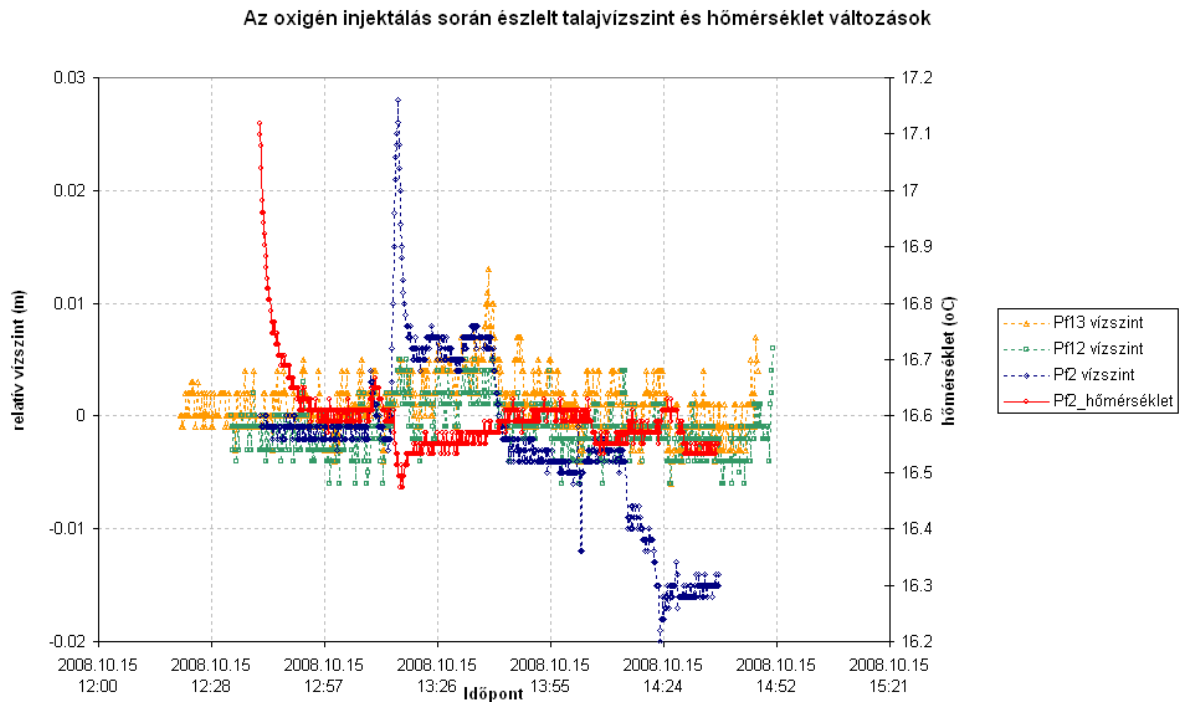
A felszín alá injektált oxidálószer nemcsak a talajvízzel, hanem a talajjal is kapcsolatba kerül, oxidál minden oxidálható anyagot, aminek hatására a pórusok méretei megnövekednek, ezáltal mobilizálhatja a talaj pórussterében kötött formában található szénhidrogéneket. Ez okozza, hogy az injektálást követően koncentráció-növekedést észlelhetünk. Ezzel magyarázhatóak jelen esetben is a terepi tesztet követően kapott magasabb szénhidrogén koncentráció értékek.

Összefoglalva az ISCO labor- és terepi tesztek eredményeit, elmondható, hogy a laborvizsgálatok során a perszulfát és a kálium-permanganát oxidálószerek hatékonyak mutatkoztak. A kálium-permanganát a talajvízre jobb szennyeződés lebontás értékeket mutatott, ezért ezt az oxidálószert választottuk a terepi teszthez. A terepi tesztet követő napon a szénhidrogén koncentrációk csökkenését észleltük, közel két hét elteltével azonban a szennyeződés növekedése volt tapasztalható.

5.6 Oxigén injektálásos terepi teszt eredmények

Az ISCO terepi teszt kísérletet megelőzően terepi körülmények között próbáltuk ki az oxigéngáz nyeletését a kialakított IS injektáló kúton keresztül. Egy 10 m³-es, sűrített, tiszta (99,9%) oxigéngázt tartalmazó túlnyomásos palackból, szabványos reduktoron és nyomásszabályozón keresztül kezdetben 1, majd 3 bar nyomással, kb. 7 m³/óra hozammal folyamatosan injektáltuk az oxigéngázt az injektálókútba. Az észlelés a Pf-2 jelű kútban folyamatosan történt, mely

során mértük (WTW műszerrel) a talajvízben oldott oxigén koncentrációt, a vezetőképességet, valamint a hőmérséklet változását. Mindezek mellett digitális vízszintregisztráló szondákat (DATAQUA) telepítettünk a Pf2, Pf12 és Pf13 jelű pontokba a nyomásterjedés regisztrálásához. Az 11. sz. szövegekői ábrán a digitális vízszintregisztráló szondák adatsorát tüntettük fel.



11. sz. szövegekői ábra: Az oxigén injektálás során észlelt talajvízszint változások.

Jól látható, hogy az egyensúlyi állapot (vízszint, hőmérséklet) beállta után, az injektálás megindulását követően, a legközelebbi Pf2 jelű pontban észlelhető változás. A Pf12 és a Pf13 jelű pontokban a „zajtól” nem különíthető el semmiféle hatás. A Pf2 pont esetében a kisebb, majd a nagyobb mértékű vízszint emelkedés egyértelműen az injektálás hatását (nyomásváltozás) tükrözi. A 3 bar nyomásnál kialakuló, átlagosan 0,006 m nagyságú üzemi vízszintemelkedés meglehetősen kicsi. Arra utal, hogy az injektált oxigéngáz a telítetlen zónába került, és nem jutott be csak minimális mértékben a talajvízbe. Mindezt megerősíti az is, hogy az oldott oxigén szonda semmiféle változást nem mutatott a teszt során az alapértékekhez képest. Sajnos meg kellett állapítanunk, hogy az oxidálószer bejuttatására alkalmazott injektálókút gáz halmazállapotú közegek injektálására alkalmatlan volt, mivel valószínűleg a szűrőzött szakasz felső éle a nyugalmi talajvízszint fölé került. A megnyíló telítetlen zóna, mint kisebb nyomású terület elvezette az oxigéngáz nagy részét. Ezt a kútfej légtérben fotoionizációs kézi detektorral (EAGLE) mért helyszíni méréseink is megerősítették. Ekkor leállítottuk a tesztet, mely így eredmény nélkül zárult.

5.7 A mikrobiológiai lebomlási folyamatok vizsgálata

A vizsgált területen 2 db talaj- és 2 db talajvíz-mintán végeztünk mikrobiológiai vizsgálatokat. A talaj és talajvíz-minták a Pf1 és Pf11 mintavételi pontokból származtak. A következő labor kísérletekre került sor:

- összes csíraszám meghatározása,

- n-alkán bontó mikroorganizmusok mennyiségének a meghatározása,
- BTEX bontó mikroorganizmusok mennyiségének a meghatározása,
- denitrifikációra képes mikroorganizmusok arányának megadása,
- aerob anaerob mikrobiológiai szénhidrogénbontás vizsgálata,
- anaerob mikrobiológiai szénhidrogénbontás vizsgálata CH₄ termelés meghatározása.

A laborvizsgálati eredményeket összefoglaló jegyzőkönyvet a 9. sz. mellékletben csatoltuk a jelentéshez.

A talaj- és talajvízmintákon elvégzett vizsgálatok (aerob, anaerob) eredményeinek az összegzését a 24. és 25. sz. szöveggözi táblázatokban mutatjuk be.

Minta jele	Aerob		
	Alkán bontók	BTEX bontók	Össz- csíraszám
	db tenyésztető sejt/g talaj		
Pf1 (talaj)	1,6*10 ⁴	7*10 ³	2,43*10 ⁴
Pf11(talaj)	2,75*10 ³	0	3,8*10 ³
Pf1 (talajvíz)	3,82*10 ⁴	9*10 ¹	3,99*10 ⁴
Pf11 talajvíz	1,6*10 ⁴	1,71*10 ³	2,79*10 ⁴

24. sz. szöveggözi táblázat: A talaj- és talajvíz-mintákon észlelt aerob mikrobák száma.

Minta jele	Anaerob				
	Alkán bontók	BTEX bontók	Szulfát redukáló	Össz- csíraszám	De-nitrifikálók
	db tenyésztető sejt/g talaj				
Pf1 (talaj)	1,1 *10 ⁴	4,3*10 ²	2,9*10 ²	4,19*10 ⁴	4,19*10 ⁴
Pf11(talaj)	2,93*10 ³	1	1,4*10 ¹	4,4*10 ³	5*10 ²
Pf1 (talajvíz)	4*10 ⁴	4*10 ¹	0	1,71*10 ⁴	1,71*10 ⁴
Pf11 talajvíz	9,6*10 ³	2,1*10 ²	1*10 ¹	2,13*10 ⁴	2,13*10 ⁴

25. sz. szöveggözi táblázat: A talaj- és talajvíz-mintákon észlelt anaerob mikrobák száma.

Az eredmények alapján a következők mondhatók el:

- a kapott talajvízminták közepes tenyésztető sejtszámokat mutattak,
- a BTEX bontó mikroorganizmusok száma minimális,
- a tenyésztető mikroorganizmusok legnagyobb része denitrifikációra volt képes,
- anaerob aktivitást szulfát redukció révén lehetett kimutatni,
- a mikrokozmosz kísérletek magas széndioxid kibocsátást mutattak (lásd. Pf-1 minta), ami magas mikrobiális aktivitásra utal,
- a laboratóriumban elvégzett ásványi só adagolásnak pozitív hatása volt, ugyanis az alapaktivitás emelkedése volt tapasztalható,
- a TC/TN eredmények (9. sz. melléklet) alapján elmondható, hogy nem a nitrogénformák szerepelnek sebesség meghatározó faktorként, mivel mennyiségük magas, hanem a területen inkább erős foszfor limitáció léphet fel.

Összefoglalva a mikrobiológiai laborkísérlet eredményeit elmondható, hogy a vizsgált területen a BTEX bontó mikroorganizmusok száma alacsony, míg az alkánbontók közepes sejtszámokat mutatnak. A tenyésztető mikroorganizmusok legnagyobb része denitrifikáló. Ennek következtében az esetleges mikrobiológiai kármentesítéshez javasolt a bioaugmentáció (te-

nyésztett mikroflóra beoltása). A mikrobiológiai kármentesítés hatékonyságának a fokozásához főként foszforban gazdag tápanyag szükséges.

6. HIDRAULIKAI ÉS TRANSPORT MODELLEZÉS

6.1 A hidraulikai modell

A vizsgált területen a szennyezőanyagok koncentrációjának időbeli változását hidraulikai- és erre épülő transzport modell-számításokkal kíséreltük meg előre jelezni. A számításokhoz a Visual Modflow 4.3 programcsomag Modflow 2005, valamint és MT3D moduljait használtuk.

A modellezésre kijelölt terület határait úgy alakítottuk ki, hogy hidraulikai szempontból vegye figyelembe a szűkebb terület feltártsági viszonyait, valamint a tágabb terület természetes vízforgalmát.

A vizsgált terület talajvíz-szennyezettségéből adódó környezeti kockázat, a szennyezőanyag csóva terjedéséből adódóan, a transzport irányába mutató felszíni (talajvíz rendszer) hatásviselőket érintheti. A modell elsősorban a fenti kockázat megállapításához szolgáltatott adatokat.

A modellterület fentiek szerint kialakított határai az alábbiak (26. sz. szövegekőzi táblázat).

EOV Ymin. = 810300	EOV Ymax. = 810800
EOV Xmin. = 224500	EOV Xmax. = 224000

26. sz. szövegekőzi táblázat: A modellterület sarokponti EOV koordinátái.

A modellterület hálókiosztását első lépésben 10×10 méteres horizontális cella-élhosszakkal, egyenletesen alakítottuk ki, majd a fúrásokkal érintett 2×2 méteres horizontális élhosszra sűrítettük. A modell hálókiosztását a 10/a. sz. melléklet mutatja be.

A fúrási rétegsorok feldolgozásával egy viszonylag egyszerű földtani modellt alkottunk meg. A 0,5 – 3,1 m vastagságú talajtakaró és kevert anyagú, részben antropogén feltöltés alatt uralkodóan homokliszt szemcseméret tartományba tartozó laza üledékek települnek, változó finomhomok- és agyagtartalommal. A talajvíz szintje ebben a képződményben mozog, így a fő szennyezőanyag transzport is itt zajlik. A felszíntől számított 3,7 – 6,0 m mélységben az agyagtartalom uralkodóvá válik, ebben az agyagos képződményben álltak le fúrásaink. A földtani modell alapján egyrétegű modellt alkottunk, mely réteget a harántolt homoklisztes képződmény – mint talajvíztartó és a szennyezőanyag transzport közege – paramétereivel jellemeztünk. A modell talpát, a homoklisztes réteg átlagos feltárt vastagsága alapján, 83,5 mBf szintben rögzítettük, a modell felszínét a topográfia határozza meg. Mivel a feltárással érintett területen kívüli sekélyföldtani adatok nem álltak rendelkezésünkre, a fenti, jelentősen leegyszerűsített egyréteges modellel kívántuk a bizonytalanságot a modellbe beépíteni. A modell K-Ny-i irányú vertikális szelvényét a 10/b. sz. mellékletben mutatjuk be.

A modell határait úgy határoztuk meg, hogy a tágabb terület természetes vízforgalmát is figyelembe vegye. A vízforgalmat a modellterületen a topográfiai térképen jól azonosítható egykori folyóvölgyben kialakított hígtrágya-tároló tavak, valamint a beszívárgás/evapotranspiráció határozza meg. A jelen munka készültekor az egyidejű talajvízszintek általános áramlási iránya minden esetben a hígtrágya-tároló tavak felé mutatott, tehát a hígtrágya-tároló tavak megcsapolóként viselkedtek. A betáplálást a csapadékos időszak okozta beszívárgás okozza, melyet a közeli kabai csapadékmérő állomás adatsora is megerősít (10/c. sz. melléklet). Ezek alapján a hidraulikai peremfeltételeket a hígtrágyatároló tavakat, mint folyó

típusú peremfeltételt, és a beszivárgást, mint felületi terhelést 21 mm/év kalibrált értékkel adtuk meg a modellben. Mindezek mellett a csapadékhiányos, vagy evapotranspiráció uralta időszakokban fennállhat olyan hidraulikai állapot is, hogy a hígtrágyatároló tavak felől érkezik a betáplálás a talajvízbe, azonban ezek csak rövid periódusok lehetnek.

A modellréteg szivárgási tényezőjét a hidraulikai modell autokalibrációjával (PEST modul) állítottuk elő, azonban fontos volt, hogy megismerjük a valós értékeket is. A talajmechanikai és a kúthidraulikai vizsgálatok is 10^{-5} m/s nagyságrendű értékeket adtak, ezért az autokalibráció során törekedtünk arra, hogy a vizsgálatokkal összhangban legyen a keresési tartomány.

A kalibrációt követően az alábbi értékeket állítottuk elő lásd. 27. sz. szövegekői táblázat.

Kx (m/s)	Ky (m/s)	Kz (m/s)
3×10^{-5}	3×10^{-5}	1×10^{-5}

27. sz. szövegekői táblázat: A kalibrált szivárgási tényező értékei.

Látható, hogy a horizontális szivárgási tényező értékekhez képest a vertikális némileg alacsonyabb, ez a víztartóban jelentkező gyengén fejlett vertikális rétegződésre utal.

A porozitás és a tárolási tényező értékeit részben a talajmechanikai eredményekből, részben irodalmi adatokból származtattuk (28. sz. szövegekői táblázat).

Tot. por. (-)	Eff. Por (-)	Spec. Stor. (-)
0,43	0,2	0,2

28. sz. szövegekői táblázat: A porozitás és tárolási paraméterek.

A felépített és hidraulikai paraméterekkel, valamint peremfeltételekkel ellátott modell hidraulikai kalibrációját először a gradiens beállításával kezdtük. A folyó típusú peremfeltétel (hígtrágyatároló tavak) nyomásszintjét 84,0 mBf –ben adtuk meg, az autokalibráció során a felületi terhelést (beszivárgást) változtattuk. A gradiens beállítását a számított és mért vízszintek összehasonlításával mértük. A kalibrációnál az egyidejű vízszintmérések adatait használtuk fel. Az adatsorokat hálóba generálva megállapítottuk, hogy a 2008.10.15-i egyidejű vízszintmérés adatsora a legkevésbé terhelt a tranzien folyamatoktól, így alapját képezhette egy permanens hidraulikai rezsím leképezésének.

A gradiens beállítását követően a szivárgási tényező értékeinek autokalibrációjával kaptuk meg a végleges értékeket. Az autokalibráció során 22,7 % NRMS –t értünk el, mely viszonylag magas érték, a horizontális földtani heterogenitás, valamint antropogén hatások (műtárnyak) okozhatják. A hidraulikai kalibrációs diagramot a 10/d. sz. mellékletben csatoltuk. A permanens hidraulikai modellben generált vízszintek gradiense markánsan a hígtrágyatároló-tavak felé mutat. A talajvízszint modellben számított potenciál eloszlását a 10/e. sz. mellékletben mutatjuk be.

6.2 A transzport modell

A vizsgált szennyezőanyag komponensek közül a TPH volt a legnagyobb koncentrációban kimutatható, mely az elsődleges szennyezőanyag (tüzelőolaj) összetételéből is következik (uralkodóan alifás szénhidrogének).

Mivel a TPH koncentráció változásáról vizsgálatok híján semmilyen archív információnk nem volt, a destruktív transzport folyamatok (pl. biodegradáció) paramétereit nem tudtuk helyszínspecifikus adatokból számítani. Ismertük azonban a szennyezéstörténet főbb állomásait, melyet az alábbiakban foglalunk össze:

1. A tüzelőolajat felhasználó fűtési rendszer kialakítása az 1970-es évek végén.
2. A tüzelőolaj rendszer haváriája a szivattyúháznál 1988-ban.
3. Jelenlegi szennyezettségi állapot (talaj, talajvíz) 2008-ban.

Ezek ismeretében, a szennyezetlen állapotot véve kezdeti feltételnek, magát a szennyeződés történetét szimuláltuk a transzport modellel.

A 20 évvel ezelőtti havária során - a gravitációtól hajtva - vertikálisan lefelé szivároghva, a talaj pórusait töltötte ki a szabad fázisú tüzelőolaj, mely a talajvízszint ingadozása során folyamatosan beoldódó, degradálódó forrászónát képezett az oldott fázisú szennyeződés számára. Jelenleg egy pontban (Pf-1) maximálisam 0,005 m vastagságú felúszó szabad fázisú tüzelőolaj gyűlik össze, mely arra enged következtetni, hogy a havária során kikerült tüzelőolaj jelenleg ún. reziduális fázisban van, migrációjára nem kell számítani.

A tüzelőolaj talajvízbe oldódásáról a Pf-2 jelű fúrás után végzett hibás mintavételi eredmény adott információt. A mért 36700 µg/l TPH –t a beoldódás maximumához közeli koncentrációnak tekintettük, ezért a transzport modellben a reziduális forrás zóna kezdeti maximális koncentrációját 40000 µg/l TPH egyensúlyi koncentrációjával szimuláltuk. A szivattyúháznál felvett forrás-zónán kívül további két, kisebb, 10000 µg/l TPH kezdeti egyensúlyi koncentrációval jellemzett forrás-zónát is fel kellett vennünk a jelenlegi koncentráció-eloszlás modellbeli előállításához. Ezekben a pontokban valószínűleg a havária másodlagos hatásaként, esetleg a csövezetékek szivárgása által létrejött forrás-zónákat modelleztük. A forrás-zónák elhelyezkedését a 10/f. sz. melléklet mutatja be. A forrás-zónákat – tekintetbe véve a degradációjukat – nem peremfeltétellel szimuláltuk, hanem az érintett cellákban az egyensúlyi koncentrációk kezdeti megadásával.

A hidraulika modellre épülő transzport modellben a telephely tágabb környezetét (10×10 m-es cellakiosztású részt) inaktívvá tettük, hogy a számítás időigényét minimalizáljuk. A destruktív transzport folyamatok közül a diszperziót, a retardációt és a biodegradációt szimuláltuk, így a longitudinális diszperzivitást (D_l), a megoszlási hányadost (K_d) és az elsőrendű lebomlási rátát (λ) vettük figyelembe a szimulációk során. A $t = 7300$ modellnap (haváriától számított 20 év) számított értékeit a jelenlegi mért értékekhez viszonyítva, ún. trial-and-error kalibrációt végeztünk a fenti transzport paraméterek iteratív változtatásával. A kalibráció eredményét a 10/g. sz. mellékletben mutatjuk be. Az 1,01% NRMS kalibrációs érték viszonylag jónak számít, a transzport paramétereket a 29. sz. szövegekőzi táblázatban mutatjuk be.

D_l (m)	K_d (l/µg)	λ (1/nap)
5,0	5×10^{-8}	6×10^{-5}

29. sz. szövegekőzi táblázat: A modell transzport paraméterei.

Az értékek elég jelentős retardációra, gyenge diszperzióra és biodegradációra utalnak, mely összhangban van a földtani felépítéssel és a mikrobiológiai vizsgálatok eredményeivel.

6.3 A modell által előre jelzett állapot

A fenti modellváltozatot 20 éves időtartamra futtattuk le a jelenlegi állapottól ($t = 7300$. modellnap) kiindulva (14600 modellnap). A TPH-koncentráció szimulált idősorait mutatja az egyes pontokban a *10/h. sz. melléklet*. Látszik, hogy a forrás-zónák koncentrációja kezdetben erősen, majd egyre lassabban csökken, míg a környező szennyezett kutakban stagnáló koncentrációk jellemzők a szimulált időszakban. Emelkedő koncentráció a jelenlegi állapottól ($t = 7300$. modellnap) már nem jelentkezik a szimuláció végéig.

A jelenlegi ($t = 7300$. modellnap) és a $t = 14600$. modellnapon (20 év) számított koncentráció eloszlásokat mutatja be a *10/i. sz. melléklet*. Ezeken az ábrákon is jól látható, hogy a szennyezőanyag nem mozdul el, kiterjedése alig változik, miközben a forrás-zónák koncentrációja lassan csökken.

A hidraulikai és transzport modellezés eredményei alapján megállapítható, hogy a feltárt szennyeződés nem mozdul el. Hosszú távon – még beavatkozás nélkül is – a forrás zónák lassú hígulása jellemző.

7. AZ EGYSZERÜSÍTETT MENNYISÉGI KOCKÁZATFELMÉRÉS

7.1 Az alkalmazott mennyiségi kockázatfelmérés módszere

Egy adott terület tényfeltárása során elvégzendő mennyiségi kockázatfelmérés célja az aktuális területhasználat(ok)hoz rendelhető, releváns (tényleges) hatásviselőket érő kockázatok meghatározása.

Ha az adott területen előforduló szennyezőanyag koncentrációja a megengedettnél nagyobb mértékű kockázatot okoz valamely hozzáférési (expozíciós) úton bármely hatásviselő esetén – beleértve a szennyezetlen talajviztest elszennyeződésének lehetőségét is – meg kell határozni az illető expozícióra vonatkozó azon szennyezőanyag-koncentrációt, amely esetén a kockázat már nem jelent veszélyt. Ha egy hatásviselőhöz több expozíciós út is tartozik, pl. a szennyezőanyag belégzése, tápcsatornába jutása és bőrön át történő felszívódása, a kockázatfelmérést mindegyik esetre el kell végezni.

Az elvégzett számítások eredményei alapján kell javaslatot tenni a „D” kármentesítési célállapot határértékekre, illetve a műszaki beavatkozásra (kiterjedés, mélység, technológia stb.) vonatkozóan. A kockázatfelmérés elkészítését a felszín alatti vizek védelméről szóló, 219/2004. (VII. 21.) Kormányrendelet 23, 24 §-a írja elő.

A mennyiségi kockázatfelmérést a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium „Kármentesítési útmutató 7.” c. kiadványában megjelentetett módszertan szerint végeztük el, amely megfelel az Egyesült Államokban kidolgozott ASTM E-2081 számú szabványnak. A kockázatfelméréshez a Groundwater Services Inc. által kifejlesztett RBCA szoftvert 2.2 verzióját használtuk. Ezen szoftver alkalmas a szénhidrogén szennyezettségből származó egészségügyi kockázatok meghatározására. A környezetvédelmi hatóságok az EU több tagországában is ezen a szoftvereket fogadják el és alkalmazzák.

A fent említett jogszabály szerint, a talajvíz, mint hatásviselő értékelendő, tehát meg kell vizsgálni a szennyezett terület közvetlen környezetében található nem szennyezett talajvíz elszennyeződésének a kockázatát. A fenti kérdés megválaszolására 3D hidraulikai és szennyződés transzport modellezést végeztünk, amit az előző fejezetben ismertettünk.

7.2 A kockázatfelmérés koncepciója

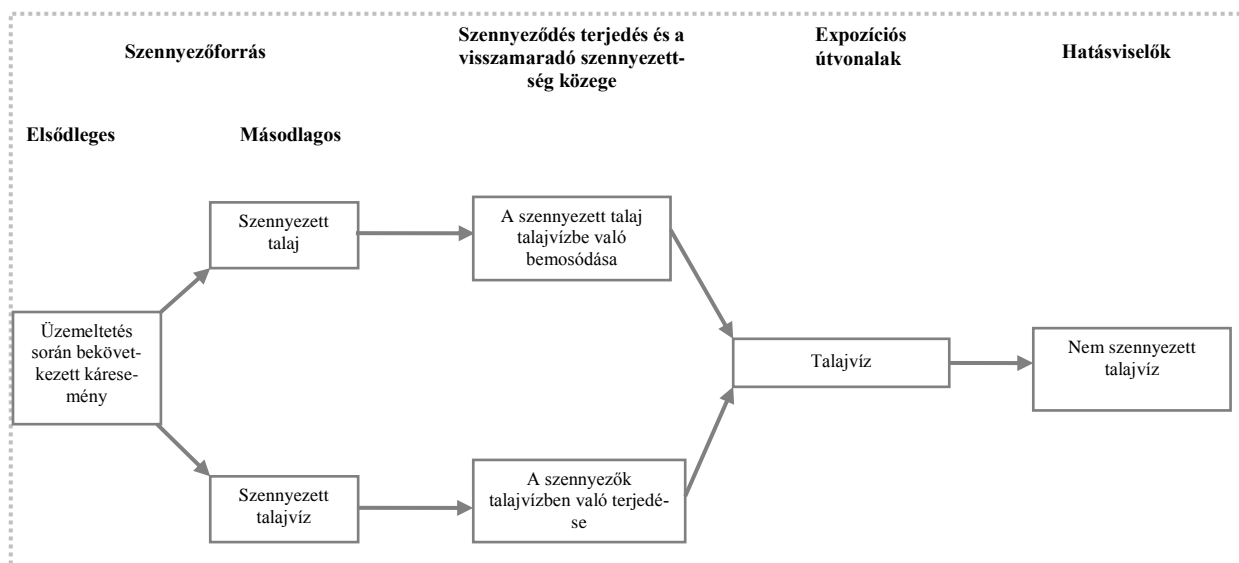
A kockázatfelmérés koncepcióját a jelenlegi és a közeljövőben tervezett területhasználatok figyelembevételével készítettük el, megvizsgálva a hatásviselőket, valamint a kockázati útvonalak jelenlétét.

Jelenlegi és tervezett területhasználatok:

- A szennyezett terület (Püspökladány 087/10 hrsz. telephely) az R&J Kft. tulajdonában lévő sertéstelep DK-i részét képezi (12. sz. szövegekőzi ábra). A TPH-ra szennyezett területen nincsenek építmények. A sertéstelep ezen terület részén jelenleg nem folyik semmilyen tevékenység, a szennyezett terület az épületeken kívülre esik, azaz a sertéstelep egy lehatárolt részén található ahol nem folyik semmilyen tevékenység tehát nem számolhatunk humán hatásviselőket folyamatos jelenlétével, így az esetleges kültéri belégzés kockázatával sem.

A hazai kockázatfelmérési módszertan alapján (a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium „Kármentesítési útmutató 7.” c. kiadványában megjelentetett módszertan szerint), különös figyelem fordítandó a felszín alatti vizek minőségének a védelmére, lévén hogy Magyarországon az ivóvízellátás nagy arányban a felszín alatti vizekből történik. Éppen ezért a még el nem szennyezett talajvíztestet külön hatásviselőként kezeljük.

Emiatt megvizsgáltuk a szénhidrogének talajból talajvízbe való bemosódásának a kockázatát, valamint a szennyezett talajvíztest elmozdulásának a kockázatát lásd. 13. sz. szövegekőzi ábra a kockázatfelmérés koncepcióját.



13. sz. szövegekőzi ábra: A kockázatfelmérés koncepciója.

7.3 A kockázatfelmérés eredményei

A területhasználatokból adódóan kockázatszámolást csak a talajvízre, mint hatásviselőre számoltunk.

Első lépésként megvizsgáltuk, hogy a talaj telítetlen zónájában előforduló szennyeződés milyen mértékben jelenthet kockázatot a talajvízre vonatkozóan, a számolásokhoz a RBCA szoftver 2.2 verzióját használtuk.

A talajból való bemosódás kockázatának számítását azon komponensekre végeztük el, amelyekre „B” szennyezettségi határérték feletti koncentrációkat mértünk.

A számítást különböző mélységközökre végeztük el, figyelembe véve az egyes mélységközökben előforduló koncentrációváltozást. A kockázatfelméréskor konzervatív módon jártunk el, tehát a talajban talált maximális szennyeződés-koncentrációkkal számoltunk az egyes komponensek esetében. A felhasznált koncentrációkat valamint a kapott bemosódási értékeket a 30. sz. szövegekőzi táblázatban mutatjuk be.

Mélységköz (m)	Max. TPH koncentrációk talajban (mg/kg)	Talajvízbe bemosódó koncentrációk (µg/l)
„B” szennyezettségi határérték		100
0.5	24400	78

Mélységköz (m)	Max. TPH koncentrációk talajban (mg/kg)	Talajvízbe bemosódó koncentrációk (µg/l)
1.0	13500	86
1.5	14800	190
2.0	17800	230
2.5	8270	110
3.0	5310	68
3.5	7850	100

30. sz. szövegekői táblázat: A Talajból talajvízben számolt bemosódás eredmények TPH-ra.

A kapott eredményeket a talajvízre meghatározott „B” szennyezettségi határértékhez viszonyítottuk, ami a TPH esetében 100 µg/l. Az eredmények alapján látható (30. sz. szövegekői táblázat), hogy a bemosódási érték 1,5-2,5 m mélységből meghaladja, valamint 3,5 m mélységből – a csökkent koncentráció ellenére - eléri a talajvízre megállapított „B” szennyezettségi határértéket.

A xilolokra, egyéb alkilbenzolra és PAH-ra felhasznált koncentráció értékeket és a számítások eredményeit a 31. sz. szövegekői táblázatban mutatjuk be. A táblázatból kiolvasható, hogy a talajvízre meghatározott „B” szennyezettségi határérték feletti koncentrációban bemosódhat az egyéb alkilbenzol és az összes PAH is.

Mélységköz (m)	Max koncentrációk talajban (mg/kg)	Talajvízben bemosódó koncentrációk (µg/l)	„B” szennyezettségi határérték talajvízre (µg/l)
Xilolok összesen	1,4	0,13	20
Egyéb alkilbenzolok összesen	21	28	20
összes PAH	38,2	34,7	2

31. sz. szövegekői táblázat: A talajból talajvízben számolt bemosódás eredmények, xilolra, összes egyéb alkilbenzolokra, összes PAH-ra.

Azon komponensekre, amelyek talajból való bemosódása kockázatot jelent a talajvízre vonatkozóan „D” kármentesítési célállapot határértéket számoltunk (lásd 7.4 fejezet).

Második lépésként vizsgáltuk a szennyezett talajvíztest elmozdulásának a lehetőségeit, az eredményeket a 6. fejezetben mutattuk be. Az eredmények alapján elmondható, hogy a szennyezett talajvíztest elmozdulása nem várható, tehát az oldott szennyeződés nem jelent kockázatot a még el nem szennyezett talajvíztestre vonatkozóan.

7.4 „D” kármentesítési célállapot határérték

A kockázatfelmérés alapján látható, hogy az egyetlen releváns hatásviselő a talajvíz, tehát a talajvizet érő esetleges kockázatok tükrében számoltunk „D” kármentesítési célállapot határértéket.

A talajból talajvízbe való bemosódás kockázatának megléte, azaz a szennyeződés állandó utánpótlódásának biztosítása látható volt a kockázatfelmérés eredményekből. Nyilván ez az eredmény csak a legszennyezettebb területre vonatkozik, a Pfl mintavételi pont és környezetére. A 30. és 31. sz. szövegekői táblázatban látható, bemosódásból származó koncentrációk.

ció értékekből visszafelé történő számítással határoztuk meg azt a maximális koncentrációt a talajban, amelyből – a jelenlegi földtani és csapadékviszonyok mellett –nem keletkezhet „B” szennyezettségi határértéket (100 µg/l) meghaladó szennyeződés a talajvíztestben. Ezeket az értékeket, mint „D” kármentesítési célállapot határértékeket mutatja be a 32. sz. szövegekői táblázat. A TPH esetében a számítások nagyon hasonló értékeket adtak a talaj különböző mélységközeiben, így egyetlen „D” értékkel (7850 mg/kg) reprezentáljuk az összest.

Komponens	„D” kármentesítési célállapot határérték (mg/kg)
TPH	7850
Egyéb alkilbenzolok összesen	15,3
Összes PAH	2,5

32. sz. szövegekői táblázat: A talajra számolt „D” kármentesítési határértékek.

A Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium „Kármentesítési útmutató 7.” c. kiadványában megjelentetett módszertan szerint, abban az esetben is szükséges a „D” kármentesítési célállapot határérték meghatározása, ha a talajvíz szennyeződés csökkenő vagy stagnáló („steady-state”) stádiumban van. Ebben az esetben a maximális talajvízben oldott szénhidrogén koncentrációk adhatóak meg „D” kármentesítési célállapot határértékként (33. sz. szövegekői táblázat). A fenti útmutató azt is leírja, hogy a szennyezett talajvíztest stagnálása esetén nincs szükség a talajvíz kármentesítésére, elegendő az oldott szennyezőanyag csóva rendszeres monitoring vizsgálatával való ellenőrzése.

Komponens	Talajvízre mért maximális koncentráció érték javasolt „D” kármentesítési célállapot határérték (µg/l)*
TPH	17600
Egyéb alkilbenzolok összesen	86
Naftalinok	7,38
Összes PAH naftalinok nélkül	5,9

*azon komponensekre amelyeknél „B” határérték feletti szennyeződést mértünk

33. sz. szövegekői táblázat: A talajvízre javasolt „D” kármentesítési célállapot határérték.

8. MŰSZAKI BEAVATKOZÁS VIZSGÁLT MÓDOZATAI

Megrendelőnk kérésére a tényfeltárás és a műszaki beavatkozás tervezése párhuzamosan készült. A szoros határidő miatt a tervezéshez szükséges tesztek már akkor el kellett kezdenünk, amikor a kockázatfelmérés és a szennyeződés viselkedését vizsgáló modellezés eredményei még nem álltak rendelkezésünkre. A műszaki beavatkozás lehetőségeinek a felméréséhez két in-situ kármentesítési technológia alkalmazhatóságát vizsgáltuk meg. Az alábbiakban ezek alkalmazásának a lehetőségeit ismertetjük.

8.1 Az ISCO kármentesítés lehetőségei

Az in-situ kémiai oxidáció elvei alapján a szennyezett felszín alatti közegbe oxidálószer injektálunk be, amely reakcióba lépve az ott előforduló szennyező anyaggal, ezeket ártalmatlan végtermékké alakítja át. A módszer egyik előnye, hogy relatíve gyors.

Az in-situ kémiai oxidáció esetleges alkalmazásánál a következő paramétereket kell figyelembe vennünk:

- a szénhidrogén szennyeződés a talajvízben csak oldott formában jelenik meg, illetve a telített zóna talajszemcséi közötti pórustérben csapdázódva van jelen,
- a talajvíz szennyeződés nem kisebb, mint 1 mg/l, ez alatt a koncentrációérték alatt nem gazdaságos az ISCO alkalmazása,
- a talajszerkezeti, talajmechanikai feltételek ideálisak az oxidálószer szennyezőanyaghoz, való eljuttatásához,
- a kiválasztott oxidálószer laboratóriumi és terepi körülmények között is megfelelőnek mutatkozott,
- a talajvíz pH-ja 6-8 értékek közötti,
- jelentős mértékű a talajvízszint ingadozása,
- a beavatkozás tervezett időtartama alatt a szennyeződés horizontális elmozdulása nem valószínűsíthető.

Az elvégzett kísérletek valamint a fenti paraméterek ismeretében az in-situ kémiai oxidáció alkalmas lehet a talajvíz kezelésére. Hatékonysága jelentősen növelhető azzal, ha a szennyeződés gócpontjában (Pfl) az utánpótlást jelentő, telítetlen zónában lévő szennyezett talajt ki-termelik.

8.2 Az in-situ mikrobiológiai kármentesítés lehetőségei

A szénhidrogén szennyeződések szabályozott biológiai lebontása (biodegradáció) során a mikroszervezetek speciális enzimszerei révén, megfelelő redox-potenciál mellett, mobilizált formában levő nitrogén, foszfor, kálium jelenlétében, a szénhidrogén vegyületeket zsírsavakká alakítják, majd ezekből, széndioxid és víz keletkezése mellett, energiát nyernek. Ezen eljárásokat világszerte környezetbarát technológiaként tartják nyilván.

Az általánosan használt módszerek azon a feltevésen alapulnak, mely szerint elégséges csupán a helyszínen jelenlévő (endogén) baktériumpopuláció aktiválása a lebontás érdemi hatékonnyá tételéhez. Ha ez nem elegendő, olyan specifikusan adaptált exogén (külsőleg) baktériumtörzsek kerülnek alkalmazásra, amelyek fokozottan képesek a biodegradáció mértékének

növelésére, valamint időtartamának csökkentésére. Az endogén vagy exogén baktérium törzsek alkalmazhatóságát mikrobiológiai célvizsgálatokkal lehet eldönteni.

Az aktuális szennyeződésekre adaptáltan felhasználható mikroorganizmusokat természetből szelektált, hivatalosan regisztrált starterkultúrák törzseiből választják ki elővizsgálatok alapján. A kiválasztás szempontjai:

- nem patogének,
- specifikus aktivitással rendelkeznek az aktuális szennyeződések lebontására,
- ellenállóak és széles körben felhasználhatók,
- nem okoznak új szennyeződést,
- nem gén-manipuláltak.

A szénhidrogének különböző nagy csoportjai eltérő mértékben bonthatók biológiailag. A kőolaj, illetve összetettebb (pl. nehéz-frakciójú, policiklikus aromás, halogénezett stb.) származékainak irányított biológiai degradációjához számos specifikus baktériumtörzs szinergiájára, egymást kiegészítő és segítő hatására van szükség. Noha a kőolaj-specifikus baktériumpopuláció tápanyaga maga a szénhidrogén származék, optimális működéséhez számos egyéb kiegészítő anyag és feltétel is szükséges: pl. biztosítani kell, a megfelelő C, N és P arányt. Esetenként a baktériumokat meg kell védeni a toxikus anyagoktól és/vagy a pH-tól, vagy annak ingadozásától, illetve a nem kívánatos diszperziótól. Mindezek finom összehangolásán múlik a beavatkozás hatékonysága és gazdaságossága.

A bioremediációs technológia tervezésekor az alábbi főbb tervezési paramétereket kellett figyelembe venni:

- a szénhidrogén szennyeződés a talajvízben oldva, illetve a telített zóna talajszemcséi közötti pórustérben csapdázódva van jelen,
- a talajszerkezeti, talajmechanikai jellemzőkből következően, megfelelő a szennyeződés biológiai hozzáférhetősége,
- a szennyezőanyag (TPH, BTEX) biológiai lebonthatósága jó,
- a talajvíz ideális pH-ja 6-8 értékek közötti,
- fizikai adottságaiból következően, az oldott szennyeződés a talajvíz felső, kb. 3 m-es zónájában található,
- jelentős mértékű a talajvízszint ingadozása,
- a beavatkozás tervezett időtartama alatt a szennyeződés horizontális elmozdulása nem valószínűsíthető,
- az elsődleges szennyezőforrás (telítetlen zónában levő talajszennyeződés és a szabad szénhidrogén fázis) felszámolása megtörtént, a másodlagos szennyezőforrások (reziduális és immobilis fázisok) gravitációsan már nem távolíthatóak el.

A fenti szempontok alapján, a vizsgált területen a mikrobiológiai kármentesítés exogén flóra bevitelével tervezhető, és e mellett a hatásvédelem eléréséhez szükséges az időszakos tápanyag injektálás is. A laboratóriumi vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy a mikroszervezeteknek alapvetően foszfor komponensekre van szükségük, e mellett javasolt mikroelemek adagolása is. Mindezen anyagokat oldat formájában kell a talajvízbe juttatni. Megjegyzendő, hogy az exogén mikroflóra bevitelére előzetesen szükségesek olyan laboratóriumi vizsgálatok, amelyek alapján megállapítható az adott területre legalkalmasabb mikroflóra populáció.

8.3 A vizsgált műszaki beavatkozási technológiák költségeinek vázlatos ismertetése

A vizsgált in-situ kármentesítési technológiák költségeinek vázlatos összehasonlítását végeztük el.

Abból a feltételezésből indultunk ki, hogy csak a szennyeződés gócpontja, a Pfl pont környezete kerül kezelésre. Csak a szennyezett talajvíz mentesítésére végeztük el a számításokat feltételezve, hogy a szennyezett talajtömeg a telítetlen zónából már előzetesen kitermelésre kerül.

In-situ mikrobiológiai kármentesítés		In-situ kémiai oxidációs kármentesítés	
A kármentesítés fő lépései	Költség	A kármentesítés fő lépései	Költség
-bioaugmentációs laborkísérlet	0,2 MFt	- vegyszer költség	3,5-4,0 MFt
-exogén flóra bevitel	1 MFt (4 év)	-mérnöki és technikai munkálatok	0,9 MFt
-tápanyag injektálás	1,6 MFt (4 év)		
-mérnöki és technikai munkálatok	3 MFt (4 év)		
-mikrobiológiai monitoring laborvizsgálat	0,4 MFt (4 év)	-ISCO monitoring vizsgálatok	1,1 MFt
Összesen	6,2 MFt	Összesen	6,0 MFt

34. sz. szövegekői táblázat: A megvizsgált kármentesítési technológiák becsült költsége.

A kármentesítés főbb lépéseit és az ehhez rendelhető költségeket a 34. sz. szövegekői táblázatban mutatjuk be.

A bioremediációt 4 évre terveztük, szükség van egy kezdeti laborvizsgálatra a megfelelő starterkultúra kiválasztásához. A mikrobiológiai kármentesítés ideje alatt évi négy alkalommal starterkultúra és tápanyag beinjektálásával számoltunk. A monitoring vizsgálatok gyakorisága féléves.

Az ISCO kármentesítést 2 évre terveztük. Ha maximálisan 600 m³ szennyezett talajvízzel számolunk, amelyhez 3000 kg kálium-permanganát szükséges, ennek összköltsége 3,5-4,0 MFt. Minden injektálást követően szükség van monitoring vizsgálatokra, ezáltal évi négy injektálással számolva, ugyanennyi monitoring vizsgálat tervezhető.

A két kármentesítési technológia becsült összköltsége között nincs lényeges eltérés, azonban a technológiák időbeni hatékonysága egymástól különbözik.

Habár a tervezéshez szükséges tesztek elvégeztük, a technológiák leírását elkészítettük, költség-hatékonyság-számítással a preferált technológiát is kiválasztottuk, a kockázatfelmérés és a szennyeződés terjedési vizsgálatok eredményei alapján, a talajvíz kármentesítésére nincs szükség. Mivel a szennyezett talajvíz elmozdulása nem várható, a talajvíz rendszeres monitoring vizsgálata, azaz a természetes lebomlás/hígulás megfigyelése elegendő a jelen állapotok mellett.

9. A TERVEZETT MŰSZAKI BEAVATKOZÁS

9.1 A műszaki beavatkozás főbb lépései

A műszaki beavatkozásra kijelölt területre a következőket javasoljuk:

- a talajszennyeződés felszámolása, azaz „D” kármentesítési határérték alá csökkentése,
- a szennyezett talaj és talajvíz gócpontjában megfigyelő drén beépítése,
- a szennyezett talajvízcsóva rendszeres megfigyelése (monitoringja).

9.1.1 A talajszennyeződés felszámolása

Az elvégzett tényfeltárási vizsgálatok azt mutatják, hogy a Pfl pont környezetében, a talajvíz-szint felett 300 m³ „D” kármentesítési célállapot határértéket meghaladó TPH-val szennyezett talajtömeg található. Ugyanígy a Pfl pontban „D” érték feletti koncentrációkat találtunk egyéb alkil benzolokból és az összes PAH esetében (lásd. 35. sz. szövegtáblázat). Ez a talajszennyeződés, a talajvíz időszakos megemelkedése esetén, illetve a beszivárgó csapadék hatására folyamatos utánpótlódást biztosít hosszú időre a talajvízben oldott szennyeződés számára. Ennek elkerülésére a talajszennyeződés mielőbbi felszámolására van szükség ezen a területrészen.

Komponens	„D” kármentesítési célállapot határértéket meghaladó talajtömeg (m ³)
TPH	300
PAH	70
Egyéb alkilbenzol összesen	5

35. sz. szövegtáblázat: „D” kármentesítési célállapot határérték feletti talaj térfogata.

Általánosságban a szennyezett talaj kezelésére két módszer lehetséges:

- a szennyezett talaj *ex-situ* kármentesítése, azaz kitermelése, gyors és hatékony módszer, általában kisebb szennyezett talajtömegek esetén javasolt, nagyobb területeknél költséghatékonysági szempontok miatt nem javasolható,
- a szennyezett talaj *in-situ* kármentesítése, időigényes és a telítetlen zóna esetében nehézkes, nem minden esetben biztosítja a talajvízben oldott szennyeződés utánpótlódásának megszűnését; ellenben nem jár tömegmozgatással, nagyobb mennyiségű szennyezett/vagy alacsonyabb szennyeződéssel jellemezhető talajok kármentesítésére alkalmas, főként a telített zónában.

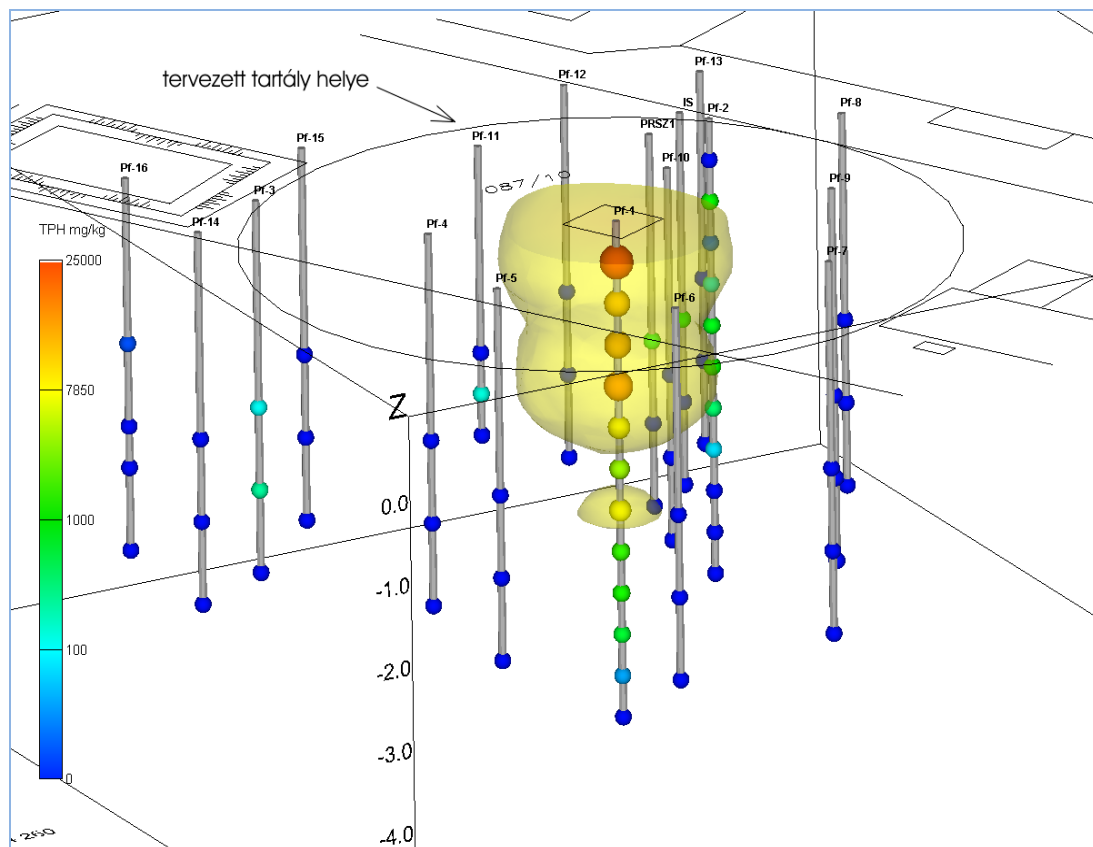
Mivel jelen esetben viszonylag kis mennyiségű talajtömegről van szó, ami főként a telítetlen zónában helyezkedik el, és a jövőbeni területhasználat is indokolja, leghatékonyabb megoldás a szennyezett talaj kármentesítésére a talajcsere. A jelenlegi szennyezett területre egy 10 000 m³ térfogatú „permastore hígtrágyatároló” tartály építését tervezik (14. sz. szövegtáblázat). A tartály készítéséhez 1 m mélységben amúgy is szükséges a talaj eltávolítása és tömörített kavicsal való feltöltése.

Még a tartály telepítését megelőzően, a földmunkálatok elkezdésével egyidejűleg javasoljuk a szennyezett talaj eltávolítását 4,0 m mélységig (lásd. 14. sz. szövegtáblázat, 18. sz. ábra). A

tervezett mélység miatt javasoljuk, hogy a munkálatokat alacsony talajvízállású időszakban végezzék.

A szennyezett talaj kitermelésekor szükség van tervezői művezetésre. A kitermelést követően szükséges a munkagödör oldalfalaiból és aljáról 2-2 db ellenőrző mintavétel (összesen 10 db minta). Az ellenőrző mintákon akkreditált laboratóriumban TPH-IR vizsgálatot kell végezni.

A tervezett talajcsere vázlatos tervrajzát a 18. sz. ábrán mutatjuk be.



14. sz. szövegközi ábra: A TPH-val szennyezett talajtömeg, a tartály síkbeli körvonalával megjelenítve.

9.1.2 A talajvíz szennyeződés gócponti megfigyelése

A talajcsere munkagödrének feltöltését a talajvíz ingadozási zónájában (2,0-4,0 m) (18. sz. ábra), durva homokos anyaggal javasoljuk.

Még a munkagödör feltöltését megelőzően, szükségesnek tartjuk egy megfigyelő kút – ha esetleg indokolttá válik, akár injektáló kút - kiépítését, lásd. 18. sz. ábra. Ezt követően a megfigyelő kutat a tervezett monitoring kutakkal egyidejűleg kell vizsgálni.

A gócpontba tervezett kármentesítési monitoring kút felszálló részét 40 Ø mm hajlítható KPE csőből kell kiépíteni. A réseleltségek PVC-ből legyenek 0,2 mm réseleltséggel kb. 4-5 m hosszúságban, amelyet csatlakoztatunk a KPE csőhöz. A réseleltségeknek a gödör alján kell elhelyezkedni. A kútszőben „low-flow” mintavételre alkalmas tömlőt kell beépíteni ami lehetővé teszi a mintavételt, és/vagy szükség esetén az injektálást. A tervezett monitoring pont kialakítását a 18. sz. ábrán mutatjuk be.

A kármentesítési monitoring kutat negyedéves gyakorisággal kell vizsgálni (TPH analitika), az eredményeket dokumentálni és negyedévenként megküldeni a felügyelőség részére.

9.2 A technológia környezeti hatásai

A talajcserét, a földmunkákat végző személyzetnek, az érvényben lévő műszaki szabványok, munkavédelmi és környezetvédelmi előírások betartásával kell végezni.

A talajcsere kivitelezésekor, keletkező szennyezett talaj veszélyes hulladéknak minősül, tehát ennek megfelelően a kitermelt talajt veszélyes hulladéklerakóban kell szállítani.

9.3 A műszaki beavatkozás időütemezése, becsült költsége

A műszaki beavatkozást legkésőbb 2009. szeptemberig végre kell hajtani figyelembe véve, hogy a tervezett trágyatartály megépítésének határideje az építető szóbeli közlése alapján 2010. március.

A kármentesítés költsége mérnöki becsléssel hozzávetőlegesen **10,5 MFt**. A kármentesítési munkálatokhoz a talajcserét, a szennyezett talaj ártalmatlanítását a monitoring kút beépítést valamint a munkagödör durva homokkal való feltöltését valamint a műszaki beavatkozás záródokumentáció elkészítését számoltuk.

A kármentesítést követő utómonitoring költségeit a fenti összeg nem tartalmazza annak megközelítő költsége 4 évre számolva **5,7 MFt**. Abban az esetben, ha a monitoring során a csóva körül tervezett monitoring kutakban szennyeződés észlelhető, további beavatkozásra van szükség. Ebben az esetben megváltozhat a tervezett monitoring időtartama.

10. A MŰSZAKI BEAVATKOZÁSHOZ KAPCSOLODÓ KÁRMENTESÍTÉSI MONITORING

10.1 A monitoring rendszer létesítményeinek a bemutatása.

A monitoring kutak kialakítására a telep szennyeződés-lehatároló mintavételeit követően került sor, jogerős vízjogi létesítési engedély birtokában (3182/11/2008). A monitoring kutak helyét a 36. sz. szövegekői táblázatban és a 19. sz. ábrán mutatjuk be.

Monitoring kút jele	EOV Y	EOV X	Z (mBf.)
Pm-1.	810473	224274	86.7
Pm-2.	810463	224284	86.7
Pm-3.	810444	224269	86.6
Pm-4.	810455	224243	86.6
Pm-5.	810477	224233	86.5
Pm-6.	810480	224254	86.7

36. sz. szövegekői táblázat: A kármentesítési monitoring kutak helye.

A monitoring kutak 220 mm átmérővel, spirálfúró alkalmazásával, szárazfúrési technológiával kerültek kialakításra a tervezett 6,0 méteres talpmélységig. Az előirányzott fúrési mélység elérését követően, a fúrési minták alapján állítottuk össze a NA 140/125 milliméteres átmérőjű PVC termelőbélcső rakat, mely a 3,0 méteres szűrőcsövet is magába foglalja. A bélcső beépítése a fúróberendezés segítségével, központosítók alkalmazásával történt. A csövek illesztése ragasztással történt. A szűrőcső helyzete a 20. sz. ábra tervezett fúrászelvényén látható. A szűrő résmérete 0,5 mm. A szűrőzött szakasz mellé, a szűrő felső éle fölött 1,0 m-ig, 1-3 mm szemcseméretű mosott szűrőkavics kerül. A kavics fölött a gyűrűsteret homok, majd cement palást zárja le. A szűrő alatt 1,0 m iszapzsák kerül kialakításra, a kút talpa PVC fekékdugóval lezárt.

A kutak VRA 30 PA típusú fúróberendezéssel, a Szabó Miklós kútfúró kivitelezésében készülnek. A kutak felszíni lezárásához 1,0 m hosszú, NA 165 mm átmérőjű, acél védőcső kerül beépítésre úgy, hogy mintegy 60 cm áll ki a felszín felett. A védőcsövet — mely lakattal zárható — betongallér rögzíti. Azon kutak esetében melyek betonozott területre esnek a zavartalan telephelyi forgalom biztosításának érdekében 0,4 x 0,4 x 0,2 m beton aknába kerül elhelyezésre a kútfej. A kútépítés befejeztével, geodéziai beméréssel meghatározzuk a kutak pontos EOY X, Y, Z koordinátáit.

A kiviteli munkákat az érvényben lévő műszaki szabványok, munkavédelmi és környezetvédelmi előírások betartásával kell végezni. Különös figyelmet kell fordítani az alkalmazott fúróberendezésre vonatkozó balesetvédelmi és biztonsági rendszabályok betartására.

10.2 A monitoring rendszer üzemeltetése

A kialakított monitoring rendszert, csak vízjogi üzemeltetési engedély birtokában lehet üzemeltetni.

A monitoring kutakban negyedéves gyakorisággal a következő vizsgálatokat kell elvégezni:

- egyidejű vízszintmérések,
- talajvíz pH, vezetőképesség, oldott oxigén-tartalom és redox-potenciál vizsgálata,

- a talajvíz TPH szennyezettségének analitikai vizsgálata.

A mintavételt megelőzően tisztítószivattyúzást kell végezni a monitoring kutakban, minimálisan a kút és gyűrűstere térfogatának háromszoros leürítéséig. A tisztítószivattyúzást PERSZI típusú, elektromos meghajtású tömlő szivattyúval tervezzük végezni, az alkalmazott vízhozam ~10 l/perc.

10.3 A monitoring kutak próbaüzeme

A kutakban egy hónapos próbaüzemi méréseket tervezünk. A próbaüzem kezdetén rögzítjük a kutak fent említett paramétereinek alaphelyzetét, így a TPH koncentrációkat is. A próbaüzem alatt a kutakban két alkalommal vízszintet mérünk és vízminőségi vizsgálatokhoz mintavételezésre is sor kerül.

10.4 A monitoring vizsgálatok dokumentálása

Az monitoring kutak létesítése során, a helyszínen okmányszerűen, naponta építési naplót kell vezetni az OVHMI 136/3. sz. irányelveiben foglaltak szerint. A fúrás és kút műszaki adatait a fúrési naplóban kell rögzíteni, mely az építési napló mellékletét képezi.

A kutakról vízföldtani napló készítését nem tartjuk szükségesnek, mivel a területen esetlegesen meglévő talajvíz szennyezés néhány éves megfigyelését szolgálják. A műszaki beavatkozás lezárulását követően (4 év) a monitoring kutakat el kell tömedékelni.

A kutak elkészültét követően műszaki átadás-átvételi eljárást szükséges tartani, melynek jegyzőkönyve az üzemeltetési engedély kérelemhez csatolandó.

A kármentesítési monitoring eredményekről negyedévenként monitoring jelentést kell készíteni és meg kell küldeni a Felügyelőség részére.

11. A MŰSZAKI BEAVATKOZÁS VÁRHATÓ EREDMÉNYE

A műszaki beavatkozás várható eredménye a talajszennyeződés „D” kármentesítési célállapot határérték alá csökkentése (37. sz. szövegközi táblázat), s ezáltal a talajvízben oldott szennyeződés további utánpótlásának kizárása, valamint a talajvíz szennyeződés megfigyelése.

Komponens	„D” kármentesítési célállapot határ- érték (mg/kg)
TPH	7850
Egyéb alkilbenzolok összesen	15,3
Összes PAH	2,5

37. sz. szövegközi táblázat: A talajra javasolt „D” határértékek.

Amennyiben a talajszennyeződés „D” határérték alá csökken, nem fog további kockázatot jelenteni a talajvíz számára a talajból kimosódó szénhidrogén, és mivel a jelen állapotok alapján a meglévő talajvíz szennyeződés elmozdulása nem várható (lásd 6. fejezet), ezért elegendő a szennyezett talajvíz megfigyelése.