SZENTENDRE REGIONÁLIS DÉLI VÍZBÁZIS MEGÓVÁSÁVAL ÖSSZEFÜGGŐ EGYES KORMÁNYZATI INTÉZKEDÉSEK VÉGREHAJTÁSA

MŰSZAKI BEAVATKOZÁSI TERV

VITITERV Environ Kft.

Budapest, 2018. december

Készítették:

…….
Zöldi Irma
Vezető tervező
okl. hidrogeológus mérnök

…….
Dr. Füle László
Vezető tervező
okl. geológus, a földtud. kandidátusa

…….
Kiss Szabolcs
Geológus
okl. geológus

TARTALOM

1. Alapadatok ... 9
1.1. A beavatkozás helyszíne ... 9
1.1.1. Károsodott terület ... 9
1.1.2. Beavatkozással érintett terület ... 9
1.2. A károsodott terület tulajdonosainak, kezelőinek, használóinak adatai ... 10
1.3. A beavatkozás során érintett egyéb (szomszédos) földrészletek ... 12
1.4. A beavatkozásra kötelezett adatai ... 13
1.5. A beavatkozás tervezője ... 13
1.6. A beavatkozás végzője ... 13
2. Előzmények ... 14
2.1. A már elvégzett kármentesítési szakaszok, kárelhárítás bemutatása ... 14
2.2. Kiadott határozatok bemutatása ... 14
2.3. A szennyezettség bemutatása ... 14
2.3.1. A szennyezés ismertté válásának bemutatása, a szennyezettség, károsodás eredete, a szennyezőforrás jellemzői ... 14
2.3.2. A szennyezőanyag tulajdonságai ... 19
2.3.3. A szennyezettség szennyező anyagonként történő térbeli lehatárolása ... 29
2.3.4. A veszélyeztetett terület lehatárolása a szennyező anyagok térbeli és időbeli mozgásának előrejelzése alapján. ... 38
2.3.5. A szennyezett terület időbeli változékonysága ... 52
2.4. A szennyezett terület jellemzői ... 58
2.4.1. A területhasználat története ... 58
2.4.2. a vizsgált terület bemutatása ... 58
2.4.3. A terület érzékenységi besorolása ... 67
2.5. A kármentesítési mennyiségi kockázatfelmérés eredményei ... 67
2.6. A megvizsgált beavatkozási javaslatok rövid bemutatása ... 75
2.7. A költség-haszon és a költség-hatékonyság elemzés eredménye ... 78
3. A beavatkozás koncepciója ... 82
3.1. A károsodott terület adottságainak és a szennyező anyag tulajdonságainak elemzése során vizsgált kármentesítési technológiák rövid ismertetése ... 82
3.2. A beavatkozás során alkalmazásra javasolt technológia/technológiák rövid bemutatása ... 86
3.2.1. In situ reaktív zónák injektálással kialakítva (ZVI) ... 86

3.2.2. Egyéb módszerek ... 92
3.3. A technológia/technológiák alkalmazásától várt eredmények ... 94
4. A tervezett beavatkozás részletes leírása (méretezett engedélyezési terv) ... 102
4.1. A beavatkozás lépései ... 102
4.2. Az egyes lépéseknél alkalmazott technológiák és azok költségeinek részletes bemutatása ... 102
4.3. Alkalmazott berendezések, létesítmények és azok költségeinek bemutatása ... 102
4.4. A kármentesítési beavatkozási technológiák környezetre gyakorolt hatása, esetleges kockázata ... 102
4.5. A technológiai elemek megfelelősség igazolása ... 102
4.6. Munkafolyamatok leírása ... 102
4.6.1. a kivitelezés előkészítése ... 103
4.6.2. Monitoring kutak létesítése ... 103
4.6.3. injektáló kutak létesítése ... 104
4.6.4. nZVI szuszpenzió injektálása ... 105
4.6.5. mikrobiológiai aktivitást fokozó segédanyagok injektálása ... 105
4.6.6. Utókezelés ... 106
4.7. A beavatkozás dokumentálásának módja ... 107
4.8. Betartandó környezetvédelmi és egyéb jogszabályi előírások ... 107
4.9. A kármentesítéshez szükséges infrastruktúra bemutatása ... 107
4.10. Próbaüzemi terv ... 107
4.11. A technológiák megvalósításának hossza, időütemezés ... 108
4.12. A kármentesítési beavatkozás befejezésével elbontandó létesítmények terve . 108
4.13. A kármentesítési beavatkozás végrehajtásához szükséges egyéb engedélyek beszerzésére vonatkozó tervek másolatai ... 108
5. A tényfeltárás alatt és azt követően üzemeltetett kármentesítési monitoring bemutatása 109
5.1. A monitoring rendszer létesítményeinek bemutatása ... 109
5.2. A vizsgált paraméterek köre környezeti elemenként, térben lehatárolva ... 115
5.3. A vizsgálati gyakoriság ... 116
5.4. A mérések, megfigyelések, észlelések, továbbá a mintavételezések módszertana 118
5.5. A mért, észlelt, megfigyelt adatok nyilvántartása és feldolgozási rendje ... 118
5.6. Az értékelés és adatszolgáltatás rendje, az értékelés eredménye, amelynek ki kell terjednie a következőkre: ... 119
5.6.1. A létesítmények állapota ... 119

5.6.2. A mintavételek rendszeressége ... 119
5.6.3. A mintavételek megbízhatósága ... 119
5.6.4. A helyszíni vizsgálatok megbízhatósága ... 119
5.6.5. A laboratóriumi vizsgálatok megbízhatósága ... 119
5.6.6. Az adatok viszonyítása a vonatkozó határértékekhez ... 119
5.6.7. Trendvizsgálatok, tendenciák felismerhetősége ... 119
5.6.8. A szennyezett földtani közeget, felszín alatti vizet térben lehatároló monitoring eredmények rövid, összefoglaló bemutatása. ... 120
6. A beavatkozáshoz kapcsolódó kármentesítési monitoring bemutatása ... 125
6.1. A javasolt monitoring rendszer létesítményeinek bemutatása ... 125
6.1.1. Meglévő létesítmények műszaki adatai ... 125
6.1.2. Javasolt új létesítmények műszaki adatai ... 125
6.1.3. megszüntetésre javasolt objektumok felszámolási terve ... 125
6.2. A monitoring rendszert bemutató tervdokumentáció ... 125
6.2.1. A monitoring rendszer létesítményeinek bemutatása ... 125
6.2.2. A vizsgálandó paraméterek köre, a vizsgálatok gyakorisága ... 126
6.2.3. A mintavételek, a helyszíni vizsgálatok, laboratóriumi vizsgálatok megbízhatósága ... 127
6.2.4. A mért, észlelt, megfigyelt adatok nyilvántartása és feldolgozása ... 127
7. A beavatkozás várható eredménye ... 128
7.1. Az elérni kívánt környezeti állapot ... 128
7.2. A várhatóan hátrahagyott szennyezettség jellemzése ... 128
7.2.1. a hátrahagyott szennyező anyagok minőségének, mennyiségének, koncentrációjának bemutatása ... 128
7.2.2. A szennyezett terület lehatárolása ... 128
7.2.3. A fennmaradó kármentesítési mennyiségi kockázat leírása ... 128
7.2.4. A szennyezettség miatt a jelenlegi és jövőbeni területhasználatokat érintő korlátok bemutatása ... 128
IRODALOMJEGYZÉK ... 129
MELLÉKLETEK ... 131

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: térképei kivágat Szentendre Építési Szabályzata (SZÉSZ) és Szabályozási Terve (SZT) – 2017. c. dokumentációból ... 16
2. ábra: a Regionális Déli Vízbázis védőövezete ... 18
3. ábra: tetraklór-etilén bomlási útja ... 27
4. ábra: PCE szennyezettség 2018. októberi állapot ... 34
5. ábra: TCE szennyezettség 2018. októberi állapot ... 35
6. ábra: DCE szennyezettség 2018. októberi állapot ... 36
7. ábra: VC szennyezettség 2018. októberi állapot ... 37
8. ábra: illékony klórozott szénhidrogének felszín alatti viselkedésének elvi modellje porózus közegben (Jackson, 1998 nyomán) ... 38
9. ábra: a modellezés céljára lehatárolt terület ... 41
10. ábra: modellezett átlagos talajvízszint (mBf) a Régi Déli Vízbáziskutak termelése idején és azt követően ... 43
11. ábra: modellezett visszaduzzasztott talajvízszint (mBf) a Régi Déli Vízbáziskutak termelése idején és azt követően ... 44
12. ábra: modellezett 10 éves transzport a Régi Déli Vízbázis üzemelése alatt ... 47
13. ábra: modellezett következő 10 éves transzport a Régi Déli Vízbázis kútjainak leállását követően ... 48
14. ábra: a szennyeződés elkövetkező 10 évben várható mozgása komponensenként ... 50
15. ábra: PCE szennyezettség 2018. júliusi állapot ... 55
16. ábra: TCE szennyezettség 2018. júliusi állapot ... 56
17. ábra: DCE szennyezettség 2018. júliusi állapot ... 57
18. ábra: A vizsgált terület környezetének földtani térképe (MBFSZ térképserver, map.mbfsz.gov.hu) ... 61
19. ábra: Jellemző talajvízszintek (mBf) a vizsgált területen (2018. március) ... 64
20. ábra: Talajvízszint a Duna nagy vízszint idején (mBf) a vizsgált területen (2012. március), VITUKI 2012 adatai alapján szerkesztve ... 65
21. ábra: magas vízállás és alacsony koncentrációk összefüggése (NATURAQUA, 2001) ... 66
22. ábra: a terület érzékenységi térképe (VITUKI, 2012) ... 67
23. ábra: részterületek ... 69
24. ábra Technológiák vizsgálatának elve ... 75
25. ábra további elemzésre nem javasolt technológiák értékelési szempontjai ... 76
26. ábra: a reagnes transzportjának folyamata felszín alatti vízben az injektálási pontoktól alvízi irányban ... 89
27. ábra: Sztrippelő berendezés elvi vázlata (Forrás Kármentesítési Kézikönyv 4.) ... 94
28. ábra: Az ÉMI teszt terület helyszínrajza (In Situ Kft., 2018) ... 96
29. ábra: A Laktanya teszt terület helyszínrajza (In Situ Kft., 2018) ... 96
30. ábra: Az ÉMI teszt területen végzett mintavételek laboratóriumi eredményei (In Situ Kft., 2018) ... 97
31. ábra: Laktanya teszt területen végzett mintavételek laboratóriumi eredményei (In Situ Kft., 2018) ... 98
32. ábra: A szennyezőanyagok bomlási állandóinak meghatározása (In Situ Kft., 2018) ... 100
33. ábra: keverőtartály ... 106
34. ábra A monitoring létesítményeinek elhelyezkedése ... 110

35. ábra 2016. évi felmérés során létesített mintavételi pontok 113
36. ábra "E" jelű fúrások helyszínrajza 114
37. ábra: értékelési részterületek 120

TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: a szennyezett terület által érintett helyrajzi számok (mindegyik Szentendre város) 9
2. táblázat: a szennyezett terület sarokponti koordinátái 9
3. táblázat: a szennyezett terület tulajdonosi adatai 12
4. táblázat: a kármentesítési eljárás során kiadott határozatok 14
5. táblázat: tetraklór-etilén tulajdonságai 20
6. táblázat: az IARC és US EPA kategóriarendszere 21
7. táblázat: Triklór-etilén tulajdonságai 23
8. táblázat: 1,2-diklór-etilén tulajdonságai 24
9. táblázat: 1,2-diklór-etilén izomerjeinek eltérő tulajdonságai 25
10. táblázat: Vinil-klorid tulajdonságai 26
11. táblázat: talajminták illékony halogénezett alifás szénhidrogén tartalma 29
12. táblázat: talajvízminták illékony halogénezett alifás szénhidrogén tartalma (2018. október) 33
13. táblázat: a modellezett terület sarokpontjai 40
14. táblázat: a modellrétegek paraméterei 41
15. táblázat: a víztermelő kutak adatai (Geohidroterv Kft., 1999) 43
16. táblázat: talajvízminták illékony halogénezett alifás szénhidrogén tartalma (2018. március) 52
17. táblázat: talajvízminták illékony halogénezett alifás szénhidrogén tartalma (2018. július) 54
18. táblázat: az élet-szerű expozíciós forgatókönyv elemei 70
19. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációi okozta többlet daganat kockázat a volt laktanya területén tartózkodó munkavállalókra nézve 71
20. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációi okozta többlet daganat kockázat a volt laktanya területén rekreációs célból tartózkodókra nézve 71
21. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációiból számított kockázati hányadosok a volt laktanya területén dolgozókra nézve 72
22. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációiból számított kockázati hányadosok a volt laktanya területén rekreációs célból tartózkodókra nézve 72
23. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációi okozta többlet daganat kockázat a az ÉMI ipari park területén dolgozó munkavállalókra nézve 72
24. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációi okozta többlet daganat kockázat az ÉMI ipari park területén kármentesítési tevékenységet folytató munkavállalókra nézve 73

25. táblázat: A talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációiból számított kockázati hányadosok az ÉMI ipari park területén dolgozó munkavállalókra nézve 73
26. táblázat: A talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációiból számított kockázati hányadosok az ÉMI ipari park területén kármentesítési tevékenységet folytató munkavállalókra nézve 73
27. táblázat: javasolt/kizárt műszaki megoldások 78
28. táblázat: A tervezett beavatkozás becsült költségei 79
29. táblázat: a becsült költségek és számszerűsített hasznok idősora és a CBA fő mutatószámai 81
30. táblázat: bomlási állandó értékei 99
31. táblázat: felezési idő értékei 99
32. táblázat KTVF 30272-8/2010. számú határozat szerinti a kármentesítési montoring rendszer adatai 110
33. táblázat 2016. évi felmérés során létesített mintavételi pontok adatai 112
34. táblázat "E" jelű mintavételi pontok műszaki paraméterei 115
35. táblázat Vizsgált paraméterek összefoglalása 116
36. táblázat felszín alatti vízvizsgálat időpontjai 118
37. táblázat Viszonyítási határértékek részterületenként 119
38. táblázat: felszín alatti víz szennyezettség területi kiterjedése (B) és (D) határérték felett 124
39. táblázat: CMT kutak monitoring gyakoriság 127

1. Alapadatok

1.1. A beavatkozás helyszíne

1.1.1. Károsodott terület

Szentendre város déli részén a Dera-pataktól délre eső volt szovjet laktanya területe és a Dera-pataktól északra eső iparterület.

A szennyezett terület által érintett helyrajzi számokat az 1. táblázat tartalmazza.

(013)	15/12	20/17
(12/2)	15/13	20/18
(13)	15/4	20/19
012/1	15/5	20/2
012/2	15/8	20/7
014/143	15/9	20/8
014/144	16	20/9
014/145	17/1	21/1
12/1	19	21/2
12/10	20/10	22/2
12/12	20/11	5
12/3	20/12	6
12/4	20/13	7
14	20/15	84
15/10	20/16	9
15/11		

1. táblázat: a szennyezett terület által érintett helyrajzi számok (mindegyik Szentendre város)

A szennyezett terület sarokponti koordinátáiait a 2. táblázat tartalmazza. A lehatárolás a 2018. októberi vízvizsgálat alapján történt.

ID	EOVY	EOVX	ID	EOVY	EOVX	ID	EOVY	EOVX
1	651751	255961	10	652181	255600	18	652048	255107
2	651889	256007	11	652123	255581	19	651957	255105
3	651994	256035	12	652100	255513	20	651904	255189
4	652104	256010	13	652087	255443	21	651785	255378
5	652170	255931	14	652030	255422	22	651737	255516
6	652218	255873	15	652078	255282	23	651701	255716
7	652219	255773	16	652121	255200	24	651703	255854
8	652216	255718	17	652095	255156	25	651751	255961
9	652206	255639						

2. táblázat: a szennyezett terület sarokponti koordinátái

A 10 000-es áttekintő térkép az 1. mellékletben található.

A terület ingatlan nyilvántartási térképe és a szennyezett terület térképi megjelenítése az 2. mellékletben kerül bemutatásra.

1.1.2. Beavatkozással érintett terület

A műszaki beavatkozással érintett helyrajzi számok: Szentendre 5, 20/12, 20/15, 20/18, 20/19, 20/8.

1.2. A károsodott terület tulajdonosainak, kezelőinek, használóinak adatai

Az adatokat a 3. táblázat mutatja be.

Helyrajzi szám	műv.ág	terület	kivett megn.	cím	érd.tipus	érdekelt	hányad
SZENTENDRE/B/12/2	kivett	0,0885	közterület	2000 SZENTENDRE Névtelen utca 12/	tulajdonos	Petroff Miklós, cím: 2000 SZENTENDRE Egres utca 61	1/1
SZENTENDRE/B/13	kivett	0,4983	közterület	2000 SZENTENDRE Ipar utca 0.	tulajdonos	MAGYAR ÁLLAM	1/1
SZENTENDRE/B/13					vagyonkezelő	DMRV DUNA MENTI REGIONÁLIS VÍZMŰ ZÁRTKÖRŰEN MŰKÖDŐ RÉSZVÉNYTÁRSASÁG cím: 2600 VÁC Kodály Zoltán út 3.	1/1
SZENTENDRE/K/12/1	kivett	2,0962	szociális intézet	2000 SZENTENDRE Névtelen utca 12/	tulajdonos	NEMZETI EGÉSZSÉGMEGŐRZŐ-ÉS RÁKELLENES KÖZPONT ALAPÍTVÁNY cím: 1122 BUDAPEST XII.KER. Ráth György utca 7-9	1/1
SZENTENDRE/K/12/2	kivett	1,3950	vízmű		tulajdonos	MAGYAR ÁLLAM	1/1
SZENTENDRE/K/12/2					vagyonkezelő	DMRV DUNA MENTI REGIONÁLIS VÍZMŰ ZÁRTKÖRŰEN MŰKÖDŐ RÉSZVÉNYTÁRSASÁG cím: 2600 VÁC Kodály Zoltán út 3.	1/1
SZENTENDRE/K/14/143	legelő	0,5518	-		tulajdonos	Holle Erzsébet Gyöngyi, cím: 1031 BUDAPEST Nánási út 14/B. 1. em. 3.ajtó	1612/2301
SZENTENDRE/K/14/143					tulajdonos	Holle Erzsébet Gyöngyi, cím: 1031 BUDAPEST Nánási út 14/B. 1. em. 3.ajtó	689/2301
SZENTENDRE/K/14/144	legelő	0,5022	-		tulajdonos	Szolnoky Dezsőné cím: 1029 BUDAPEST II.KER. József Attila utca 49.	589/2094
SZENTENDRE/K/14/144					tulajdonos	Szolnoky Dezső cím: 1029 BUDAPEST II.KER. József Attila utca 49.	1505/2094
SZENTENDRE/K/14/145	legelő	2,3230	-		tulajdonos	Kovács József cím: 1038 BUDAPEST III.KER. Szinbád utca 2. I/1.	1619/9687
SZENTENDRE/K/14/145					tulajdonos	Gligorescu Lajosné cím: 1039 BUDAPEST III.KER. Jendrassik György utca 7. 3. em. 11. ajtó	1110/9687
SZENTENDRE/K/14/145					tulajdonos	Gligorescu Lajos cím: 1038 BUDAPEST III.KER. Jendrassik György utca 7. 3. em. 11. ajtó	1391/9687
SZENTENDRE/K/14/145					tulajdonos	Bíró Bertalan Béla cím: 2000 SZENTENDRE Füzespark 4. 1.em. 4. ajtó	955/9687
SZENTENDRE/K/14/145					tulajdonos	Bogdányi Zsuzsanna cím: 1031 BUDAPEST III.KER. Amfiteátrum utca 20. 4. em. 13. ajtó	756/9687
SZENTENDRE/K/14/145					tulajdonos	Katona Tibor Mihály cím: 2000 SZENTENDRE Pásztor utca 23.	568/9687
SZENTENDRE/K/14/145					tulajdonos	Kiss Sándor cím: 1031 BUDAPEST III.KER. Kadosa utca 52 2. emelet 7	905/9687
SZENTENDRE/K/14/145					tulajdonos	Kovách Tamás cím: 1182 BUDAPEST XVIII.KER. Szakolcai utca 5/B.	742/9687
SZENTENDRE/K/14/145					tulajdonos	Szilágyi Miklósné cím: 2085 PILISVÖRÖSVÁR Iskola köz 1.	963/9687
SZENTENDRE/K/14/145					tulajdonos	Budai-Bujna Bella cím: 1038 BUDAPEST III.KER. Óbor utca 5.	678/9687
SZENTENDRE/B/12/1	kivett	0,5538	ipartelep	2000 SZENTENDRE Névtelen utca 12/	tulajdonos	Holló István cím: 2000 SZENTENDRE Cseresznyés út 152	1/1
SZENTENDRE/B/12/10	kivett	0,8587	tűzoltóság	2000 SZENTENDRE Ipar utca 5.	tulajdonos	MAGYAR ÁLLAM	1/1
SZENTENDRE/B/12/10					vagyonkezelő	ORSZÁGOS KATASZTRÓFA VÉDELMI FŐIGAZGATÓSÁG cím: 1149 BUDAPEST XIV.KER Mogyoródi út 43.	1/1
SZENTENDRE/B/12/12	kivett	0,0241	közút		vagyonkezelő	BELÜGYMINISZTÉRIUM ORSZÁGOS KATASZTRÓFAVÉDELMI FŐIGAZGATÓSÁG cím: 1149 BUDAPEST Mogyoródi utca 43	1/1
SZENTENDRE/B/12/12					tulajdonos	MAGYAR ÁLLAM	1/1
SZENTENDRE/B/12/3	kivett	0,5374	ipartelep		tulajdonos	Petroff Miklós szül cím: 2000 SZENTENDRE Egres utca 61	1/1

Helyrajzi szám	műv.ág	terület	kivett megn.	cím	érd.tipus	érdekelt	hányad
SZENTENDRE/B/12/4	kivett	0,0741	közterület	2000 SZENTENDRE Névtelen utca 12/	tulajdonos	Petroff Miklós cím: 2000 SZENTENDRE Egres utca 61	1/1
SZENTENDRE/B/14	kivett	0,1268	töltés		tulajdonos	SZENTENDRE VÁROS ÖNKORMÁNYZATA cím: 2000 SZENTENDRE Városház tér 3	1/1
SZENTENDRE/B/15/10	kivett	0,0182	közforgalom elől el nem zárt magánút		tulajdonos	SOBI KERESKEDELMI ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT cím: 2023 DUNABOGDÁNY Petőfi Sándor utca 4	
SZENTENDRE/B/15/11	kivett	0,2523	ipartelep		tulajdonos	SOBI KERESKEDELMI ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT cím: 2023 DUNABOGDÁNY Petőfi Sándor utca 4	1/1
SZENTENDRE/B/15/12	kivett	0,0205	közforgalom elől el nem zárt magánút		tulajdonos	Schoblocher Antal cím: 2023 DUNABOGDÁNY Táncsics Mihály utca 57/A.	1/1
SZENTENDRE/B/15/13	kivett	0,2845	ipartelep		tulajdonos	Schoblocher Antal szül cím: 2023 DUNABOGDÁNY Táncsics Mihály utca 57/A.	1/1
SZENTENDRE/B/15/4	kivett	0,1074	út		tulajdonos	SZENTENDRE VÁROS ÖNKORMÁNYZATA cím: 2000 SZENTENDRE Városház tér 3	1/1
SZENTENDRE/B/15/5	kivett	0,2784	ipartelep		tulajdonos	MAGYAR ÁLLAM	1/1
SZENTENDRE/B/15/5					vagyonkezelő	DMRV DUNA MENTI REGIONÁLIS VÍZMŰ ZÁRTKÖRŰEN MŰKÖDŐ RÉSZVÉNYTÁRSASÁG cím: 2600 VÁC Kodály Zoltán út 3.	1/1
SZENTENDRE/B/15/8	kivett	0,0070	közút		tulajdonos	MAGYAR KÖZÚT NONPROFIT ZÁRTKÖRŰEN MŰKÖDŐ RÉSZVÉNYTÁRSASÁG cím: 1184 BUDAPEST Fényes Elek utca 7-13	1/1
SZENTENDRE/B/15/9	kivett	1,2665	üzemi épület, udvar		tulajdonos	MAGYAR KÖZÚT NONPROFIT ZÁRTKÖRŰEN MŰKÖDŐ RÉSZVÉNYTÁRSASÁG cím: 1184 BUDAPEST Fényes Elek utca 7-13	1/1
SZENTENDRE/B/16	kivett	0,1184	közterület	2000 SZENTENDRE Névtelen utca 16/	tulajdonos	MAGYAR ÁLLAM	1/1
SZENTENDRE/B/16					vagyonkezelő	DMRV DUNA MENTI REGIONÁLIS VÍZMŰ ZÁRTKÖRŰEN MŰKÖDŐ RÉSZVÉNYTÁRSASÁG cím: 2600 VÁC Kodály Zoltán út 3.	1/1
SZENTENDRE/B/17/1	kivett	0,2747	ipartelep	2000 SZENTENDRE Dózsa György út 26.	tulajdonos	PUSCHO KERESKEDELMI ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT. cím: 2000 SZENTENDRE Ipar utca 15/7 /	1/1
SZENTENDRE/B/19	kivett	2,8286	vízfolyás		tulajdonos	SZENTENDRE VÁROS ÖNKORMÁNYZATA cím: 2000 SZENTENDRE Városház tér 3	1/1
SZENTENDRE/B/20/10	kivett	0,0941	közforgalom számára megnyitott magánút		tulajdonos	ÉMI ÉPÍTÉSÜGYI MINŐSÉGELLENŐRZŐ INNOVÁCIÓS NONPROFIT KFT. cím: 1113 BUDAPEST XI.KER. Diószegi út 37.	1/1
SZENTENDRE/B/20/11	kivett	0,8182	ipartelep		tulajdonos	ZÖLDBETON ÉPÍTŐIPARI ÉS KERESKEDELMI KFT. cím: 2000 SZENTENDRE Dózsa György út 26	1/1
SZENTENDRE/B/20/12	kivett	0,5266	közforgalom számára megnyitott magánút		tulajdonos	ÉMI ÉPÍTÉSÜGYI MINŐSÉGELLENŐRZŐ INNOVÁCIÓS NONPROFIT KFT. cím: 1113 BUDAPEST XI.KER. Diószegi út 37.	1/1
SZENTENDRE/B/20/13	kivett	0,9990	ipartelep		tulajdonos	PUSCHO KERESKEDELMI ÉS SZOLGÁLTATÓ KFT. cím: 2000 SZENTENDRE Ipar utca 15/7	1/1
SZENTENDRE/B/20/15	kivett	1,2488	ipartelep		tulajdonos	HATCOR IPARI ÉS KERESKEDELMI HOLDING KFT cím: 2000 SZENTENDRE Dózsa György út 26	1/1
SZENTENDRE/B/20/16	kivett	0,5004	ipartelep		tulajdonos	MAGYAR TÜV SÜD MŰSZAKI SZAKÉRTŐI KFT cím: 2000 SZENTENDRE Dózsa György út 26.	1/1
SZENTENDRE/B/20/17	kivett	1,4914	ipartelep	2000 SZENTENDRE Dózsa György út 26.	tulajdonos	ÉMI ÉPÍTÉSÜGYI MINŐSÉGELLENŐRZŐ INNOVÁCIÓS NONPROFIT KFT. cím: 1113 BUDAPEST XI.KER. Diószegi út 37.	1/1
SZENTENDRE/B/20/18	kivett	1,2329	ipartelep		tulajdonos	ÉMI ÉPÍTÉSÜGYI MINŐSÉGELLENŐRZŐ INNOVÁCIÓS NONPROFIT KFT. cím: 1113 BUDAPEST XI.KER. Diószegi út 37.	1/1

Helyrajzi szám	műv.ág	terület	kivett megn.	cím	érd.tipus	érdekelt	hányad
SZENTENDRE/B/20/19	kivett	3,1684	ipartelep		tulajdonos	ÉMI ÉPÍTÉSÜGYI MINŐSÉGELLENŐRZŐ INNOVÁCIÓS NONPROFIT KFT. cím: 1113 BUDAPEST XI.KER. Diószegi út 37.	1/1
SZENTENDRE/B/20/2	kivett	0,6726	ipartelep	2000 SZENTENDRE Névtelen utca 20/	tulajdonos	SZENTENDREI BETONÁRÚGYÁR RT cím: 2000 SZENTENDRE Dózsa György út 20	1/1
SZENTENDRE/B/20/7	kivett	0,5752	ipartelep		tulajdonos	HATCOR IPARI ÉS KERESKEDELMI HOLDING KFT cím: 2000 SZENTENDRE Dózsa György út 26	1/1
SZENTENDRE/B/20/8	kivett	1,3842	irodaház, raktár		tulajdonos	ÉMI ÉPÍTÉSÜGYI MINŐSÉGELLENŐRZŐ INNOVÁCIÓS NONPROFIT KFT. cím: 1113 BUDAPEST XI.KER. Diószegi út 37.	1/1
SZENTENDRE/B/20/9	kivett	1,3528	ipartelep		tulajdonos	Gyöngyösi László cím: 2000 SZENTENDRE Kálvária út 19	1/2
SZENTENDRE/B/20/9					tulajdonos	Gyöngyösi Lászlóné cím: 2000 SZENTENDRE Kálvária út 19	1/2
SZENTENDRE/B/21/1	kivett	0,7857	ipartelep		tulajdonos	HIPPOPOTAMUS INGATLANFEJLESZTŐ KFT. cím: 2000 SZENTENDRE Dózsa György út 24.	1/1
SZENTENDRE/B/21/2	kivett	1,5084	ipartelep		tulajdonos	HIPPOPOTAMUS INGATLANFEJLESZTŐ KFT. cím: 2000 SZENTENDRE Dózsa György út 24.	1/1
SZENTENDRE/B/22/2	kivett	9,7480	ipartelep		tulajdonos	SZENTENDREI PAPIRGYÁR RT cím: 2000 SZENTENDRE Dózsa György út 22	1/1
SZENTENDRE/B/5	kivett	15,7785	szociális intézet	2000 SZENTENDRE Névtelen utca 5/	tulajdonos	NEMZETI EGÉSZSÉGMEGŐRZŐ-ÉS RÁKELLENES KÖZPONT ALAPÍTVÁNY cím: 1122 BUDAPEST XII.KER. Ráth György utca 7-9	1/1
SZENTENDRE/B/6	kivett	2,3406	szociális intézet	2000 SZENTENDRE Névtelen utca 6/	tulajdonos	NEMZETI EGÉSZSÉGMEGŐRZŐ ÉS RÁKELLENES KÖZPONT ALAPÍTVÁNY cím: 1122 BUDAPEST XII.KER. Ráth György utca 7-9	1/1
SZENTENDRE/B/7	kivett	1,1969	szociális intézet	2000 SZENTENDRE Névtelen utca 7/	tulajdonos	NEMZETI EGÉSZSÉGMEGŐRZŐ ÉS RÁKELLENES KÖZPONT ALAPÍTVÁNY cím: 1122 BUDAPEST XII.KER. Ráth György utca 7-9	1/1
SZENTENDRE/B/84	kivett	0,1602	közterület	2000 SZENTENDRE Névtelen utca 84/	tulajdonos	SZENTENDRE VÁROS ÖNKORMÁNYZATA cím: 2000 SZENTENDRE Városház tér 3	1/1
SZENTENDRE/B/9	kivett	2,4107	vízfolyás		tulajdonos	MAGYAR ÁLLAM	1/1
SZENTENDRE/B/9					vagyonkezelő	KÖZÉP-DUNA-VÖLGYI VÍZÜGYI IGAZGATÓSÁG cím: 1088 BUDAPEST VIII.KER. Rákóczi út 41	1/1
Szentendre /K/13		0,4736	saját használatú út		tulajdonos	SZENTENDRE VÁROS ÖNKORMÁNYZATA cím: 2000 SZENTENDRE Városház tér 3	

3. táblázat: a szennyezett terület tulajdonosi adatai

1.3. A beavatkozás során érintett egyéb (szomszédos) földrészletek

A tervezett műszaki beavatkozás munkálatai egyéb szomszédos földrészeket nem érintenek.

1.4. A beavatkozásra kötelezett adatai

Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság

Cím: 1088 Budapest, Rákóczi út 41.

Központi telefonszám: +36 1 477 3500

Központi fax: +36 1 477 3519

Központi e-mail: titkarsag@kdvvizig.hu

1.5. A beavatkozás tervezője

VIZITERV Environ Környezetvédelmi és Vízügyi tervező, Tanácsadó és Szolgáltató Korlátolt Felelősségű Társaság

Székhelye: 4400 Nyíregyháza, Széchenyi utca 15.

Cégjegyzékszám: 15 09 070444

Telefon: +36-42-500-521

Telefax: +36-42- 500-522

A VIZITERV Environ Kft. részéről az alábbi szakemberek vettek részt a műszaki beavatkozási terv elkészítésében:

Zöldi Irma	**Dr. Füle László**	**Kiss Szabolcs**
Vezető tervező okl. hidrogeológus mérnök	Vezető tervező okl. geológus, a földtud. kandidátusa	Geológus okl. geológus
Kamarai sz.: 01-7932	Kamarai sz.: 19-0891	Kamarai sz.: 19-01129

A jelen dokumentációt készítő munkatársak szakértői engedélyeit, tervezőei jogosultságait a 3. melléklet tartalmazza.

1.6. A beavatkozás végzője

A beavatkozás végzőjének kiléte jelenleg nem ismert, várhatóan közbeszerzési eljárás keretében kerül kiválasztásra.

2. Előzmények

2.1. A már elvégzett kármentesítési szakaszok, kárelhárítás bemutatása

A tárgyi szennyezés kapcsán a rendelkezésre álló információk szerint kármentesítési tevékenység a múltban nem került elvégzésre.

2.2. Kiadott határozatok bemutatása

A kármentesítési eljárás során kiadott korábbi határozatokat az 4. táblázat tekinti át.

Év	Azonosító	Határozat tárgya
2009	KTVF: 24852-4/2009.	Kötelezés részletes tényfeltárás végzésére, valamint kármentesítési monitoring terv készítésére
2010	KTVF: 30272-8/2010.	Tényfeltárási záródokumentáció és monitoring terv elfogadása, valamint kötelezés beavatkozási terv készítésre és kármentesítési monitoring végzésére
2011	KTVF: 2366-1/2011.	A KTVF: 30272-8/2010. sz. határozat módosítása
2011	KTVF: 44354-2/2011.	Vízjogi üzemeltetési engedély és vízjogi fennmaradási engedély a monitoring rendszer kútjaira
2017	1910/2017. (XII.7.) Korm. Határozat	Felhívás a Szentendre Regionális Déli vízbázis jó vízminőségének hosszú távú megóvása érdekében megtenni szükséges intézkedések előkészítési feladatainak végrehajtása

4. táblázat: a kármentesítési eljárás során kiadott határozatok

A határozatokat a 4. melléklet tartalmazza.

2.3. A szennyezettség bemutatása

2.3.1. A szennyezés ismertté válásának bemutatása, a szennyezettség, károsodás eredete, a szennyezőforrás jellemzői

A szentendrei illékony klórozott szénhidrogén szennyeződés megismerése és feltárása az 1990-es évek végétől kezdődött meg, melyre vonatkozóan több dokumentáció készült. A munka keretében igyekeztünk a témához kapcsolódó összes rendelkezésre álló információt összegyűjteni a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóságtól (KDVVIZIG), a Földművelésügyi Minisztériumtól, Pest-megyei Kormányhivatal Érdi Járási Hivatalától és a Duna Menti Regionális Vízmű Zrt.-től. Az összegyűjtött forrásokat az irodalomjegyzék sorolja fel.

A korábbi dokumentációk adatai szerint a feltárt szennyeződés gócai két területen helyezkednek el, a Dera-pataktól délre a volt szovjet katonai laktanya területén, illetve a Dera-pataktól északra található iparterületen. A szennyeződés alapvetően két forrásból származhat.

Az egyik a Dózsa György úti volt szovjet harckocsi alakulat katonai laktanya területén feltételezett zsírtalanító tevékenység, mely a gépek karbantartási, javítási munkálataihoz köthető. Az aktív tevékenység a szovjet csapatok itt tartózkodásáig tarthatott, de laktanya DK-i részén lévő szemétlerakó felszámolásáig történhetett még további szennyezés.

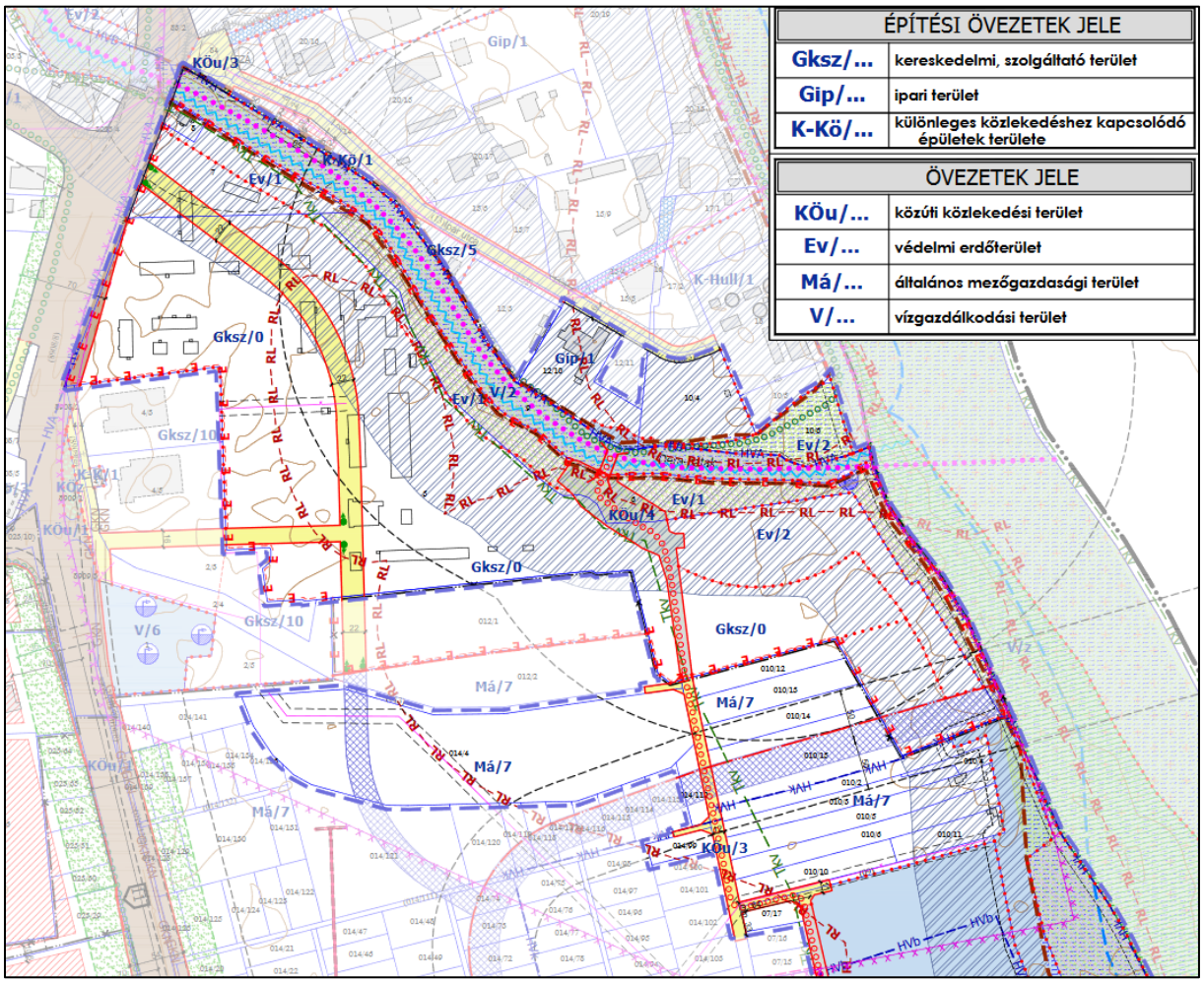
A másik lehetséges szennyezőforrás a Dera-pataktól É-ra található ipari terület. Ezen belül a volt Pest megyei Vegyi- és Divatcikkipari Vállalat (PEVDI) tevékenységében a galvanizálás-felületkezelés technológia során használtak és tároltak klórozott szénhidrogéneket. A szennyeződést technológiai hibák, az előírások be nem tartása, a tároló, kezelő, szennyvíz elvezető rendszerek fizikai sérülései okozhatták. A PEVDI állami vállalat 1996. szeptember 9-én végelszámolással megszűnt, a területen működő Hungaropen Író - és Írószergyártó Kft. nem jogutódja a PEVDI-nek.

Az É-i területen korábban működött és ma működő többi cég esetében nincs információ klórozott szénhidrogén származékok használatára. Az iparterületen tevékenykedő fontosabb telephelyek az alábbiak:

- Szentendrei Papírgyár Zrt.,
- Hungaropen Zrt.,
- ÉMI Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.,
- Szentendrei Innovációs és Ipari Park,
- Tüzép telep,
- Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. szennyvíztisztító telepe,
- Magyar Közút Nonprofit Zrt.,
- Jap-ker Autóbontó Kft.,
- HATCOR Kft.

Szóbeli közlés szerint az ÉMI Nonporift Kft. K-i részén korábban aszfaltvizsgáló és/vagy aszfaltüzem működött. Az elmondások szerint az aszfalt mosásához is felhasználhattak klórozott szénhidrogéneket, de erre vonatkozó ennél konkrétabb ismeret nem áll rendelkezésre. Emellett az aszfaltburkolat minőségellenőrzésekor a bitumentartalom meghatározását termikus, oldószeres vagy neutronsugárzást használó módszerrel végzik. Az oldószeres bitumen extrakció elsődleges oldószere a TCE, de szakirodalmi adatok szerint PCE is használható. Aszfaltburkolatok minőségellenőrzési tevékenységének jelenlegi végzéséről nem rendelkezünk információval a szennyezett területen.

A Dera-pataktól délre eső területen – a volt szovjet laktanya – jelenleg elsősorban raktározási és szabadidős sporttevékenység folyik, az ingatlannak a Nemzeti Egészségmegőrző és Rákellenes Központ alapítvány (NEREK) a tulajdonosa. A telektől D-re található a Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. területe, a déli regionális vízmű kutakkal, továbbá DK-i irányban a Duna felé a vízmű kutak irányában magántulajdonú parcellák is vannak mezőgazdasági hasznosítással (fóliasátras zöldségtermesztés, méhészet).



1. ábra: térképei kivágat Szentendre Építési Szabályzata (SZÉSZ) és Szabályozási Terve (SZT) – 2017. c. dokumentációból

A szennyeződés időbeli alakulásának vizsgálatához elsőként megemlíthető, hogy a volt szovjet katonai objektum területén TPH-szennyezettséget tártak fel a 90-es években. A legszennyezettebb terület a laktanya DK-i kerítésén kívül található 110 m x 120 m kiterjedésű szeméttelep volt, ahol gépalkatrészek, fémhulladékok, építési törmelékek alkották a hulladék fő tömegét. A feltárt olajszennyeződést is innen származtatták. A környezeti kárelhárítást 1993-ban a Hidroklív Kft. végezte el.

Az illékony klórozott szénhidrogén szennyeződést először a Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. (DMRV) kezelésében lévő Szentendre Régi Déli Vízbázis és Szentendre Regionális Déli Vízbázis diagnosztikai vizsgálata detektálta, melyre 1997-1999 között került sor a Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium sérülékeny ivóvízbázisok biztonságba helyezési programja keretében. A diagnosztikai vizsgálatot a Geohidroterv Kft. végezte. A vizsgálatok szerint a talajvíz a volt szovjet laktanya térségében klórozott szénhidrogénnel (VOCl) szennyezett, a szennyezőanyag a vízmű Régi Déli Vízbázis kútjaiban már határértéket meghaladó koncentrációban megjelent. Ezt követően hatósági előírásra a Régi Déli kútcsoport leállítására került sor 1999 őszén. A diagnosztikai vizsgálatok a Dera-patakon túli északi területre csak igen kis mértékben terjedtek ki. 2000-ben több felszín alatti víz vizsgálat bizonyította, hogy a szennyeződés az északi iparterületen is kimutatható, ezért szükség volt a VOCl szennyeződés lehatárolására ebben az irányban.

A Közép- Duna- völgyi Felügyelőség kötelező határozata alapján a Geohidroterv Kft. részletes tényfeltárást végzett 2002-2003-ban, melynek keretében 30 db monitoring kút került kialakításra, 125 mm átmérőjű béléscsővel, -12,0 ÷ -15,0 m közötti vízzáró feküre telepített talpmélységgel. A kutakból egyidejű talajvíz mintavétel történt. A részletes tényfeltárás megállapítása szerint a szennyezett talajvízmező súlyponti része döntően – a Dera-pataktól É-ra elhelyezkedő – ipari zónában található.

A részletes tényfeltárást követő években további hatósági egyeztetések és belső használatú hatósági problémafeltáró dokumentációk készültek - pl. a WEPROT Kkt. dokumentációja 2006-ban-, többek között a felelősségi kör meghatározására. A volt PEVDI területén működő Hungaropen Író- és Írószergyártó Kft nem jogutódja a PEVDI-nek, így a PEVDI által okozott környezeti károk kármentesítéséért nem vonható felelősségre. A Dózsa György volt szovjet katonai laktanya tekintetében nem kétséges az állami felelősség kérdése.

A Közép- Duna- völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség 2009 novemberében részletes tényfeltárásra és kármentesítési monitoring terv készítésére kötelezettséget írt elő a Közép- Duna-völgyi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság részére. A 2009-2010 években az Ökoprojekt Eger Kft. elvégzett kiegészítő tényfeltárás a szennyezés, illetve a szennyező forrás pontosítását szolgálta. A talajszennyezettség feltárásra és lehatárolására 6 db, a talajvíz szennyezettség lehatárolására szintén 6 db, összesen 12 db furat létesült. A furatokból méterenként talajmintavétel, ezt követően talajvíz mintavétel történt. A kijelölt talajmintákat és vízmintákat klórozott szénhidrogén tartalomra analizálták. A vizsgálatok két gócpontot mutattak ki, az egyik a Dózsa György volt szovjet katonai laktanya, a másik a Dera-pataktól É-ra fekvő ipari terület, ezen belül is a végelszámolással megszűnt PEVDI területe. A vizsgálatok eredményeiből megállapítást nyert, hogy - elsősorban az ivóvízbázis veszélyeztetése miatt - kármentesítési műszaki beavatkozás javasolt. Ezt követően kidolgozásra kerültek a műszaki beavatkozás lehetséges változatai.

2010-2012 között a VITUKI Nonprofit Közhasznú Kft. végezte a kármentesítési monitorozást. Az eredmények szerint folyamatosan, de lassan csökkent a szennyezettség koncentrációja. A legtöbb mintavételi helyen a mérési időszakban nem volt (B) határértéket meghaladó szennyezettség, azonban egy-egy gócban - az Sze-17, az Sze-18 és az Sze-19 jelű kutak környékén - igen magas értékek mutatkoztak. A vinil-korid szennyeződés területi kiterjedése megnövekedett, megközelítette a vízbázis É-i kútjait. Javasolták a monitoring vizsgálatok további folytatását, illetve a vizsgálatok összehangolását a DMRV Zrt. monitoring tevékenységével.

A VITUKI monitoring tevékenységének megszűnését követően a KDVVIZIG végezte a monitoring kutak mintavételezését és vizsgálatát. A monitoring adatokat, a DMRV Zrt.-től kapott mérésekkel együtt, a 19. melléklet tartalmazza.

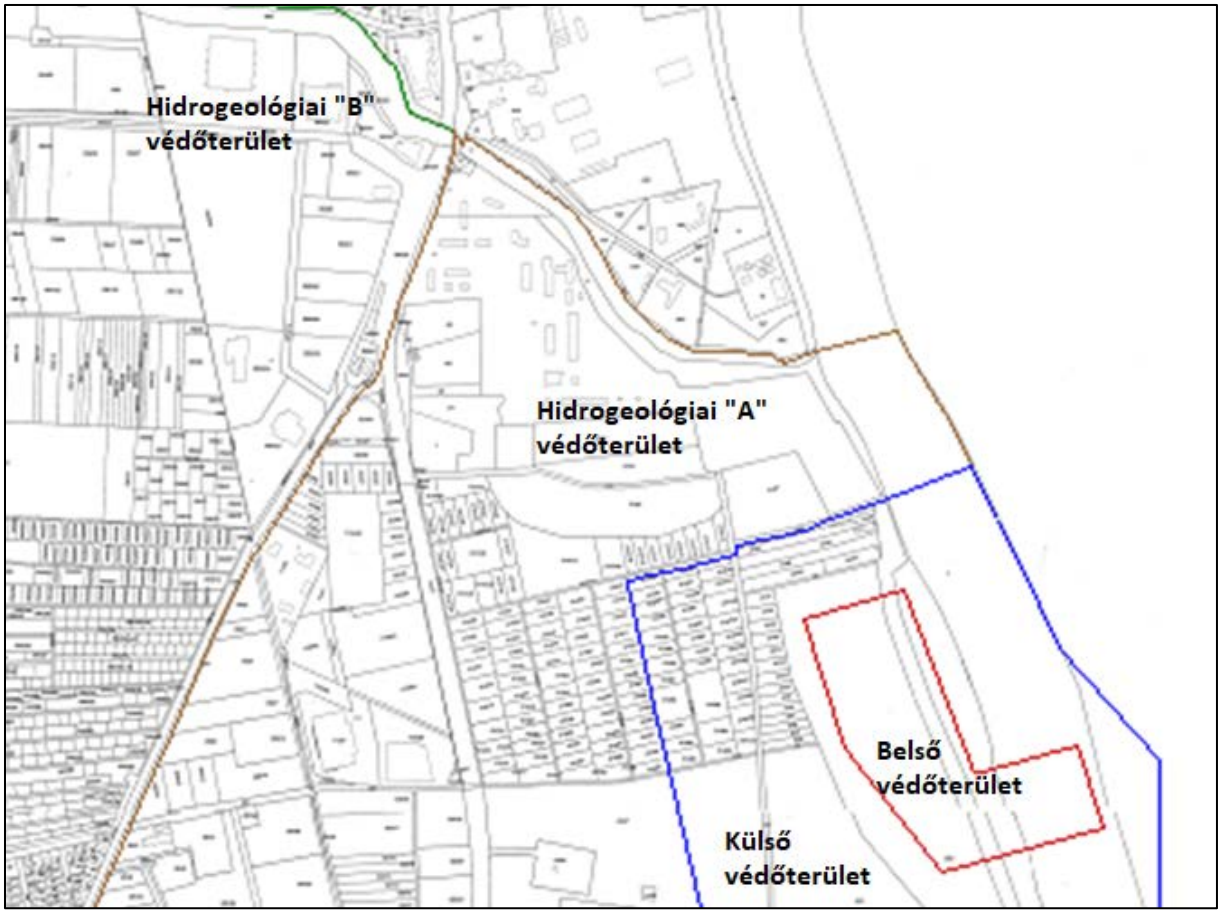
2016-ban az ADEPT ENVIRO Kft. – GRECONOMY Kft. készített környezeti állapotfelmérést a területre. A felmérés keretében 50 új fúrási pont létesült, a meglévő monitoring kutak közül az északi és a déli területen összesen 16-ot vontak be a vizsgálatokba.

A vizsgálat során meghatározásra került a „B” szennyezettségi és a korábban megállapított „D” kármentesítési határérték szerint a felszín alatti vízszennyeződés horizontális és vertikális kiterjedése és mennyisége a tetraklór- etilén, a triklór- etilén, a cisz-1,2- diklór- etilén és a vinil-

klorid szennyezőanyagokra. Elkészült a károsodott területek aktualizált helyrajzi számainak és a tulajdonosainak listája. Javaslatokat tettek a lehetséges beavatkozási változatokra is.

Az állapotfelmérési dokumentáció bemutatta, hogy a humánegészségügyi- és környezeti kockázat szempontjából legveszélyesebb vinil-klorid szennyezőanyag már kritikus mértékben megközelítette a vízbázis hidrogeológiai védőövezetének „A” zónáját, azaz műszaki beavatkozás nélkül a kitermelt víz szennyezőanyag koncentrációja öt éven belül meghaladja a felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendeletben nevesített, a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről szóló 6/2009 (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben meghatározott (B) szennyezettségi, illetve az ivóvíz minőségi követelményeiről és az ellenőrzés rendjéről szóló 201/2001. (X. 25.) Korm. rendeletben meghatározott ivóvíz határértéket. A DMRV legutóbbi mérései szerint a vinil-klorid egy pontban kritikus mértékben megközelítette a vízbázis külső – 180 napos elérési idejű – védőterületét. Ennek következtében a szennyezés 5 éven belül eléri az ivóvíztermelő kutakat, amely 120 ezer fő egészséges ivóvízzel történő ellátását biztosítja.

A Szentendre Regionális Déli Vízbázis termelő kútjai a Szentendrei-Duna-ág jobbpartján, az 5+000 – 7+000 fkm. szelvények közötti partszakaszon, a Duna által lerakott, jó vízadó képességű, pleisztocén korú kavicsos homokrétegeire szűrőzve létesültek, melyek felszínközeli helyzetükből adódóan érzékenyek a felszíni szennyezésekre.



2. ábra: a Regionális Déli Vízbázis védőövezete

A vízbázis környezeti állapotát a DMRV Zrt. 74 db monitoring kútból álló felszín alatti és 6 ellenőrzési pontból álló felszíni megfigyelő rendszerrel kíséri figyelemmel. A szennyezett terület egy része a vízbázis hidrogeológiai „A” védőövezetén belül helyezkedik el (2. ábra).

2.3.2. A szennyezőanyag tulajdonságai

A halogénezett alifás szénhidrogének többségükben a víznél nehezebb, 0°C-nál alacsonyabb olvadáspontú, és 100°C-nál alacsonyabb forráspontú, tehát szobahőmérsékleten folyadék halmazállapotú vegyületek. Jó zsíroldó képességük miatt oldó- és tisztítószerként voltak használatosak. A vizsgált területen kimutatott anyagok közül a legfontosabbak tulajdonságait az alábbiakban mutatjuk be.

Tetraklór-etilén (Perklór-etilén, PCE, Tetrachloro ethylene)

Képlet: $CCl_2 = CCl_2$, összegképlet: C_2Cl_4

(CAS szám: 127-18-4)

Az 5. táblázatban foglaljuk össze az anyag fő tulajdonságait.

Tulajdonság	**Jelölés**	**Érték**	**Mértékegység**
Molekula tömeg	M_w	165,8	[g/mol]
Oktanol-víz megoszlási hányados	K_{ow}	380	[-]
Olvadáspont	Op	252	[K]
Forráspont	Fp	394	[K]
Gőznyomás	Vp	2600	[Pa]
Oldékonyság	S	1,7	[mol/m^3]
Henry állandó	H	1460	$\left[\frac{Pa \cdot m^3}{mol}\right]$
Diffúziós állandó tiszta levegőben	D_a	0,66	[m^2/d]
Diffúziós állandó tiszta vízben	D_w	8,8*10e-5	[m^2/d]
Szerves szén-víz megoszlási hányados	K_{oc}	200	[-]
Megoszlási állandó a talajfelszín és a gyökérzonális talaj között	K_{ds}		[-]
Növény-talaj megoszlási állandó	K_{ps}	0,23	[-]
Átviteli tényező szennyezett levegőből növényi részekbe	K_{pa}	0,0077	$\left[\frac{m_a^3}{kg}\right]$
Átviteli tényező tejbe zöldtakarmányból	B_k	3,1*10-6	[d/kg]
Átviteli tényező húsba zöldtakarmányból	B_t	2,8×10-5	[d/kg]
Átviteli tényező baromfitápból tojásba	B_e	0,0030	[d/kg]
Átviteli tényező anyatejbe emberi szervezetből	B_{bmk}	7,6*10-5	[d/kg]
Bioakkumulációs faktor szennyezett vízből halba	BCF	44	[-]
Bőr-víz megoszlási hányados	K_m	30	$\left[\frac{ppm_{bőő}}{ppm_{víz}}\right]$
Bőr áteresztőképességi együttható	K_{pw}	0,049	[cm/h]
Bomlási állandó levegőben	$T_{1/2a}$	51	[d]
Bomlási állandó felszíni szennyezett talaj esetén	$T_{1/2g}$	590	[d]

Tulajdonság	Jelölés	Érték	Mértékegység
Bomlási állandó a gyökérzónában	$T_{1/2s}$	590	[d]
Bomlási állandó vadózus zónában	$T_{1/2v}$	760	[d]
Bomlási állandó telített zónában	$T_{1/2q}$	510	[d]
Bomlási állandó felszíni vízben	$T_{1/2w}$	90	[d]
Bomlási állandó üledékben	$T_{1/2}$	510	[d]
Analitikai kimutatási határ (víz)	DL	0,5	[µg/l]
Karcinogenitás		2A	[-]
Rákkeltő potenciál meredekségi tényezője orális expozíció esetén	SFo	0,052	$\left[\frac{1}{mg \cdot kg \cdot nap}\right]$
Egységnyi kockázat	UOR	5,8e-007	$\left[\frac{1}{\mu g \cdot m^3}\right]$
Rákkeltő potenciál meredekségi tényezője dermális expozíció esetén	SFd	0,052	[-]
Orális referencia dózis	RfDo	0,01	$\left[\frac{mg}{kg \cdot nap}\right]$
Inhalációs referencia dózis	RFDd	0,2707	[mg/m^3]

5. táblázat: tetraklór-etilén tulajdonságai

A tetraklór-etilén szintetikus vegyület, melyet fémek zsírtalanítására használtak. Színtelen, kloroformra emlékeztető szagú, mérgező, maró, nem éghető folyadék. Felmelegedve, forró felülettel vagy nyílt lánggal való érintkezéskor elbomlik rendkívül mérgező foszgén és klórgáz képződés kíséretében. Mind a felmelegedéskor képződő gőzök, mind a hevítés hatására keletkező reakciótermékek sűrűsége nagyobb a levegőnél, a talaj mentén kúsznak. Vízben csak kismértékben oldódik és elsüllyed benne. Vízoldhatósága azonban így is több nagyságrenddel haladja meg az ivóvízminőségi határértéket.

Akut hatások

Belélegezve, lenyelve vagy bőrrel érintkezve ártalmas, maradandó egészségkárosodást okozhat. Az anyag ingerelheti a nyálkahártyát, a felső légutakat, valamint a szem és a bőr szöveteit. Rövid idejű expozíció esetén (4-7 g/m^3) 45 perc alatt bódultságot okoz.

Krónikus hatások

Lehetséges karcinogén és mutagén hatás. Az EPA (6. táblázat) besorolása szerint B3 karcinogenitási osztályba sorolható, IARC szerinti besorolása: IIA. Valószínűsíthető rákkeltő hatását állatkísérletek szerint a májra fejti ki. Károsítja a májat, vesét, idegeket, szívet.

IARC kategória	US EPA kategória	Kategória megnevezése	
I.	A	Carcinogenic to humans	Rákkeltő
IIA	B	Probably carcinogenic to humans	Valószínűleg rákkeltő
IIB	C	Possibly carcinogenic to humans	Esetleg rákkeltő lehet
III.	D	Not classifiable as to carcinogenic in humans	Nem sorolható be humán karcinogenitás szempontjából
IV.	E	Probably not carcinogenic (IARC) / Evidence of noncarcinogenicity (EPA)	Valószínűleg nem rákkeltő (IARC) / Tények igazolják, hogy nem rákkeltő (EPA)

6. táblázat: az IARC és US EPA kategóriarendszere

Vízszennyezés

A vízi organizmusokra mérgező: LC_{50}/96 h 100-10 mg/l. Daphniára: EC_0 65mg/l, EC_{50} 147 mg/l, EC_{100} 250 mg/l. Vízminőséget veszélyeztető folyadék, vízminőségi veszélyességi osztálya: 3. Toxicitási értékszáma: halakra 3,9; baktériumokra 4,3; emlősökre 1.

Értékelés

A perklór-etilén több szempontból igen nehezen kezelhető szennyezőanyag. Tipikus példája a víznél nehezebben nem oldható szennyező anyagcsaládnak (DNAPL) a víznél nagyobb sűrűsége fokozott leszivárgáshajlamot kölcsönöz, míg a víznél kisebb viszkozitás viszonylag nagy mozgékonyságot. Oldott fázisban 200 mg/l koncentráció megjelenése is elképzelhető. Kedvező tulajdonsága azonban, hogy szemben az extrahálható igen apoláros TPH komponensekkel a szervetlen szén-víz megoszlási hányados az anyagra csupán 200. Ha egy átlagos széntartalommal számolunk (4%) akkor látható, hogy a szennyezőanyag alig kötődik jobban a talajhoz, mint a talajvízhez. Ennek két következménye van:

Jelentős leszivárgási hajlam (tehát annak oka nem csak a víznél nagyobb sűrűség).

A víz aránylag jó oldószere a klórozott alifásoknak (olaj szennyezőanyaghoz képest).

Technikailag a szennyezett talaj remediációja insitu on-site megoldással belső vizes extrakcióval elképzelhető. (Ugyan ez az erősen apoláros származékoknál elképzelhetetlen lenne.)

Az anyag egészségügyi hatásait elemezve kijelenthetjük, hogy annak bioakkumulációs tulajdonságai nem elhanyagolhatóak. Ugyanakkor a perklór-etilént nem tartja számon a szakma, mint a bioakkumulációra fokozottan hajlamos anyagot. Alacsony forráspontja és nagy bőrön keresztüli átjutási tényezője miatt az inhalációs, és a dermális expozíciós utak is valószínűsíthetőek az orális expozíció mellett. Ugyanakkor a növényekben történő bioakkumuláció nem túl jelentős. Ez egyben azt is jelenti, hogy elsősorban a vizsgálat során a szennyezett közeg és az ember közötti közvetlen expozíciós formák vizsgálata szükséges. Nincsenek olyan esetleges intermedierek, melyek nagy mennyiségben képesek lennének dúsítani a szennyező anyag mennyiségét.

<u>Triklór-etilén</u> (TCE, Trichloro ethylene)

Képlet: $ClCH = CCl_2$, összegképlet: C_2HCl_3

(CAS szám: 79-01-6)

A szennyezett területeken a PCE biodegradációs bomlásából és az ipari tisztaságú triklór-etilént (7. táblázat) nyomokban tartalmazó nyersanyagból egyaránt származhat.

Tulajdonság	**Jelölés**	**Érték**	**Mértékegység**
Molekula tömeg	M_w	131,4	[g/mol]
Oktanol-víz megoszlási hányados	K_{ow}	320	[-]
Olvadáspont	Op	189,7	[K]
Forráspont	Fp	394	[K]
Gőznyomás	Vp	9700	[Pa]
Oldékonyság	S	11	[mol/m^3]
Henry állandó	H	890	$\left[\frac{Pa \cdot m^3}{mol}\right]$
Diffúziós állandó tiszta levegőben	D_a	0,68	[m^2/d]
Diffúziós állandó tiszta vízben	D_w	9*10e-5	[m^2/d]
Szerves szén-víz megoszlási hányados	K_{oc}	86	[-]
Megoszlási állandó a talajfelszín és a gyökérzonális talaj között	K_{ds}	0,25	[-]
Növény-talaj megoszlási állandó	K_{ps}	0,23	[-]
Átviteli tényező szennyezett levegőből növényi részekbe	K_{pa}	0,011	$\left[\frac{m_a^3}{kg}\right]$
Átviteli tényező tejbe zöldtakarmányból	B_k	2,8*10-6	[d/kg]
Átviteli tényező húsba zöldtakarmányból	B_t	2,5×10-5	[d/kg]
Átviteli tényező baromfitápból tojásba	B_e	0,0026	[d/kg]
Átviteli tényező anyatejbe emberi szervezetből	B_{bmk}	6,4*10-5	[d/kg]
Bioakkumulációs faktor szennyezett vízből halba	BCF	53	[-]
Bőr-víz megoszlási hányados	K_m	26	$\left[\frac{ppm_{bőő}}{ppm_{víz}}\right]$
Bőr áteresztőképességi együttható	K_{pw}	0,047	[cm/h]
Bomlási állandó levegőben	$T_{1/2a}$	3,5	[d]
Bomlási állandó felszíni szennyezett talaj esetén	$T_{1/2g}$	930	[d]
Bomlási állandó a gyökérzónában	$T_{1/2s}$	930	[d]
Bomlási állandó vadózus zónában	$T_{1/2v}$	760	[d]
Bomlási állandó telített zónában	$T_{1/2q}$	800	[d]
Bomlási állandó felszíni vízben	$T_{1/2w}$	90	[d]
Bomlási állandó üledékben	$T_{1/2}$	120	[d]
Analitikai kimutatási határ (víz)	DL	0,5	[µg/l]
Karcinogenitás		2A	[-]
Rákkeltő potenciál meredekségi tényezője orális expozíció esetén	SFo	0,011	$\left[\frac{1}{mg \cdot kg \cdot nap}\right]$
Egységnyi kockázat	UOR	1,7e-006	$\left[\frac{1}{\mu g \cdot m^3}\right]$

Tulajdonság	Jelölés	Érték	Mértékegység
Rákkeltő potenciál meredekségi tényezője dermális expozíció esetén	SFd	0,0733	[-]
Orális referencia dózis	RfDo	0,006	$\left[\frac{mg}{kg \cdot nap}\right]$
Inhalációs referencia dózis	RFDd	-	[mg/m^3]

7. táblázat: Triklór-etilén tulajdonságai

A triklór-etilén színtelen, kloroformra emlékeztető, édeskés szagú nehezen éghető folyadék. Meggyulladhat vagy robbanhat, ha gőzét zárt térben nagy gyújtási energiájú szikra vagy láng éri. Tűz esetén vagy forró felülettel érintkezve hidrogén-kloridon és klóron kívül rendkívül mérgező foszgén is képződhet. Vízben csak jelentéktelen mértékben elegyedik, lesüllyed benne.

A normális, stabilizált triklór-etilén nem támadja meg a fémeket, nem stabilizált állapotban azonban megtámadja az alumíniumot, más könnyűfémeket és ezek ötvözeteit. Bázisokkal érintkezve az anyag reagál, ilyenkor képződő gázok spontán meggyulladhatnak, ill. robbanásszerűen elbomolhatnak.

Akut hatások

Lenyelve, belélegezve, bőrrel érintkezve ártalmas, maradandó egészségkárosodást okoz. Belélegzése esetén irritálja a nyálkahártyát, köhögést, nehéz légzést, álmosságot, súlyos esetben tüdőödémát okoz. Tüdőbe kerülése tüdőgyulladásszerű tüneteket (vegyi pneumonitisz), súlyos esetben légzésbénulást okozhat. A bőrt irritálja, zsírtalanítja, majd másodlagos gyulladás következhet. Bőrön keresztül könnyen felszívódik. Felszívódása esetén fejfájás, szédülés, émelygés, hányinger, nyugtalanság, görcsök, szívritmuszavar, részegség, kábultság jelentkezik. Narkotikus hatású, hozzászokás következhet be. Rövididejű expozíció esetén (kb. 16 g/m^3) rövid időn belül eszméletvesztést okoz.

Krónikus hatások

Lehetséges karcinogén és mutagén hatás. Az EPA besorolása szerint B karcinogenitási osztályba sorolható (bár elképzelhető, hogy átsorolják a C kategóriába), IARC szerinti besorolása: IIA. Valószínűsíthető rákkeltő hatását állatkísérletek szerint a tüdőre vagy a májra fejti ki. Károsítja a májat, szívet, vesét, tüdőt, központi idegrendszert.

Vízszennyezés

A vízi organizmusokra mérgező: LC_{50}/96 h 1000-100 mg/l. Jászkeszeg-teszt eredménye: LC_0 102/102 mg/l, LC_{50} 203/136 mg/l, LC_{100} 248/145 mg/l. A káros küszöbkoncentráció halakra 55 mg/l, 15 percen belül 600 mg/l halálos. A mérgező határkoncentráció Microcystis aeruginosára 63 mg/l, Pseudomonas putidára 6 mg/l, Scenedesmus quadricaudára >1000 mg/l. Entosiphon sulcatumra 1200 mg/l. Daphnia magnára: EC_0 1130 mg/l, EC_{50} 1313 mg/l, EC_{100} 1500 mg/l. Az akut toxicitás baktériumokra 31-250 mg/l, algákra 8-63 mg/l, haltáplálék-szervezetekre és más gerinctelenekre 20 mg/l. Vízminőséget veszélyeztető folyadék, vízminőségi veszélyességi osztálya: 3. Toxicitási értékszáma: halakra 3,9; baktériumokra 4,2; emlősökre 1.

Összegzés

A triklór-etilén összességében a PCE-el nagyon hasonló tulajdonságokkal rendelkezik. Vízben való oldékonysága jóval nagyobb, ugyanakkor ennek nincsen különösebb jelentősége, mert keletkezése egyedül a biodegradációs folyamatokhoz köthető. A megoszlási hányados szerves szén és víz között még kis TCE esetén számottevő, forráspontja is alacsonyabb, ami kis mértékben, de jelentősebb kipárolgási folyamatot eredményez, ugyanakkor bioakkumulációra, bőrön keresztüli felszívódásra rosszabb hajlamú anyag, ezért valóban helyes az a megközelítés, ha PCE és TCE környezeti hatásaira közel azonos módon tekintünk.

1,2-diklór-etilén (DCE, Dichloroethylene)

Képlet: ClCH = CHCl, összegképlet: $C_2H_2Cl_2$

(CAS szám: 540-59-0)

A vegyületnek két izomerje van: cisz (CAS 156-59-2) és transz (CAS 156-60-5).

Tulajdonság	**Jelölés**	**Érték**	**Mértékegység**
Molekula tömeg	M_w	96,94	[g/mol]
Oktanol-víz megoszlási hányados	K_{ow}	1,86	[-]
Olvadáspont	Op	189,7	[K]
Forráspont	Fp	394	[K]
Gőznyomás	Vp	175	[Pa]
Oldékonyság	S	4930	[mol/m^3]
Henry állandó	H	0,1874	$\left[\frac{Pa \cdot m^3}{mol}\right]$
Szerves szén-víz megoszlási hányados	K_{oc}	1,462	[-]
Diffúziós állandó tiszta levegőben	D_a	0,0735	[m^2/d]
Diffúziós állandó tiszta vízben	D_w	1,13e-005	[m^2/d]
Karcinogenitás		2A	[-]
Rákkeltő potenciál meredekségi tényezője orális expozíció esetén	SFo	-	$\left[\frac{1}{mg \cdot kg \cdot nap}\right]$
Egységnyi kockázat	UOR	-	$\left[\frac{1}{\mu g \cdot m^3}\right]$
Rákkeltő potenciál meredekségi tényezője dermális expozíció esetén	SFd	-	[-]
Orális referencia dózis	RfDo	0,01	$\left[\frac{mg}{kg \cdot nap}\right]$
Inhalációs referencia dózis	RFDd	0,793	[mg/m^3]

8. táblázat: 1,2-diklór-etilén tulajdonságai

A két izomer egyes fizikai tulajdonságai eltérőek, amit az 9. táblázat tartalmaz.

Vegyület neve	**transz-1,2-diklór-etilén**	**cisz-1,2-diklór-etilén**
Mólsúly [g/mol]	96,95	96,95

Vegyület neve	transz-1,2-diklór-etilén	cisz-1,2-diklór-etilén
Folyadéksűrűség [g/cm^3]	1,257	1,284
Olvadáspont [K]	223,6	191,5
Forráspont [K]	320,7	333,2
Gőznyomás [Hg mm]	5,6	2,7
Oldhatóság vízben [mg/l]	6300	3500
Log okatnol-víz koefficiens K_{OW}	2,09	1,86
Abszorpciós koefficiens talajban K_{OC} [l/kg]	59	35
Henry állandó [atm. m^3/mol]	0,0066	0,0075

9. táblázat: 1,2-diklór-etilén izomerjeinek eltérő tulajdonságai

Az 1,2-diklór-etilén szintetikus színtelen, éterre emlékeztető, édeskés szagú, mérgező és éghető folyadék. A folyadék nagyon gyorsan párolog. Gőze a levegőnél nehezebb, a talaj felszínén terjedhet, igen könnyen meggyullad, a levegővel robbanóképes és mérgező elegyet képez. Forró felülettől, szikrától vagy nyílt lángtól meggyullad. Égésekor rendkívül mérgező hirdogén-klorid gáz képződik. Vízben csak kismértékben oldódik, a fenékre süllyed.

Reagál erős oxidálószerekkel, rézzel, réz ötvözetekkel és bázisokkal, mérgező klóracetilént képezve, amely spontán gyúlékony levegővel érintkezve. A DCE megtámadja a műanyagokat.

Akut hatások

Lenyelve, belélegezve, bőrrel érintkezve ártalmas, maradandó egészségkárosodást okoz. Belélegzése esetén irritálja a nyálkahártyát, köhögést, nehéz légzést, álmosságot, súlyos esetben tüdőödémát okoz. Tüdőbe kerülése tüdőgyulladásszerű tüneteket (vegyi pneumonitisz), súlyos esetben légzésbénulást okozhat. A bőrt irritálja, zsírtalanítja, majd másodlagos gyulladás következhet. Bőrön keresztül könnyen felszívódik. Felszívódása esetén fejfájás, szédülés, émelygés, hányinger, nyugtalanság, görcsök, szívritmuszavar, részegség, kábultság jelentkezik. Narkotikus hatású, hozzászokás következhet be. Rövididejű expozíció esetén (kb. 15 g/m^3) belélegezve rövid időn belül részegségi tüneteket okoz, ezt hamar eszméletvesztést okoz.

Krónikus hatások

Karcinogén hatása jelenleg nem bizonyított. Az IARC adatbázis karcinogenitási szempontból jelenleg a D értéket jelöli meg. Toxicitási referencia adatok azonban rendelkezésre állnak. Tartós idejű kitettség esetén az orális referencia dózis a perklór etilénhez hasonlóan 0,01 mg/kg/nap. Az ivóvíz 1,2-DCE tartalma teljes mértékben felszívódik, nem tárolódik a szervezetben, gyorsan kiürül. Magzat fejlődésében nem okoz bizonyítottan rendellenességet, bár vannak erre utaló adatok. Az US EPA ajánlás határértéke cisz-1,2-DCE esetében 100, transz-1,2-DCE-nél 70 µg/l.

Vízszennyezés

A vízi organizmusokra mérgező: LC_{50}/96 h 1000-100 mg/l.

Vinil-klorid (VC, Vinyl chloride)

Képlet: $H_2C = CHCl$, összegképlet: C_2H_3Cl

(CAS szám: 75-01-4)

A 10. táblázatban foglaljuk össze az anyag fő tulajdonságait.

Tulajdonság	Jelölés	Érték	Mértékegység
Molekula tömeg	M_w	62,5	[g/mol]
Log oktanol-víz megoszlási hányados	K_{ow}	1,23	[-]
Olvadáspont	Op	119,2	[K]
Forráspont	Fp	259,6	[K]
Gőznyomás	Vp	343	[kPa]
Oldhatóság vízben	S	1100	[mg/l]
Henry állandó	H	70420,8	$\left[\frac{Pa \cdot m^3}{mol}\right]$
Diffúziós állandó tiszta levegőben	D_a	0,66	[m^2/d]
Diffúziós állandó tiszta vízben	D_w	8,8*10e-5	[m^2/d]
Abszorpciós koefficiens talajban	K_{oc}	8,2	[l/kg]
Analitikai kimutatási határ (víz)	DL		[µg/l]
Karcinogenitás		1A	[-]

10. táblázat: Vinil-klorid tulajdonságai

A vinil-klorid, mint a PVC prekurzora, a műanyaggyártás alapanyagai közé tartozik. Színtelen, jellegzetes szagú, sűrített, cseppfolyósított, éghető gáz. A szabadba jutó folyadék igen gyorsan gázzá alakul. A túlnyomás megszűnésekor gyorsan nagy mennyiségű hideg köd és robbanóképes elegy képződik, amely nagy területen szétterjed. A köd sűrűsége nagyobb a levegőnél, a talaj mentén kúszik. Forró felülettől, szikrától vagy nyílt lángtól meggyullad. Vízben csak kismértékben oldódik, igen gyorsan gázzá alakul, ezt megelőzően a víz felszínén úszik. Levegő, napfény vagy hő hatására polimerizációra hajlamos. Nagy oxigéntartalmú anyagokkal (erős oxidálószerekkel), peroxidokkal, aminokkal, alkálifémekkel és alkáliföldfémekkel érintkezve hevesen reagál. A rezet és vegyületeit, valamint a könnyűfémeket megtámadhatja.

Akut hatások

Lenyelve, belélegezve, bőrrel érintkezve ártalmas, maradandó egészségkárosodást okoz. Belélegzése esetén irritálja a nyálkahártyát, köhögést, nehéz légzést, álmosságot, súlyos esetben tüdőödémát okoz. A folyadékkal szennyezett testrészeken fagyásos sérülések keletkeznek. A gáz narkotikus hatású, hatással van a központi idegrendszerre, az expozíció tudati szint csökkenést okozhat. Rövididejű expozíció esetén (kb. 17 g/m^3) 30 perc alatt szédülést okoz.

Krónikus hatások

Az anyag hatással lehet a májra, a lépre, a vérre és a kézujjak perifériás ereire, szöveteire és csontjaira. Az US EPA az ismert karcinogén vegyületek közé sorolja, javasolt határértéke ivóvízre 2 µg/l. Az IARC I. kategóriás daganatkeltő anyagnak minősítette, ezt mind kísérletes,

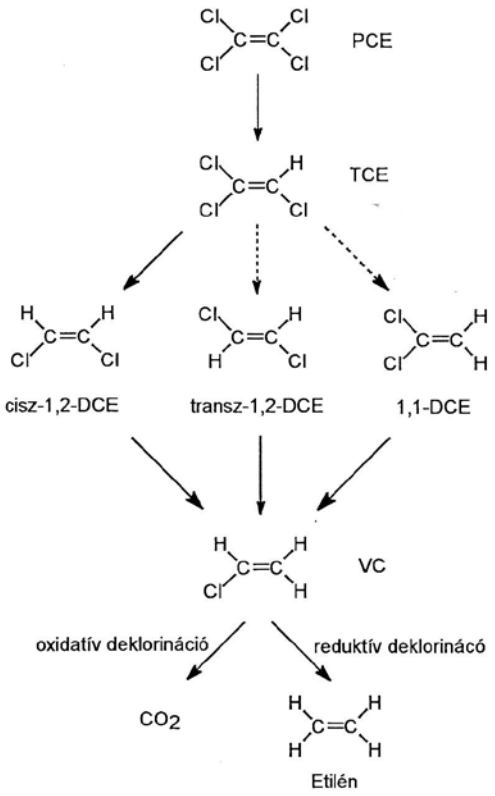
mind humán adatok egyértelműen igazolják. Rákkeltő hatását az eddigi kutatások szerint a májra fejti ki.

Vízszennyezés

A vízi organizmusokra való hatása nem ismert: LC_{50}/96 h 1000 mg/l fölött.

A tetraklór-etilén bomlása

A perklór-etilén természetes körülmények közötti bomlása reduktív körülmények között vinil-kloridig megy végbe, amelynek viszont a redukciója (termék: etilén) és az oxidációja (termék: CO_2) is lejátszódhat (3. ábra) A lépcsőzetes deklorináció során egyre redukáltabb intermedierek keletkeznek. A perklór-etilén > triklór-etilén > diklór-etilén > vili-klorid > etilén átalakulások egyre kisebb energianyereséggel járó, ezáltal egyre kisebb sebességgel és valószínűséggel végbemenő folyamatok.



3. ábra: tetraklór-etilén bomlási útja

Termodinamikai megfontolások alapján a reduktív deklorináció csak akkor fordul elő, ha oxigén és nitrát hiányos a felszín alatti közeg. A klórozott alifás szénhidrogének a bomlási folyamatokban elektron akceptor vegyületként vesznek részt. Mineralizációhoz vezető dehalogenizáció csak ritkán, az egyéb környezeti feltételek teljesülése esetén és elegendő mennyiségű elektron donor anyagok jelenlétében lehetséges. A környezeti körülmények

függvényében a redukciós átalakulások e szekvenciája megszakadhat az intermedierek felhalmozódása mellett.

A folyamat termékeként a talajvíz klorid koncentrációjának növekedése figyelhető meg. 100 mg/l PCE lépcsőzetes redukciója esetén a redukció fokától függően a talajvíz kloridion koncentrációjának sztöchiometrikus növekménye 21, 42 illetve 62 mg/l. A nitrát hiány és a klorid növekmény mellett a redox folyamatok többi vízkémiai indikátora (megnövekedett lúgosság, oldott vas, ammónium, és metán tartalom, negatív redox potenciál értékek) is kijelöli a reduktív biodegradáció aktív helyeit.

2.3.3. A szennyezettség szennyező anyagonként történő térbeli lehatárolása

Földtani közeg szennyezettsége

A 2018 év során létesült ideiglenes mintavételi furatok közül a potenciális forrásterületeken elhelyezkedő furatok esetén került sor talajmintavételezésre és analitikai vizsgálatra, összesen 17 db furat esetében. Mindegyik furatban a fedőből és feküből került sor talajmintavételezésre. Az analitikai vizsgálat során a talajminták illékony halogénezett alifás szénhidrogén tartalmának mérésére került sor. Az ideiglenes mintavételi furatok létesítését, a mintavételezéseket és az analitikai vizsgálatokat a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság végezte, vállalkozók bevonásával. A vizsgálatok eredményeit 11. táblázat mutatja be.

Fúrás	Minta mélysége (m)	Tetraklór-etilén (mg/kg)	Triklór-etilén (mg/kg)	Diklór-etilének összesen (mg/kg)	Vinil-klorid (mg/kg)	1,2-diklór-etán (mg/kg)	Összes halogénezett alifás szénhidrogén (mg/kg)
E103	14.9	0,01	nd	nd	nd	0,01	0.02
E108	3	nd	nd	nd	nd	0,01	0.01
E108	3.5	nd	nd	nd	nd	0,01	0.01
E108	4.3	nd	nd	nd	nd	0,01	0.01
E108	4.8	nd	nd	nd	nd	0,01	0.01
E108	5.4	nd	nd	nd	nd	0,01	0.01
E108	5.9	nd	nd	nd	nd	0,04	0.04
E108	16.2	nd	nd	nd	nd	0,01	0.01
E109	13.7	nd	nd	0,03	nd	nd	0.03
E110	6	0,05	nd	nd	nd	nd	0.05
E110	14	nd	nd	0,02	nd	nd	0.02
E111	12.7	nd	nd	0,11	nd	nd	***0.11***
E112	12.1	0,09	0,06	0,01	nd	nd	***0.16***
E112/A	9	0,02	nd	nd	nd	nd	0.02
E113	12.8	0,07	nd	nd	nd	nd	0.07

11. táblázat: talajminták illékony halogénezett alifás szénhidrogén tartalma

Csak azok a komponensek szerepelnek a táblázatban, amelyek legalább 1 minta esetén kimutathatók voltak. A tálázat csak azokat a mintákat ismerteti, amelyekben legalább egy komponens kimutatási határérték felett volt mérhető.

A (B) szennyezettségi határérték halogénezett alifás szénhidrogénekre összesen 0,1 mg/kg, VC-ra pedig 0,05 mg/kg a 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet alapján.

Alacsony koncentráció volt kimutatható PCE komponensre az alábbi mintákban: E103 14,90m, E110 6,00m, E112 12,10m, E112/A 9,00m és E113 12,80m.

Alacsony koncentráció volt kimutatható TCE komponensre az alábbi mintákban: E112 12,10m.

Alacsony koncentráció volt kimutatható DCE komponensre az alábbi mintákban: E109 13,70m, E110 14.00m, E111 12,70m és E112 12,10m.

VC koncentráció nem volt kimutatható egyetlen talajmintában sem.

A szennyezőanyagot tartalmazó minták egy kivétellel mind a fekü környezetéből származtak, a kivételt az E110 fúrás képezi, ahol a fekü minta 0,02 mg/kg DCE tartalma mellett a vízadó középső részén megjelenő homokrétegből vett mintában 0,05 mg/kg PCE koncentrációt mértek. A homokréteg felett és alatt is durvább szemcsés képződmények helyezkednek el.

A mért koncentráció két esetben csekély mértékben meghaladja a (B) szennyezettségi határértéket:

- E111 12,70m: halogénezett alifás szénhidrogén: 0,11 mg/kg
- E112 12,10m: halogénezett alifás szénhidrogén: 0,16 mg/kg

Az E111 furatban a 12,70 m-en vett mintában 0,11 mg/kg DCE koncnetrációt mértek. A furat talpa nem érte el az agyagot, hanem az agyag felett elhelyezkedő homokos iszap, iszapos homok képződményben állt meg, a minta is ebből származik.

Az E112 furatban 12,10m-en vett mintában 0,09 mg/kg PCE, 0,06 km/kg TCE és 0,01 mg/kg DCE koncentrációt mértek (összesen 0,16 mg/kg). A mintát a vízadó homokos kavics alatt elhelyezkedő homoklisztes agyagból vették.

1,2-diklór etánt detektáltak (B) szennyezettségi határértéket el nem érő mértékben az E103 és E108 jelű furatból vett mintákban. Az 1,2-diklór etán nem bomlásterméke a vízbázist veszélyeztető anyagoknak, bomlása során VC keletkezik. Szakirodalmi adatok szerint főként vinil-klorid gyártáshoz, oldószerként és ólmozott gázolaj adalék anyagaként használták a múltban, de indikatív mennyiségű jelenléte kapcsolódhat a Papírgyár területén történt egykori pakuraszennyezéshez is.

A fúrási és laborvizsgálati jegyzőkönyveket az 5. melléklet tartalmazza.

A talajmintavételi pontok térképi ábrázolását a 6. melléklet tartalmazza.

Összességében megállapítható, hogy a feltárások során gyűjtött 91 db mintából 2 db esetén minimális mértékben haladta meg a halogénezett alifás szénhidrogén koncentrációja a (B) szennyezettségi határértéket. Az E111 furat 12,70m-ről vett mintájában 0,11 mg/kg DCE koncentrációt mértek, az E112 furat 12,10m-ről vett mintájából összesen 0,16 mg/kg értékben mértek ki PCE, TCE és DCE komponenseket.

A (B) feletti eredményeket tájékoztató jellegűnek kell tekinteni, figyelembe véve, hogy a talajmintavételezés és laborvizsgálat, különösen illékony komponens esetén, szakmai tapasztalatok alapján más mintavételi és környezeti analitikai feladatokhoz képest jelentős bizonytalansággal terhelt munkafolyamat.

<u>Felszín alatti víz szennyezettsége</u>

A felszín alatti víz szennyezettség térbeli lehatárolását a tervezési időszak legszélesebb körű, legtöbb kutat érintő, 2018. októberi mintavételezés és eredményei alapján végeztük el. A tervezési időszak ezt megelőző mintavételezései adott alkalommal csak a kutak szűkebb körét érintették.

A 2018. októberi vizsgálati eredményeket a 12. táblázat mutatja be.

A részletes laborvizsgálati jegyzőkönyveket az 5. melléklet tartalmazza.

A felszín alatti víz szennyezettség eloszlás térképi megjelenítését 7. melléklet - 10. mellékletek tartalmazzák.

Mintavételi pont	Tetraklór-etilén (µg/l))	Triklór-etilén (µg/l))	Diklór-etilének összesen (µg/l))	Vinil-klorid (µg/l))
112	0.05	0.03	nd	nd
114	0.03	nd	nd	nd
A1	0.05	nd	0.06	nd
A2	nd	nd	nd	nd
A3	0.34	0.55	4.61	nd
A4	0.1	0.53	***21.76***	nd
A5	0.08	0.04	0.18	nd
A6	0.12	0.23	6.33	nd
A7/A	0.11	0.12	1.4	nd
A9	0.86	0.1	3.45	***1.12***
A10	0.39	0.14	2.21	nd
A11	0.56	0.12	3.85	0.47
A12	0.01	0.04	0.66	nd
A13	0.42	0.08	0.64	nd
A14	0.47	0.11	0.75	nd
A15	0.05	nd	***166.35***	***53.6***
A16	0.03	0.1	***100.28***	nd
A17	nd	0.05	0.37	nd
A18	0.32	0.1	0.51	nd
A19	0.38	0.04	0.62	***38.2***
A20	nd	0.07	1.44	nd
A21	0.34	0.1	0.95	nd
A22	0.02	0.05	0.46	nd
A23	0.54	0.24	4.46	***0.75***
A24	0.42	0.25	3.82	nd
A25	0.03	0.06	1.03	nd
A26	0.22	0.07	1.63	nd
A30	5.85	0.11	1.62	nd
A31	4.18	nd	0.79	***62.3***
A32	***22***	0.13	***73.79***	nd
A33	9.51	0.17	7.87	***64.2***
A34	9.95	0.12	***17.2***	***37.9***
A35	0.03	0.16	***132.27***	nd
A36	0.86	0.73	***11.6***	0.42
A37	0.06	0.35	***226.63***	***27.8***
A38	0.04	0.35	***366.6***	***4.46***
A39	0.04	0.05	0.48	***52.6***
A41	***16.1***	0.73	***23.34***	nd
A42	***13.9***	0.49	5.06	nd
A43	***1600***	***39.9***	***16.2***	nd
A44	***837***	***15.5***	***18.3***	nd

Mintavételi pont	Tetraklór-etilén (µg/l))	Triklór-etilén (µg/l))	Diklór-etilének összesen (µg/l))	Vinil-klorid (µg/l))
A47	3.06	1.91	***52.8***	***0.88***
A48	***418***	***141***	***360.4***	***3.39***
A49	0.08	0.42	***14.2***	nd
A50	1.34	0.59	***49.08***	***27.7***
A+	nd	nd	4.98	nd
B-21	0.07	nd	nd	nd
F6	0.11	nd	nd	nd
P-6	0.31	0.06	0.22	nd
Sz-5	8.22	0.05	1.67	nd
Sz-8	0.27	0.04	nd	nd
Sze-1/2	nd	0.03	nd	nd
Sze-10	0.13	nd	nd	nd
Sze-11	0.19	0.07	0.52	nd
Sze-12	1.45	2.94	***11.7***	nd
Sze-13	0.03	0.05	0.57	1.14
Sze-16	0.82	nd	nd	nd
Sze-18	***48.2***	1.52	4.09	nd
Sze-19	0.13	0.11	***71.71***	0.49
Sze-2/1	15.2	0.19	0.14	nd
Sze-2/2	0.04	0.08	***10.9***	nd
Sze-20	1.2	0.82	***16.9***	nd
Sze-3	0.27	0.07	1.21	nd
Sze-5	0.02	0.03	***13.4***	30
Sze-7	0.05	nd	0.66	nd
Sze-8	0.09	nd	1.96	0.5
Sze-9	0.05	0.03	0.12	nd
T1	0.03	0.05	0.1	nd
T2	0.09	0.08	0.66	nd
T3	0.04	0.04	***12.7***	***33.7***
E101	nd	nd	nd	nd
E102	0.2	0.11	0.29	nd
E103	0.21	0.02	nd	nd
E104	0.07	nd	nd	nd
E105	nd	nd	nd	nd
E106	nd	nd	nd	nd
E107	***123***	***39.5***	***45.2***	nd
E108	nd	0.05	0.13	nd
E109	0.02	0.06	***33.19***	nd
E110	***231***	***49.3***	***795.89***	***31***
E111	***37.6***	***301***	***791.08***	***80.5***
E112	***2260***	***45.9***	***10.6***	nd
E112/A	***2280***	0.79	2.0	nd
E113	***16.4***	0.18	1.42	nd
E114	***26.4***	***7.44***	***412.06***	nd
E116	0.44	0.07	1.8	***0.63***

Mintavételi pont	Tetraklór-etilén (µg/l))	Triklór-etilén (µg/l))	Diklór-etilének összesen (µg/l))	Vinil-klorid (µg/l))
E117	0.08	0.24	***12.9***	nd
E118	nd	0.03	***21.9***	***32.5***
E119	0.68	0.14	1.1	nd
E120	nd	0.04	9.01	***0.55***

12. táblázat: talajvízminták illékony halogénezett alifás szénhidrogén tartalma (2018. október)

A szennyezett területet a sikeres műszaki beavatkozás szempontjából több részre kell osztani.

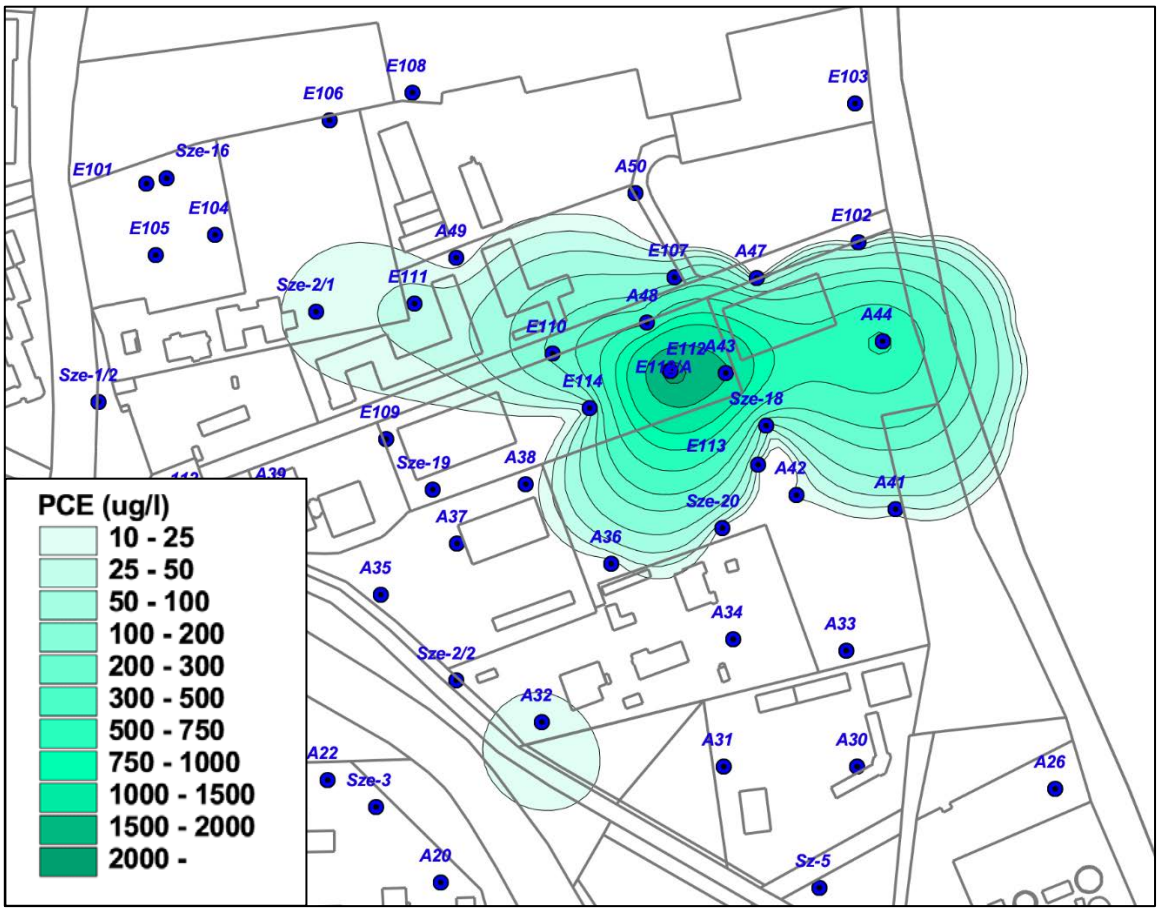
1.) Dera-pataktól É-ra eső terület

A területen az illékony klórozott alifás szénhidrogén vegyületek közül tetraklór- etilén (PCE), a triklór- etilén (TCE), a cisz-1,2- diklór- etilén (DCE) és a vinil- klorid (VC) egyaránt előfordul. Az eredmények a projekt keretében létesített új fúrásokból, a 2016-ban létesült A-jelű ideiglenes mintavételi pontokból és a monitoring kutakból történt egyidejű vízmintavételezés alapján került meghatározásra. Az összes mérhető pont vizsgálata 2018. októberében történt.

A szennyeződés jelenlegi kiterjedése az analitikai eredmények alapján jellemezhető:

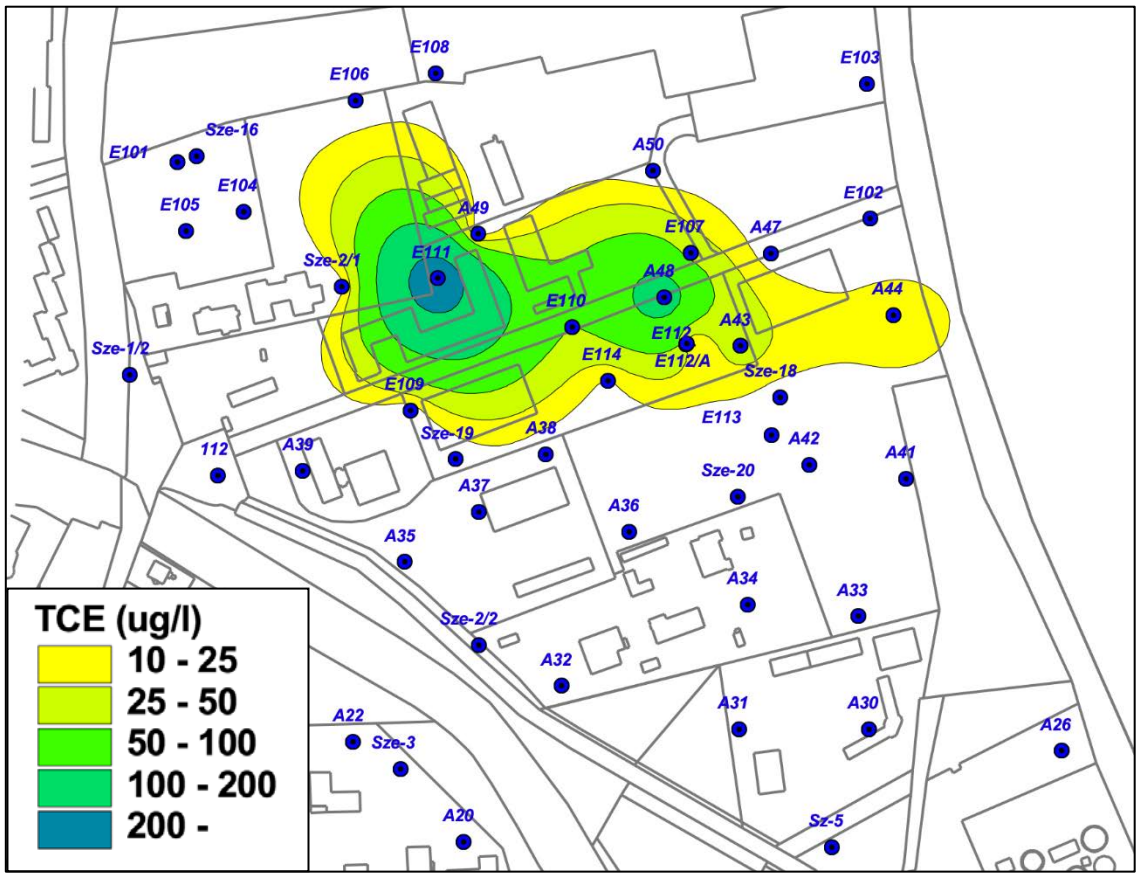
- PCE és TCE szennyezettséget kizárólag az ÉMI területén sikerült kimutatni, azon belül is a telephely É-ÉK-i részén jelentkeztek a magas értékek.
- A volt PEVDI területén létesített mintavételi helyek analitikai eredményei nem mutattak szennyezettséget, egyedül a korábban létesített Sze-2/1 jelű monitoring kútban haladta meg a PCE-koncentráció a B határértéket (15,2 µg/l).

A PCE szennyezettség eloszlását a 4. ábra, a TCE szennyezettséget az 5. ábra mutatja.



4. ábra: PCE szennyezettség 2018. októberi állapot

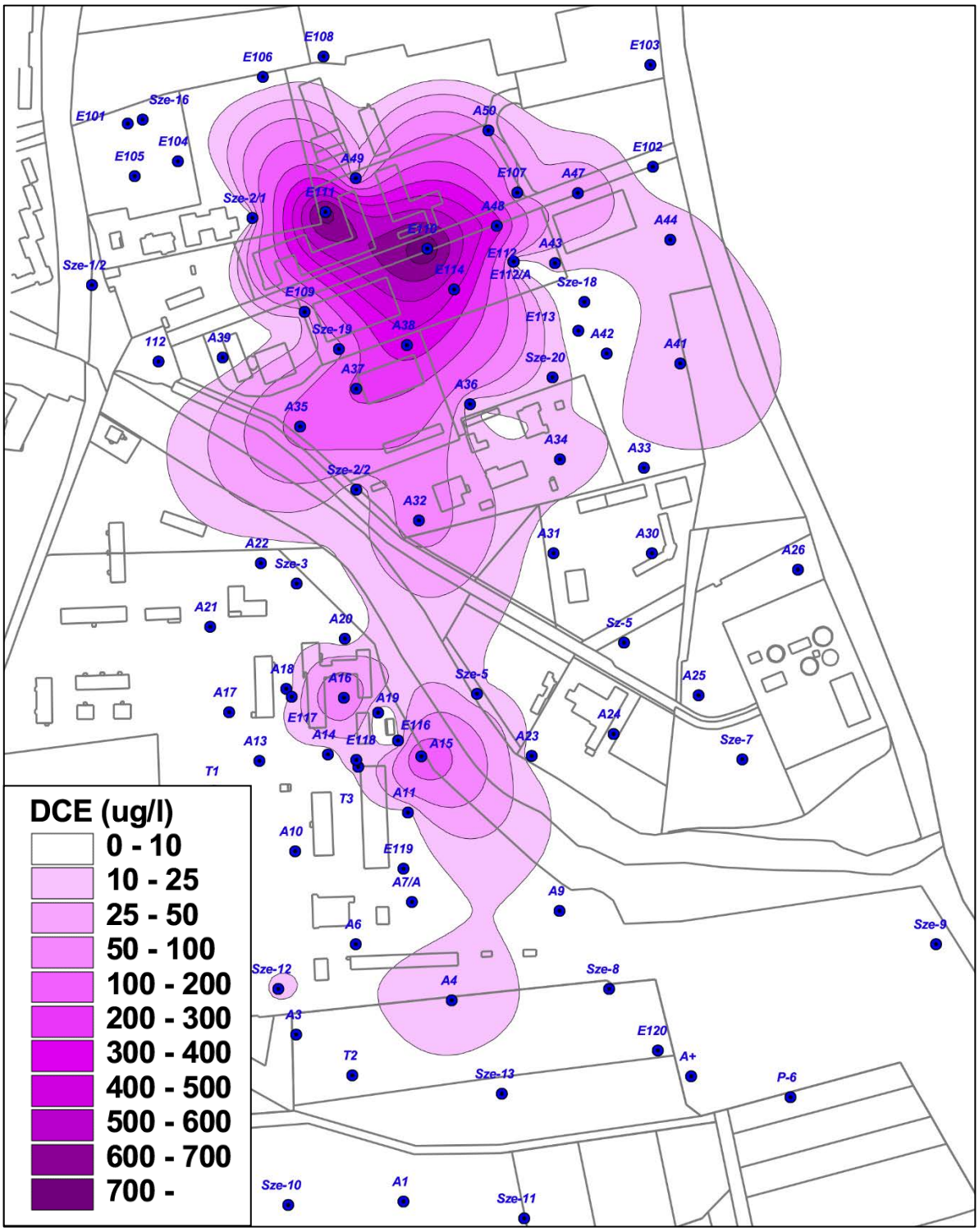
PCE maximális érték (2280 µg/l) az E112 mintavételi pontban jelentkezett, a sekélyebb szintre szűrőzött E112/A mintavételi pontban nem mutatkozott ettől lényeges eltérés (2260 µg/l). Magas koncentráció értékek mutatkoztak még az A43 (1600 µg/l), az A44 (837 µg/l), és az A48 (418 µg/l) jelű fúrásokban is.



5. ábra: TCE szennyezettség 2018. októberi állapot

TCE szennyezettség tekintetében a maximális értéket az E111 fúrás (301 µg/l) tartalmazta, de magas értékeket mutattak az A48 (141 µg/l) és az E110 (49,3 µg/l) jelű fúrások mintái is.

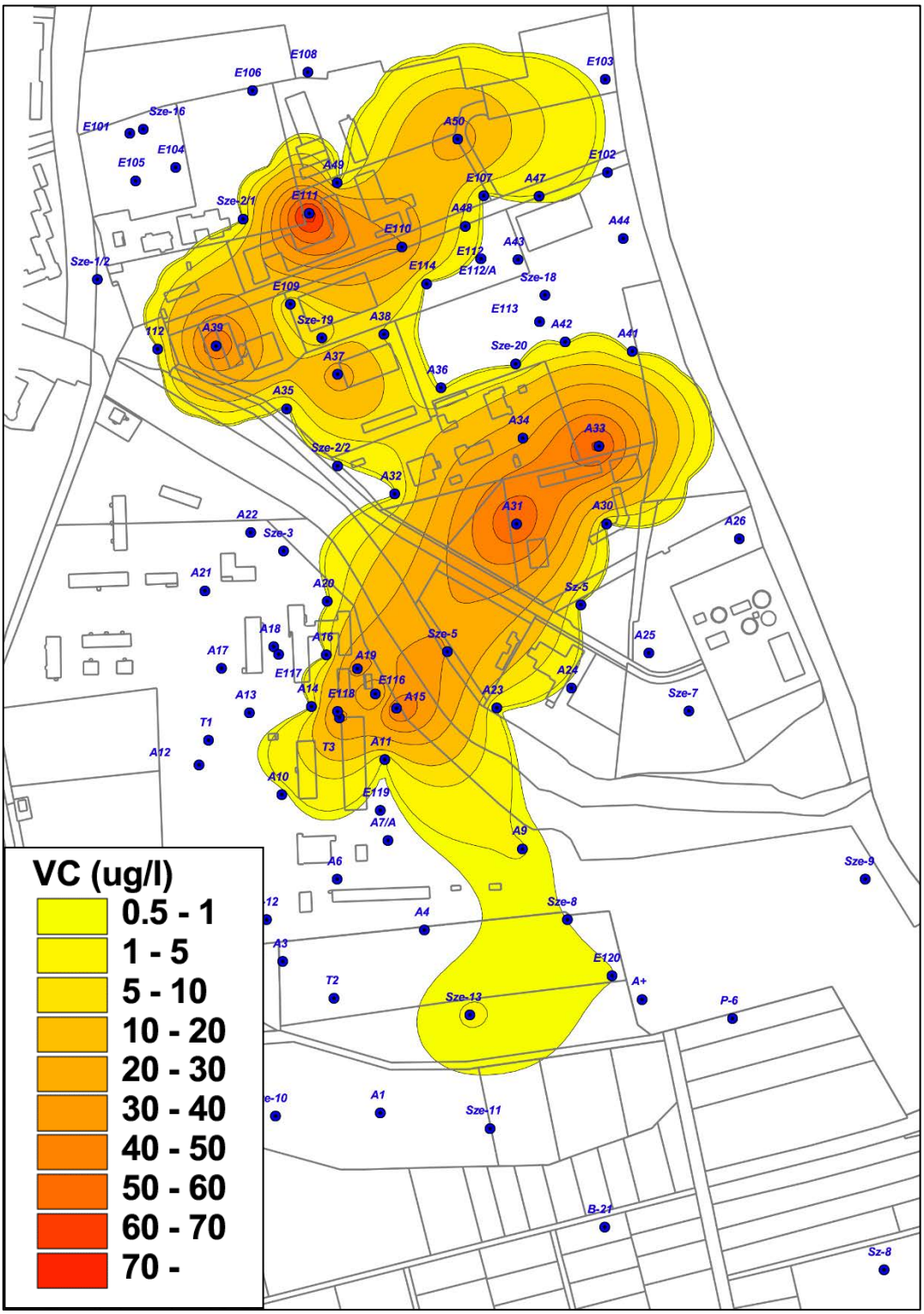
A DCE szennyezettségű terület a PCE és TCE szennyeződés bomlásából adódóan csak részben azonos a PCE és TCE szennyezettségű területtel, a DCE jobb oldhatósága miatt nagyobb területre terjed ki, összefüggően a Derától délre eső területekkel (6. ábra).



6. ábra: DCE szennyezettség 2018. októberi állapot

A Derától É-ra eső területeken legmagasabb koncentrációk szintén az ÉMI területén, de a PCE szennyeződéstől Ny-ra találhatóak, az E110 (794 µg/l) és E111 pontokban (789 µg/l) voltak. Magas értékeket mutattak még az E114 (411 µg/l), az A38 (366 µg/l), A48 (366 µg/l) és az A37 (226 µg/l) mintavételi pontok is. A B határérték feletti szennyező csóva kiterjedése déli irányban elérte a Dera-patakot, összefüggésben a pataktól D-re eső területtel.

A VC szennyezési csóva a DCE-hez hasonlóan összefügg a Dera-pataktól D-re eső területtel (7. ábra). Az északi területen több pontban jelentkezik magas koncentrációval, jellemzően a PCE góctól távolabbi pontokban. A legmagasabb koncentráció az E111 jelű pontban mutatkozott 80,5 µg/l értékkel, de igen magas értékűek az A33 (64,2 µg/l), az A31 (62,3 µg/l) és az A39 (52,6 µg/l) mintavételi pontok értékei is.



7. ábra: VC szennyezettség 2018. októberi állapot

2018. október. 15-én a szennyezettség északi irányú lehatárolására kiegészítő mintavételezésre került sor a Papírgyár területen mélyült E115 furatból (EOVY: 651820, EOVX: 256109). A minta egyik komponensre sem mutatott B határérték felletti szennyezettséget.

2.) Dera-pataktól D-re eső terület

A Dera-pataktól délre eső területen a 2016-ban mértekhez hasonlóan PCE és TCE szennyezés nem volt. A komponensek jelenléte több pontban kimutatható volt, de a B határértéket nem érte el.

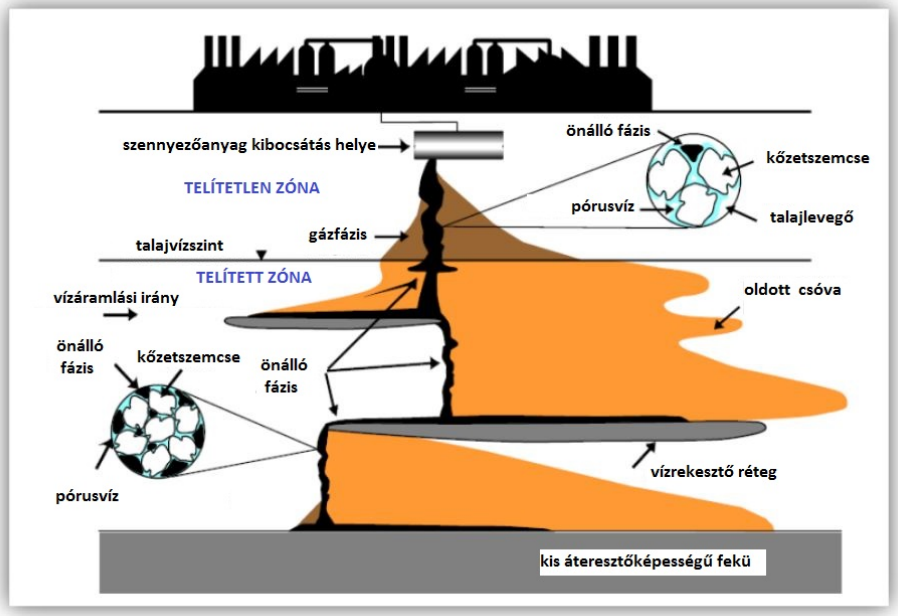
A déli területen a DCE szennyezőanyag maximuma az A15 jelű fúrásban (166 µg/l) jelentkezett, de az A16 pontban is elég magas volt (100 µg/l). Kisebb, de a határértéket meghaladó érték mutatkozott az E118 (21,9 µg/l), az A4 (21,7 µg/l) jelű fúrásokban is.

A déli területen a VC koncentráció maximuma is az A15 jelű fúrásban (53,6 µg/l) volt mérhető, de magas értékek mutatkoztak az A19 (38,2 µg/l), a T3 (33,7 µg/l) és az E118 (32,5 µg/l) pontokban is (7. ábra).

2.3.4. A veszélyeztetett terület lehatárolása a szennyező anyagok térbeli és időbeli mozgásának előrejelzése alapján.

Az illékony klórozott szénhidrogének viselkedése a felszín alatt

A felszín alatti környezetbe került vízzel nem elegyedő és a víznél nagyobb sűrűségű klórozott szénhidrogének terjedését a korábbi számos esettanulmány tapasztalatai szerint a 8. ábra foglalja össze.



8. ábra: illékony klórozott szénhidrogének felszín alatti viselkedésének elvi modellje porózus közegben (Jackson, 1998 nyomán)

Az ábra szerint a felszíni, vagy felszín közeli szennyezőforrásból származó szennyezőanyag a gravitáció hatására a földtani közeg áteresztőképessége és szerkezeti sajátosságai által meghatározott irányokban terjed, kiszorítja a pórustérből, repedésekből a levegőt és a vizet. Az illékony klórozott szénhidrogének a felszín alatt több fázisban lehetnek jelen a pórustérben. A telítetlen zónában alkothat önálló fázist, elkülönült cseppeket, feloldódhat a pórusvízben, illetve illékony volta miatt a talajlevegőben gázfázisként is jelen lehet.

A víznél nagyobb sűrűségű szennyezőanyag a telített zónában is alkothat önálló fázist, nagyobb mennyiségben összefüggő folyadéktest is kialakulhat, de jellemzőek az elkülönült cseppek a szemcsék közötti térben.

Az elkülönült, önálló szerves fázisból a kis oldhatóságú szennyezőanyag lassan oldódik be a felszín alatti vízbe így kialakul az oldott csóva, mely a felszín alatti víz áramlási irányainak megfelelően terjed horizontális irányban. Mint azt már többször említettük, hogy a klórozott oldószerek oldhatósága általában viszonylag alacsony, ezért természetes körülmények közt hosszú évtizedekig is tarthat a beoldódás, a szennyezőanyag utánpótlás (BGT Hungária Kft., 2016).

Az ábrán látható, hogy a VOC szennyezőanyagok felszín alatti vízben való terjedésében különleges szerepe van a szivárgáslassító, vízrekesztő képződményeknek (agyag, iszap, finomhomok lencsék) a víztartón belül. A szennyezőanyag önálló fázisként akkumulálódhat a finomabb szemcsék között, vagy felett, hosszabb időre megreked, majd lassú oldódással hosszú időre utánpótlást az oldott csóva számára. Időközben lejátszódnak az előző fejezetben ismertetett anaerob bomlási folyamatok, ezért a csóvát több komponens alkotja az oldhatóságtól függő összetételben.

A fentiekből kitűnik, hogy a VOC szennyezőanyagok felszín alatti terjedése rendkívül összetett folyamat, számítógépes programokkal való modellezése csak korlátozottan lehetséges. A rendelkezésre álló szoftverek elsősorban az oldott szennyezőanyag mozgását tudják leírni, a megkötődés, bomlás figyelembe vételével. A telítetlen zónában történő gázfázisú, valamint az önálló fázis mozgásait csak korlátozott mértékben modellezhetőek.

A modellezési korlátok ellenére a modellezés céljaként az alábbiakat tűzhetjük ki:

- a szennyeződés eddigi és várható mozgásának leírása,
- a veszélyeztetett terület lehatárolása különös tekintettel a vízbázis működő termelőkútjaira.

Hidrodinamikai modell

A felszín alatti vizekben történő szennyeződésterjedési modellezés két fő szakaszra bontható (Kovács-Szanyi, 2005): 1. hidrodinamikai modellezés, 2. transzportmodellezés. A hidrodinamikai modellezés során a szivárgás alapegyenletét, a transzportmodellezéskor a szennyezőanyagok migrációját leíró ún. transzport-egyenletet kell megoldani a nyomásszintek, illetve a koncentrációk meghatározása érdekében. Az egyenletek megoldása mind analitikus, mind numerikus úton történhet. A modellek általában numerikus modellek, melyek általában a véges differencia vagy a végeselem módszer alkalmazásán alapulnak.

A matematikai egyenleteinek megoldására különféle számítógépes programok ismertek, melyek közül talán legalkalmazottabbak a MODFLOW programcsomagok. Ezek közül a Visual MODFLOW Pro programcsomagot alkalmaztuk, mely véges differencia módszert alkalmazó talajvízáramlási (hidrodinamikai) és különböző transzportmodelleket tartalmaz.

A modellezés előzményének tekinthető Szentendre Regionális Déli Vízbázis mint sérülékeny földtani környezetben lévő ivóvízbázis biztonságba helyezés I. Diagnosztikai fázisának végrehajtása, melynek vízbázisvédelmi záródokumentációját a Geohidroterv Kft. készítette 1999-ben. A záródokumentációban ismertetett modell alapján tettek javaslatot a vízbázis védőövezet rendszerének kijelölésére.

A modell adatait és eredményeit a hidrodinamikai és transzportmodellezéshez kiindulási alapnak tekintettük. A modellezést Visual MODFLOW, V. 2.61, véges differencia módszeren alapuló programcsomag felhasználásával végezték.

A modell horizontális irányban az EOVY=648 000 és 653 500, valamint az EOVX=252 000 és 258 500 koordináták által határolt térrészre terjedt ki, függőlegesen a víztároló fekü alatti 80 mBf szintben határolták le. Ezt a térrészt 100x100 m méretű cellákra osztották fel, míg a víztermelés és folyóutánpótlódás súlyponti részén 50x50 m-re sűrítették be. A modell 4 rétegből állt, melynek határfelületeit izovonalas digitális térképi állományokból képezték. A 4. rétegben lévő fekü a vízáramlás szempontjából inaktív volt.

A vízszintes lehatárolás a védőövezet kialakítására vonatkozó jogszabályok figyelembe vételével történt, gyakorlati megvalósítása a feltárt magasabb helyzetű teraszképződmények terjedési határáig terjedt. A modell tartalmazta Duna és a Dera átlagos vízszint és mederadatait, a vízbázis termelőkútjainak vízkivételeit.

A modell futtatása permanens áramlási viszonyok és konstans vízkivételek mellett a Duna hatásának figyelembe vételével történt. A védőövezetek lehatárolását a termelőkutakból indított vízrészecske áramkép segítségével végezték.

A szennyezéssel érintett területen végzett modellezéshez a fentiekben ismertetett modell adatait használtuk fel, de a modellezést egy szűkebb, de nagyobb felbontással jellemezhető területre építettük fel. A modellterület kijelölése a modellezés céljának figyelembe vételével történt, miszerint a modellezéstől elvártuk, hogy adjon választ a szennyeződés várható mozgására, valamint arra, hogy elérheti-e a vízbázis működő termelőkútjait. A leszűkített terület a Papírgyár és a Regionális Déli Vízbázis északi kútcsoport közötti térrészt foglalja magában, a keleti határa a Duna.

Az érintett területen egy 1500 x 1500 m-es területet jelöltünk ki a modellezés céljára, 10 x 10 m-es rácshálóval bontva. A modellezett terület koordinátáit a 13. táblázat adja meg.

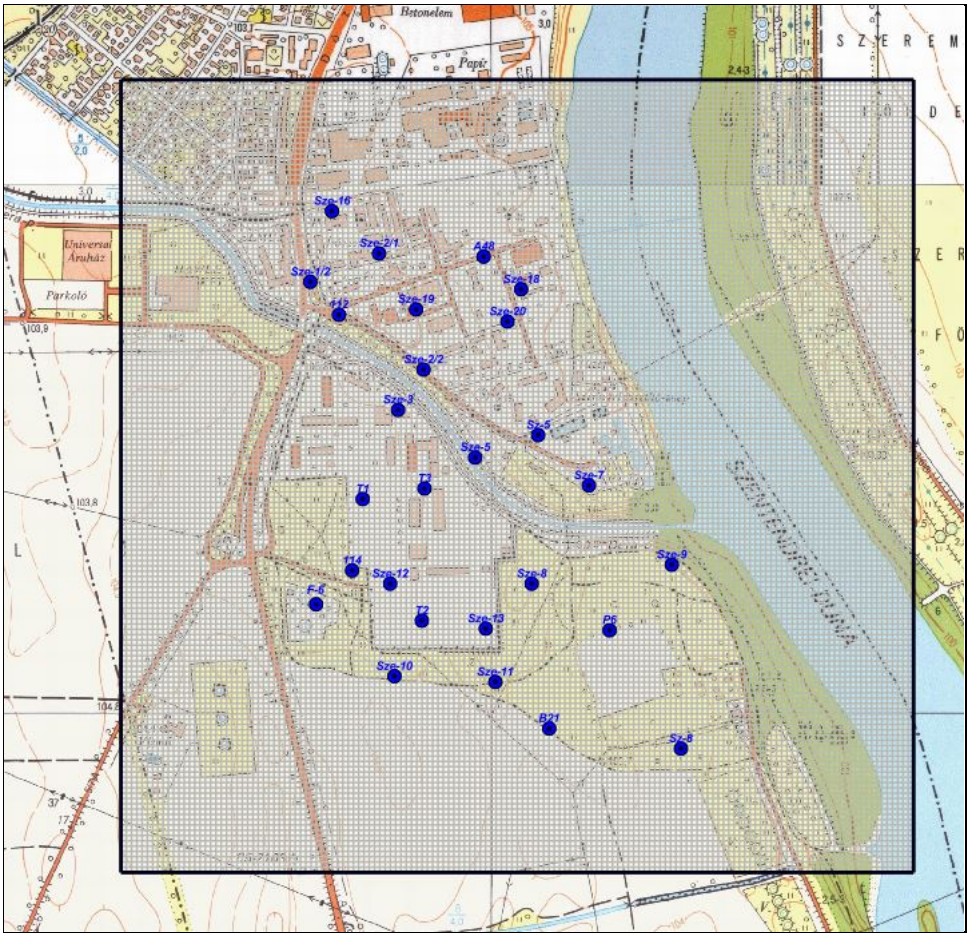
EOV Y (m)	EOVX (m)	EOV Y (m)	EOV X(m)
651300	254700	652800	256200

13. táblázat: a modellezett terület sarokpontjai

A modellgeometria kialakítása során a modellrétegek határfelületeit a korábbi modell felülvizsgálatával végeztük, melyet kiegészítettünk a 2018-ban végzett geofizikai mérések, valamint az új fúrások rétegsorának eredményeivel, majd újraszerkesztettük a határfelületeket. A diagnosztikai vizsgálatok során a vízadót két szintre osztották, melynek

felső része finomabb szemcseméretttel jellemezhető, míg alsó része kavicsosabb. A területen létesített fúrások rétegsora alapján el lehetett különíteni a fekü felett egy vékony iszapos szintet is. A vízföldtani modellben így öt réteget különítettünk el a fedőt, a két rétegből álló vízadót, a fekü feletti iszapos szintet, valamint a feküt, mely a korábbi modellhez hasonlóan inaktív lett.

A leszűkített terület peremei hidrodinamikai szempontból nem minden oldalról természetes határok, ezért a nyugati peremen állandó vízszinteket alkalmaztunk, míg a modell ÉK-i részén, a Duna balparti területen inaktív cellákat definiáltunk.



9. ábra: a modellezés céljára lehatárolt terület

A térbeli felépítést követően definiálni kellett az egyes rétegek vízvezetőképességét, porozitását, melyeket részben a korábbi modell adatbázisa alapján adtunk meg a részterületre a 14. táblázat szerint.

réteg	k (m/s)	k (m/nap)	n_0 (-)
1	5.00E-06	0.432	0.12
2	4.00E-04	34.56	0.2
3	8.00E-04	70	0.25
4	1.00E-07	0.00864	0.1
5	-	-	-

14. táblázat: a modellrétegek paraméterei

A modell leírása szerint a fő vízadó összlet ártéri teraszüledék, amely változatos kifejlődésű, uralkodóan durva homok alkotja, 30-60% kavicstartalommal. Általában a felső zóna kavicsos homok kifejlődésű, nagyobb területen 1,5-2,0 vastagságú homok zárórétegggel, míg az alsó 1-3 m homokos kavicsból áll. A réteg átlagos vastagsága a vízműkutak térségében 9-11 m, a szivárgási tényező értéke k = $5\cdot10^{-4}$ - $5\cdot10^{-3}$ m/s, a szabad hézagtérfogat n_o = 0,25. A termelőkutak közvetlen környezetében, a tartós termelés eredményeként ennél nagyobb, k = $5\cdot10^{-3}$ - $2\cdot10^{-4}$ m/s értékeket is jellemzőek.

A vízbázisvédelmi záródokumentációban (GEOHIDROTERV KFT., 1999) az is ismertetésre került, hogy szivattyúzási tesztekkel, visszatöltődési vizsgálatokkal határozták meg az egyes kutak környezetében a vízadó szivárgási paramétereit, melynek értékei $5\cdot10^{-4}$ - $5\cdot10^{-3}$ m/s mozogtak. Általános tapasztalatok szerint a termelőkutak jellemzően a legjobb vízadóra vannak beszűrőzve, de ezek a vízvezető-képességi értékek nem általánosíthatóak a teljes területre. Nagyobb területet, hosszabb ideig vizsgálva a vízutánpótlásba a vízadó alacsonyabb szivárgási tényezővel jellemezhető rétegei is bekapcsolódnak. A modellezéshez a vízadó alsó rétegének k -tényezőjét $8\cdot10^{-4}$ m/s értékre állítottuk be.

A fúrások rétegsora alapján a területen jellemzően el lehetett különíteni a fekü felett egy iszapos szintet, amit szakirodalmi adatok szerint $1\cdot10^{-7}$ m/s szivárgási tényezővel definiáltunk.

A hidrodinamikai modellezés futtatása előtt szükséges megadni a terület beszivárgási és párolgási paramétereit is. Magyarországon jellemzően az őszi-téli félév csapadékmennyisége táplálja a talajvizeket, a tavaszi-nyári félév erős párolgása pedig felemészti a felszín alá jutó csapadékot, ezért csak a téli félév tekinthető a talajvíz fő utánpótlójának. A modellezési gyakorlat szerint átlagosan a maradó beszivárgást adjuk meg. Ezt a beszivárgó csapadékhányadot a vízbázisvédelmi záródokumentációban (GEOHIDROTERV KFT., 1999) 50 mm/év nagyságrendű értéknek határozták meg számításokkal.

Mint azt a 2.4.2. fejezet vízföldtani részében részletesen ismertetjük, a hidrodinamikai viszonyokat a Duna vízszintje jelentős mértékben befolyásolja. Az átlagos vízszint a jellemző közepes tartósságú vízszint (KÖV), 98,5 mBf értékkel jellemezhető. A Geohidroterv Kft. a kitermelt víz folyó oldali utánpótlódási viszonyainak megismerésére a kútcsoportok előterében a folyó három jellemző és alkalmasnak tartott partszakaszán mederkapcsolati vizsgálatokat végzett, melynek alapján a mederfenék vezetőképességét (b): 0,22-0,45 (1/d) érték között határozták meg. A védőövezetek lehatárolásához a Duna közepes tartósságú vízszintjét és a jellemző vízszintet vették figyelembe.

A Duna vízjárásában azonban jellemzően előfordul a 30 napos tartósságú nagy vízszint (NV30), mely 100,2 mBf értékkel jellemezhető, ekkor a folyó a talajvízre visszaduzzasztó hatást fejt ki, a partmenti területeken a talajvízáramlás iránya megfordul. A 2.4.2. fejezet ábráin mutatjuk be a két jellemző vízszint állapotot, melyeket egyidejű vízszintméréssel lehetett rögzíteni. A modellezés során érdemes volt megvizsgálni a vízáramlás és a szennyeződésterjedés alakulását mindkét állapotra, több időperiódusra, melyhez bemeneti adatként a két különböző vízszint szolgált.

A terület felszín alatti vízháztartását a vízmű nagy átmérőjű termelőkútjai nagymértékben befolyásolják, a víztermelés depressziói lokálisan megváltoztatják az áramlási irányokat a

vízadóban. A vízbázis diagnosztikai vizsgálatai során felépített modellben a víztermelést a 15. táblázat adatai szerint vették figyelembe.

Kút jele	EOVY	EOVX	Hozam (m^3/d)	Hozam (l/p)
RD-101	652457	254837.3	576	400
RD-3	652471.1	254806.5	562	390
RD-4	652484.4	254774.1	591	410
RD-5	652499.3	254742.6	576	400
RD-6	652511.8	254716.8	216	150
RéD-1	651640	255141.2	1267	880
RéD-2	651640	255220.5	1267	880
RéD-3	651694.2	255189.2	1267	880

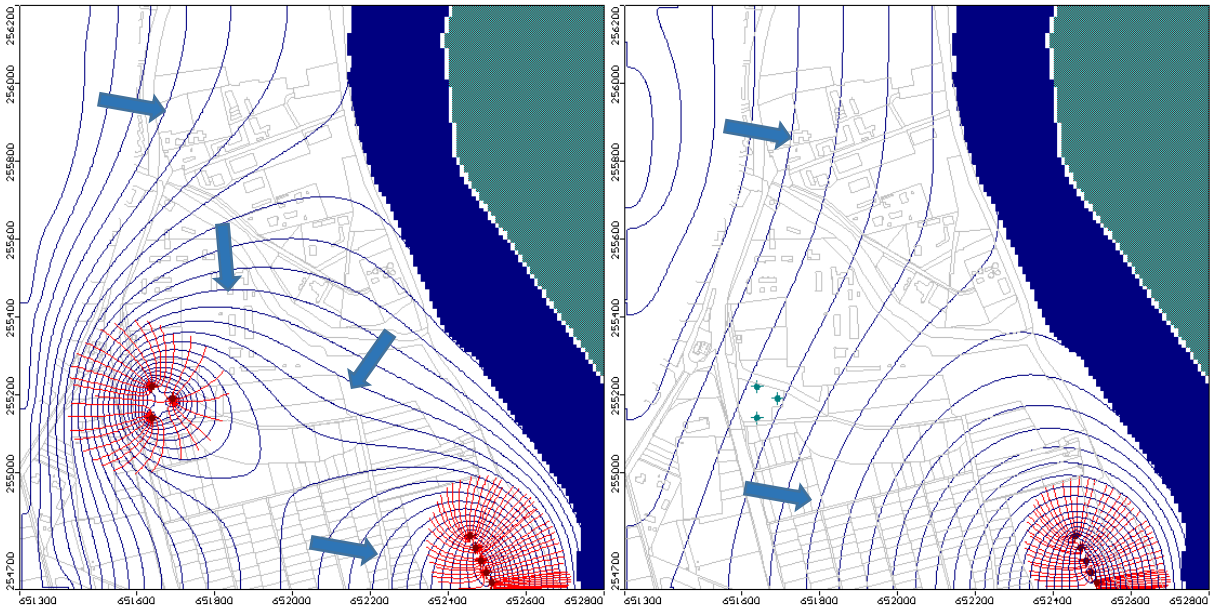
15. táblázat: a víztermelő kutak adatai (Geohidroterv Kft., 1999)

1999-ig a területen a Régi Déli Vízbázis kútjai (RéD-1 – 3) is termeltek, majd az illékony klórozott szénhidrogén szennyezés észlelését követően a termelés megszűnt. A modellben szükséges volt figyelembe venni termelés különböző viszonyait, mert a szennyeződés terjedését ez is befolyásolhatta.

A modellt a bemutatott módon felépítve először permanens állapotra futtattuk le, vizsgálva a kialakult vízszint és áramlási viszonyokat a Régi Déli Vízbázis kútjai termelése mellett és anélkül néhány szcenárióra.

Átlagos talajvízszint, közepes Duna vízállás

A modellterületre jellemzően kialakult viszonyokat a 10. ábra mutatja.



10. ábra: modellezett átlagos talajvízszint (mBf) a Régi Déli Vízbáziskutak termelése idején és azt követően

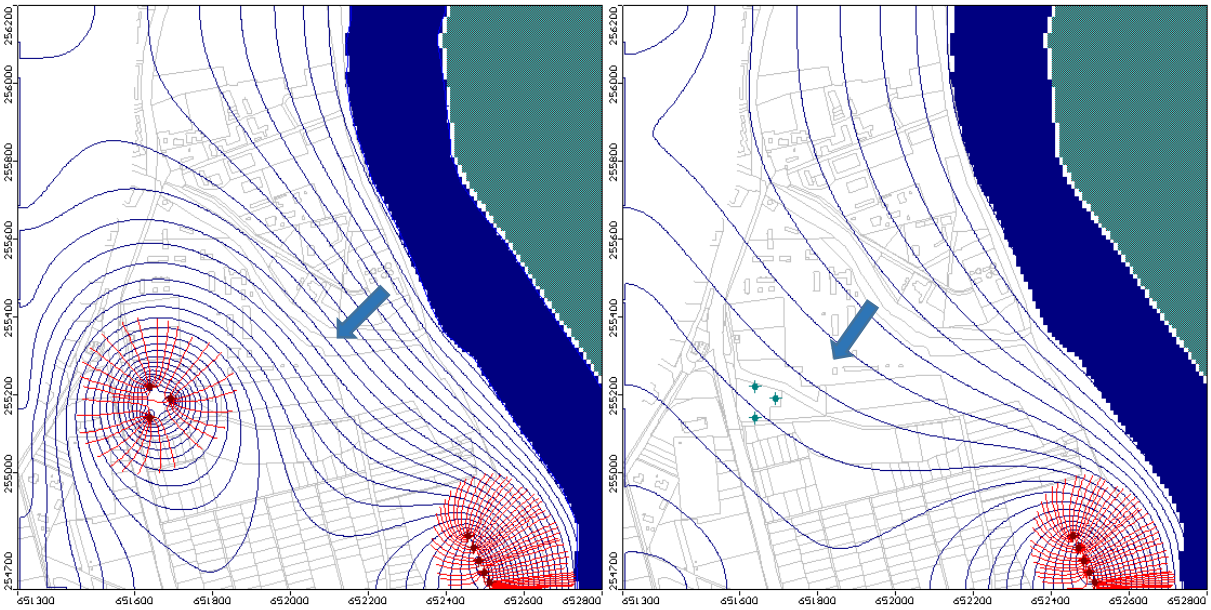
A terület északi részén a talajvíz áramlása az izovonalakra merőlegesen, Ny-K-i irányú, melyet a déli területen elhelyezkedő Régi Déli Vízbázis kútjai működésük idején depressziós

hatásukkal befolyásoltak, hatásuk láthatóan a Dera patak északi területére is átnyúlt. A Régi Déli Vízbázis kútjainak fő utánpótlási területe azonban inkább nyugati irányban húzódott. A Regionális Déli Vízbázis kútjainak depressziós hatása ez idő alatt északi irányban csak a Régi Déli Vízbázis kutak vonaláig látható a vízszintizovonalakon. Ebben az esetben ezeknek a termelőkutaknak a depressziós hatása nem nyúlik a Dera pataktól északra, az iparterületre.

A Régi Déli Vízbázis kútjainak 1999. évi leállítását követően a depresszió fokozatosan megszűnt a három kút környezetében, a Ny-K-i irányú talajvízáramlás a Derától délre eső területen is jellemző lett. A Regionális Déli Vízbázis kútjainak depressziós hatása csak a DK-i részre korlátozódik, a Dera É-i részén lévő iparterületre nem terjed ki. A Regionális Déli Vízbázis kútjainak depressziós hatása 1999 után, a leállítást követően ÉNY-i irányban rányúlt a Régi Déli Vízbázis kútjainak területére.

Visszaduzzasztott talajvízszint, magas Duna vízállás

A magas kiindulási talajvízszint és a 100,2 mBf értékű Duna vízszint mellett permanens módon futtatott modell eredményeit a 11. ábra mutatja.



11. ábra: modellezett visszaduzzasztott talajvízszint (mBf) a Régi Déli Vízbáziskutak termelése idején és azt követően

A kialakult egyensúlyi állapotban a Duna magas szintje miatt a talajvíz áramlási iránya megfordul, DNy-ivá válik. Ebben az esetben a Régi Déli Vízbázis kútjainak depressziós hatása és áramképe már jobban kapcsolatba kerülhetett a Derától É-ra lévő területekkel. Az is látható, hogy a Regionális Déli Vízbázis kútjait túlnyomórészben ekkor is csak a Duna vízszintje befolyásolta, különösen a Régi Déli Vízbázis kútjainak leállását követően szűnt meg kapcsolata az északi területek irányában.

Az eredmények értékeléséhez meg kell jegyezni, hogy ez az állapot tartósan nem alakul ki az áradás rövid ideje alatt, a visszaduzzasztó hatás csak korlátozottan, a parti sáv egy részében lehet jellemző, mint azt a 2012. márciusi adatok (20. ábra) is mutatták.

A hidrodinamikai modellfuttatások eredményei jól összevethetőek voltak az eddigi mért vízszintadatokkal, ezért az áramlási modell eredményeit elfogadhatónak ítéltük meg a transzportmodell számára. Már a hidrodinamikai modell alapján is fontos következtetések vonhatóak le a szennyeződésterjedésre vonatkozóan. Az átlagos hidradinamikai viszonyokkal, a Duna felé mutató uralkodó Ny-K-i talajvízáramlással a Dera É-i oldalán lévő iparterületről származó szennyeződés hatása a termelőkutakban nem magyarázható. Ebben szerepet kellett játszania a Duna magas vízállása miatt változó áramlási irányoknak, valamint a Régi Déli Vízbázis kútjainak 1999-ig történő termelésének is. A korábbi termelés majd a leállítás alapvetően változtatta meg a területen az áramlási irányokat.

Ebből következően a transzportmodellezést több időperiódusra kellett elvégezni, melyben az egyes jellemző periódusok hatásai (átlagos vízszint – áradás, Régi Déli Vízbázis kútjainak termelése majd leállítása) jól elkülönültek.

Transzportmodell

A Visual MODFLOW Pro programcsomag a transzportmodellezés végrehajtására több beépített modult tartalmaz, melyek közül az MT3D és az MT3DMS modelleket alkalmaztuk a szennyeződésterjedés vizsgálatára. A transzportmodell a hidrodinamikai modell eredményeit alapul véve a talajvízben oldott komponensek terjedését modellezi tranziens módon.

A hidrodinamikai modell eredményeit bemeneti adatokként töltöttük be a szennyeződésterjedést számító transzport modulokba, melyeket több változat szerint futtattunk le. A területen a szennyeződés lehatárolása több időszakban történt elég változó eredményekkel, a szennyező kibocsátás pontos helye is elég bizonytalan, ezért a transzportmodellezést lépésenként, trial-and-error módszerrel végeztük. Az egyszerűbb, ismert folyamatokból kiindulva fokozatosan változtattuk a paramétereket, majd értékelve a tapasztaltakat, haladtunk az összetettebb szcenáriók irányába, a folyamatokat lépésenként feltárva. A terjedelmi korlátok miatt a jelentésben csak a végleges változatokat mutatjuk be. A transzportmodellezést alapvetően két szakaszra bonthatjuk, az első szakaszban a mai állapot kialakulását vizsgáltuk, majd a második szakaszban határoztuk meg a szennyeződés további várható mozgását, a veszélyeztetett területeket.

Szennyeződésterjedési modell a mai állapot kialakulásáig

A korábbi dokumentációk az iparterületen két lehetséges szennyezőforrást jelöltek meg a volt PEVDI és az ÉMI területén. A 2016. évi vizsgálatok az elsődleges PCE szennyezést csak az ÉMI területén mutatták ki, a többi területen csak másodlagos bomlástermék jelentkezett. A 2018. évi új fúrások és analitikai vizsgálatok az utóbbiakat erősítették meg, az elsődleges PCE szennyezés csak az ÉMI területén mutatkozott. A transzportmodellben éppen ezért ezt a területet tekintettük a szennyeződés elsődleges forrásának, melyre a mért legmagasabb 2000 µg/l (mg/m^3) kezdeti koncentráció értékeket adtuk meg.

Az iparterületen ma jellemző NY-K-i talajvízáramlást figyelembe véve, a szennyeződés viszonylag gyorsan K-i irányban terjedne tovább a talajvízáramlásnak megfelelően, mely nem igazolná azokat a tapasztalatokat, hogy az illékony klórozott szénhidrogének megjelentek a Derától délre eső területeken. Ezért figyelembe kellett venni a hidrodinamikai modellben feltárt változékony áramlási viszonyokat is. A tranziens modellbe évente két eltérő hidraulikai állapotú időperiódust építettünk be, a Duna időszakos áradásakor 30 napos magas vízszintű periódust, míg átlagos szintet az év többi részében. Az áradás ideje alatt a megfordult áramlás a szennyeződést DNy-i irányba mozgathatja, de ezt követően K-i irányú lenne a terjedés a talajvízáramlásnak megfelelően.

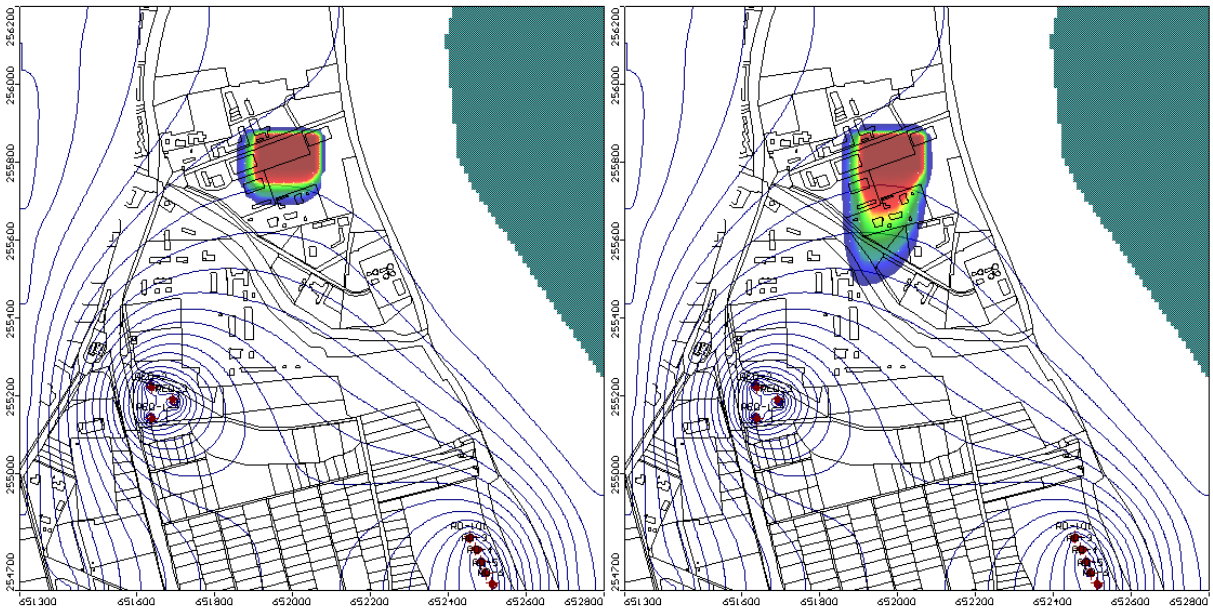
A modellfuttatás időtartamát hosszabb időszakra, 20 évre állítottuk be, minden évben megadva a 30 napos magas vízszintű periódust is. Az első 10 évben a Régi Déli Vízbázis három kútjának hatásait vizsgáltuk, ezt követően az üzemeltetés leállását követő időszakot elemeztük. Az illékony klórozott szénhidrogének tulajdonságait ismerve, a szennyezés folyamatosan beoldódó utánpótlást kaphat a telítetlen zónából, vagy a vízadóban elkülönült reziduális, önálló fázisú cseppekből is. Utánpótlás nélkül az oldott szennyezőanyag a homokos, kavicsos vízadóban az iparterületről gyorsan elvándorolna, így nagy mértékben csökkenne a szennyeződés, de a mért adatok nem ezt mutatják. A monitoring mérések szerint az évek alatt volt csökkenés, de ingadozásokkal időnként újra magas koncentrációk jelentek meg. Ezért a gócterületen állandó koncentrációjú, utánpótlódást biztosító cellákat definiáltunk.

A bemeneti paraméterek közül az advekció értékeit a program alapértékeire állítottuk, a diffúzió, mechanikai diszperzió, bomlás valamint a megkötődési folyamatok adatait a szakirodalmi adatok szerint adtuk meg (KRET et al., 2015). Az illékony klórozott szénhidrogének megkötődése kicsi, a retardációs faktor értéke R= 1-1,3 körüli értékű, a K_d értéke 1,21-8,5·10^{-11} l/µg (m^3/mg).

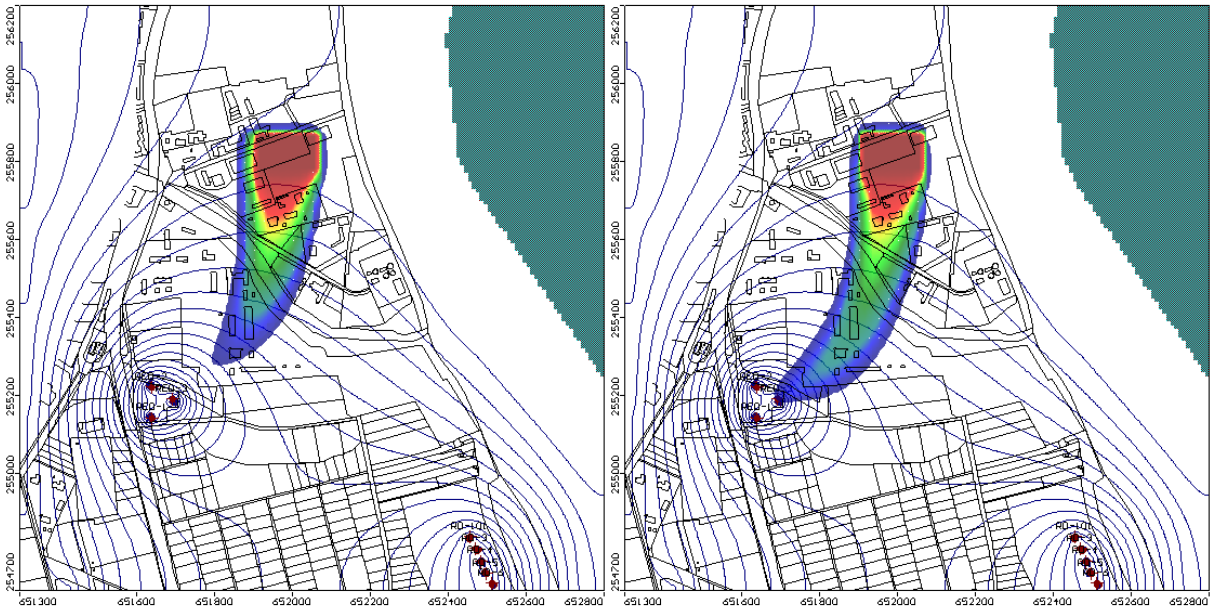
Az egyes komponensek bomlását a program bomlási állandóval veszi figyelembe, mellyel a komponens mennyisége a vízadóban idővel csökken. A valóságban azonban kémiai reakció játszódik le, mellyel anaerob körülmények között a kiindulási PCE és/vagy TCE idővel átalakul másodlagos szennyezővé DCE, illetve később VC alakjában. Az elsődleges szennyezőanyag ekkor az adott területen eltűnik a rendszerből, de ugyanakkor a kémiai reakció következtében új kiindulási koncentrációt képez a másodlagos szennyezőanyagból. Laboratóriumi kísérletek eredményei szerint a PCE és TCE bomlási állandói 0,9-3,7 1/év (0,002-0,01 nap^{-1}) érték között mozognak (KRET et al., 2015).

A szorpciós és bomlás paramétereket megadtuk a bemeneti adatok között, majd ezekkel a feltételekkel futtattuk le a modellt.

A 12. ábra szennyeződésterjedés első időszakát mutatja be a Régi Déli Vízbázis üzemelése idején a modell 3. rétegében.



1 év **4 év**



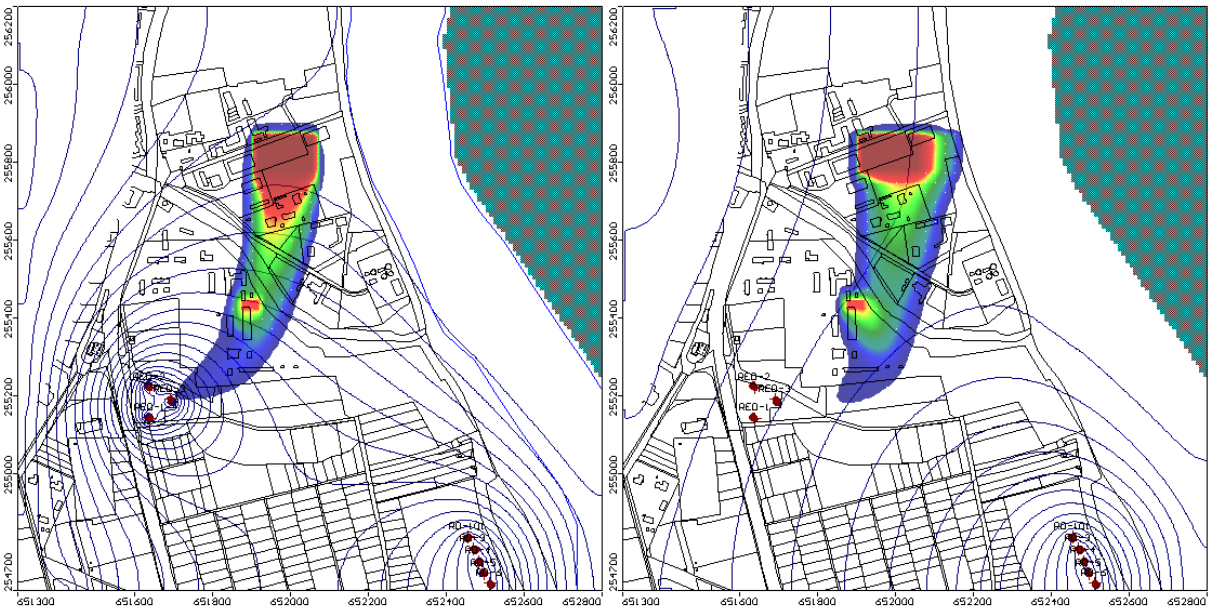
7 év **10 év**

12. ábra: modellezett 10 éves transzport a Régi Déli Vízbázis üzemelése alatt

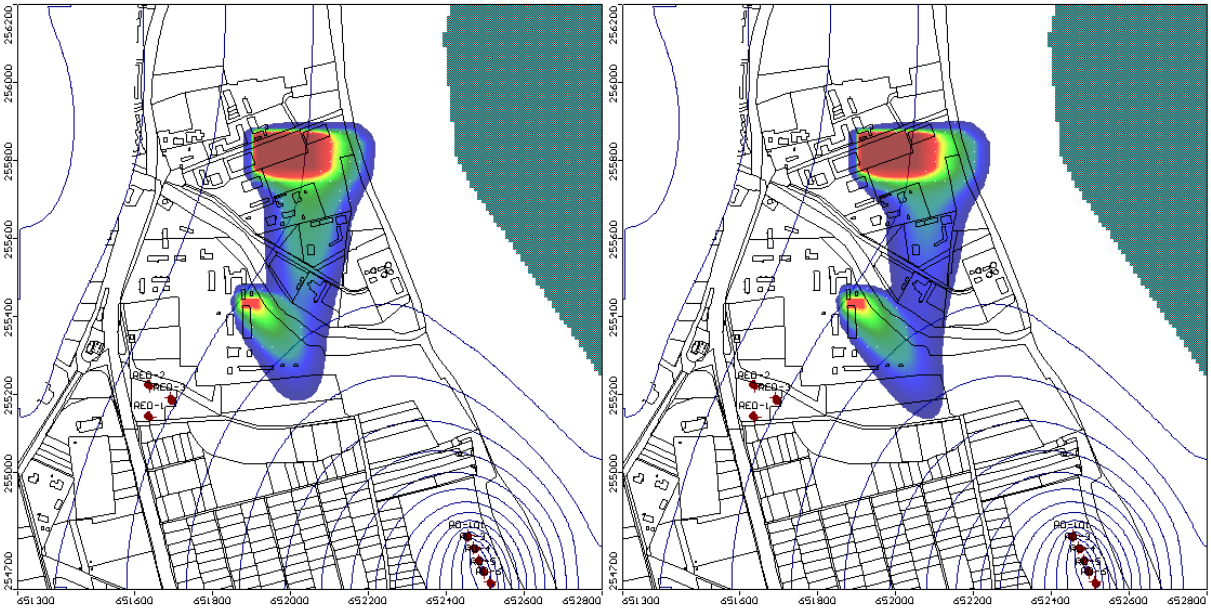
A hidrodinamikai modell elemzése során már megállapítottuk, hogy a Régi Déli Vízbázis kútjainak utánpótlódási területe, depressziós hatása a Dera patak északi oldalára is átnyúlik. A transzportmodell eredményei is azt mutatják, hogy folyamatos termelés mellett a szennyeződés bekerülve a termelőkutak áramlási mezőjébe DNY-i irányban terjedt a kutak felé, majd elsősorban a D-3 kútban jelent meg a szennyeződés. Ez bizonyítja, hogy a szennyeződés származhatott az iparterületről, de ahhoz, hogy a Derától délre a későbbiekben is tartósan kimutatható legyen, utánpótlással kellett rendelkeznie. Az időtartamot vizsgálva,

ezen feltételek mellett a szennyezést követően 8-10 év alatt jelenhetett meg a Régi Déli Vízbázis kútjaiban, azon belül is a D-3 jelűben. A szennyeződés történetét tekintve a valódi folyamat hosszabb ideig tartott, tehát a terjedés lassabb volt, a megkötődési és bomlási folyamatok a valóságban lassabban játszódtak le.

A szennyeződésterjedés második szakaszát mutatja be a 13. ábra Régi Déli Vízbázis leállítását követően.



1 év **4 év**



7 év **10 év**

13. ábra: modellezett következő 10 éves transzport a Régi Déli Vízbázis kútjainak leállását követően

A Régi Déli Vízbázis kútjainak leállítását követően a depressziós hatás az iparterület irányában fokozatosan megszűnt, a Ny-K-i irányú talajvízáramlás a Derától délre eső területen is jellemző lett, mely a déli részen a Regionális Déli Vízbázis kútjainak hatása következtében DK-i irányban módosult. Ezt követően az északi iparterület irányából nem érkezhetett további szennyezőanyag utánpótlás, a korábban ide került elsődleges szennyezőanyag mennyisége csökkent, részben megkötődött, illetve bomlott, ebben a formában már nem érné el a Regionális Déli Vízbázis kútjait. Ugyanakkor az értékelés során nem szabad elfelejteni, a bomlási folyamat (kémiai reakció) az elsődleges szennyezőanyag mennyiségét csökkentettte ugyan, de átalakulva DCE és/vagy VC komponenssé másodlagos szennyezőanyaggá alakul, ami még éveken át további utánpótlást jelentett.

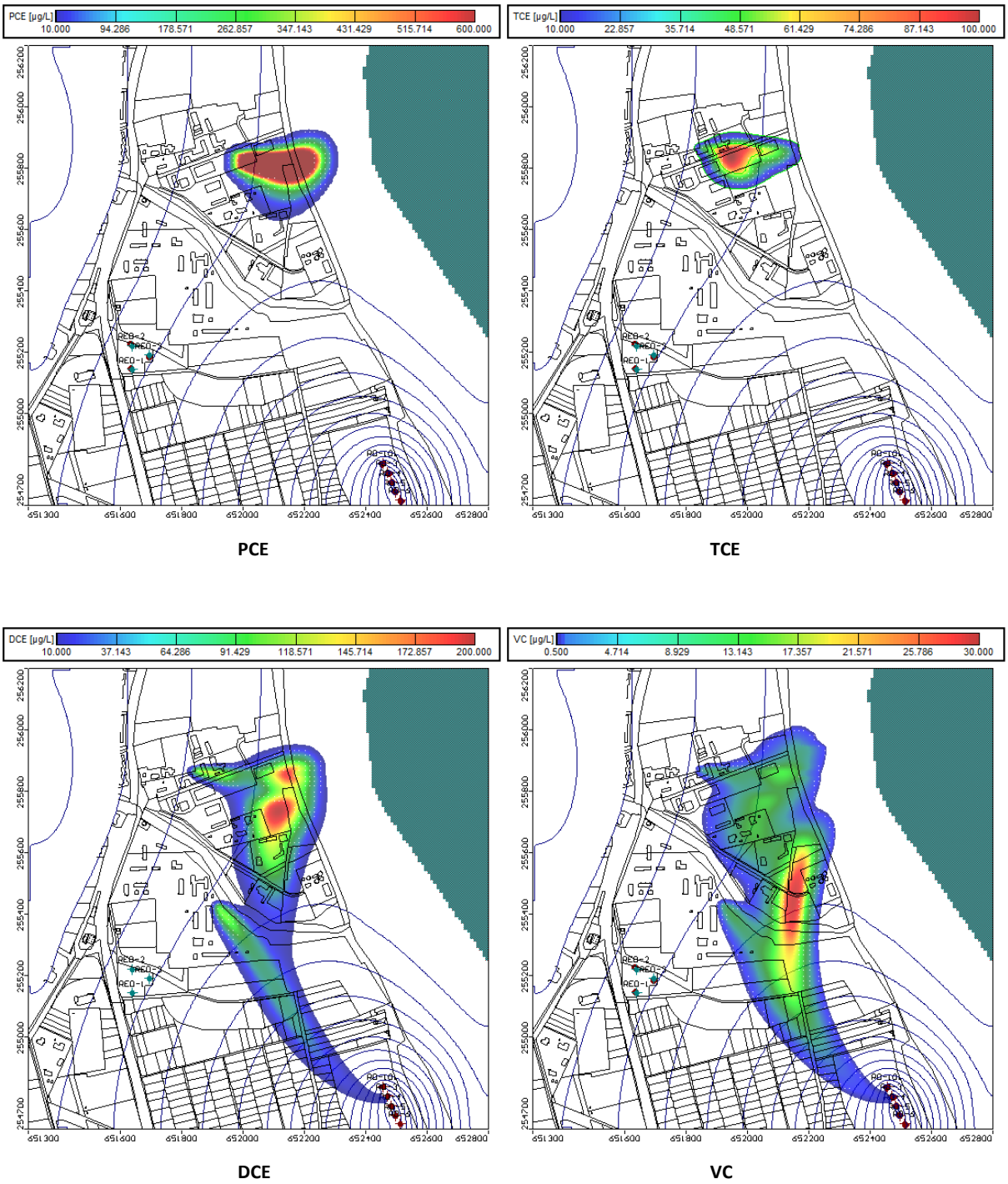
A másodlagosan kialakult szennyezőanyagok vizsgálatára a Derától D-i területen az A15 jelű mintavételi pont környezetében utánpótlódó forrást definiáltunk 1000 µg/l (mg/m^3) értékben. Az eredmények jól összehasonlíthatóak a 2018. évi lehatárolás eredményeivel, az elsődleges gócból származó szennyeződés az északi területre terjed, míg a Derától déli irányban lévő másodlagos szennyező várható terjedése a Regionális Déli Vízbázis kútjainak irányába mutat. Nem zárható ki, hogy a volt szovjet laktanya területén volt kisebb mennyiségű elsődleges szennyezés, de a modell szerint a másodlagos forrás az északi területekről is származhatott.

Szennyeződésterjedési modell a további várható mozgásra

Az előző fejezetben leírt transzportmodell jól leírta az eddigi mozgásokat, a feltételezett gócokból kiindulva a 2018. októberében szerkesztett szennyező eloszlás a vízadó rétegben kialakulhatott.

A további vizsgálatokat érdemes a valós koncentrációkból kiindulva, komponensenként megvizsgálni. A transzportmodellbe kezdeti koncentrációként a 2018. októberben kapott szennyező eloszlásokat adtuk meg kezdeti feltételként, a gócokban feltételeztünk további beoldódást, szennyező utánpótlást.

A 14. ábra mutatja az elkövetkező 10 évben várható további mozgásokat a vízadóban komponensenként.



14. ábra: a szennyeződés elkövetkező 10 évben várható mozgása komponensenként

A csak az északi iparterületen előforduló PCE és TCE szennyeződés mozgási iránya a talajvízáramlási irányoknak megfelelően K-i irányban, a Duna felé mutat. A másodlagosan kialakult DCE és VC oldott szennyezőanyagok az északi területeken ehhez hasonlóan terjedhetnek. A déli területeken azonban csak a másodlagos DCE és VC komponensek fordulnak elő a talajvízben. Mivel a terület a Regionális Déli Vízbázis kútjainak utánpótlási területére esik, a szennyeződés a későbbiekben várhatóan tartósan megjelenhet a kutakban. Bizonyos időszakokban kimutatható mennyiségben eddig is volt VC-komponens, a modellezés

szerint műszaki beavatkozás nélkül várhatóan a koncentrációk fokozatosan emelkedni fognak, a VC mellett a DCE is nagyobb koncentrációban jelentkezhet.

A modell eredményei alapján veszélyeztetett terület az eddigi szennyezett terület az északi iparterületen a Duna parttal kibővítve, a déli részen pedig a volt szovjet laktanya déli területe és a vízmű északi területe (11. melléklet).

A modellezés értékelése

Az utóbbi közel 20 évben végzett tényfeltárási és monitoring tevékenység dokumentációi megadták a szennyező kibocsátás lehetséges forrásait, illetve az egyes időpontokban detektált szennyeződések térbeli eloszlásait. A vizsgálati eredmények igazából a szennyeződésterjedés pillanatképei, a változásokat nagy vonalakban, jellegében lehet nyomon követni. Az éves változásokat nagyobb pontossággal, csak nagyobb gyakoriságú monitoring, vízszintmérés, analitikai eredmények elemzésével lehetne részletesebben feltárni.

A főbb folyamatokat azonban a hidrodinamikai és transzportmodellezés jól tükrözte.

Már a hidrodinamikai modell is megmutatta, hogy az átlagos, a Duna felé mutató uralkodó Ny-K-i talajvízáramlással a Derától É-ra lévő iparterületről származó szennyeződés hatása a Régi Déli Vízbázis termelőkútjaiban nem magyarázható. Fontos szerepe volt a Duna magas vízállása miatt változó áramlási irányoknak, valamint a vízadó változékonyságából adódó hidraulikai paramétereknek. A Régi Déli Vízbázis kútjainak 1999-ig történő termelése, majd leállítása is alapvetően megváltoztatta az áramlási irányokat, új hidrodinamikai helyzetet teremtett.

A szennyeződésterjedés pontosabb elemzésére a transzportmodellezés adott lehetőséget, melyet több szcenárióval, a folyamatot lépésenként feltárva végeztük. Az eredmények azt mutatták, hogy kell lennie szennyező utánpótlásnak, ellenkező esetben a nagy vízáteresztőképességű vízadóban az oldott szennyeződés gyorsan távozna a területről.

A feltételezett fő gócok közül a volt PEVDI területén nem sikerült az elsődleges PCE talajvízszennyezést kimutatni, de az ÉMI területén sikerült körülhatárolni. A modellezés megerősítette ezt a forrást, azt a folyamatot is sikerült bemutatni, hogy a Régi Déli Vízbázis kútjainak utánpótlási területét elérve, a szennyeződés az iparterületről átkerülhetett a Derától délre eső területekre. Nem zárható ki, hogy a volt szovjet laktanya területén volt kisebb, önálló forrás (A15 mintavételi kút környéke), de a szennyezőanyag döntő többsége bomlástermék, másodlagosan képződött.

A Régi Déli Vízbázis kútjainak leállítását követően a Derától déli irányban másodlagosan kialakult szennyező góc várható terjedése a Regionális Déli kútjainak irányába mutat, a DCE és VC szennyeződés 10 éven belül elérheti a termelőkutakat. A Derától délre eső területre került másodlagos szennyeződés veszélyezteti a vízbázisból termelt víz minőségét, a vízellátást. Ennek megakadályozására műszaki beavatkozás javasolt.

2.3.5. A szennyezett terület időbeli változékonysága

Az előző fejezetekben bemutattuk az illékony klórozott szénhidrogén szennyeződés tulajdonságait, a várható terjedés előrejelzését a területen. Megállapítottuk, hogy a víznél nagyobb sűrűségű szennyezőanyag a telített zónában önálló fázist alkothat, kisebb elkülönült cseppek jellemzőek a szemcsék közötti térben, melyből lassú oldódással alakul ki az oldott csóva a felszín alatti vízben. A beoldódás azonban nem folyamatos, a vízadó paramétereinek megváltozásai (nyomás, hőmérséklet, vízszint, csapadék utánpótlás, áramlási irány, mikrobiológiai aktivitás) miatt szakaszos jellegű. Ezért a szennyeződés kiterjedése a területen időszakonként nagy eltérést mutat. Ennek érzékeltetésére a 2018. évi mintavétel kiértékelése szolgál.

2018-ban három mintavétel történt a szennyeződés jellemzésére: márciusban, júliusban és októberben. A márciusi mintavétel a projekt előkészítése során a monitoring kutakra terjedt ki (16. táblázat).

Mintavételi pont	**Tetraklór-etilén (µg/l))**	**Triklór-etilén (µg/l))**	**Diklór-etilének összesen (µg/l))**	**Vinil-klorid (µg/l))**
Sze-1/2	0.04	0.03	nd	nd
Sz-5	0.02	0.01	***21.78***	0.39
112	0.01	0.02	nd	nd
Sze-18	***101***	5.55	4.9	nd
Sze-20	3.38	0.8	11	nd
A48	***1110***	***297***	***86.71***	nd
Sze-2/1	1.95	0.11	0.21	nd
Sze-2/2	0.02	0.08	7.56	0.22
Sze-3	0.03	0.05	3.02	nd
Sze-7	0.04	0.02	0.96	nd
Sze-12	1.62	5.31	***19.13***	nd
Sze-16	0.12	0.01	nd	nd
114	0.05	0.04	0.07	nd
Sze-5	0.07	0.04	0.68	nd
Sze-8	nd	nd	1.41	nd
Sze-9	0.16	0.06	0.1	nd
Sze-10	0.02	nd	nd	nd
Sze-11	0.24	0.14	0.72	nd
Sze-13	0.28	0.42	3.24	nd
T1	0.04	0.05	0.11	nd
T2	0.95	0.45	3.23	nd
Sz-8	0.05	0.03	nd	nd
P6	0.18	0.08	0.42	nd
B21	0.07	nd	nd	nd
F-6	0.01	nd	nd	nd
Sze-19	0.35	0.14	***70.64***	nd
T3	0.03	0.03	***14.29***	0.39

16. táblázat: talajvízminták illékony halogénezett alifás szénhidrogén tartalma (2018. március)

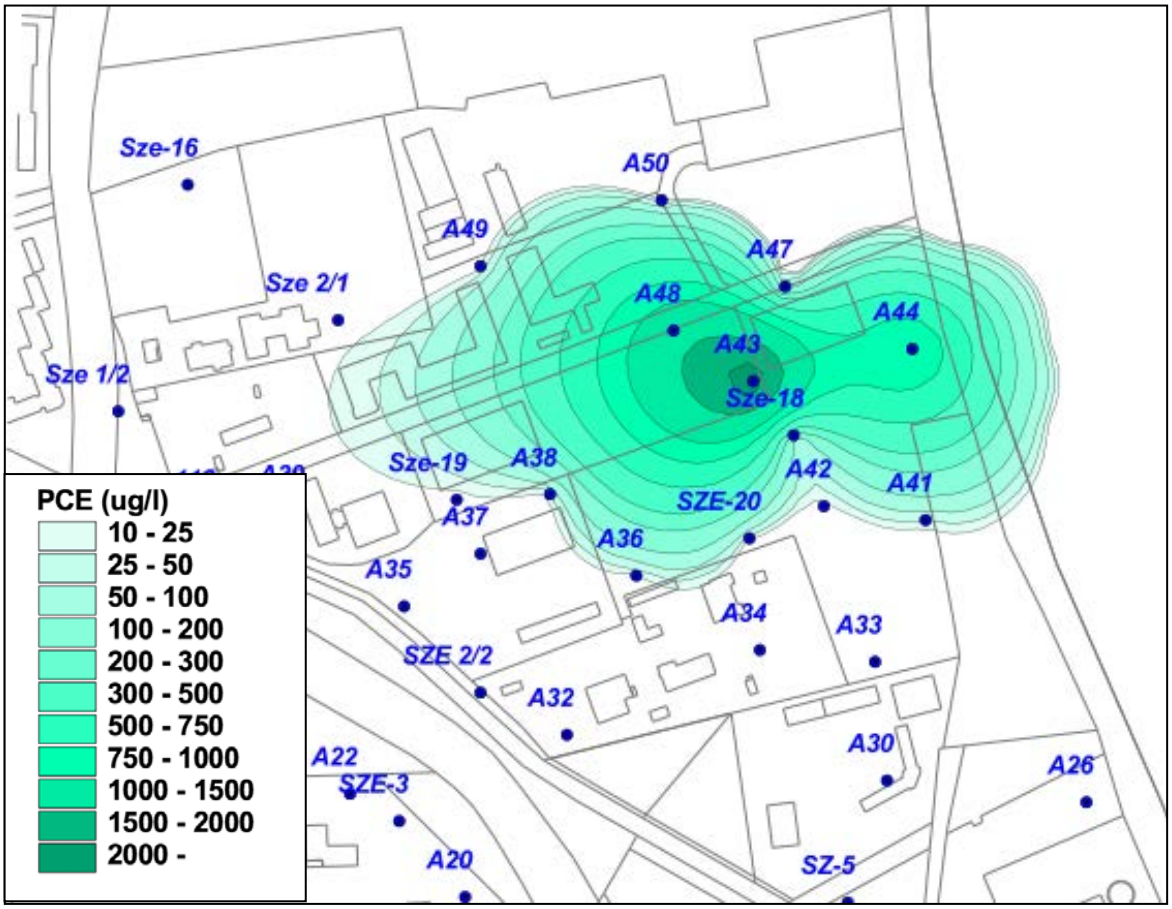
Az ÉMI területén lévő Sze-17 jelű kút megrongálódott, ezért a mellette még meglévő 2016-ban létesített A48 jelű ideiglenes furatból történt a mintavétel. A PCE-szennyezettség az A48 jelű fúrásban és az Sze-18 jelű monitoring kútban volt mérhető határérték felett (1110 és 101 µg/l), de a jelenléte a legtöbb kútban kimutatható volt. A TCE szennyezettség ekkor csak az A48 jelű mintavételi pontban jelentkezett (297 µg/l). A legnagyobb DCE-szennyezettséget is az A48 jelű fúrás mutatta (86,71 µg/l), de az Sze-19 jelű monitoring kút értéke is megközelítette ezt (70,64 µg/l). Az északi területen még B határérték felett az Sz-5 (21,78 µg/l) és az Sze-20 (11 µg/l) jelű monitoring kutakban volt a DCE-szennyeződés. A déli területen csak kútban jelentkezett a DCE-szennyezettség, nem sokkal B határérték felett (Sze-12 19,13 µg/l és T3 14,29 µg/l). Az illékony klórozott szénhidrogének közül a VC komponens mutatta márciusban a legkedvezőbb képet, minden mintavételi pontban B határérték alatti volt. Három mintavételi pontban volt kimutatható (Sz-5 0,39 µg/l, T3 0,39 µg/l és Sze-2/2 0,22 µg/l). A szennyezettség viszonylag kevés pontban való előfordulása miatt a térképi ábrázolás és lehatárolás nem volt lehetséges. Bár a márciusi mintavétel kevesebb mintavételi pontra terjedt ki, de az októberi állapothoz képest a szennyezettség ekkor jóval kisebb területen, kisebb maximális koncentrációkkal jelentkezett.
A júliusi mintavétel a pontosító fúrások kivitelezése előtt történt, a monitoring kutakra és a 2016-ban létesített A-jelű mintavételi pontokra terjedt ki (17. táblázat).

Mintavételi pont	**Tetraklór-etilén (µg/l))**	**Triklór-etilén (µg/l))**	**Diklór-etilének összesen (µg/l))**	**Vinil-klorid (µg/l))**
A3	0.4	0.62	9.92	nd
SZE-5	0.27	nd	0.72	nd
SZE-7	0.21	nd	1.28	nd
T-1	nd	nd	0.17	nd
T-2	0.18	0.19	3.05	nd
T-3	nd	nd	***18.1***	nd
SZ-5	nd	nd	4.49	nd
F6	nd	nd	nd	nd
RD-1	0.09	nd	0.05	nd
RD-3	0.01	nd	0.07	nd
A20	nd	0.06	2.85	nd
A22	0.02	0.06	0.01	nd
SZE-3	0.02	0.05	5.21	nd
SZE-8	0.01	0.01	1.05	nd
SZE-12	2.09	7.75	***25.1***	nd
SZE-13	0.31	0.64	5.4	nd
A2	0.06	0.02	nd	nd
A4	0.09	0.56	***31.1***	nd
A5	0.11	0.06	0.17	nd
A6	0.1	0.14	3.1	nd
A7/A	0.12	0.14	2.17	nd
A9	0.01	nd	2.89	nd
A10	0.09	0.14	1.56	nd
A11	0.02	0.04	9.35	nd
A12	0.01	0.04	0.81	nd

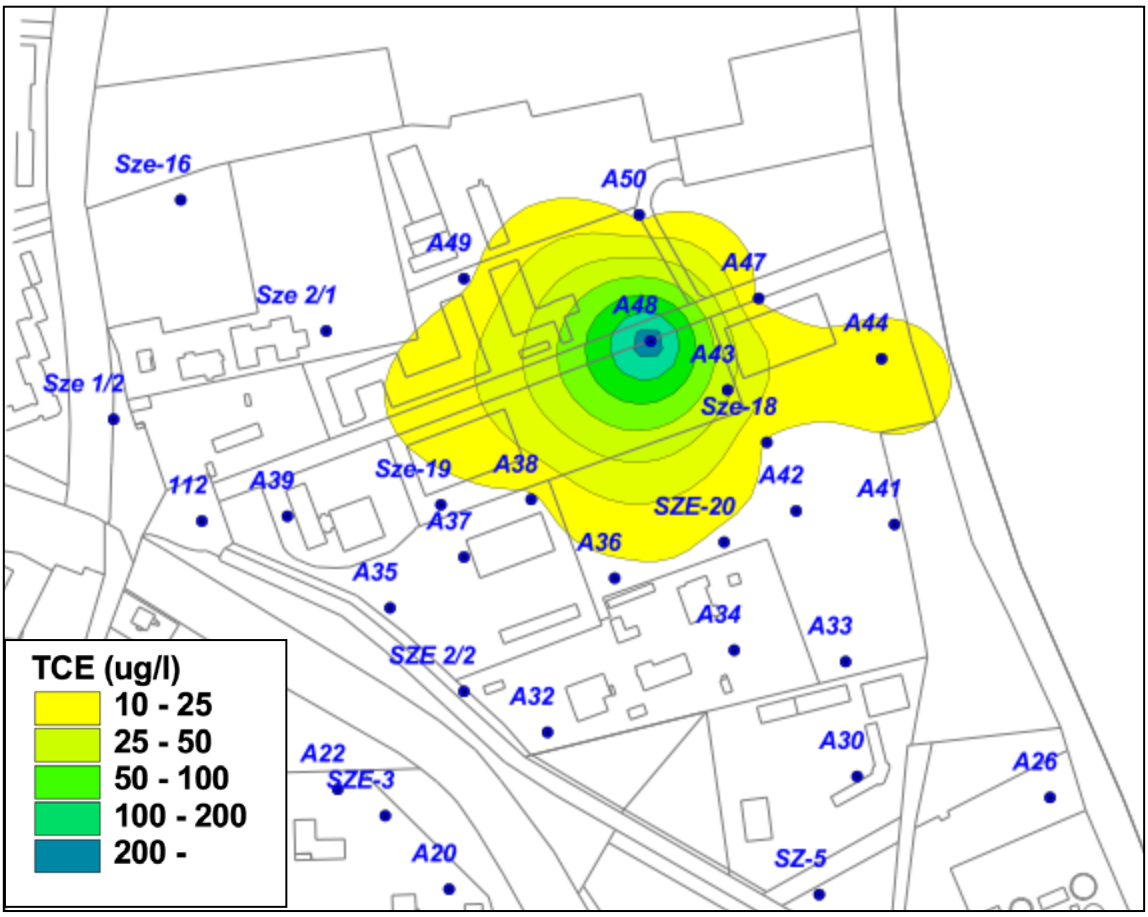
Mintavételi pont	Tetraklór-etilén (µg/l))	Triklór-etilén (µg/l))	Diklór-etilének összesen (µg/l))	Vinil-klorid (µg/l))
A13	0.03	0.11	2.77	nd
A14	0.1	0.12	1.17	nd
A15	0.06	0.08	***686***	nd
A16	0.03	0.11	***176***	nd
A17	0.02	0.07	0.56	nd
A18	0.02	0.11	0.47	nd
A19	0.01	nd	0.83	nd
A21	0.01	0.08	0.67	nd
A23	1.1	0.06	7.56	nd
A24	0.9	0.14	1.62	nd
A25	0.89	0.12	1.24	nd
A26	1.49	0.15	1.84	nd
A30	1.91	0.16	1.78	nd
A32	2.04	0.15	***53.9***	nd
A33	9.33	0.27	***12.9***	nd
A34	2.81	0.08	***39.1***	nd
A36	2.9	0.59	6.45	nd
A41	***19.9***	1.02	***32.3***	nd
A42	7.12	0.49	6.58	nd
A43	***2390***	***108***	***18.5***	nd
A44	***1070***	***26.7***	***20.1***	nd
SZE 2/2	1.8	0.15	***23.8***	nd
SZE-20	4.09	0.6	***12.7***	nd
A35	1.93	0.36	***146***	nd
A37	1.55	0.62	***316***	nd
A38	1.77	0.59	***435***	nd
A39	4.91	0.73	0.24	nd
A47	3.74	1.9	***58.1***	nd
A48	***1340***	***346***	***126***	nd
A49	0.39	0.13	***12.9***	nd
A50	0.93	0.49	***59.1***	nd
112	0.05	nd	0.07	nd
Sze 1/2	0.09	0.03	nd	nd
Sze 2/1	2.11	0.11	0.18	nd
Sze-16	1.87	nd	nd	nd
Sze-18	***50.4***	2.51	nd	nd
Sze-19	2.19	0.34	***92.5***	nd
A+	0.03	0.02	1.91	nd
A1	0.08	0.05	0.19	nd
114	0.04	0.03	0.07	nd
SZ-8	0.07	0.05	nd	nd
P-6	0.19	0.07	0.31	nd
B-21	0.08	0.03	nd	nd

17. táblázat: talajvízminták illékony halogénezett alifás szénhidrogén tartalma (2018. július)

A PCE-szennyezettség legmagasabb koncentrációban az A43 mintavételi pontban mutatkozott (2390 µg/l), de magas volt az A48 és A44 pontokban is (1310 és 1070 µg/l). A PCE komponens az összes mintavételi pontban mérhető volt kimutatási határ felett, de csak az északi területen volt B határérték feletti a fentieken kívül még két mintavételi pontban (Sze-18 50,4 µg/l, A41 19,9 µg/l). A TCE koncentrációja csak három mintavételi pontban volt B határérték felett, a maximum az A48 pontban volt (346 µg/l), ezen kívül az A43 és A44 környéke volt szennyezett (108 és 26,7 µg/l).
A PCE és TCE szennyeződések területi eloszlását a 15. ábra és a 16. ábra mutatja. Mindkettő az ÉMI területére esik, közel azonos területre, a TCE területi kiterjedése és koncentrációi kisebbek.

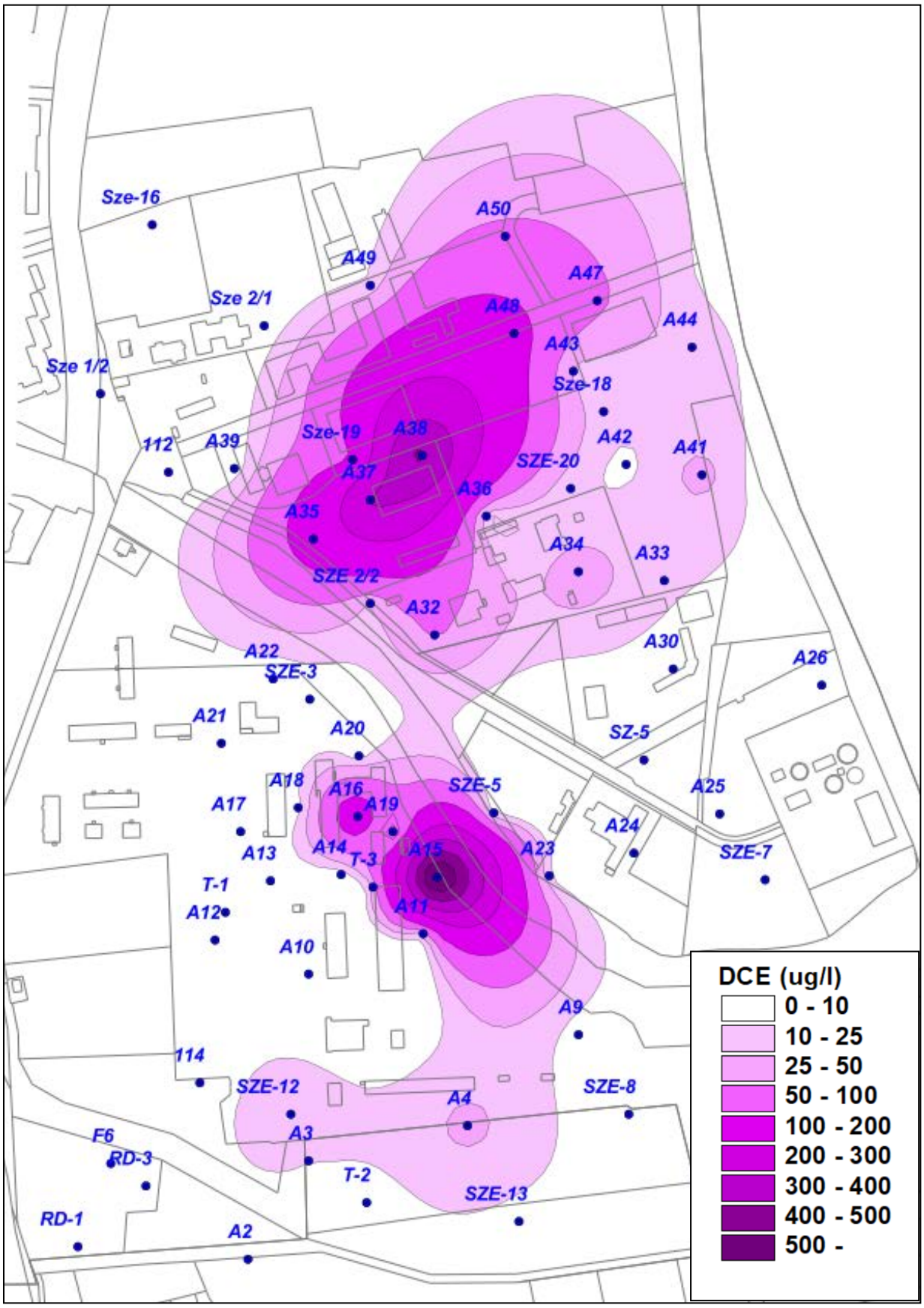


15. ábra: PCE szennyezettség 2018. júliusi állapot



16. ábra: TCE szennyezettség 2018. júliusi állapot

A DCE-szennyeződés jóval több mintavételi pontban mutatkozott, több maximummal. Az északi területen az A38 és az A37 pont mutatta a maximumot (435 és 316 µg/l), míg a déli területen az A15 és A16 pontok környéke volt a legmagasabb értékű (686 és 176 µg/l). A B határérték feletti szennyezettség területi kiterjedése jóval nagyobb (17. ábra) a márciusihoz képest.



17. ábra: DCE szennyezettség 2018. júliusi állapot

Júliusban VC nem volt kimutatható a vízmintákban.

Az eredmények alapján további, E-jelű feltáró fúrásokat terveztünk a területre, majd 2018. októberben a területen található összes mintavételi pontból egyidejű vízmintázás történt. A részletes eredményeket a 2.3.2. fejezetben mutattuk be. Elmondható, hogy az októberi állapot mutatta be a legrészletesebb eredményeket, de egyben a legnagyobb kiterjedésű és a legnagyobb koncentrációjú állapotot rögzítette, így a szennyezett terület lehatárolható volt.
A PCE-szennyezettség, mint elsődleges szennyezettség továbbra is az ÉMI területén mutatkozott az A43, A48 és A44 pontokkal határolt területen, az E112 pontban sikerült megtalálni az eddigi maximumot (2280 µg/l). Az elsődleges szennyeződés a három mintavétel során közel azonos helyen jelentkezett.
A többi szennyezettség, mint bomlástermék a három mintavételi időpontban változó helyen mutatta a maximumot. A TCE-szennyezettség az A48 pont környékén októberben 141 µg/l értékre csökkent és az ÉMI ÉNy-i határán létesült E111 fúrás (301 µg/l) mutatta a maximumot. Ugyancsak az E111 jelű pontban volt a DCE (789 µg/l) és a VC (80,5 µg/l) maximum is, de a bomlástermékek tekintetében több maximum is jelentkezett. DCE esetében az E114 (411 µg/l), az A38 (366 µg/l), A48 (366 µg/l) és az A37 (226 µg/l) mintavételi pontok koncentrációi magasak, VC esetében pedig magas értékűek az A33 (64,2 µg/l), az A31 (62,3 µg/l) és az A39 (52,6 µg/l) mintavételi pontok értékei. A déli területen csak a DCE és VC szennyezettség mutatkozott, DCE tekintetében jellemzően az A15 környéke mutatott ingadozásokkal állandó szennyezettséget. A legváltozatosabb képet a VC szennyezettség mutatta, a 2018. márciusi és júliusi mintavétel során nem jelentkezett szennyezettség, októberben azonban elég magas értékek jelentkeztek. A VC koncentráció maximuma is az A15 jelű fúrásban (53,6 µg/l) volt mérhető, de magas értékek mutatkoztak az A19 (38,2 µg/l), a T3 (33,7 µg/l) és az E118 (32,5 µg/l) pontokban is.
A vízbázis biztonsága érdekében a gyakrabban előforduló, magasabb szennyezőanyag koncentrációjú pontok környékén szükséges a műszaki beavatkozásokat tervezni, mellyel várhatóan a többi területre történő utánpótlás is megszüntethető.

2.4. A szennyezett terület jellemzői

2.4.1. A területhasználat története

A rendelkezésre álló ismereteket a 2.3.1 fejezet részletesen tárgyalja. Összefoglalóan megállapítható, hogy a PEVDI területén a gyártási tevékenységhez bizonyítottan használtak klórozott szénhidrogéneket. Az ÉMI területén jelenleg nem folyik aszfaltvizsgálati tevékenység, szóbeli közlés alapján azonban korábban végeztek ilyen vizsgálatokat. E vizsgálatoknál a bitumen extrakcióját általában klórozott szénhidrogénnel végzik. A volt szovjet laktanya területén a szovjet csatapatok kivonulásáig használhattak klórozott szénhidrogéneket, azonban biztos ismerettel erről nem rendelkezünk.

2.4.2. a vizsgált terület bemutatása

<u>Földrajzi adottságok</u>

A vizsgált terület földrajzi adottságait a Tényfeltárási záródokumentáció (2010) alapján mutatjuk be.

A vizsgált térség a Pilis-hegység DK-i peremén és a hozzá K-ről csatlakozó Duna völgy területén található. Területe 104-130 mBf közötti térszínnel, dombvidéki és folyóvölgyi területekkel jellemezhető. A jelenlegi morfológia kialakításában a tektonikának és a folyóvízi

tevékenységnek meghatározó szerepe van. A felszínközeli földtani képződmények főbb tömegeit nagy vastagságban települő oligocén-miocén korú képződmények alkotják.

A vizsgált terület középső részén megközelítőleg ÉNy-DK-i irányban töréses szerkezetek mentén csatlakoznak a miocén és oligocén korú képződmények. Az oligocén összletet döntően a sötétszürke, kékesszürke homokos "kiscelli" agyag képviseli, amely a Szentendre-Budakalászi kavicsbánya tavak térségi fúrásokból ismert. ÉK-i települési határa Regionális Déli vízműkutak közvetlen hátteréig terjed.

E képződménybe ékelődik a Budakalász K-i részén a szintén oligocén korú szürke, homokos agyag, agyagos homok rétegcsoport.

A képződmények felszínének morfológiája változatos, hullámos elrendezésű. A harmadidőszaki képződményeken általánosan jellemző a Duna magasártéri teraszképződményeinek megjelenése homokos kavics, kavicsos homok, kavicsszórványos homok, alárendelten homok kifejlődésben.

Általános talajtani adottságok

A vizsgált terület általános talajtani adottságait a Tényfeltárási záródokumentáció (2010) alapján mutatjuk be.

A térség öt kistáj (Pilisi-hegyek, Pilisi-medencék, Visegrádi-Dunakanyar, Visegrádi –hegység, Vác.Pesti-Duna-völgy) találkozásánál fekszik, ennek megfelelően talajtani adottságai nagyon heterogének. A térség uralkodó talajtípusa az agyagbemosódásos barna erdőtalaj, valamint nagy területeken található Ramann-féle barna erdőtalaj is. Az előbbi vízvezető képessége kielégítő, víztartó képessége jó, összességében a vízgazdálkodása kedvező. Tápanyag-gazdálkodásuk közepes, nitrogéntőkéjük szegényes, foszfortartalmuk közepes, káliumellátottságuk jó. A barnaföldek vízgazdálkodása és tápanyag-ellátottsága is kedvező. A kedvező vízgazdálkodású és tápanyag-ellátottságú réti öntés, illetve a fiatal, nyers öntés talajok egyenlő arányban fordulnak elő. Megtalálhatók továbbá a mészkövön és dolomiton kialakuló rendzina talajok, a gyenge termőképességű futóhomok és humuszos homoktalajok, vulkáni kőzeten kialakuló sekély termőrétegű erubáz-, illetve nyirok talajok, köves- és földes kopárok. Említést érdemel, hogy a Sztelin-patak völgyében, a törmeléklejtőkön vékonyabb-vastagabb lösztakaró alakult ki a glaciálisokban.

A város területén főként a hegylábi területeken a legnagyobb arányban a Ramann-féle barna erdőtalaj (27 %, 1180 ha) és az agyagbemosódásos barna erdőtalaj (25 %, 1092 ha) jellemző. Kisebb arányban (15%) fordul elő a homokos iszapos öntésen kialakuló réti öntéstalaj. A hegységet alkotó kőzet a felszín közelében van, de gyakoriak a köves kopár felszínek (15 %). A fennmaradó területeken magas kőzettartalmú kezdetleges váztalaj az erubáz, vagy fekete nyiroktalaj alakult ki.

Az erdő alatt álló barna talajokra 5-8 % körüli humusztartalom jellemző, a földes, kopár foltok területén 1 % alatti. A réti talajoknál 3-5 % közötti humusztartalom fordul elő.

A vizsgált terület éghajlata

A vizsgált terület éghajlatát a Tényfeltárási záródokumentáció (2010) alapján mutatjuk be.

Szentendre a Vác-Pesti-Duna-völgy kistájon a Szentendrei-Duna-ág (Kis-Duna) jobb partján, a Visegrádi-hegység lábánál helyezkedik el. A várost befogadó táj dél és kelet felé nyitott, északról és nyugatról hegyekkel zárt körívet alkot. E tényezők határozzák meg a terület mezoklímáját: a hegyek takarása (esőárnyék) relatív csapadékszegénységet okoz (az éves átlag 580 mm, melyből a vegetációs időszakban 330 mm hullik), a délies-keleties kitettség erős szubmediterrán és kontinentális hatást eredményez.

Növény- és állatvilág

A vizsgált terület növény- és állatvilágát a Tényfeltárási záródokumentáció (2010) alapján mutatjuk be.

A Szentendrei-Duna és környéke, szigetei, ártéri erdei értékes élőhelyek, kétszáz madár-, több emlős-, és 60 halfaj táplálkozó-, szaporodó-, illetve vonulóhelye. A Duna és ártere (a Pap-sziget keleti oldala kivételével), illetve a Visegrádi-hegység – mint kiemelt jelentőségű, különleges természet-megőrzési területek.

A Visegrádi-hegység arculatának meghatározó eleme a nagy kiterjedésű, zárt erdőtakaró; fátlan társulásokkal csak ott találunk, ahol a szélsőséges termőhelyi viszonyok következtében nem alakulhatott ki erdő, illetve ahol az egykori erdőirtások helyén a mai napig is rendszeresen kaszált hegyi rétek díszlenek. Az erdőterület nagyobb hányadát a cseres-tölgyesek adják, a lombkorona szintet a kocsánytalan- és a csertölgy alkotja. A lazább lombozat révén az erdő talajára elegendő fény jut, cserje- és gyepszintje fajokban igen gazdag. Néhány védett növényfaj: bíboros kosbor *(Orchis purpurea)*, magyar zergevirág, szentendrei rózsa.

A természetes növénytakaró maradványai megfigyelhetőek azokon a helyeken, ahol művelésre nem volt alkalmas a terület. A meredek déli lejtőkön a molyhos-kocsánytalan tölgyes és a molyhos-cseres tölgyes, a csúcsokon (pl. Asztal-kő, Nyerges-hegy, Kada-csúcs) az andezit karsztbokorerdő, a meredek törmelékes völgyoldalakban hársas törmeléklejtők (pl. Sztelin-patak). A völgyalji területeken gyertyános tölgyes (Sztelin-patak) és enyves égeres (Bükkös-, ill. régen a Sztaravoda-patak), az enyhe lejtésű domboldalakon lösztölgyesek (Pismány), a mélyedések nedves, olykor vízállásos részein különböző vízi és mocsári társulások, lápfoltok, az egykori erdőirtások helyén kaszálórétek alakultak ki. A Duna parti sávjának puhafás ártéri erdei a természetvédelmi szempontok mellett, mint tájképi elemek is igen értékesek. A város területén két időszakos (a Sztelin-patak és az Öregvíz, vagy Sztaravoda-patak) és két állandó védett vízfolyás (Bükkös- és Dera-patak) éri el a Dunát. A Bükkös-patak és az Öregvíz völgye három részre osztja a város területét és ezek a völgyek zöld ujjként nyúlnak be a környező hegyekből. Szentendrén számos forrás is ered. Többségük a Bükkös-patak völgyében, illetve a legnagyobb vízhozammal rendelkező (a Püspökmajori forrás) a lakótelep dél-nyugati lábánál.

A Dera-patak ártere még őrzi az egykori értékes növény és állatvilágot (hrsz.: 6, 7, 9, 12/1, 3, 4, 5, 8901). A térség élőhelyeinek *madárvilága* gazdag, a védett állatfajok zöme ezek közül kerül ki. Az erdők sok énekesmadárnak adnak otthont. Tavasszal a vörösbegy *(Erithacus rubecula)*, az erdei pinty *(Fringilla coelebs)*, a szalakóta *(Coracias garrulus)*, hajnalban a fülemüle *(Luscinia luscinia)* dalától hangos az erdő. A szántók felett gyakori a pacsirta *(Alauda arvensis)*, az erdőkben a harkály *(Dryocopus martius)* és a fakúsz *(Certhia familiaris)*. A térségben egerészölyvek, vörösvércsék és gyurgyalagok *(Merops apiaster)* is fészkelnek.

Szentendre területén található még két működő kavicsbánya tó (a budakalászi határon), és két másik hajdani anyagnyerő-helyből kialakult tavacska (a Vasúti villasori-, más néven Harkály-tó és a Pannónia-telepi tó). Írásos emlékek szerint a Dera-patakot 1806-ban szabályozták először. A gabonatermelés viszont annak ellenére sem tudta fedezni a városi lakosság szükségletét, hogy a Nádas-tó (a mai Pomázi-sík helyén) – melynek déli részén a Dera, északi részén a püspökmajori patak folyt – mocsarának lecsapolása után (1863-ban) 300 hold jó minőségű termőföldhöz jutott a város. A terület említést érdemlő növényfajai a sárga nőszirom, a (néhány tőnyi) fátyolos nőszirom*(Iris spuria)*, és az egykori láprétek utolsó hírmondója a mocsári kosbor *(Orchis palustris ssp. elegans*). Egy helyről még a szibériai nőszirom *(Iris sibirica)* is előkerült.

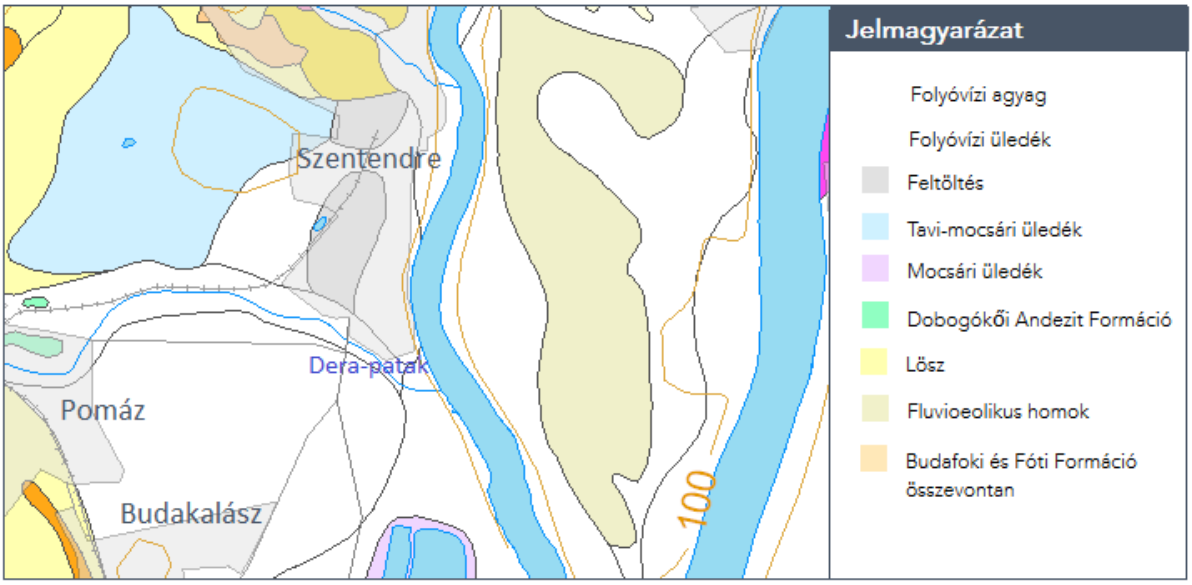
Régészeti, műemléki értékek

A vizsgált régészeti, műemléki értékeit a Tényfeltárási záródokumentáció (2010) alapján mutatjuk be.

Az 1/2009. (I.23.) OKM rendelet (egyes régészeti lelőhelyek védetté nyilvánításáról, illetve régészeti védettség megszüntetéséről) 33. §–a alapján Szentendre, belterület 6. hrsz. alatt nyilvántartott kivett művelési ágú, természetben a Dera-patak torkolatánál található ingatlan fokozottan védett régészeti lelőhely. Ezen a területen a régészeti védelem célja az itt található késő római kikötőerőd maradványainak megőrzése, a lelőhely kutathatóságának biztosítása.

Földtani felépítés

A vizsgált terület sekélyföldtani felépítéséről jó ismeretekkel rendelkezünk.



18. ábra: A vizsgált terület környezetének földtani térképe (MBFSZ térképserver, map.mbfsz.gov.hu)

A vizsgált térség a Pilis-hegység DK-i peremén és a hozzá K-ről csatlakozó Duna völgy területén található. Területe 104-130 mBf közötti térszínnel, dombvidéki és folyóvölgyi területekkel jellemezhető. A felszínen folyóvízi agyag és folyóvízi üledék helyezkedik el, Szentendre település egyes részein mesterséges feltöltést találunk (18. ábra).

A feltárásokkal harántolt képződmények feküjét oligocén-miocén korú, összességében vízzárónak tekinthető homokos agyag, agyag alkotja. Archív adatok alapján az oligocén képződményeket a homokos "kiscelli" agyag képviseli, települési határa ÉK-en a Regionális Déli vízmű kutak hátteréig terjed. Ez a képződmény egyben a vízadó rétegek feküjét is jelenti.

A volt szovjet laktanya és az Ipari Park területén a fekü alapvetően K-i irányba lejt, jellemző mélysége 12-15 m között mozog. Megfigyelhetőek az általános keleti irányú lejtés mellett jelentős mélyedések a volt szovjet laktanya keleti része alatt, ettől északra a Dera-patak, majd az Ipari Park délkeleti része alatt. Ezek a morfológiai elemek a(z egykori) DNAPL migráció és csapdázódás szempontjából lehetnek fontosak.

A Dózsa György (11.-es) úttól nyugatra a fekü szintjét korábbi munkák 94 mBf magasságban adták meg.

A vízzáró rétegekre a Duna pleisztocén-holocén korú teraszüledéke települ változatos összetételű és kifejlődésű homokos kavics, kavicsos homok rétegekkel, jellemzően max. 10 m-es vastagságban.

A vízadó összletet a Duna, valamint az Ős-Dera patak iszapos, agyagos képződményei fedik, főként homokos kőzetliszt és kőzetlisztes homok. A fedőréteg vastagsága jellemzően 1-4 m között mozog. Az összleten 0,5-1,5 m vastagságban humuszos feltalaj, illetve egyes területeken feltöltés található.

A korábban létesült kutak és fúrások, valamint a 2018 év során létesült ideiglenes mintavételi furatok rétegsorából szerkesztett földtani szelvényeket a 12. melléklet tartalmazza.

<u>Vízföldtani viszonyok</u>

Archív adatok szerint a vízadó horizontális hidraulikus vezetőképessége $5*10^{-5}$ és $2*10^{-4}$ m/s között mozog, más adatok szerint $5*10^{-3}$ és $5*10^{-4}$ m/s közötti értéktartomány jellemző.

A vízadón települő fedőréteget korábbi modellezés során $5*10^{-6}$ és $3*10^{-5}$ m/s közötti horizontális hidraulikus vezetőképesség értékkel vették figyelembe.

Alacsony, vagy közepes Duna vízállás esetén a térség egykori természetes, nagyobb vízkivételek nélküli felszín alatti víz áramlási rendszerére a kavicsteraszok érkező utánpótlás, a Duna felé irányuló áramlás volt jellemző. A vízbázisok igénybevétele óta a termelőkutak hatása módosítja a természetes állapot. A Regionális Déli Vízbázis térségében a talajvízkészlet utánpótlódását a háttérben csapadékból beszivárgó víz, továbbá a kavicsteraszok peremén belépő vízkészlet és a Dunából a terasztestbe átadódó víz biztosítja. Magas vízállás esetén a Duna duzzasztó hatása érvényesül. A Dera-patak a GEOHIDROTERV vizsgálatai szerint a háttér területen a talajvízre leszívó hatást fejt ki, míg az alluviális területen függőmederben folyik, egyes szakaszokon betáplálást okozva. Medre a vizsgált szakaszon rendezett, töltésekkel védett. A GEOHIDROTERV 1999. augusztusi mérései szerint a vízfelszín 99,73-116,24 mBf szintek között alakult, I=0,002 eséssel.

A térségben a Duna mellett jelentős felszíni víz a vizsgált területtől ÉNY-ra elhelyezkedő Pannónia-tó és a déli irányban található, jelentős kiterjedésű Szentendre-Budakalászi kavicsbánya tavak.

A Duna medre a vizsgált térségben szabályozott, a középvíz szintjében több helyen kőszórással stabilizált. A sokéves vízjárást a tavaszi tartós árhullám, a június végi kisebb áradás és egy nyár végi, ősz eleji és téli tartós alacsony vízállás jellemzi.

Változást hozott a terület áramlási viszonyaiban a Régi Déli Vízbázis termelésének 2000-ben történő leállítása. A termelés leállítását a szennyezőanyag termelőkutakban történő megjelenése indokolta. Ezt megelőzően a korábbi munkák, mérések alapján a Régi Déli Vízbázis jelentős depressziós teret hozott létre, mely érintette az Ipari Park területét is. Utóbbi területről a szennyezett talajvíz a Régi Déli Vízbázis kutjai irányába mozdulhatott, ugyanakkor ez ideiglenesen távol tartotta a szennyezett talajvizet a Regionális Déli Vízbázis kútjaitól.

A Régi Déli Vízbázis kutjainak leállítása után a volt szovjet laktanya területén a Regionális Déli Vízbázis depressziós hatása nagyobb hatást tudott kifejteni.

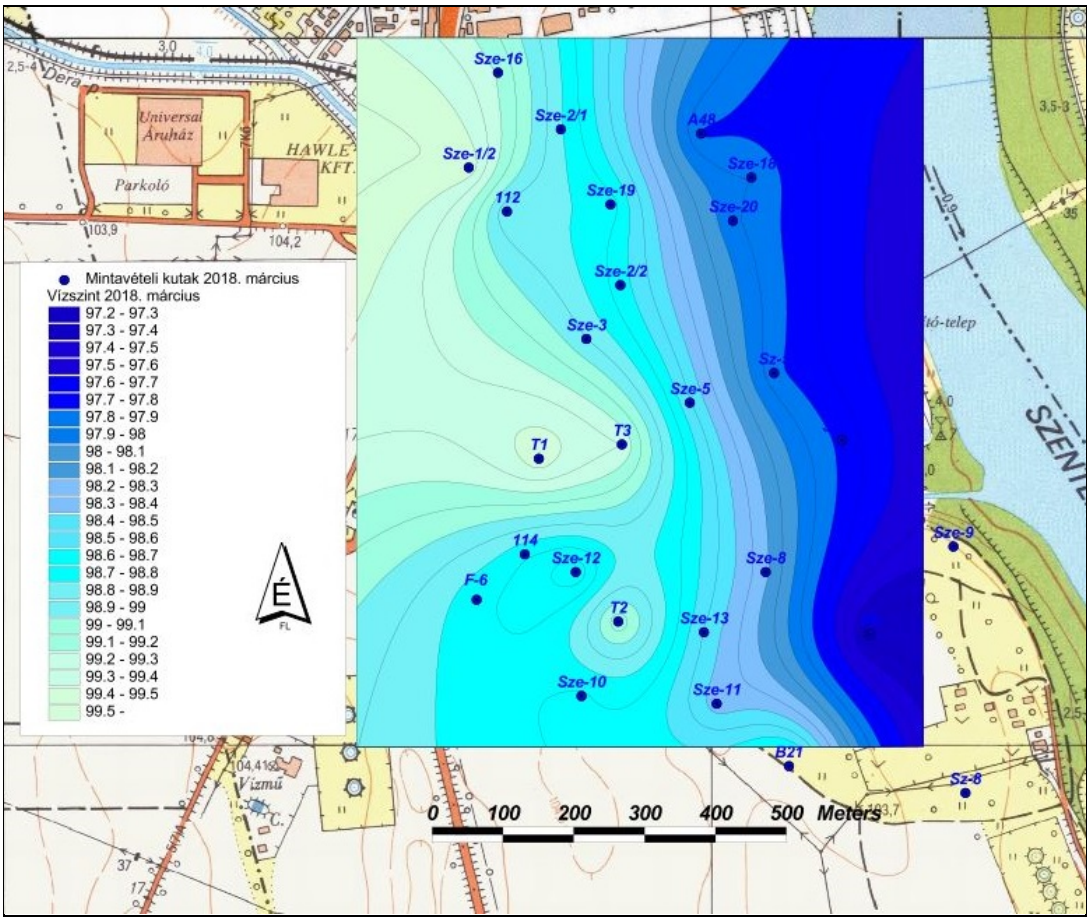
A Duna távolhatását a vizsgált területen a múltban a Dózsa György útig (11-es út) valószínűsítették. A parti kútsor súlyponti részén a GEOHIDROTERV adatai alapján a Duna vízjárása az alábbiak szerint jellemezhető:

- 30 napos tartósságú nagy vízszint (NV_{30}), 100,2 mBf
- jellemző közepes tartósságú vízszint (KÖV), 98,5 mBf
- 30 napos tartósságú kis vízszint (KV_{30}), 97,3 mBf

A hidraulikai helyzetet az alábbiak szerint értékelték:

1. Az év jelentős időszakában - megszakításokkal, de összességében mintegy 285 nap időtartamban a Dunai vízszintek alatta maradnak a mértékadó átlagos talajvízszintnek. Ebből az következik, hogy a talajvízre a folyam leszívó hatást fejt ki. A talajvíz szivárgási iránya vízműkutak hátterében és attól É-ra Ny-K-i irányú, a háttér területek felől a Duna felé mutat, amelyet a vízkivételek módosítanak.

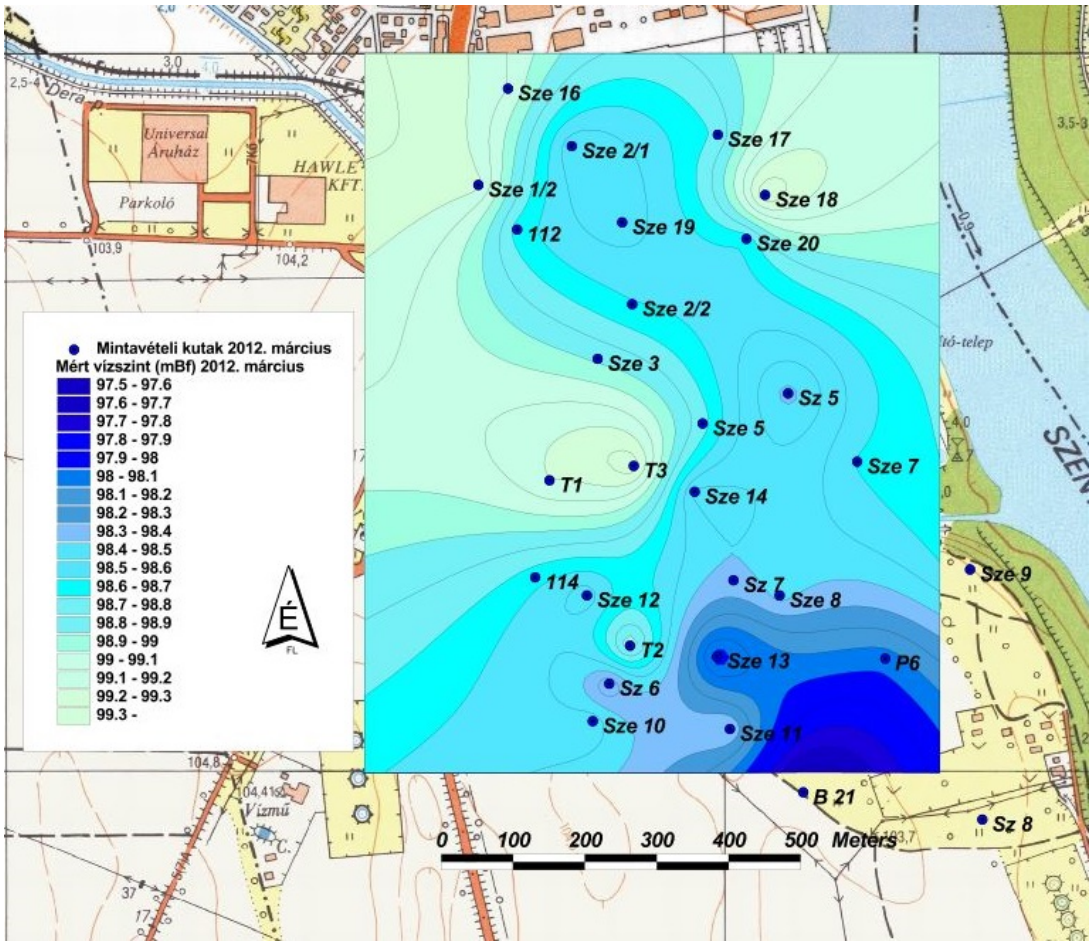
2. Az év rövidebb időszakában - megszakításokkal, de összességében mintegy 80 nap időtartamban (az év 30%-a) - a Dunai vízszintek meghaladják a mértékadó átlagos talajvízszintet. Ekkor a folyam betáplál a parti sáv talajvízkészletébe, amelynek következtében az előzőekben ismertetett szivárgási irány megközelítően ellenkezőjére fordul.



19. ábra: Jellemző talajvízszintek (mBf) a vizsgált területen (2018. március)

Egyidejű vízszintmérések a VITUKI monitoring jelentéseiből és a tényfeltárási dokumentációkból származnak. A legutóbbi, 2018. márciusban végzett egyidejű vízszintmérés (19. ábra) az általános áramlási folyamatot mutatja, de legtöbbször ehhez hasonló képet adnak a szerkesztett vízszint térképek. A rendelkezésre álló adatok között 2012. márciusban volt olyan egyidejű vízszintmérés, mely a Duna magas vízállása idejében történt, bizonyítva a visszaduzzasztó hatást (20. ábra).

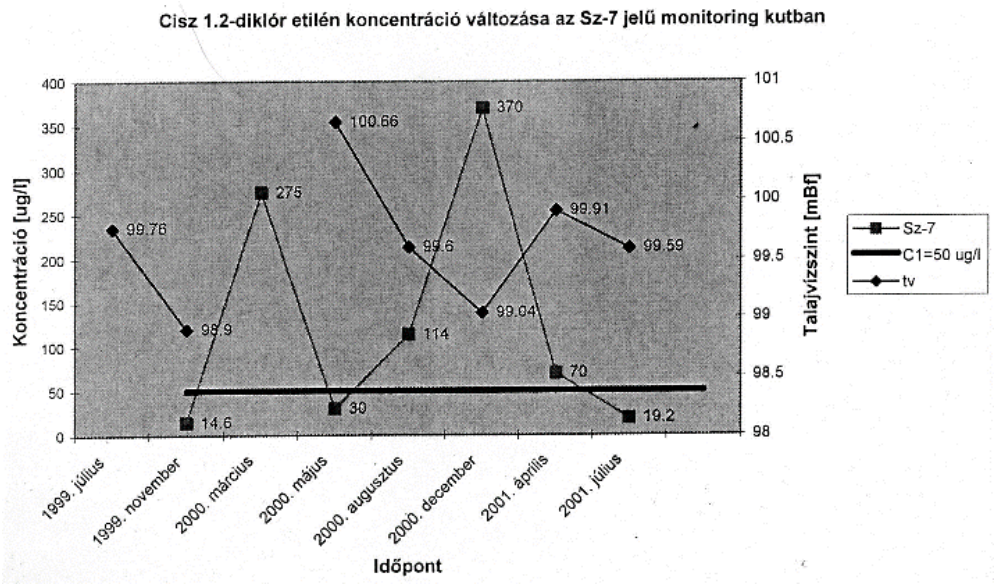
A folyamat pontosabb feltárása nagyobb gyakoriságú egyidejű vízszintméréssel optimalizálható, de ennek költségigénye jelen Projekt esetében nem tette ezt lehetővé.



20. ábra: Talajvízszint a Duna nagy vízszint idején (mBf) a vizsgált területen (2012. március), VITUKI 2012 adatai alapján szerkesztve

Feltételezhető, hogy az időben eltérő hidraulikai helyzetek a szennyeződés mozgását is befolyásolják, a hosszabb, Duna-rátáplálással jellemezhető időszakok alatt a szennyezés a „szokásos” iránytól eltérő irányba mozdul, illetve hígul, a beáramló Duna víz hatására.

Korábbi vizsgálatok során az időben rapszodikusan változó (lecsökkenő) szennyezőanyag koncentrációkat a Duna rátáplálásával (magas vízállásával) hozták összefüggésbe (21. ábra).



21. ábra: magas vízállás és alacsony koncentrációk összefüggése (NATURAQUA, 2001)

Magas talajvízállásnál (magas Duna vízszint esetén) alacsony, (B) szennyezettségi határérték közeli koncentrációk adódtak. Alacsony talajvízállásnál viszont megfordult a tendencia és rendkívül magas koncentráció eredmények adódtak.

A Duna hígító hatása a szennyezőanyag koncentrációkra feltételezhető magas vízállás idején. A magas vízszint átmossa a telítetlen zóna alsó rétegeit, beoldhatja a pórusokban gázfázisban, vagy reziduálisan lévő szennyezőanyagot, további utánpótlást biztosítva. A pontos folyamat nem feltárt, de ez magyarázhatja a később jelentkező magasabb értékeket.

Ennek látszólag ellentmondó észlelés került rögzítésre a Regionális Déli Vízbázis védőterület meghatározása során (GEOHIDROTERV, 1999): 1999 októberében tartós alacsony Duna vízállást követően mértek alacsony koncentrációkat.

Magyarázatként a fedőrétegben csapdázódott reziduális DNAPL forrást valószínűsítettek, mely csak magas Duna vízállás mellett tud nagyobb koncentrációban talajvíz szennyezést okozni, alacsony vízállás esetén azonban kevésbé oldódik bele a talajvízbe.

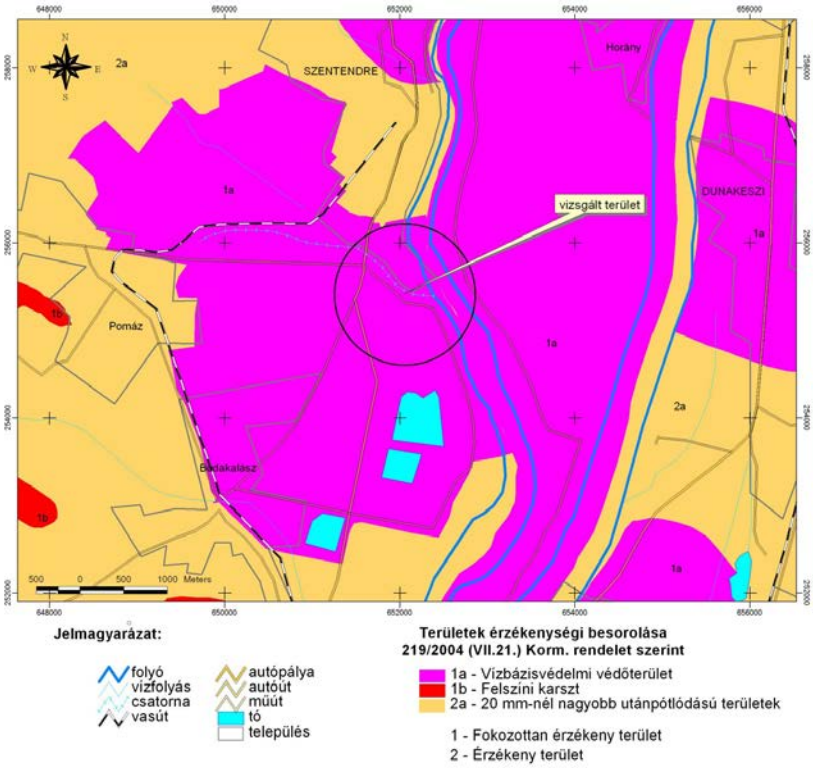
Megjegyezzük, hogy az ingadozásokban a csapadék eloszlása, időszakos beszivárgás is szerepet játszhat: a tavaszi, csapadékos időszak átmossa a telítetlen zónát, mellyel további szennyezőanyag utánpótlást okozhat. Az sem mindegy, melyik kutat vizsgáljuk, mert a forrástól távolabb lévő kút időeltolódással jelezheti a beoldódási maximumot, a néhány hónapon belüli magas koncentrációingadozás viszont tény.

A folyamat pontosabb leírására gyakoribb koncentráció mérésekre lenne szükség összehasonlítva a csapadékos időszakokkal.

Kis léptékű, de időben egyenletes „hígító” hatást fejthet ki a Dera-patak: függőmedrében folyva az év nagyrészében felülről táplál rá a vízadó rétegre. Kivételt képezhetnek a magas Duna-vízállással jellemezhető időszakok. Az Ipari Park és a volt szovjet laktanya környezetében a Dera-patak vízadóra történő rátáplálásának mértékét tudomásunk szerint a múltban nem vizsgálták.

2.4.3. A terület érzékenységi besorolása

A felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII.21.) Korm. rendelet 7. §–a és a 2. számú melléklete alapján a terület felszín alatti víz állapota szempontjából fokozottan érzékeny terület (22. ábra).



22. ábra: a terület érzékenységi térképe (VITUKI, 2012)

2.5. A kármentesítési mennyiségi kockázatfelmérés eredményei

Környezeti kockázatfelmérés

A Projekt keretében készült, *Szentendre Regionális Déli Vízbázis megóvásával összefüggő egyes kormányzati intézkedések végrehajtása, Környezeti Kockázatbecslés* (VIZITERV Environ, 2018) c. dokumentáció főbb megállapításait az alábbiakban foglaljuk össze.

A környezeti kockázatbecslés során több szcenárióban vizsgálták a forrásterületeken megengedhető maximális koncentráció értékeket.

Az 1. szcenárióban a Regionális Déli Vízbázis legközelebbi, RD-1 jelű kútját definiálták receptorként. Feltételezett forrásterületként a legszennyezetteb talajvíz minták által kijelölt, az ÉMI területére eső térrészt adták meg.

A vizsgálat szerint a receptornál jelentkező 0,5 µg/l oldott VC koncentráció eléréséhez a forrászóna oldott PCE koncentrációját 260,5 µg/l értékre kell csökkenteni, amely megfelel 206,5 µg/l TCE, 152,3 µg/l DCE és 98,2 µg/l VC értéknek.

A 2. szcenárióban a Duna feltételezett iparterületi forrásterülethez legközelebb eső szakaszát tekintették receptornak. A vizsgálat során az ökotoxikológiai szempontból megengedhető 51 µg/l oldott PCE koncentráció elérését tűztük ki célul a receptornál, a számítások szerint e

koncentráció eléréséhez a forrászóna oldott PCE koncentrációját 242 µg/l értékre kell csökkenteni.

Az 3. szcenárióban a Regionális Déli Vízbázis legközelebbi, RD-1 jelű kútját definiálták receptorként. Forrásterületnek a Dera-pataktól délre, a volt szovjet laktanya területének A15 jelű mintavételi furat és a Régi Déli kutak közötti zónáját tekintették.

A vizsgálat eredménye szerint a receptornál jelentkező 0,5 µg/l oldott VC koncentráció eléréséhez a forrászóna oldott PCE koncentrációját 45,0 µg/l értékre kell csökkenteni, amely megfelel 35,6 µg/l TCE, 26,3 µg/l DCE és 17,0 µg/l VC értéknek.

A környezeti kockázatelemzés során a szennyezőanyag terjedési modellje mellett több szcenárió felállítására került sor.

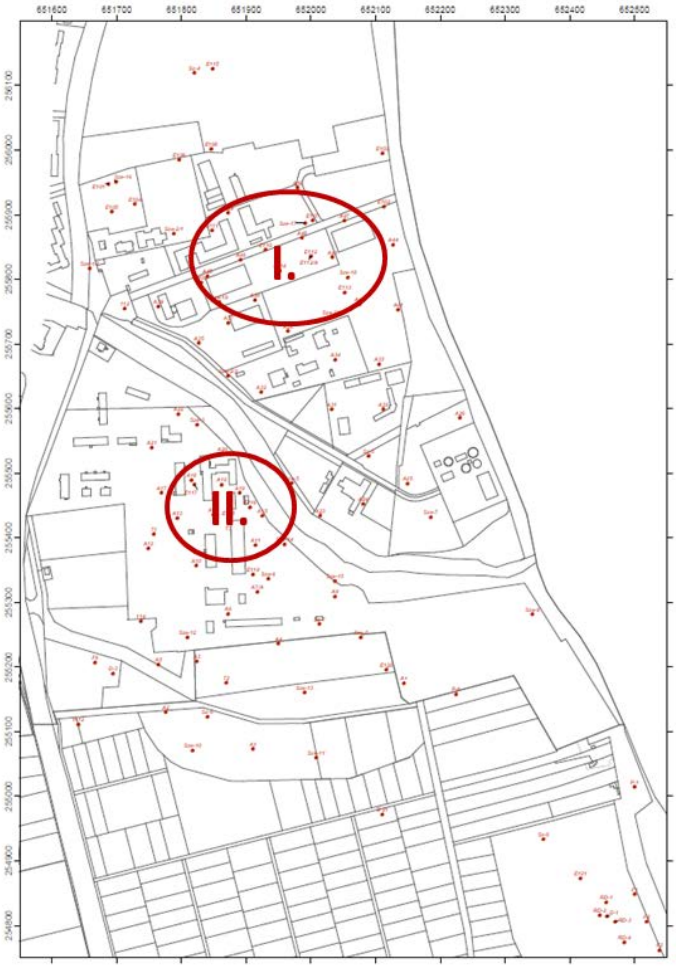
Külön vizsgálták a szennyezőanyag bomlásának függvényében a felszíni-, valamint a felszín alatti víz kitettségét, illetve meghatározták a szennyező góc területén környezeti szempontból még elviselhető szennyezettség mértékét.

Humánegészségügyi kockázatbecslés

A vizsgálati eredmények alapján – a feltárt szennyező anyagnak, illetve a szennyezettség mértékének függvényében – két részterület határozható meg (23. ábra).

Az első két részterületen elsősorban az elsődleges PCE és TCE szennyezőanyagok, míg a harmadik részterületen elsősorban a bomlástermékek (DCE és VC) mutatható ki.

1) ÉMT területe (I.)
2) Dera-pataktól D-re a volt szovjet laktanya területén található másodlagos gócpont. (II.)



23. ábra: részterületek

<u>A kockázatfelmérés módszere</u>

A kockázatfelmérést a Környezetvédelmi Minisztérium által készíttetett ”Szennyezett területek részletes mennyiségi kockázatfelmérése ” kármentesítési kézikönyv [1] és ”A mennyiségi kockázatfelmérés módszertana” útmutató [2] alapján végezték. Szem előtt tartottuk azt az elvet, hogy a szennyezettség ne tevődjön át az egyik szennyezett közegről másik környezeti elemre és a szennyező forrás ne szennyezze el a még szennyezetlen környezeti közeget.

A számításokat a Megbízó által rendelkezésre bocsátott dokumentációból vett adatokkal végezték. A kockázat számításhoz a szennyezettségi adatokat tömöríteni kellett. A szennyező anyagok koncentrációiból az átlagokon kívül kiszámították az átlag értékek 95%-os megbízhatósági felső határát (UCL) az alábbiak szerint:

$$\mathbf{UCL = x + t\,(s/\sqrt{n})}$$

ahol
UCL az átlag 95%-os megbízhatósági felső határa
x átlag
s szórás

t Student próba t 95% UCL értéke
n mintaszám

Az expozíció (kitettség) számítása

A szennyező forrást, az expozíciós útvonalakat, a hatásviselő receptorokat a Megbízóval egyeztetve, a helyi viszonyok ismeretében, és kiemelten az iparterület továbbiakban is gazdasági-ipari célú használatának figyelembe vételével fogalmaztuk meg. Az expozíció koncepcionális feltérképezését mutatja a 18. táblázat.

jelenlegi és jövőbeni területhasználat	**szennyezett közeg**	**hatásviselő receptor**	**domináns kitettség**	**expozíciós idő (év)**
Laktanya területén lévő épületekben folyó ipari tevékenység	talajvíz	helyi munkavállalók	a talajvízből kipárolgó illékony szennyező anyagok belélegzése beltérben és kültérben	25 év 250 nap/év
Laktanya területén folytatott rekreációs tevékenység	talajvíz	rekreációs tevékenységet folytató hatásviselő receptorok	a talajvízből kipárolgó illékony szennyező anyagok belélegzése beltérben és kültérben	30 év 350 nap/év
ÉMI ipari park területén lévő épületekben folyó ipari tevékenység	talajvíz	helyi munkavállalók	a talajvízből kipárolgó illékony szennyező anyagok belélegzése beltérben és kültérben	25 év 250 nap/év
az ÉMI ipari park területén szabadban végzett mélyépítési, tevékenység, talajvízkivételt is feltételezhető műszaki beavatkozás	talajvíz	talajvízzel is érintkező munkavállalók (kármentesítést végzők)	a talajvízből kipárolgó illékony szennyező anyagok belélegzése beltérben és kültérben, a talajvízzel való érintkezés	2 év 250 nap /év

18. táblázat: az élet-szerű expozíciós forgatókönyv elemei

Az ipari területen tartózkodó munkavállalók kitettsége reálisan a felszín alatti vízből kipárolgó illékony anyagok belélegzésével jöhet létre. Az illékony szennyező anyagok a szennyezett talajvízből az épületek alapzatainak mikrorepedésein át bejuthatnak a légtérbe, ott bizonyos mértékig fel is halmozódhatnak. A helyben dolgozóknál a beltéri és a kültéri levegő belélegzésével egyaránt számoltak.

Feltételezték, hogy a szennyezettséggel kapcsolatos műszaki beavatkozásban, kármentesítésben, a monitoring kutak üzemeltetésben, karbantartásában résztvevő munkavállalók érintkeznek a szennyezett felszín alatti vízzel. Úgy számoltak, hogy a 2 éven át a szennyezettséggel kapcsolatos munkával foglalkozó dolgozónak érintkezik a keze a szennyezett felszín alatti vízzel, mialatt a bőrön keresztül a szennyező anyag felszívódás bekövetkezhet.

A modell-vizsgálatokat a RISC5 számítógépes programmal (RISC WorkBench. Waterloo Hydrogeologic, 2011) végezték.

Eredmények

A talajvíz szennyezők (B) szennyezettségi határértéket meghaladó komponenseinek maximális koncentrációival elvégezett kockázatfelmérés eredményeit táblázatokban foglaljuk össze. A bemutatott egészségkockázati értékek megjelenítik mind az egyes szennyező anyagok expozíciójából eredő kockázatokat, mind az összegezett kockázatokat.
A rész-eredmények mutatják

- egyrészt a hatásviselő receptorokra számolt többlet daganatkockázatot valamint az emberi szervezetet szisztémásan érintő lehetséges egészségkárosodásra utaló kockázati hányadosokat;
- másrészt a különböző expozíciós út eredőjeként számolt kockázatot (pl. a felszín alatti vízzel való érintkezés és a felszín alatti vizekből kipárolgó illékony anyagok belélegzése).

Az egykori laktanya területen tartózkodókra számolt kockázati értékek

szennyező anyag	levegő belélegzése		összesen
	beltéri	kültéri	
1,2cis-DCE	ND	ND	ND
TeCE	1,6E-10	2,2E-14	1,6E-10
TCE	5,2E-11	7,3E-15	5,2E-11
VC	5,5E-07	7,4E-11	5,5E-07
összesen	5,5E-07	7,4E-11	5,5E-07
Tolerábilis	$< 1,10^{-5}$		

19. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációi okozta többlet daganat kockázat a volt laktanya területén tartózkodó munkavállalókra nézve

szennyező anyag	levegő belélegzése		összesen
	beltéri	kültéri	
1,2cis-DCE	ND	ND	ND
TeCE	0,0E+00	7,5E-14	7,5E-14
TCE	0,0E+00	2,4E-14	2,4E-14
VC	0,0E+00	2,5E-10	2,5E-10
összesen	0,0E+00	2,5E-10	2,5E-10
Tolerábilis	$< 1,0^{-6}$		

20. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációi okozta többlet daganat kockázat a volt laktanya területén rekreációs célból tartózkodókra nézve

szennyező anyag	levegő belélegzése		összesen
	beltéri	kültéri	
1,2cis-DCE	ND	ND	ND
TeCE	4,3E-05	6,0E-09	4,3E-05
TCE	1,4E-05	2,0E-09	1,4E-05
VC	3,4E-03	4,7E-07	3,4E-03
összesen	3,5E-03	4,7E-07	3,5E-03
Tolerábilis	< 1,0		

21. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációiból számított kockázati hányadosok a volt laktanya területén dolgozókra nézve

szennyező anyag	levegő belélegzése		összesen
	beltéri	kültéri	
1,2cis-DCE	ND	ND	ND
TeCE	0,0E+00	1,7E-08	1,7E-08
TCE	0,0E+00	5,7E-09	5,7E-09
VC	0,0E+00	1,3E-06	1,3E-06
összesen	0,0E+00	1,3E-06	1,3E-06
Tolerábilis	< 1,0		

22. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációiból számított kockázati hányadosok a volt laktanya területén rekreációs célból tartózkodókra nézve

A táblázatok azt mutatják, hogy az modellezett expozíciós viszonyok között a szennyezett talajvízzel való érintkezés minimális jellege miatt a számított kockázat a megengedhető tartományon belüli.

Az ipari területen dolgozó helyi munkavállalók és műszaki beavatkozást végző (feltételezetten talajvízzel is érintkező) dolgozók becsült egészségkockázata

szennyező anyag	levegő belélegzése		összesen
	beltéri	kültéri	
1,2cis-DCE	ND	ND	ND
TeCE	6,9E-07	9,6E-11	6,9E-07
TCE	1,1E-07	1,5E-11	1,1E-07
VC	8,2E-07	1,1E-10	8,2E-07
összesen	1,6E-06	2,2E-10	1,6E-06
Tolerábilis	$< 1,0^{-5}$		

23. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációi okozta többlet daganat kockázat a az ÉMI ipari park területén dolgozó munkavállalókra nézve

szennyező anyag	talajvíz		levegő belélegzése		összesen
	bőrrel érintkezés	permet belélegzés	beltéri	kültéri	
1,2cis-DCE	ND	ND	ND	ND	ND
TeCE	4,6E-07	4,9E-09	0,0E+00	5,1E-11	4,7E-07
TCE	7,0E-06	1,3E-09	0,0E+00	7,9E-12	7,0E-06
VC	8,1E-07	4,0E-09	0,0E+00	5,9E-11	8,2E-07
összesen	8,3E-06	1,0E-08	0,0E+00	1,2E-10	8,3E-06
Tolerábilis	$< 1,10^{-5}$				

24. táblázat: a talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációi okozta többlet daganat kockázat az ÉMI ipari park területén kármentesítési tevékenységet folytató munkavállalókra nézve

szennyező anyag	levegő belélegzése		összesen
	beltéri	kültéri	
1,2cis-DCE	ND	ND	ND
TeCE	1,8E-01	2,6E-05	1,8E-01
TCE	2,9E-02	4,1E-06	2,9E-02
VC	5,2E-03	7,0E-07	5,2E-03
összesen	2,2E-01	3,0E-05	2,2E-01
Tolerábilis	< 1,0		

25. táblázat: A talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációiból számított kockázati hányadosok az ÉMI ipari park területén dolgozó munkavállalókra nézve

szennyező anyag	talajvíz		levegő belélegzése		összesen
	bőrrel érintkezés	permet belélegzés	beltéri	kültéri	
1,2cis-DCE	2,9E-01	ND	ND	ND	2,9E-01
TeCE	**1,3E+00**	1,7E-02	0,0E+00	1,7E-04	**1,3E+00**
TCE	**1,1E+01**	4,5E-03	0,0E+00	2,8E-05	**1,1E+01**
VC	1,3E-02	3,2E-04	0,0E+00	4,7E-06	1,4E-02
összesen	**1,2E+01**	2,1E-02	0,0E+00	2,1E-04	**1,2E+01**
Tolerábilis	< 1,0				

26. táblázat: A talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációiból számított kockázati hányadosok az ÉMI ipari park területén kármentesítési tevékenységet folytató munkavállalókra nézve

A talajvíz szennyezőinek maximális koncentrációiból számított kockázat kizárólag az ÉMI ipari park területén kármentesítési tevékenységet folytató munkavállalókra nézve jelent veszélyeztetettséget a bőr talajvízzel való közvetlen érintkezését feltételezve.

<u>(D) kármentesítési célállapot határérték</u>

A feltárások alapján megismert szennyezőanyag eloszlás, a vízbázis biztonságba helyezése és az elérhető legjobb technológia alapján a reálisan elérhető tisztítási lehetőségek figyelembe vételével részterületenként szükséges új (D) kármentesítési határértéket javasolni.

Ennek indokát abban látjuk, hogy:

(1) a korábban felszín alatti vízre megállapított (D) kármentesítési célállapot határérték számításánál elsősorban a volt szovjet laktanyával számoltak,
(2) jelen Projekt 2018 évi vizsgálatai kimutatták, hogy a felszín alatti víz szennyezettségének elsődleges forrása jelenleg is feltehetően az ÉMI területén, a Dera-pataktól északra helyezkedik el.

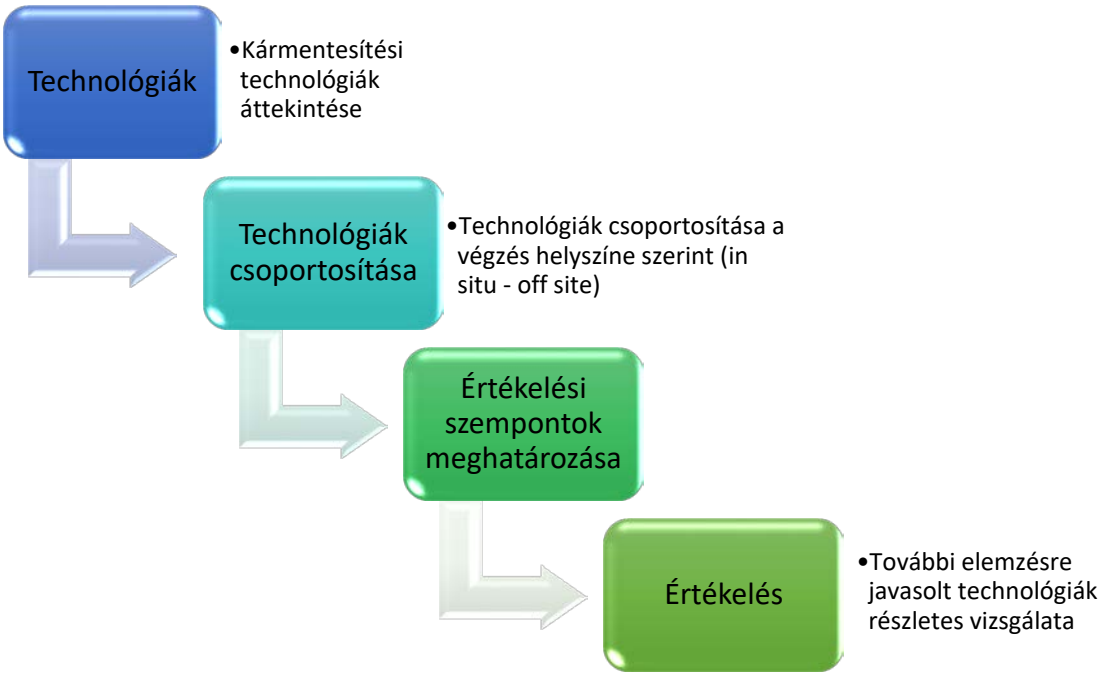
A (D) kármentesítési célállapot határérték a 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet alapján hatósági határozatban előírt koncentráció, amit a kármentesítés eredményeként kell elérni az emberi egészség és az ökoszisztéma, illetve a környezeti elemek károsodásának megelőzése érdekében.

Meghatározása a kármentesítési eljárás keretében végzett komplex értékelésen, a szennyező anyagnak a környezeti elemek közötti megoszlására, viselkedésére, terjedésére vonatkozó méréseken, modellszámításokon, kármentesítési mennyiségi kockázatfelmérésen alapul a területhasználat figyelembevételével.

2.6. A megvizsgált beavatkozási javaslatok rövid bemutatása

A beavatkozási lehetőségek vizsgálata során legfontosabb szempontként azt vettük figyelembe, hogy a megvalósítandó műszaki beavatkozást úgy kell majd kiválasztani és megtervezni, hogy hosszú távon is megszűnjön a vízbázis veszélyeztetése.

A technológiák vizsgálatát a 24. ábra szerint végeztük el.



24. ábra Technológiák vizsgálatának elve

Az eljárások széles köréből csak azokat az eljárásokat választottuk ki, amelyekkel a tapasztalatok szerint hatékonyan kezelhetők a vizsgált területen feltárt szennyező anyagok és bomlástermékeik.

A további elemzésre nem javasolt értékelés szempontrendszerét a 25. ábra mutatja.

25. ábra további elemzésre nem javasolt technológiák értékelési szempontjai

Kármentesítési technológia	**Technológia rövid bemutatása**	**További elemzésre javasolt?**
Termikus kezelés (ex situ)	Pirolízis, termikus deszorpció, égetés, stb.	Kizárva
Elektromos fűtés (in situ)	A telepített elektródák között folyó áram az ellenállás miatt hőt fejleszt, mely a kívánt térrészt felfűti	Javasolt
Rádiófrekvenciás fűtés (in situ)	Elektromágneses hullámok melegítik fel a kezelni kívánt talajt	Javasolt
Fórró víz besajtolása	A melegvíz befecskendezése az injektáló kutakon keresztül melegíti a talajt és a talajvizet, és mobilizálja a szennyezőanyagokat	Kizárva
Vízzáró függönyfal	Impermeábilis gát elhelyezése a szennyezettségi csóva körül. A fal anyaga általában bentonit vagy cement-bentonit zagy, amely akadályozza a víz áramlását.	Kizárva
Permeábilis passzív függönyfal (Permeable Passive Barrier) adszorptív töltettel	Adszorbens töltetű fal kiépítése a felszín alatti víz áramlási irányára merőlegesen. A szennyező vegyületek adszorbeálódnak a permeábilis falon	Javasolt
Permeábilis reaktív függönyfal (Permeable Reactive Barrier) elemi vas töltettel	Talajvízáramlás irányában kialakított, a klórozott szerves vegyületeket veszélytelen vegyületekké redukáló elemi vas töltettel ellátott résfal.	Javasolt

Kármentesítési technológia	Technológia rövid bemutatása	További elemzésre javasolt?
Egyéb permeábilis reaktív falak	In situ, záró fal kiegészítése falba besüllyesztett tokozatba töltet helyezésével, pl. vas mangánoxid, a töltet végzi a szennyezőanyag ártalmatlanítását	Javasolt
Talajvíz kitermelés	Szennyezett talajvíz kitermelése	Javasolt
Talajszellőztetés vákuum kutakkal	In situ, illékony gázfázisú szennyezők eltávolítására, vákuum kutakkal	Kizárva
Air sparging (AS)	Az illékony szennyezőanyagok eltávolítása a felszín alá injektált levegő segítségével.	Kizárva
Kúton belüli sztrippelés (In-well stripping)	In situ kármentesítési eljárás, melynek során a speciálisan kiképzett kútba levegőt sajtolnak. A kút környezetében a vízben oldott illékony szerves vegyületek átlépnek gáz halmazállapotba. A vízfázisból kilépő gázok elvezethetők, kezelhetők.	Kizárva
Sztrippelés (ex situ)	Töltetes toronyban, diffúz vagy tálcás levegőztetőkkel, permetezéssel	Javasolt
Talajmosás (ex situ)	Ex situ, a talajt vizes alapú rendszerben elkülönítik, mivel a szennyező anyagok legnagyobb része ott található, a mosóvízhez lúgos adalékot, felületaktív anyagot, pH-módosító anyagot vagy kelátképzőt adhatnak, hidrociklonokban történik a mosás	Kizárva
Adszorpció (ex situ)	Ex situ, felszín alatti víz kezelésére, adszorbensek: aktív szén, aktivált alumínium-oxid, cellulóz szivacs, lignin, agyagásványok, szintetikus gyanták, stb.	Javasolt
In situ kémiai oxidáció (ISCO)	A szennyezett felszín alatti vízbe juttatott oxidálószer roncsolja a kezelt térrészben lévő szennyezőanyagokat.	Javasolt
In situ kémiai oxidáció (ISCO) gázfázisú oxidálószer besajtolásával	Ózon/levegő gázkeverék injektálása a felszín alá. A gázként bejuttatott ózon felfelé migrál, a telített zónában kémiai oxidációt okozva („ózon sparging”).	Javasolt
In situ kémiai redukció (ISCR) elemi vassal (ZVI)	Elemi vasat juttatnak a felszín alá, mely lebontja vagy megköti a szennyezőanyagokat, amint a felszín alatti víz átáramlik a reaktív zónán.	Javasolt
Intenzifikált bioremediáció - biostimuláció	A természetes biodegradáció fokozása a mikrobiális tevékenységet stimuláló anyagok bejuttatásával.	Javasolt
Intenzifikált bioremediáció - bioaugmentáció	A szennyezőanyag bontására képes mikrobiális közösséggel történő beoltás	Javasolt
Talajműveléses kezelés, landfarming	A szennyezett talajt felszántják a biológiai lebontás előtt	Kizárva
Bioventing ("bioszellőztetés")	Telítetlen zónában levegőmozgást idéznek elő, szívással, vagy fújással, ezáltal megnövekszik az oxigénkoncentráció és gyorsul a biodegradáció.	Kizárva
Bioreaktorok	Ex situ, felszín alatti vizet mikroorganizmusokkal hozzák érintkezésbe bioreaktorban, aerob körülmények között	Javasolt
Biosparging	A szennyezőanyagok lebontására képes mikrobiális tevékenység serkentése levegő/oxigén injektálásával a felszín alatti vízben	Javasolt
Biológiai mentesítés az oxigénkoncentráció növelésével	A szennyezőanyagok lebontására képes mikrobiális tevékenység serkentése H_2O_2 vagy egyéb ORC (Oxigen release compound=oxigént kibocsátó vegyület) alkalmazása révén	Javasolt

Kármentesítési technológia	Technológia rövid bemutatása	További elemzésre javasolt?
Ellenőrzött természetes koncentrációcsökkenés (MNA)	Az MNA a környezetben lejátszódó természetes kémiai, fizikai és biológiai folyamatokat használja fel a talajban vagy a talajvízben található szennyezettség mentesítéséhez.	Kizárva
Fitoremediáció	Kármentesítés vagy a szennyezettség lokalizálása növények révén (rizoszféra degradáció, hidraulikai kontroll, fitodegradáció, fitovolatilizáció, stb.)	Kizárva
UV-oxidáció	Ex situ módszer, az UV sugárzás a vízben található szerves szennyezőket szétroncsolja	Javasolt
Co-metabolizmus	A szennyezett talajvízbe metán, toluol hígított oldatát és oxigént injektálnak, amely elősegíti a szerves szennyezők lebontását.	Javasolt

27. táblázat: javasolt/kizárt műszaki megoldások

2.7. A költség-haszon és a költség-hatékonyság elemzés eredménye

A tervezett beavatkozás társadalmi hasznossága a költség-haszon elemzés eredményei alapján is egyértelműen igazolható.

<u>Az alkalmazott módszertan</u>

- A költség-haszon elemzés (CBA) reál értéken, az inflációs torzulások kizárásával készült, tehát a költségeket és hasznokat 2018. évi változatlan reál árakon értékeljük.
- A gazdasági számítások során alkalmazott költség adatokat a műszaki beavatkozás tervezése során előállított műszaki költségbecsléseknek, ill. tervezett ütemezésnek megfelelően vettük figyelembe.
- A vizsgált időtáv 5 év, 2019-2023.
- A tervezett beavatkozás jellegéből adódóan maradványértékkel nem számoltunk, mivel a beruházás során aktíválandó tárgyi eszköz nem keletkezik.
- A beruházás közvetlen pénzügyi bevételt nem generál, a társadalmi hasznok becslésénél az elkerült költségek módszerét alkalmaztuk a hasznok monetarizálásához.
- A CBA-ban alkalmazott Diszkontált Cash-flow (DCF) módszernek megfelelően, meghatároztuk a különböző években jelentkező költség-, ill. haszontételek jelenértékét. Az alkalmazott reál diszkont ráta 5%.
- Kiszámított mutatók:
    - Nettó jelenérték (NPV)
    - Belső megtérülési ráta (IRR)
    - Haszon-költség arány (BCR)

Költségek

A tervezett műszaki beavatkozás becsült költségeit, a műszaki költségbecslésnek megfelelően mutatja be az alábbi táblázat:

Feladat megnevezése	Nettó költség, eFt	27% ÁFA, eFt	Bruttó költség, eFt
1. Kivitelezés előkészítése	60 000	16 200	76 200
2. Injektáló kutak létesítése	102 070	27 559	129 628
3. Első injektálás	1 190 222	321 360	1 511 582
4. Második injektálás	1 190 222	321 360	1 511 582
5. Harmadik injektálás	892 667	241 020	1 133 687
6. Utókezelés	562 378	151 842	714 221
7. Beavatkozás monitoring vizsgálatai	30 000	8 100	38 100
Összesen	**4 027 559**	**1 087 441**	**5 115 000**

28. táblázat: A tervezett beavatkozás becsült költségei

A kivitelezés előkészítésének költsége tartalmazza a burkolt felületek bontását, mikrokozmosz kísérletek költségét, talajlevegő mintavétel és analitika, valamint a felszín alatti víz mintavételezés és analitika költségét, a geoelektromos szondázást, CMT kutak létesítését és az 1 hónapos próbaszivattyúzást.

Az injektáló kutak létesítése költségtétel tartalmazza a részfeladattal kapcsolatban felmerülő összes költséget, beleértve a talaj és felszín alatti vízmintavételezés és analitika költségét is.

A három körben végzendő injektálások költségét elsősorban anyagköltség teszi ki, a költségtételek tartalmazzák az nZVI szuszpenzió elkészítését, injektálását, valamint a mikrobiológiai segédanyag szuszpenzió elkészítésének és injektálásának költségét is.

Az utókezelés költségtétel fedezi a majdani mérési eredmények szerinti arányban szükséges feladatok, így az ISCO reagensek injektálását, valamint a Pump and treat infrastruktúra potenciális költségeit.

A monitoring költségek tartalmazzák a szükséges redox potenciál mérések, valamint a felszín alatti víz mintavételezés és analitikai vizsgálatok költségét.

A későbbi fejezetek tartalmazzák a beavatkozás egyes lépéseinek részletes műszaki leírását.

A tervezett beavatkozás kivitelezője közbeszerzési eljárás keretében kerül majd kiválasztásra, feladata a beavatkozás teljes körű végrehajtása lesz.

A költségek idősorának felállítása a beavatkozás, ill. a technológia műszaki jellemzői alapján történt. Egy-egy évvel számoltunk a kivitelezés előkészítésére és az injektáló kutak létesítésére. A három kör injektálás az utókezeléssel együtt 3 évet vesz igénybe. Az injektálás, ill. utókezelés során folyamatos feladat a monitoring vizsgálatok végzése, így ezen költségtétel egyenletes eloszlását feltételeztük a három év alatt.

Az így felállított idősor alapján a költségek jelenértéke 4 232 141 eFt.

Hasznok

A beavatkozás közvetlen pénzügyi bevételt nem generál, ugyanakkor társadalmi hasznossága mégis nyilvánvaló, hiszen 120 ezer ember ivóvízellátását biztosító vízbázis megóvásáról van szó.

A környezeti erőforrások értékének becsléséhez számos közgazdasági módszer áll rendelkezésre (kinyilvánított, ill. feltárt preferencia módszerek, hedonikus ármódszer stb.), melyek közül leginkább elfogadottak és a gyakorlatban is kivitelezhetőek a költség-alapú értékelési módszerek.

Jelen beavatkozás esetében az „elkerült költségek" módszerét alkalmazzuk, melynek lényege, hogy a beavatkozás kvázi hasznának tekintjük azokat a költségeket, amelyek a beavatkozás elmaradása esetén felmerülnének.

A tényfeltáró vizsgálatok tanúsága szerint, a beavatkozás nélkül a szennyezés már 5 év múlva elérné a víztermelő kutakat és szükségessé válna, hogy a mintegy 120 ezer fő vízellátását biztosító infrastruktúrát egy teljesen új vízbázisra átállítani. Ennek költsége nagyságrendileg 9 Mrd Ft-ra becsülhető hasonló szituációk és projektek költségei alapján. Nagyon fontos hangsúlyozni, hogy ez a **9 Mrd Ft kizárólag az elkerült költségek, vagyis a kvázi hasznok alsó becslésének tekinthető!**

Az ivóvízellátás biztosításán kívül a vízbázis számos egyéb alapvető gazdasági és társadalmi tevékenység alapját is jelenti, a környezeti erőforrások teljes gazdasági értékének összetevői közül, ez a 9 Mrd Ft csak a közvetlen használattal összefüggő értékelem egy részét reprezentálja.

Költségek és hasznok összevetése, következtetések

A fentiek alapján felállítottuk a becsült költségek, ill. a számszerűsített haszonok idősorát, mely alapján kiszámítottuk a költségek és hasznok jelenértékét és meghatároztuk a CBA fő mutatószámait. A számítást az alábbi táblázatban mutatjuk be.

A beavatkozás társadalmi hasznosságát a CBA indikátorai is alátámasztják:

- A beavatkozás **nettó jelenértéke (NPV) pozitív**, értéke meghaladja a **2,8 Mrd** Ft-ot. Figyelembe véve, hogy a hasznokra vonatkozóan jelen számítás során egy alsó becslést alkalmaztunk, megállapíthatjuk, hogy **a beavatkozás haszna legalább 2,8 Mrd Ft-tal magasabb a költségeinél.**
- A **belső megtérülési ráta (IRR) 55%,** ami nagyságrendileg magasabb az alkalmazott 5%-os diszkontrátánál, vagyis nagyságrendileg jobban megéri erre a beavatkozásra költeni a pénzt, mint bankba tenni.
- A **haszon-költség arány (BCR) értéke 1,67**, tehát 1-nél nagyobb, ami azt jelenti, hogy a beavatkozás hasznai jóval meghaladják költségeit.

adatok eFt-ban

Megnevezés	Jelenérték	2019	2020	2021	2022	2023	Összesen
Becsült költségek	4 232 141	76 200	129 628	1 636 391	1 636 391	1 636 391	5 115 000
Számszerűsített hasznok	7 051 735	0	0	0	0	9 000 000	9 000 000
Nettó jelenérték (NPV)	**2 819 594**	-76 200	-129 628	-1 636 391	-1 636 391	7 363 609	3 885 000
Belső megtérülési ráta (IRR)	**55%**						
Haszon-költség arány (BCR)	**1,67**						

29. táblázat: a becsült költségek és számszerűsített hasznok idősora és a CBA fő mutatószámai

3. A beavatkozás koncepciója

3.1. A károsodott terület adottságainak és a szennyező anyag tulajdonságainak elemzése során vizsgált kármentesítési technológiák rövid ismertetése

A további vizsgálatra javasolt beavatkozási módszereket (27. táblázat), melyek a vizsgált terület és a szennyezőanyagok tulajdonságait figyelembe véve alkalmas kármentesítési technológiák lehetnek, az alábbiakban mutatjuk be.

Elektromos fűtés

Elektródák elhelyezésével (gyakran 6 db elektródát helyeznek el) a szennyezett talajtér fűthető. Az elektródákat a viszonylag kis áteresztőképességű talajokba helyezik, ezzel elősegítve a víz és a szennyezőanyag elpárolgását, s a kiszárított talajban repedések képződését. Ezek után a közeg légáteresztő képessége megnő, lehetővé téve a talajgáz-kitermelés hatékony alkalmazását.

Rádiófrekvenciás fűtés

Egy antenna kerül be a szennyezett talajba, és rádióhullámokat sugároz, ami a talajt szükség esetén 100 ° C-ot meghaladó hőmérsékletre melegíti. Ez okozza a szennyező anyagok elpárolgását, lehetővé téve a hatékonyabb extrakciót és a rövidebb kezelési idő elérését.

Permeábilis passzív függönyfal (Permeable Passive Barrier) adszorptív töltettel

A szennyezett felszín alatti víz tisztítása in situ történik, adszorbensek felhasználásával, például aktív szén, zeolitok, stb. A leggyakoribb adszorbens az aktív szén. A szennyezőanyag molekulái a szén mikropórusainak felületén adszorbeálódnak elsősorban fizikai folyamatok révén, mint a van der Waals erők. A szén felszínén folyamatos, dinamikus adszorpció-deszorpció zajlik, a szennyező molekula minél jobban „kedveli” a szenet, annál nagyobb a szén mikroszerkezetében csapdázott szennyezőanyag aránya. A technológia során a bejuttatott adszorbensek a kezelt térrészben egy reaktív zónát alkotnak, az áramló felszín alatti víz folyamatosan kapcsolatba kerül a reaktív zónával, mely a szennyezőanyagot adszorbeálja. Kombinálható más, kémiai jellegű reaktív in situ technológiákkal (ISCO, ISCR).

Permeábilis reaktív függönyfal (Permeable Reactive Barrier) elemi vas töltettel

Célja a szennyezett felszín alatti víz csóva „elfogása” és kezelése. Az technológia permeábilis vagy impermeábilis fal telepítése alvízi irányban, merőlegesen a csóva terjedésének irányára. Permeábilis fal esetén a tervezett rekakciók eliminálják a szennyezőanyagot, ahogy a szennyezett felszín alatti víz áthalad a fal teljes felületén. Az impermeábilis falak a reaktív kapuk felé irányítják a felszín alatti vizet, ahol a kívánt reakciók lejátszódnak. A falon áthaladó felszín alatti víz mozgása természetes, a területen jellemző gradiens szerint alakul. Keskeny csóva esetén a csóva teljes szélességében is érdemes permeábilis reaktív falat létesíteni, szélesebb csóva esetén megfontolandó impermeábilis falak létesítése reaktív kapukkal.

A technológia fejlesztésének kezdetén tipikusan árkokat illetve szádfal-reaktív kapu kombinációkat használtak, manapság reaktív falnak számít a műszaki megoldások ennél szélesebb halmaza, például egy besajtoló kútsor a csóvára merőlegesen.

Az egyik leggyakrabban alkalmazott töltet az elemi vas, mely elsősorban abiotikus redukcióval eliminálja a szennyezőanyagot.

Egyéb permeábilis reaktív falak

A permeábilis olyan műszaki beavatkozási technológia, melynek célja a szennyezett felszín alatti víz csóva „elfogása" és kezelése. Az technológia permeábilis vagy impermeábilis fal telepítése alvízi irányban, merőlegesen a csóva terjedésének irányára. Permeábilis fal esetén a tervezett reakciók eliminálják a szennyezőanyagot, ahogy a szennyezett felszín alatti víz áthalad a fal teljes felületén. Az impermeábilis falak a reaktív kapuk felé irányítják a felszín alatti vizet, ahol a kívánt reakciók lejátszódnak. A falon áthaladó felszín alatti víz mozgása természetes, a területen jellemző gradiens szerint alakul. Keskeny csóva esetén a csóva teljes szélességében is érdemes permeábilis reaktív falat létesíteni, szélesebb csóva esetén megfontolandó impermeábilis falak létesítése reaktív kapukkal.

A technológia fejlesztésének kezdetén tipikusan árkokat illetve szádfal-reaktív kapu kombinációkat használtak, manapság reaktív falnak számít a műszaki megoldások ennél szélesebb halmaza, például egy besajtoló kútsor a csóvára merőlegesen.

A módszer előnye, hogy a lejuttatott reagenseknek a talajvíz áramlás lassú sebessége miatt elég ideje áll rendelkezésre a szennyezőanyag eliminációjához.

Fizikai, kémai és biológiai módszerek is kivitelezhetők permeábilis reaktív falakkal.

Klórozott alifás szénhidrogének estén az alábbi csoportokba tartozó reakciók valósíthatók meg reaktív falként:

- air-sparging
- adszorpció
- redukció (kémiai)
- oxidáció (kémiai)
- anaerob biodegradáció

Szennyezett talajvíz kitermelése

Célja a szennyezőanyag kitermelése, vagy helyben tartása. Talajvíz kitermelés során a vízadó rétegből a szennyezett vizet kutakkal kitermelik, majd szükség szerint tisztítják, és/vagy befogadóba vezetik. Talajvíz szennyezése esetén ez az egyik leggyakrabban alkalmazott mentesítési technológia. Hatékony rendszer akkor üzemelhet, ha a terület alapos felmérése után a felszín alatti áramlási rendszer és a szennyezés terjedésének változása időben és térben ismert. Ezek a követelmények hidraulikai és transzport modellezéssel kielégíthetők.

A rendszer kiegészítő, de nem nélkülözhető részei a megfigyelő kutak, amelyek segítségével a folyamat ellenőrizhető. Nem várt fejlemények esetén a mentesítési technológia módosítható.

Air-sparging

Elsősorban VOC vegyületekkel szennyezett talajvíz és a telített zónában elhelyezkedő földtani közeg kármentesítésére használatos módszer.

A szennyező komponens eltávolítása érdekében a telített zónába levegőt injektálnak, az illékony szennyezőanyag kihajtására (ez tulajdonképpen in situ sztrippelésnek is tekinthető).

Mintegy „mellékhatásként" a levegő a telített és telítetlen talajzónák levegőztetésével aktiválja a talajmikroflórát, melynek biodegradációs hatásfoka így megnőhet. A telített zónából kihajtott kevéssé illékony szennyezőanyaggőzök a telítetlen zónában ismét kondenzálódhatnak, egyenletes eloszlásban lecsapódva a talajszemcsék felületén. Ezzel megnő a mikroorganizmusok általi hozzáférhetőségük is.

A szennyezőanyag mennyisége tehát összesen három mechanizmussal csökken:

- az oldott VOC-k in situ sztrippelése (gáz fázisba kerülése)
- a talajszemcséken adszorbeálódott, csapdázódott szennyezőanyag gáz fázisba kerülése
- az oldott és adszorbeálódott szennyezőanyag aerob biodegradációja

Sztrippelés

Felszín alatti víz ex-situ kezelése. A kitermelt talajvízben található illékony szennyező komponensek eltávolítása a levegővel való érintkezési felület megnövelésével történik. A levegőztetés tornyokkal, diffúz levegőztetéssel, tálcás levegőztetéssel vagy esőztető levegőztetéssel is megoldható. A szennyező a folyadék-fázisból (víz) gáz-fázisba megy át (levegő). A mentesítési technológiákban sztrippelő (levegőztető) tornyokat vagy levegőztető tartályokat használnak.

Általában a torony tetején fúvókákon keresztül lép be a víz, majd a gravitáció hatására keresztülhalad a töltőanyagon, miközben alulról ventilátor segítségével a víz áramlási irányával szembe levegőt áramoltatnak. A kezelt vizet a torony alján elhelyezkedő zsomp gyűjti össze.

Levegőztető tartály: a tartályba fúvókákon keresztül levegőt nyomnak. A belépő víz a légbuborékokkal keveredik. Terelőfalak és több berendezés egymás utáni alkalmazása biztosítja a szükséges tartózkodási időt. A berendezés előnye, hogy lényegesen kisebb, mint a sztrippelő torony (kb. 2 m magas, míg a sztrippelő torony kb. 5-12 m).

Adszorpció (ex situ)

A szennyezett felszín alatti víz tisztítása kitermelés után on site történik, adszorbensek felhasználásával, például aktív szén, aktivált alumínium-oxid, cellulóz, szivacs, lignin, agyagásványok, szintetikus gyanták, stb. Messze a leggyakoribb adszorbens az aktív szén. A szennyezőanyag molekulái a szén mikropórusainak felületén adszorbeálódnak elsősorban fizikai folyamatok révén, mint a van der Waals erők. A szén felszínén folyamatos, dinamikus adszorpció-deszorpció zajlik, a szennyező molekula minél jobban „kedveli" a szenet, annál nagyobb a szén mikroszerkezetében csapdázott szennyezőanyag aránya.

In situ kémiai oxidáció (ISCO)

A talajban és felszín alatti vízben lévő szennyezőanyagok csökkentése érdekében erős oxidálószert injektálnak a felszín alá, melynek hatására redoxreakció játszódik le, a szennyezőanyag kevésbé káros összetevőire bomlik. A reagensek különbözőek lehetnek

(permanganát, Fenton reagens, perszulfát, ózon), lejuttatásuk injektáló pontokon keresztül történik.

In situ kémiai oxidáció (ISCO) gázfázisú oxidálószer besajtolásával

Ózon/levegő gázkeverék injektálása a felszín alá. A gázbuborékok folyékony oxidálószerrel történő bevonása tovább fokozhatja a kezelés hatékonyságát. A technológia in situ kémiai oxidáción alapul, illékony szerves vegyületek esetén alkalmazzák leggyakrabban. A többi oxidációs technológiától annyiban különbözik, hogy az ózon gázként és folyadékban is bejuttatható a kezelni kívánt térrészbe. A gázként bejuttatott ózon felfelé áramlik, a telített zónában kémiai oxidációt okozva („ózon sparging”).

In situ kémiai redukció (ISCR) elemi vassal (ZVI)

A szennyező komponensek eltávolítása érdekében elemi vasat juttatnak a felszín alá, mely anaerob módon lebontja vagy megköti a szennyezőanyagokat. A nulla vegyértékű vasat felhasználó technológia mikroméretű (ZVI) vagy nanoméretű (nZVI) szemcséket használ fel a szennyezőanyag lebontására. A szuszpenzió lejuttatása injektáló pontokon keresztül történik.

Biostimuláció

A csoportba tartozó eljárásokban a szennyezőanyag bomlását víz, nutriensek, elektron donorok és akceptorok hozzáadásával érik el, fokozva a természetes folyamatokat, gyorsítva a reakciókat. A felszín alatti környezetbe juttatott nutriensek foszfor és nitrogén, elektronakceptorok, pl. oxigén, és szubsztrátok, mint a metán, fenol és toluol. Az említett szubsztrátként használt vegyületek, mint a fenol és toluol toxikus hatásúak, ezért a beavatkozások hatását fokozott monitoring segítségével érdemes nyomon követni.

Bioaugmentáció

Az eljárás során olyan mikróbákat juttatnak be a kezelni kívánt térrészbe, melyek bizonyítottan képesek a szennyezőanyag lebontására, átalakítására.

Bioreaktorok

A kitermelt talajvíz mikroorganizmusokkal kerül kölcsönhatásba, a szennyezések lebontása érdekében. A mikroorganizmusokkal való kölcsönhatás alapján két rendszer ismeretes: a szuszpendált és a közvetítő rendszer.

Szuszpendált rendszerekben (eleveniszapos tisztítás, fluidizációs ágyak, sorba kapcsolt reaktorok) a szennyezett talajvíz levegőztetett medencében kerül kölcsönhatásba a mikroorganizmusokkal. A szerves szennyezők aerob lebontása közben CO_2, víz és új baktériumtömeg keletkezik. A derítőben kicsapódó iszap újra felhasználható, vagy lerakóra helyezhető.

Közvetítő rendszerekben az aktív baktériumtömeg valamilyen hordozóközegen telepedik meg, amellyel a szennyezett vizet kölcsönhatásba hozzák (forgótányéros, csepegtetőtestes berendezés stb.). A lebontás aerob.

A szennyezőanyag-specifikus mikroorganizmusok vagy már megvannak a szennyezett közegben, vagy beoltással kerülnek a rendszerbe.

Biosparging

A szennyező komponens eltávolítása érdekében a telített zónába levegőt injektálnak. A bejuttatott levegő elvégzi az aerob mikroorganizmusok aktiválását és stimulálását mind a telített, mind a felette lévő telítetlen talajzónában. A telített zónába bejuttatott levegő elősegíti a szennyezőanyag telítetlen zónába jutását. A cél a mikroorganizmusok számára oxigén bejuttatása, ennek megfelelően a hagyományos air-sparginghoz képest kevésbé intenzív levegő bejuttatása van szükség.

UV-oxidáció

A felszínre szivattyúzott víz kezelésére alkalmas ex situ kémiai eljárás. Az erős oxidálószer és az UV sugárzás a vízben található szerves szennyezőket szétroncsolja. A szennyezőanyag oxidációja oxidálószerek, UV fotolízis és UV sugárzás, valamint ózon vagy hidrogénperoxid segítségével történik. A gyors oxidációt úgy hozzák létre, hogy a folyamatban rendkívül agresszív oxidatív hatású hidroxil gyökök jönnek létre.

A hidrogén-peroxidot a kiszivattyúzott szennyezett talajvízhez keverik hozzá, amelyet cirkuláltatnak egy olyan kezelő tankban, amelybe komprimált levegőből állítanak elő ózont és ezt az ózont vezetik be ellenáramba a hidrogén-peroxiddal dúsított talajvízbe, amelyet UV lámpával világítanak meg (Ultrox system). Az eljárást több lépcsőben egymás után megismétlik. Az UV oxidáció során ózon rendszer esetében 65 W-os, alacsony nyomású lámpákat, míg hidrogén peroxid rendszer esetében 15-60 kW-os lámpákat használnak.

Ko-metabolikus lebontás

In situ, biológiai eljárás, szennyezett felszín alatti víz kezelésére. A szennyezett talajvízbe metán, toluol hígított oldatát és oxigént injektálnak, amely elősegíti a szerves szennyezők lebontását.

Fontos jellemzők a technológia alkalmazásakor a vízadó vízáteresztő-képessége, a hidrogeológiai sajátságok, az oldott oxigén-tartalom, a pH, a szennyezés mélysége, típusa és koncentrációja, valamint biológiai bonthatósága.

A fent röviden bemutatott módszereket részletes SWOT elemzésnek vetettük alá, ugyancsak megvizsgáltuk az egyes módszerek kombinálásával végezhető beavatkozás várható előnyeit.

A SWOT elemzés eredményei alapján nZVI injektálás PILOT teszt került megtervezésre és elvégzésre.

3.2. A beavatkozás során alkalmazásra javasolt technológia/technológiák rövid bemutatása

3.2.1. In situ reaktív zónák injektálással kialakítva (ZVI)

A módszert Suthersan et al. (2016) alapján mutatjuk be.

Az injektált reagenseken alapuló in situ reaktív zónák tervezése során a reakciók két féle csoportjára kell figyelemmel lenni: (1) a bejuttatott reagens és a kezelni kívánt szennyezőanyag közötti reakciók csoportja illetve (2) a bejuttatott reagens és a felszín alatti

környezet között lejátszódó reakciók csoportja. A reagens kiválasztása során figyelembe kell venni a szennyezőanyag és a reagens közötti reakciót segítő, illetve gátló geokémiai adottságokat. Utóbbiak a beavatkozás hatékonyságát jelentősen csökkenthetik. Az ismert adottságok ugyanakkor pontról pontra változhatnak (heterogenitás), mely a megnehezíti a műszaki beavatkozás megtervezését.

Az in situ reaktív zónák „sikeressége" leegyszerűsítve két cél elérésétől függ: (1) a kívánt reakciónak legalább olyan, vagy nagyobb sebességgel kell zajlania, mint a reaktív zónán keresztül áramló szennyezőanyag tömegárama és (2) a bejuttatott reagenst sikeresen el kell oszlatni és megtartani a felszín alatti térrészben a szükséges koncentrációban.

Az injektálás hatékonysága jelentősen függ az effektív porozitás mértékétől, tehát a pórustérnek az összekötött, közlekedő részétől. Az injektálás hatásterülete az injektált térfogat, az effektív porozitás és a vízadó vastagságának függvényében alakul. Az injektálás talajvízdombok kialakulásához vezethet, amelyek problémát okozhatnak, különösen, ha az injektálás egy nagyobb rácshálóban történik és jelentős mennyiségű anyag kerül injektálásra (pl. több mint 3 000-5 000 l/pont).

Az injektálás műszaki megoldására több féle módszer áll rendelkezésre: állandó injektáló kutak kiépítése, ideiglenes injektáló pontok, direct-push injektáló módszerek, hidraulikus vagy pneumatikus repesztés. A módszer kiválasztása a bejuttatni kívánt reagens és a helyi földtani adottságok alapján történik.

A besajtoló kút szűrője laza üledékekben lehet PVC anyagú, vagy rozsdamentes acél. Jóllehet a rozsdamentes acél drágább megoldás, számos előnnyel bír: a kút könnyebben helyreállítható szivattyúzással, vagy vegyszerezéssel és előnyös olyan esetekben, amikor többszöri, rendszeres injektálás szükséges.

A szűrőzés mélysége kulcsfontosságú a beavatkozás sikere szempontjából. 8-10 m-nél vastagabb szennyezett zóna esetén érdemes lehet több szintben telepíteni injektáló kutakat, hogy biztosítani lehessen a reagens megfelelő vertikális eloszlását.

A reagens bejuttatható gravitációs úton, vagy nyomás alatt. Az injektálás során a hatásterületen belüli víz térfogat kiszorításából fakadó ellenállást le kell küzdeni. Ehhez az általános értelemben vett ellenálláshoz hozzáadódik a természetes hidraulikus vezetőképesség és a fedett, vagy félig fedett vízadók, továbbá az injektálás során keletkező gázok és csapadékok limitáló hatása is. Általában a horizontális hidraulikus vezetőképesség jelentősen nagyobb, mint a vertikális, ennek következtében oldalirányban a reagens áramlása preferált útvonalakat követ.

Az injektáláshoz szükséges nyomás meghatározásában a kiindulásként végzett számításokat érdemes geotechnikai vizsgálatok, vagy CPT vizsgálat során gyűjtött adatok segítségével pontosítani. Az injektálás nyomásának meghatározásához érdemes szem előtt tartani az alábbiakat:

- homogén képződményekben a hidraulikus talajtörés valószínűsége a mélységgel csökken, a szűrő felső vége a legsérülékenyebb zóna.
- heterogén képződményekben a hidraulikus állékonyság függ a szemcseméretű osztályozottságtól és a szemcsék közötti kohézió mértékétől.

- heterogén képződménybe történő injektálás esetén a leggyengébb szakaszban fog először talajtörés kialakulni. Kis hidraulikus állékonyságú rétegek (pl.: jól osztályozott homok) mutatják a legnagyobb hajlandóságot deformációra.
- a hidraulikus törések általában nem folytatódnak különböző hidraulikus állékonyságú rétegek között
- sok nem konszolidált formáció eleve természetesen repedezett
- hidraulikus törések létrejöhetnek eltemetett vonalas létesítmények, vagy monitoring kutak irányában

A reagens kiválasztásánál a szennyezőanyaggal kapcsolatos szempontok mellett az alábbiakra is tekintettel kell lenni:

- oldhatóság: a reagens oldhatósága adja meg az alkalmazható oldat maximális koncentrációját. Az oldott reagens a felszín alatti vízzel advektív módon együtt tovaáramlik, a rosszul oldódó, vagy szilárd anyagok kevésbé mobilisak.
- injektálhatóság: oldott és 1 mikronnál kisebb szemcseméretű anyagok viszonylag egyszerűen injektálhatók, egyéb szilárd anyagok bejuttatása nagyobb injektáló nyomást igényel.
- a reagens „élettartama”: az az időtartam, amíg a reagens elegendő mennyiségben van jelen a kívánt területen ahhoz, hogy a kívánt reakciók lejátszódjanak akár órák-napoktól (peroxidok) évekig (ZVI) terjedő időszak
- reagenshez kapcsolódó melléktermékek figyelembe vétele
- reagens kezelése, kezelhetősége

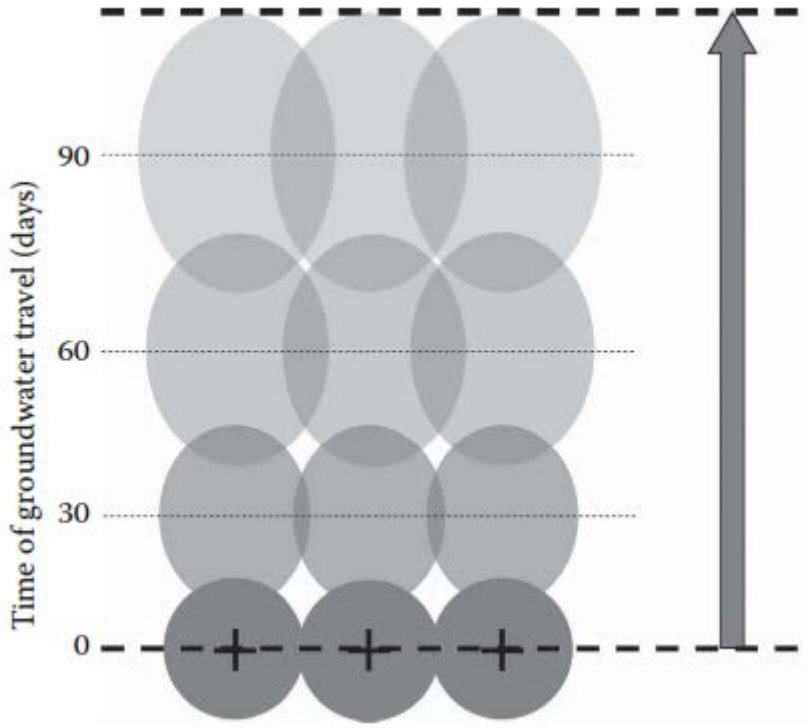
A szennyezőanyagoknak általában jelentős idő áll rendelkezésre arra, hogy a kevésbé jó permeabilitású rétegekben diffúzióval feldúsuljanak, ezért a sok esetben érdemes előnyben részesíteni a hosszabb élettartamú reagenst, hogy a kezelés a felszín alatti vízbe vissza diffundáló anyagra is kiterjedhessen.

Az injektálás gyakoriságának tervezésénél érdemes figyelembe venni (1) azt az időt, amíg a reagens megfelelően magas koncentrációban jelen van és (2) azt a sebességet, mellyel a reagens tovaáramlik a kezelt zónából. Ez a két feltétel általában tracer teszttel, vagy a pilot teszttel jól meghatározható, illetve a folyamatosan követhető a beavatkozás során is.

Figyelembe kell venni a porozitás és az effektív porozitás arányát. Például ha egy formáció effektív porozitása 10 %, teljes porozitása 30 %, akkor injektálás után a reagens koncentrációja idővel várhatóan jelentősen hígul, ahogy a közlekedő és a nem közlekedő pórustérben lévő felszín alatti víz kölcsönhat egymással.

A felszín alatti térbe juttatott reagens felezési idejét használják a „kimerülés” meghatározásához (kiindulási koncentráció az injektálás utáni, már higított koncentráció).

A felszín alatti vízzel együtt mozgó reagensek esetén a kezelt zónából történő kimosódás fontos tervezési paraméter. Az a távolság, melyet a reagens várhatóan utazik a felszín alatti térben (26. ábra) a felezési idő és a felszín alatti víz áramlás sebessége függvénye.



26. ábra: a reagnes transzportjának folyamata felszín alatti vízben az injektálási pontoktól alvízi irányban

A tervezésnél nagyon fontos megállapítani, hogy a reagens kezelt zónából történő eltűnése elsősorban a lejátszódó reakciók, vagy a kimosódás miatt történik, majd ennek megfelelően módosítani az injektálási koncepciót.

Mivel a reagens felezési ideje egy adott beavatkozás során is változhat és mivel a szennyezőanyag kezelése a reaktív zónában és annak alvízi oldalán is történik, folyamatos monitoringra van szükség a reagens életartamát és transzportját illetően.

A felszín alatti víz számított áramlási sebességét a monitoring kutak segítségével lehet ellenőrizni.

Figyelmet kell fordítani a heterogenitásokra, előfordulhat, hogy a monitoring kutakat több szűrőzött szintben érdemes telepíteni.

Amint a kúthálózat rendelkezésre áll, megtörténik az injektálás, a legközelebbi kutak folyamatos monitoringja mellett: az injektálás befejezhető, ha a számított hatásterület szélén elhelyezett, legközelebbi kutakban stabil koncentrációban észlelhető a reagens. Ezt követően a távolabbi figyelőkutak monitoringja zajlik, ez az időszak jellemzően heteket vagy hónapokat ölel fel.

A tényleges műszaki beavatkozás tervezése során az injektáló pontok elhelyezkedését az adott probléma igényeinek megfelelően lehet kialakítani.

Meg kell jegyezni, hogy kitermelt és tisztított víz visszasajtolásával is kombinálható a módszer.

A forrászónát célzó injektálás általában egy jól lehatárolt, kisebb területet céloz, mely a szennyezett talajvíz csóvát létrehozta. Ezt a megoldást gyakran akkor alkalmazzák, amikor a

csóva mozgását a forrástól távolabb már sikeresen kontrolálják. A forrászóna kezelése során figyelembe kell venni, hogy a kezelés a szennyezőanyag bomlástermékei koncentrációjának növekedésével járhat, ebben az esetben a forrástól távolabb újabb beavatkozás lehet szükséges.

A csóva „levágását” szolgáló zónák merőleges injektáló kútsorokból állnak.

Vízoldható reagensek megnyúlt reaktív zónákat alkotnak, kevésbé oldódó reagensek (pl.: EVO, ZVI, stb.) jobbára a szemcsemátrixban maradnak, miközben a felszín alatti víz áthalad a reaktív zónán (mintegy permeábilis falként viselkedve).

ZVI

ZVI használatával reaktív zónák hozhatók létre.

A nulla vegyiértékű vas (zero valent iron – ZVI, Fe^0) felhasználható szilárd halmazállapotú reagensként is in situ reaktív zónákban. Számos tényező határozza meg a ZVI hatékonyságát, beleértve a felület/térfogat arányt, előállítási és kezelési módszereket, a vasban lévő egyéb (fém) szennyeződéseket. Néhány jellemző, kereskedelmi forgalomban kapható szemcsés ZVI termék szemcseátmérője 0,25 – 2 mm közötti tartományban mozog, sűrűsége 2,6 g/cm^3, fajlagos felszíne 2600 m^2/l, hidraulikus vezetőképessége pedig kb. 10^{-4} m/nap. A termékekben egyéb fémek jellemzően 3 % alatti mennyiségben fordulnak elő. A szemcsék felszínének mérete nagyon fontos, mert itt játszódnak le a kívánt kémiai reakciók. Az elemi vas feldolgozása és kezelése befolyásolhatja a reaktivitást, mert hosszabb ideig oxigénnek kitéve oxidálódik (korrodálódik), rontva később a kezelési hatékonyságot.

A ZVI reaktív zónákban egy sor különböző kémiai reakció játszódik, melyek direkt és indirekt módon is felemészthetik a szennyezőanyagot. Egyes reakciókat az ásványszemcsék felülete katalizál, másokat a mikrobiális tevékenység.

Számos reakció fogyasztja az elemi vasat és minden reaktív zóna véges élettartammal bír az átáramló felszín alatti víz fluxus és összetétel függvényében.

A siker eléréséhez nagy fajlagos felületre és viszonylag hosszabb időbeli kapcsolatra van szükség a szennyezőanyag és a reagens között– más in situ kémiai módszerekhez képest. E célok elérése érdekében a ZVI általában árok segítségével kerül bejuttatásra, permeábilis reaktív fal formájában. A töltet ZVI és homok, vagy egyéb porózus anyag keveréke.

A ZVI élettartama két tényező függvényében alakul a reaktív zónában:

- fogyasztás: a ZVI és a szennyezőanyag, illetve egyéb anyagok közötti reakciók következtében fogyó reagens mennyiség. A tapasztalatok alapján elmondható, hogy a ZVI fogyasztásának ütemét a reaktív zónában elsősorban a nem szennyezőanyagokkal lejátszódó reakciók (geokémikai környezet) fogják meghatározni.
- passziválódás: a ZVI szemcsék felületén ásványi bevonatok képződhetnek, melyek a reakcióképességet csökkentik, blokkolják (pl.: goethit, magnetit). A ZVI-t passziválni képes természetes oldott komponensek között találjuk a kalciumot, a karbonátot és a szulfátot.

Szemcsés ZVI injektálókúttal történő bejuttatása önmagában nem javasolt technológia. A legáltalánosabb módszer a hidraulikus repesztéssel történő bejuttatás.

A műszaki megoldások másik nagy csoportja a permeábilis reaktív falban (permeable reactive barrier – PRB) illetve résfalakban (bentonit felhasználásával) történő alkalmazás. Mindkét csoportba tartozó technológiák kipróbált megoldásoknak tekinthetők.

A vizsgált területen az résfallal kialakított reaktív zónák alkalmazhatósága kapcsán fontos figyelembe veendő szempontnak tűnik a talajvízáramlás jelentős sebessége (m/nap nagyságrend), ami a hatékony tartózkodási időt megrövidíti, másrészt a permeábilis fal inkább a csóva kezelésére alkalmas. A terület beépítettsége a résfal műszaki kivitelezhetőségét megkérdőjelezhetővé teszi.

Megvizsgáltuk a területen a szennyezőanyag kezelését résfal telepítése mellett. A 2018. évi feltárások alapján a beavatkozási területre vonatkozóan részletesen megismert földtani, vízföldtani felépítés résfal telepítését, valamint a résfalon belül a szennyezőanyag biztonságos és költséghatékony kezelését nem teszi lehetővé. A vízzáró fekű morfológiai és litológiai változatossága mellett résfal kiépítése nem javasolható, ezért erre vonatkozó beavatkozási terv nem készül.

A szemcsés ZVI alternatívája lehet az un. nanovas (nZVI). A kisebb szemcseméret hozadéka a megnövekedett felület/térfogat arány és így a fokozottabb reaktivitás.

<u>nZVI</u>

Három fő változatban használják a nanovasat:

- „sima” nZVI
- bimetallikus nano részecskék (bimetallic nano particles – BNP)
- emulgeált nZVI

A „sima” nZVI részecskék előszeretettel tapadnak össze nagyobb agglomerátumokat képezve egymással, vagy a talajszemcsék felületével, csökkentve így valamelyest a reakciók számára rendelkezésre álló felület nagyságát, és a hatásterületet. Emellett a víz áramlásával az összetapadó vas szemcsék kevésbé mozdulnak el, így az injektálás közvetlen környezetében fejtik ki hatásukat.

A bimetallikus nano részecskék tulajdonképpen fém katalizátorokkal (Pt, Au, Ag, Cu, stb.) fémekkel bevont elemi vas részecskék. A bevonat csökkenti a szemcsék agglomerációját és katalizálja a reakciókat. Problémát okoz, hogy a bevonat is szennyezőanyagnak tekinthető, illetve a bevonatként használt fémek ára időben elég változékony.

Az emulgeált nZVi esetén a bevonat bidegradálódó anyag. Nanorészecskék agglomerátuma helyezkedik el egy folyadékcseppen belül, mely felületaktív anyagot és olajat tartalmaz, illetve folyadék-olaj membránt formál. A védőmembrán miatt az nZVI részecskék mobilisabbak, kevésbé korrodálódnak injektálás közben és kevésbé tapadnak a szemcsékhez. Ennek következtésben a reagens jobban elmozdul a víz áramlás hatására.

3.2.2. Egyéb módszerek

Az alábbiakban röviden olyan módszereket mutatunk be, melyek a fő kezelés (nZVI injektálás) mellett szükség esetén alkalmazhatók olyan esetekben, amikor az nZVI injektálás után fennmaradó szennyezettséget szükséges kezelni.

Szennyezett felszín alatti víz kitermelése és kezelése sztippeléssel

A módszert a Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat System (US EPA) c. dokumentáció alapján mutatjuk be.

Célja a szennyezőanyag kitermelése, vagy helyben tartása. Talajvíz kitermelés során a vízadó rétegből a szennyezett vizet kutakkal kitermelik, majd szükség szerint tisztítják, és/vagy befogadóba vezetik. Talajvíz szennyezése esetén ez az egyik leggyakrabban alkalmazott mentesítési technológia.

A rendszer kiegészítő, de nem nélkülözhető részei a megfigyelő kutak, amelyek segítségével a folyamat ellenőrizhető. Nem várt fejlemények esetén a mentesítési technológia módosítható.

A módszer erőssége, hogy rutinszerűen alkalmazott technológiáról van szó, veszélyes vegyi anyagok nem kerülnek bejuttatásra. Emellett jó hidraulikus vezetőképességű képződményekből hatékonyan el lehet távolítani az oldott szennyezőanyagot.

Ugyanakkor a finomszemcsés képződményekben adszorbeálódott szennyezőanyag eltávolítása nehézségekbe ütközik. A módszer jól kombinálható más technológiákkal, továbbá a mentesítő kutak képesek lehetnek egyes területek hidraulikai védelmének biztosítására is.

Kockázatként jelentkezhet, hogy a kavicsteraszban a Duna vízjárása miatt a mentesítő kutak hatásterülete nem állandó, ez a tervezésnél és üzemeltetésnél nehézséget okozhat.

A szennyezett felszín alatti víz termelése és kezelése (pump and treat) a legrégebbi kármentesítési technológia. Néhány évtizeddel ezelőtt az esetek többségében ez volt a választott megoldás, majd némileg háttérbe szorult a rosszul oldódó szennyezőanyagok esetében.

A talajvíz kitermelés egyes esetekben sikeres módszernek bizonyult, más esetekben ez a mentesítés nem valósította meg a kitűzött célokat, hatékonysága idővel jelentősen lecsökkent (az üzemeltetési költségek állandó volta mellett). Ennek oka számos esetben a koncepciós modellek nem megfelelő felépítésében és a szennyezőanyag transzport nem megfelelő megértésében rejlett.

Heterogén felépítésű vízadókban szakirodalmi adatok szerint nem ritka, hogy a szivárgási fluxus 80 %-a vízadó teljes keresztmetszetének kevesebb mint 20%-án keresztül történik. Ez egyben azt is jelenti, hogy a fluxus 20 %-a az alacsonyabb permeabilitású zónán megy keresztül. Ezek általában agyagos és iszapos képződmények, ahol az advekció elhanyagolható és a diffúzió a domináns mechanizmus. Tehát az ezen képződményekben lévő szennyezőanyag tömeg nehezen hozzáférhető. Az előzőekben leírt modell két elemből áll tehát, egy advekcióval és egy diffúzióval dominált felszín alatti térrészből. A valóságban a permeabilitás nagyon változatos, a homok és kavics rétegek pusztán advekcióval „működő” transzport zónákként viselkednek, a legalacsonyabb permeabilitású rétegek „tároló” zónákként működnek. A köztes permeabilitású képződményeket (iszapos homok, stb.) korábban „tároló”

zónákként értékelték, ma inkább lassú, lassabb advekciós zónáknak tekintik ezeket, melyekben az advekció és a diffúzió is fontos szerepet játszik.

Annak felismerése, hogy a diffúzióval dominált és a lassú advekciós zónák is jelentős szerepet játszanak a szennyezőanyag (lassú) mozgásában, lehetővé teszi a talajvíz kitermelés módszer hatékonyságának fokozását.

A talajvíz kitermelés lehetőséget nyújt hidraulikai védelem kialakítására a csóva helyben tartásával, illetve a szennyezőanyag kitermelésére is. Emellett szinte tetszőlegesen kombinálható más módszerekkel.

Hidraulikai védelem

A csóva mozgásának befolyásolása gyakran cél műszaki beavatkozásoknál, ahogy ez egy reális szcenárió lehet a szentendrei vízbázis esetében is. A hidraulikai védelem kiegészíthető a tisztított talajvizet megfelelő helyeken visszajuttató injektálókutakkal, vagy impermeábilis falakkal, e megoldások általában csökkentik a kitermelni szükséges felszín alatti víz mennyiségét, ami elsősorban a hosszú távra tervezett hidraulikai védelem esetén kívánatos és fontos szempont a költséghatékonyság érdekében.

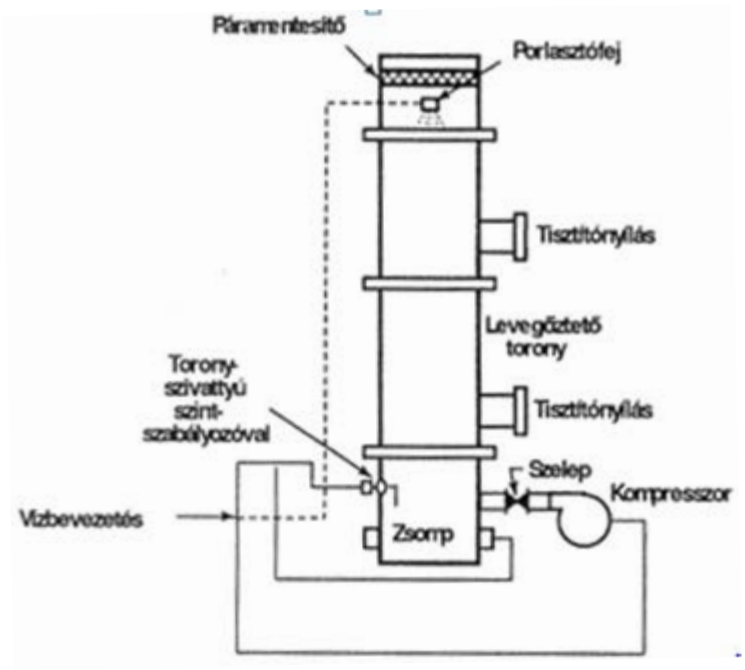
Csóva felszámolása

Azoknál a területeknél, ahol a forrászóna már felszámolásra került, vagy a csóva leválasztásra került a forrászónáról, a talajvízkitermelés lehetőséget nyújt a csóva megtisztítására. Ez esetben (gyakran teljes vízadók megtisztása) az alkalmazott vízkivételek mértéke nem csak hidraulikai védelmet tesz lehetővé, hanem alkalmas a kármentesítési célállapot határérték elérése belátható határidőn belül. A vízadó megtisztítása sokkal nehezebb feladat, mint a hidraulikai védelem megvalósítása.

Sztrippeléssel a kitermelt vízből az illékony klórozott szénhidrogén szennyeződés nagyon jó hatásfokkal (90-99%-os) tisztítható. Rögzített és mobil berendezések egyaránt léteznek és gyakorlatilag minden automatizálható (a páranyomás, a levegő hőmérsékletének mérése, szintszabályozás, stb.). A hatásfok a levegő fűtésével növelhető.

A sztrippelés (kigőzölés) meglehetősen gyakran alkalmazott eljárás, legtöbbször sztrippelő (levegőztető) tornyokat vagy tartályokat használnak, melyekben a tisztítandó víz lefelé áramlik, a tisztító levegő pedig alulról felfelé, fúvókák segítségével. A levegőztetés történhet töltetes tornyokban, diffúz levegőztetőkkel, tálcás levegőztetőkkel és permetezéssel. A tartály kb. 2 m magas, a torony pedig többnyire 5, de akár 12 m magas is lehet. Talajvíz tisztításakor töltetes tornyokat vagy levegőztető tartályokat alkalmaznak.

A sztrippelő torony tetején fúvókákon keresztül lép be a víz, majd a gravitáció hatására keresztülhalad a töltőanyagon miközben alulról ventilátor segítségével a víz áramlási irányával szembe levegőt áramoltatnak. A kezelt vizet a torony alján elhelyezkedő zsomp gyűjti össze (27. ábra).



27. ábra: Sztrippelő berendezés elvi vázlata (Forrás Kármentesítési Kézikönyv 4.)

ISCO módszerek

A szennyezőanyag in situ oxidáción alapuló bontása a vizsgált területen elsősorban a szennyezőanyag bomlástermékei kezelésére használható, a műszaki beavatkozás befejező fázisában, amennyiben ezt az nZVI injektálások után hátramaradó szennyezettség indokolja.

A talajban és felszín alatti vízben lévő szennyezőanyagok csökkentése érdekében erős oxidálószert injektálnak a felszín alá, melynek hatására redoxreakció játszódik le, a szennyezőanyag kevésbé káros összetevőire bomlik. A reagensek különbözőek lehetnek (permanganát, Fenton reagens, perszulfát, ózon), lejuttatásuk injektáló pontokon keresztül történik. Ózon/levegő gázkeverék is alkalmazható. A gázbuborékok folyékony oxidálószerrel történő bevonása tovább fokozhatja a kezelés hatékonyságát. A technológia in situ kémiai oxidáción alapul, illékony szerves vegyületek esetén alkalmazzák leggyakrabban. A többi oxidációs technológiától annyiban különbözik, hogy az ózon gázként és folyadékban is bejuttatható a kezelni kívánt térrészbe.

3.3. A technológia/technológiák alkalmazásától várt eredmények

2018. októberében laboratóriumi (bench) és terepi (pilot) tesztkísérletek végzésére került sor a szennyezett területeken, amit az In Situ Kft. mint alvállalkozó hajtott végre a GeoConnect Kft. és a Mecsekérc Zrt. közreműködésével. Az alábbiakban összefoglaljuk a kísérletek eredményeit különös tekintettel a műszaki beavatkozás során várható eredményekre.

A laboratóriumi kísérletek során a területen feltárt szennyezőanyagok reduktív kémiai bontási hatékonyságának vizsgálata történt az nZVI reagenssel, majd terepi körülmények között végzett tesztkísérlettel az in-situ kémiai redukció (ISCR) alkalmazhatóságát mérték fel.

A laboratóriumi tesztkísérleteket a két teszt területhez legközelebbi mintavételi pontokból (A48 és A15) származó talajvízmintákkal végezték el.

Az ÉMI teszt területéről, az elsődleges forrászóna környezetéből származó talajvíz mintákon végzett kémiai redukciós laborkísérlet alacsony-közepes (~20-40 %-os) bontási hatékonyságot mutatott ki az alkalmazott nZVI szuszpenzióval. Ennek az eredménynek a figyelembevételével javasolt a technológia összehasonlítása más, terepi körülmények között ki nem próbált technológiákkal. A Laktanya teszt területről származó talajvíz minta esetében az ingadozások miatt éppen alacsony szennyezőanyag koncentráció (DCE 39, VC 14,8 µg/l) miatt a laborkísérlet nem mutatott értékelhető eredményt.

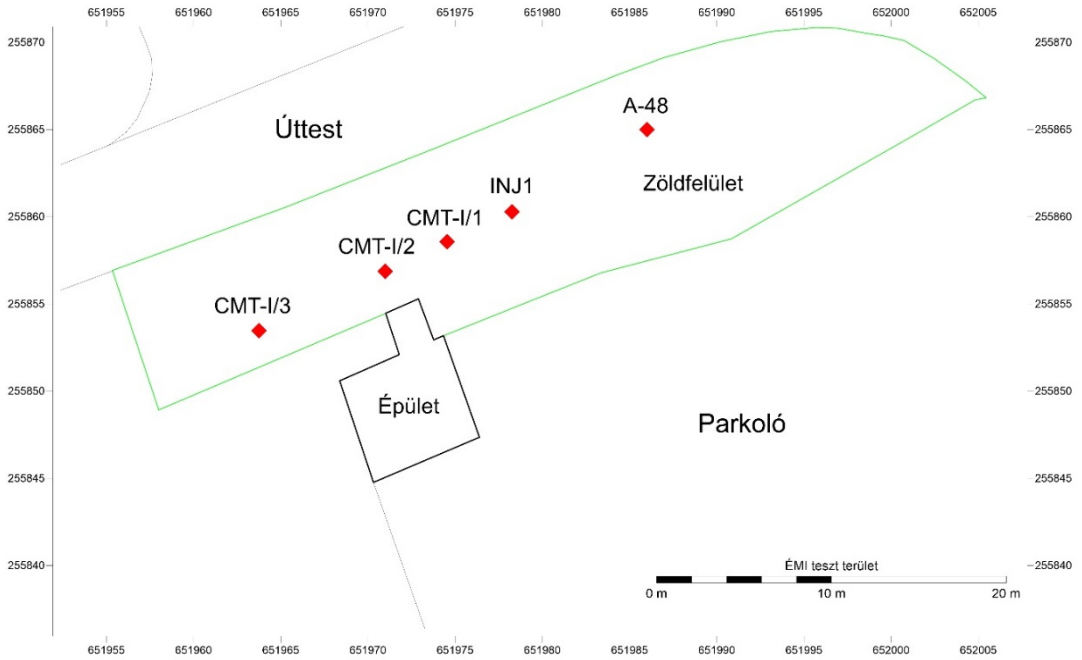
Bár a bontási hatékonyság csak 20-40 %-os volt, a terepi tesztek elvégzésére a terület alkalmasnak volt tekinthető.

A laboratóriumi teszt kísérleteket követően terepi tesztkísérletek végzésére került sor az ÉMI és a Laktanya teszt területen egyaránt. A teszt területeken injektáló- és észlelő pontok (INJ és CMT jellel jelölve) kialakítása történt, melyek részletes helyszínrajzait a 28. ábra és a 29. ábra mutatja. Az injektáló és észlelő pontok kialakítása szónikus fúrással történt, a homokos, helyenként görgeteges kavics rétegsor CPT-szondázásra nem volt alkalmas. A nehéz fúrási körülmények miatt nem volt lehetőség injektáló lándzsa leszúrására, ezért az injektálás védőcsőben történt, annak talpán keresztül. A CMT észlelő pontok kialakítása az ÉMI területén az injektáló ponttól 4, 8 és 16 m távolságra, a laktanya területen 5, 12 és 16 m távolságra történt. Minden egyes észlelő pontban 3-3 szűrőzött szakasz került kialakításra a feküig.

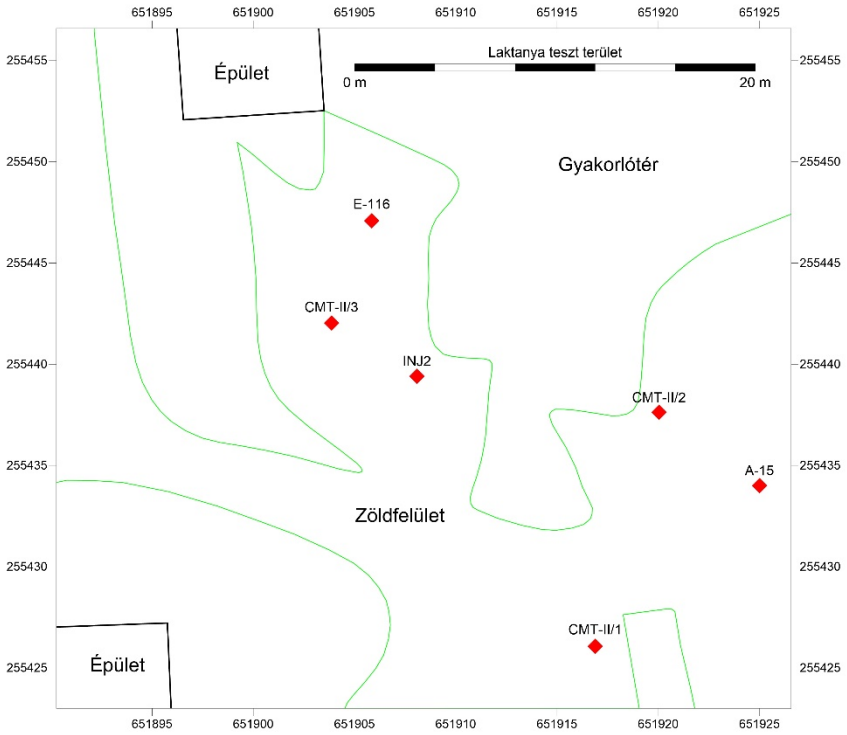
A teszt területeken 9-9 m^3, 10000 ppm koncentrációjú nZVI reagens került beinjektálásra az ÉMI területén 9,5 és 11,3 m a Laktanya területén 14,5 mélységekbe. Helyszíni mérések és mintavétel az injektálás megkezdése előtt, majd az injektálást követően 4-5, 7-8 és 18-19 nappal történtek.

A mintavételek során a talajvíz alábbi paraméterei kerültek meghatározásra:

- vízszint,
- hőmérséklet,
- fajlagos elektromos vezetőképesség,
- pH,
- oxidációs-redukciós potenciál (ORP),
- oldott oxigén koncentráció (DO),
- VOCl komponensek.



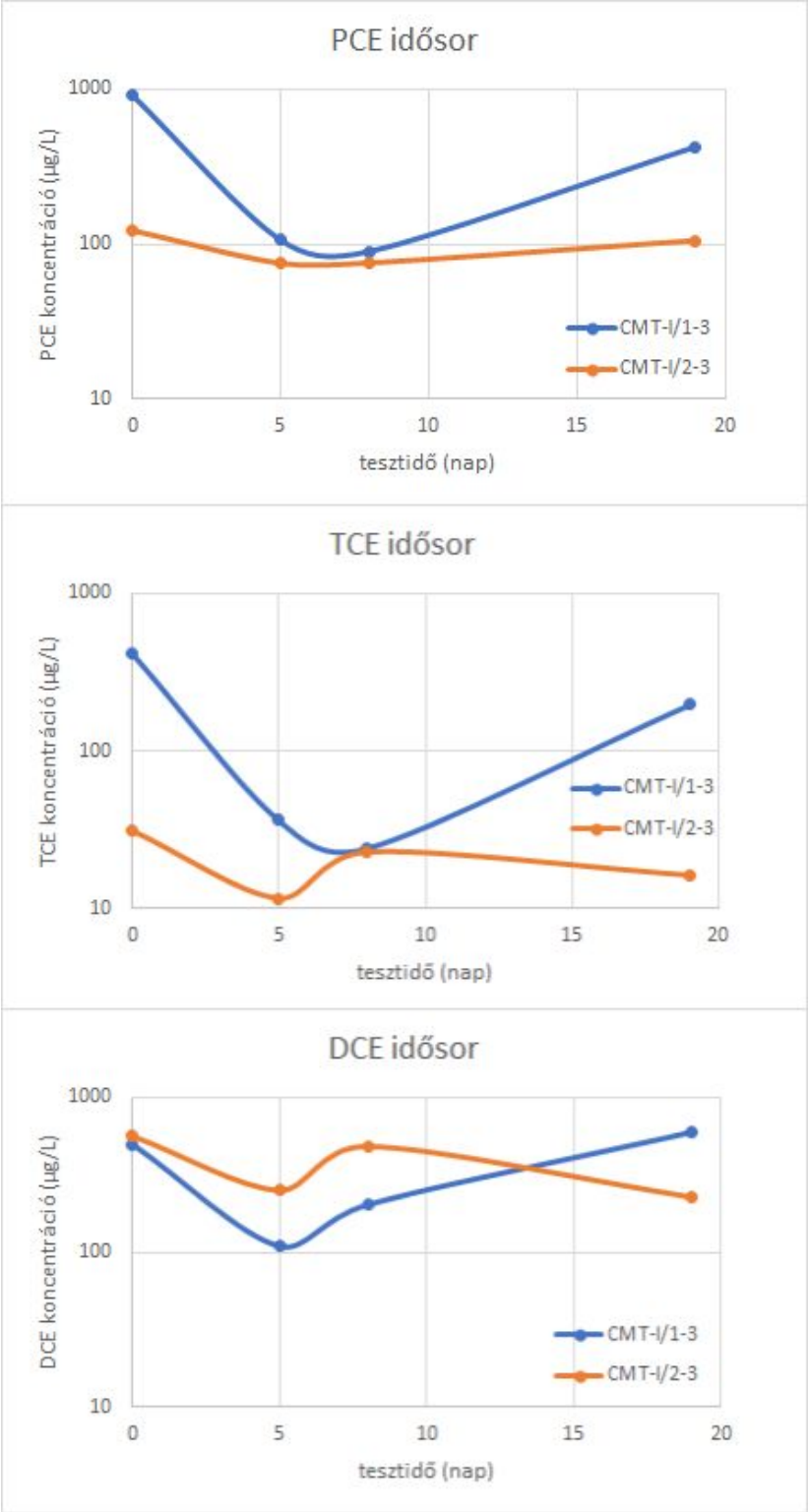
28. ábra: Az ÉMI teszt terület helyszínrajza (In Situ Kft., 2018)



29. ábra: A Laktanya teszt terület helyszínrajza (In Situ Kft., 2018)

Az ÉMI teszt területen a helyszíni vizsgálatok igazolták az nZVI bejuttatásának hatását 8 m radiális távolságig, a CMT-I/1-3 és CMT-I/2-3 jelű észlelő pontokban. A 30. ábra az észlelő

pontok koncentráció idősorait mutatja be a teszt során. A VC koncentráció mért értékei nem kerültek az ábrára, „B” szennyezettségi határérték közeliek és nem mutattak értékelhető eltérést.

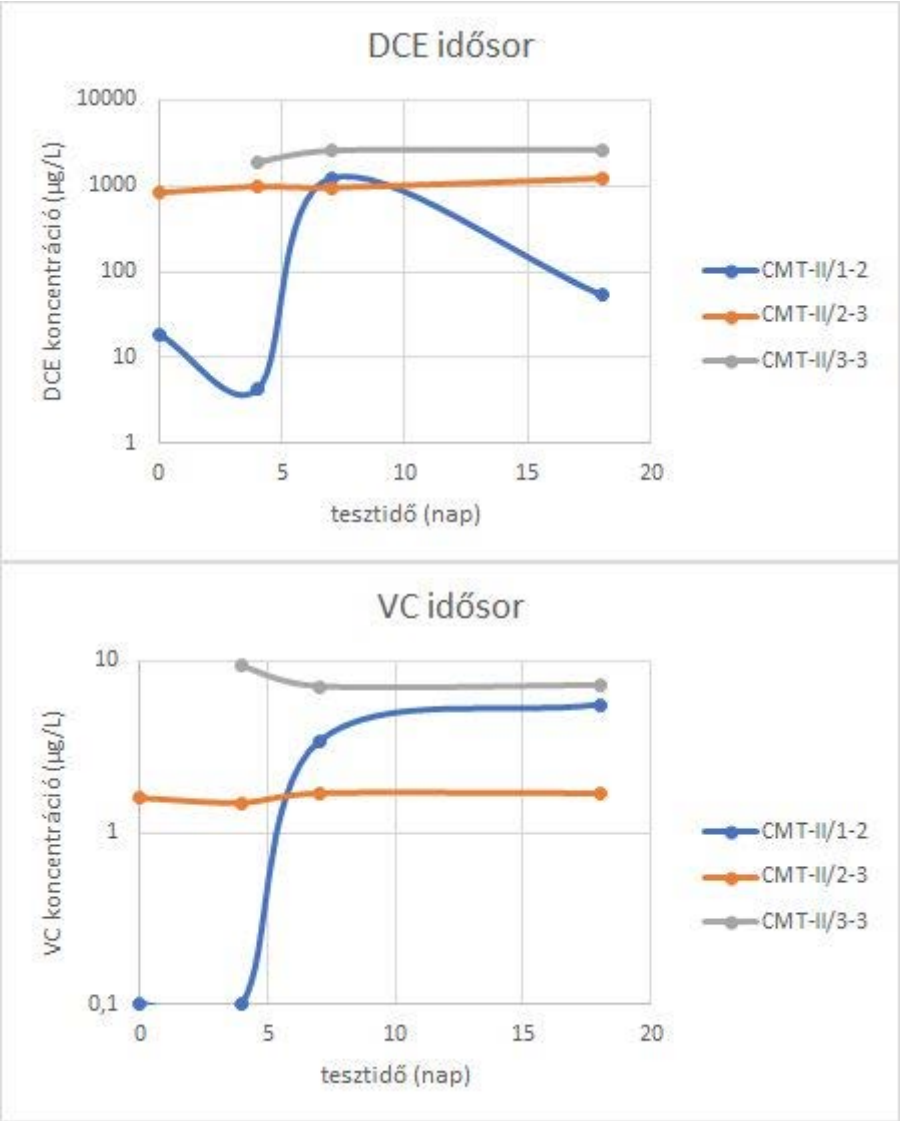


30. ábra: Az ÉMI teszt területen végzett mintavételek laboratóriumi eredményei (In Situ Kft., 2018)

Az ÉMI teszt területen a koncentráció változások hatása a helyszíni mérésekkel összefüggően, az injektáló INJ1 kúttól távolodva csökkent. A PCE és a TCE koncentrációk esetében az

injektálást követő 5. napig erősen csökkenő tendenciájú bomlást lehet kimutatni az idősorokon. Ezt követően a PCE koncentrációk stagnáltak, majd növekedtek, a 19. napra nagyságrendileg visszaálltak a teszt előtti koncentrációk. A TCE és a DCE tekintetében hasonló dinamika figyelhető meg, annyi különbséggel, hogy a távolabbi (CMT-I/2-3) észlelő pontban a koncentrációk már a 8. tesztnapra visszaálltak. Ez a jelenség visszaszennyeződésként azonosítható, amit a jelentős háttérszennyezettség és a gyors talajvíz áramlási sebesség okozott. A bontási kinetika a maximumát az 5. és 8. tesztnap között érhette el.

A Laktanya teszt terület DCE és a VC koncentráció idősorait az 31. ábra mutatja be.



31. ábra: Laktanya teszt területen végzett mintavételek laboratóriumi eredményei (In Situ Kft., 2018)

A Laktanya teszt területen a CMT-II/1-2 jelű észlelő pontban mutatható ki érdemi változás a koncentráció idősorokban, a többi idősor nagyságrendileg stagnáló. A helyszíni vizsgálatok eredményei alapján is megállapítható volt, hogy a mért koncentrációk nem a bejuttatott nZVI hatására alakultak ki. A CMT-II/1-2 jelű észlelési pontban látható változást okozhatta az

injektálás által megmozgatott víztest, tekintettel arra, hogy a Laktanya teszt területén feltárt csóva utánpótlási területtel nem rendelkező, lefűződött csóvamaradvány.

A Laktanya teszt terület negatív eredményei az injektálási technológia korlátait is feltárták a hatótávolság, az injektálási mélység, szennyezőanyag kezdeti koncentrációk, talajvízáramlási irányok tekintetében, melyeket a műszaki beavatkozás során kell figyelembe venni.

Az injektálás az ÉMI területén sikeres volt, a bontási kinetika nagy hatásfokkal (60-90 %) az 5-8. tesztnapig volt kimutatható, ezt követően a magas háttérszennyezettség visszaszennyeződést okozott. Az nZVI-vel végzett in-situ kémiai redukció effektív hatástávolsága injektálási pontonként elérte a 8 m-t, a pontonként bejuttatott 9 m^3, 10000 ppm koncentrációjú nZVI szuszpenzió alkalmazása esetén. Ez az érték tervezési paraméterként a teljes beavatkozási helyszínre kiterjeszthető, vagyis az injektálási pontokat egymástól 15-18 m távolságra célszerű telepíteni. Az injektáló pontokat úgy kell tervezni, hogy a hatásterületek szoros illeszkedésben fedjék le a szennyezett területeket.

Az injektálás során a kémiai reakcióval történő szennyezőanyag csökkenés a λ bomlási állandók meghatározásával történt a mért idősorokra exponenciális függvények illesztésével (32. ábra). A szennyezőanyagok elsőrendű, (exponenciális) bomlásával, mint bomlási modellel az alábbi képlet szerint lehet számolni:

$$C = C_0 \times e^{-\lambda t}$$

ahol C – a szennyezőanyag koncentráció a t időpillanatban,

C_0 – a kezdeti szennyezőanyag koncentráció (t=0),

λ – a bomlási ráta (1/nap).

Az illesztett függvények alapján meghatározott bomlási állandó értékeit az alábbi táblázat mutatja:

Szennyező anyag	λ (1/nap)		
	CMT-I/1-3	CMT-I/2-3	**ÁTLAG**
PCE	0.305	0.064	**0.185**
TCE	0.370	0.056	**0.213**
DCE	0.132	0.035	**0.084**

30. táblázat: bomlási állandó értékei

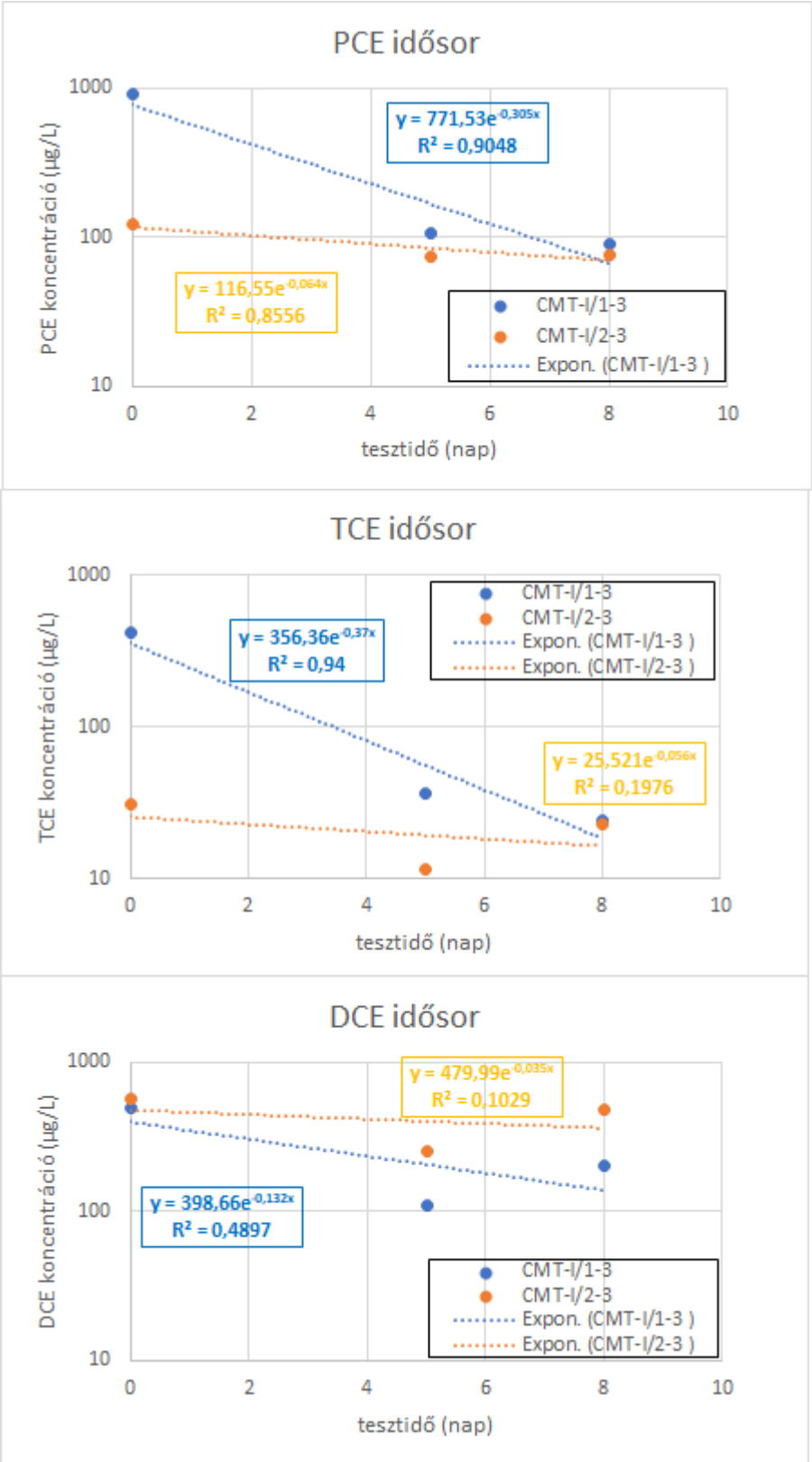
A felezési idő (t½) az alábbi képlet szerint határozható meg:

$$t_{½} = ln2/\lambda$$

melyből a számított értékek szennyezőanyagonként:

t½ (nap)	**ÁTLAG**
PCE	**3.76**
TCE	**3.25**
DCE	**8.30**

31. táblázat: felezési idő értékei



32. ábra: A szennyezőanyagok bomlási állandóinak meghatározása (In Situ Kft., 2018)

Az értékek alapján az ÉMI teszt területen átlagosan 3-8 nap alatt csökkent a koncentráció a felére, ez a bontási kinetika 5-8 napig volt fenntartható. Mikrobiológiai tápanyagok bejuttatásával a természetes lebomlás is jelentős mértékben elősegíthető, melynek következtében a hatékonyság időtartama 1-2 hónapra is meghosszabbítható. A primer

szennyezőanyag (PCE és TCE) bomlástermékeinek (DCE, VC) jelenléte, feldúsulása jelzi az endemikus deklorináló lebontó baktériumtörzsek működését, mesterségesen szelektált exogén törzsekkel (pl. KB-1 inokulum) történő beoltásra vélhetően nincs szükség.

Az injektálás és az aktivitás segédanyagokkal történő fokozását követően a redoxpotenciált folyamatosan mérni kell. Amennyiben a redoxpotenciál értéke visszaáll a -200 mV értékre, akkor az injektálást és a mikrobiológiai kezelést meg kell ismételni. A bontási hatékonyságot figyelembe véve legalább 2-3 alkalommal javasolt a teljes körű injektálás elvégzése.

A műszaki beavatkozás eredményeként a szennyezett terület bonyolult földtani és vízföldtan felépítését és a vízáramlási viszonyok változásait figyelembe véve az elsődleges szennyezőanyag koncentrációja várhatóan a 100-200 µg/l-ra csökken. Folyamatos monitorozás mellett előfordulhat, hogy egyes területeken a beavatkozás kisebb hatékonyságú lesz, ezért a kezeléseket lokálisan többször kell ismételni, illetve további területrészekre is ki kell terjeszteni az injektálást. Szükséges lehet további utólagos beavatkozás a forrásterületen.

Az injektálás és mikrobiológiai kezelés mellett a műszaki beavatkozás második fázisában az alábbi technológiák alkalmazása is lehetséges: pump and treat, in situ kémiai oxidáció (hidrogén-peroxid, ózon).

4. A tervezett beavatkozás részletes leírása (méretezett engedélyezési terv)

4.1. A beavatkozás lépései

A beavatkozás az alábbi fő lépésekből áll:

- a kivitelezés előkészítése
- injektáló kutak létesítése
- nZVI szuszpenzió injektálása (három alkalommal)
- mikrobiológiai aktivitást fokozó segédanyagok injektálása (három alkalommal)
- utókezelés

4.2. Az egyes lépéseknél alkalmazott technológiák és azok költségeinek részletes bemutatása

Az alkalmazott technológiák költségeit a 13. melléklet mutatja be.

4.3. Alkalmazott berendezések, létesítmények és azok költségeinek bemutatása

Az alkalmazott berendezések, létesítmények költségeit a 13. melléklet mutatja be.

4.4. A kármentesítési beavatkozási technológiák környezetre gyakorolt hatása, esetleges kockázata

A beavatkozás nem elfogadható környezeti és humánegészségügyi kockázatot nem jelent, a beavatkozás eredményeképpen a szennyezőanyag koncentráció várhatóan a (D) célállapot határérték alá csökken.

4.5. A technológiai elemek megfelelősség igazolása

Az egyes technológiai elemek részletes paramétereit a 4.6 fejeztben részleteztük. A megfelelőséget a műszaki beavatkozást végzők referenciáival lehet igazolni. A műszaki beavatkozást a terveknek megfelelő technikával és engedélyekkel rendelkező építtetővel javasolt elvégezni.

Az alkalmazni kívánt nZVI szuszpenzió biztonsági adatlapját az 14. melléklet tartalmazza.

4.6. Munkafolyamatok leírása

A műszaki beavatkozást két helyszínen nZVI injektálással tervezzük elvégezni. Az injektálás a 2018-ban lehatárolt legmagasabb illékony klórozott szénhidrogén koncentrációjú mintavételi pontok környezetében történik. Ez a terület az ÉMI területén az E112, A48, A43 és A 44 pontok környezetében, a laktanya területén pedig az A15, A19, A16 és T3 pontok környezetében található. A pilot teszt alapján a környezeti paraméterek területenként (hatótávolság, hatékonyság, időtartam) meghatározásra kerültek, melynek alapján a műszaki beavatkozást az alábbiak szerint tervezzük.

4.6.1. a kivitelezés előkészítése

A beavatkozás előtt a tervezett területen talajvíz mintavételezése szükséges az aktuális állapot, legszennyezettebb területek pontosítása céljából.

A műszaki beavatkozás kivitelezésének előkészítése során az injektálási mélységek helyes megválasztása, a szennyeződés vertikális eloszlásának további pontosítása szükséges. A fekü domborzatában kimutatható változékonyság az egész beavatkozási helyszínre kiterjed, így az injektálások megkezdése előtt az injektálási területen fekü domborzat pontosítására, az esetleges DNAPL csapdahelyek részletesebb ellenőrzésére is szükség van. Az injektálási területen geolelektromos szondázásra kerül sor.

Az előkészítés keretében a beavatkozási területen a telítetlen talajlevegő mintavételt kell végezni a forrásterület további pontosítása céljából.

A mikrobiológiai adalékanyag összetételének pontosítására laboratóriumi mikrokozmosz kísérletet kell végezni.

Az esetleges utókezelésként alkalmazható pump and treat mentesítés hatékonyságának vizsgálatára 1 hónapos szivattyúzási tesztet kell végezni a Laktanya területén. A teszt során a mentesítés hatásfokát, annak időbeli változását kell vizsgálni, a termelt víz szennyezőanyag koncentrációjának nyomon követésével. A tesztet a T-3 jelű kútban kell végezni, a vízkivétel mértékét úgy kell megválasztani, hogy a teszt időtartama alatt a kút hatásterülete ne terjedjen túl a Laktanya szennyezett területrészén. A T-3 kútban a tesztet megelőzően reométerezést kell végezni a szűrőzött szakasz felmérésére és a maximális vízhozam megállapítására.. A termelt vizel ideiglenesen telepíthető sztrippelő egység segítségével kell kezelni.

Az ÉMI területén elhelyezkedő beavatkozási terület jelenleg betonnal burkolt, az előkészítési munkák során ezt a betonfelületet el kell bontani.

Az injektáló és CMT monitoring kutak létesítése előtt kézi közműfeltárást kell végezni.

4.6.2. Monitoring kutak létesítése

Az injektálás hatásainak ellenőrzésére CMT észlelő pontok kialakítása történik szónikus fúrással és védőcső beépítéssel. A PILOT teszt kivitelezési tapasztalatai alapján megállapítható volt, hogy a CPT szondázás a kavicsban nem alkalmazható, a fúrások kivitelezése is nehézségekkel jár. A legcélravezetőbb a nagyobb átmérőjű szónikus fúrási technológia, ami az alábbiak szerint jellemezhető.

A szónikus fúrás során egy kúpos vágófejjel ellátott, 80 mm átmérőjű üreges rudazatot szükséges lesajtolni szakaszosan vibrációs technológiával, az egyes előfúrási szakaszok után, kb. 2-3 m-es szakaszonként vibrálható le a védőcső. A hengeres rudazat palástja mentén kialakuló vibrációs felület a laza üledéket 1-2 mm távolságban megfolyósítja, ezáltal a rudazat gyorsan, és furadék keletkezése nélkül lejuttatható. A védőcsőbe ezt követően beépítésre kerülhet a CMT kútcső az előre meghatározott mélységben kialakított szűrőzéssel. A védőcső visszahúzása ugyancsak vibrációs technológiával történik, a talajvízszint alatt a rudazat által megtámasztott laza üledék kitölti a maradék üreget (gyűrűstér), a beépített kútcsövet körbeveszi. A szűrőzött szakaszokat speciális szűrőhálóval kell burkolni, amely biztosítja, hogy

üledék ne kerülhessen a kútcsőbe és bentonit pakkerek szeparálják el egymástól. A talajvízszint felett megálló üreget bentonit zaggyal szükséges eltömítik. Ezzel a technológiával alacsony hozamú („low-flow”) mintavételre alkalmas, kis kúttérfogatú mintavételi kutak létesíthetők, melyek egy szűkebb mélységtartomány/réteg reprezentatív mintázását teszik lehetővé. A mintázott rétegek közötti kereszt-szennyezés teljesen kizárható.

A CMT észlelő pontokban furatonként három-három szűrőzött szakasz kialakítása szükséges a PILOT teszt alapján előreláthatólag az ÉMI területén 8-12 m mélységközben, a Laktanya területen 6-16,5 m mélységközben.

Az észlelő pontok lehetővé teszik az injektálás hatásainak rendszeres ellenőrzését mélységtartományonként.

A CMT észlelő pontok tervezett elhelyezkedését is a 15. melléklet és a 16. melléklet mutatja be. A CMT kutak tervezett kialakítását a 17. melléklet mutatja be.

4.6.3. injektáló kutak létesítése

A terepi teszt során jelentkezett, s a helyi földtani viszonyok által okozott injektálási nehézségeket ki kell küszöbölni (CPT technológia és injektáló lándzsa alkalmazása nem lehetséges). A beavatkozáshoz kis átmérőjű (DN 25-32 mm) injektáló kutak hálózatban történő kiépítését kell elvégezni. A kutak csövét csak perforálni kell, a talpat le kell zárni, és a csőpalástot a felszínig megfelelően el kell szigetelni, hogy nagyobb, 5-10 bar nyomással is lehessen injektálni. Az injektálási mélységet a fekü domborzat részletes ismeretében és az injektáló kutak kiépítése során keletkező új fúrási ismeretek birtokában kell meghatározni (előirányzott mélység a fekü feletti 1 m-es szakasz). Az injektáló kutak többszöri injektálásra, mind az nZVI, mind a mikrobiológiai tápanyagok bejuttatására használhatók, de a későbbiekben utólagos kezelés is lehetséges (pl. oxidációs eljárás az esetlegesen hátramaradó VC kezelésére. Az injektáló kutak több funkciójának biztosítására az injektáló kutak kialakítása csappal zárható módon történik. Ahol a területhasználat megköveteli (pl.: út, járda), az injektáló kutakat úgy kell kialakítani, hogy a kútfejnek (lezáró csapnak) helyt adó kis méretű akna fedlapja a terepszinttel azonos magasságba kerüljön.

Az injektáló kutak effektív hatástávolsága a 4.6.4. fejezetben megadott injektálási paraméterek mellett 8 m-nek adódik. A területen az injektáló pontokat úgy kell kijelölni, hogy a hatásterületek szoros illeszkedésben fedjék le a szennyezett területet. Az injektáló kutak tervezett elhelyezkedését a 15. melléklet és a 16. melléklet mutatja be.

Összesen 235 db injektáló kutat kell létesíteni. A szennyeződés aktuális helyzete, a közüzemi adottságok, épületek miatt az injektáló pontok pontos helye változhat.

Az injektáló kutak elhelyezését a kivitelezés előkészítése során nyert ismeretek alapján kell véglegesíteni, és meg kell teremteni az összhangot a területhasználattal.

Az injektáló kutak tervezett kialakítását a 18. melléklet mutatja be.

Az injektáló kutak pontos mélysége meghatározása a helyi, az adott injektáló kút fúrása során feltárt feküviszonyok alapján történik. Az injektáló kutak várható mélysége 11 és 19 m között mozog.

4.6.4. nZVI szuszpenzió injektálása

Az nZVI szuszpenziót a helyszínen kell elkészíteni. A szuszpenziót zárt rendszerben kell készíteni. Biztosítani kell a szuszpenzió teljesen homogén elkeveredését. Biztosítani kell, hogy a stabilizátor vegyülettel diszpergált, nagy fajlagos felületű és reakció képességű anyag ne érintkezzen a környezeti levegő oxigénjével a felhasználás előtt. Közvetlenül a felhasználás előtt a redox potenciál helyszíni mérésével ellenőrizni kell az nZVI szuszpenzió megfelelő minőségét.

Az injektáláshoz 10 000 pm nZVI koncentrációjú szuszpenziót kell készíteni, az injektált szuszpenzió mennyisége pontonként 9 m3, egy injektálási pont hatástávolsága pedig 8 m. Az injektálás 5-10 bar nyomással történik.

Az injektálást a szennyeződés felvízi oldaláról kell megkezdeni, fokozatosan haladva az alvízi oldal felé.

A laboratóriumi és a terepi tesztek által mutatott bontási hatékonyságot figyelembe véve 3 alkalommal kell az injektálást elvégezni. Az nZVI a redox-potenciál értékét a reduktív tartományba viszi, ami anaerob körülményeket jelent, ez kedvez a klórozott szénhidrogén vegyületek mikrobiológiai (reduktív deklorináció) lebomlásának is. Az egyes injektálási fázisok között mikrobiológiai tápanyagok bejuttatásával a természetes lebomlás is jelentős mértékben elősegíthető. A primer szennyezőanyag (PCE és TCE) bomlástermékeinek (DCE, VC) jelenléte, feldúsulása jelzi az endemikus deklorináló lebontó baktériumtörzsek működését, mesterségesen szelektált exogén törzsekkel (pl. KB-1 inokulum) történő beoltásra nincs szükség.

4.6.5. mikrobiológiai aktivitást fokozó segédanyagok injektálása

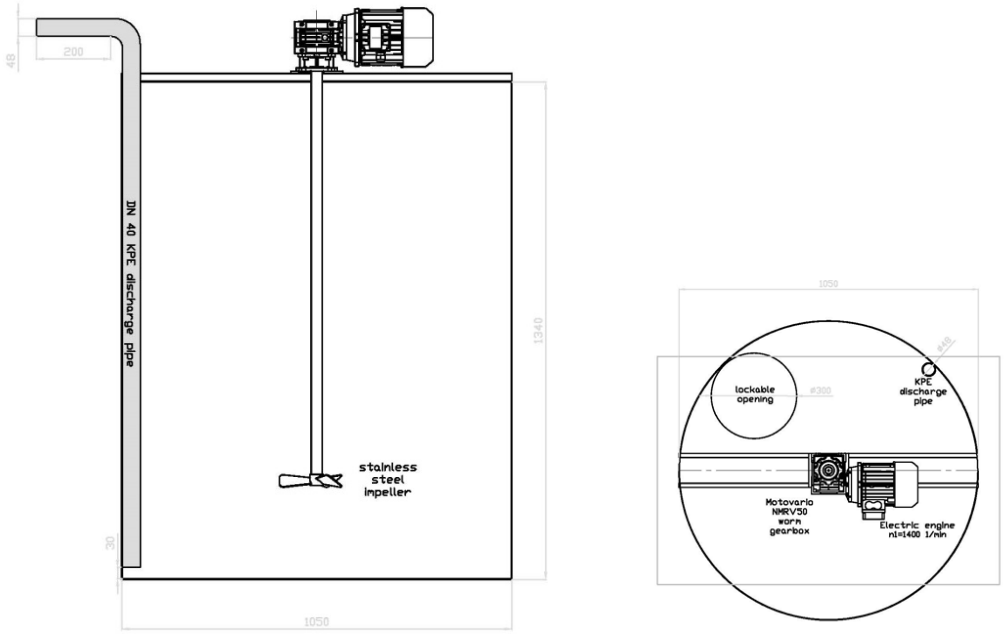
A klórozott szénhidrogének lebontására képes baktériumok számának növeléséhez a kedvező geokémiai viszonyok mellett hasznosítható tápanyagok bevitelére is szükség van. ezek a tápanyagok egyrészt szénforrások a baktériumok számára, másrészt elektron-donorok, s így a hasznosításuk során hidrogén-ionok képződnek, vagyis HRC (Hydrogene Release Compound) anyagok.

Számos ilyen anyag közül a kármentesítéshez célszerű minél olcsóbb és könnyen beszerezhető anyagokat kiválasztani: pl. laktóz, fruktóz, növényi olaj, vitaminok. A kármentesítendő területre, a fenti HRC anyagokból a legmegfelelőbb(ek) kiválasztása laboratóriumi mikrokozmosz kísérletekkel történik, melyek során az esetlegesen szükséges mikroelem tartalom is meghatározható, s a későbbiekben tápsó formájában adagolható.

A HRC anyag injektálása az nZVI-hez használt injektáló pontokban és mélységközökben történik, megegyezően az nZVI injektálással. Az injektálás a rétegellenállásnak megfelelő nyomással történik, ~30l/perc hozammal. A HRC injektálásokra az nZVI injektálást követően legalább 7 nappal kerülhet sor.

A HRC anyagot keverőtartályban vízzel kell elkeverni a helyszínen a felhasználás előtt, biztosítva a szemcsék/oldat teljes homogenizációját. Az 1 m3 polypropilén keverőtartály,

rozsdamentes acél keverőfejjel ellátott. A kitározás a keverőtartályba beépített Jessberger dob szivattyúval (Qmax = 200 l/perc, Hmax = 13 m, max. Viszkozitás: 1000 mPas, max. Sűrűség 1,9 kg/m3) történik. A keverőtartályt az alábbi ábra mutatja be:



33. ábra: keverőtartály

A HRC szuszpenziót a keverőből 1 m3-es IBC kitározó tartályokba kell átfejteni, majd egy feladó szivattyú _ - normál egyfázisú villanymotorral meghajtott centrifugál szivattyú, min. 40l/perc szállító kapacitással - segítségével innen injektálható. Az injektáláshoz, nagy nyomású Hydra-Cell G-10X hidraulikus membránszivattyút kell használni hasonlóan az nZVI injektálásához. A HRC anyag előállításához szükséges nyersvizet a hálózatból lehet vételezni.

Injektáló kutanként 9 m3 HRC szuszpenziót kell injektálni.

4.6.6. Utókezelés

Az utókezelést a fenti lépések végrehajtása után esetlegesen hátramaradó (D) érték feletti szennyezettség kezelése céljából kell végezni, a szükségleteknek megfelelően.

- Pump and treat termelő kutak kialakítása, vízkezelés, sztrippelés, tisztított víz elvezetése: szükség esetén alkalmas módszer lehet a vízbázis biztonságának fokozására, hidraulikai védelmet is biztosítva.
- ISCO eljárások: a korábban létesített injektáló kutakat felhasználva lehetséges in situ oxidációs eljárás alkalmazása, mely elsősorban esetleges hátramaradó VC szennyezettség kezelésére alkalmas. A terület adottságainak leginkább megfelelő reagensek a hidrogén-peroxid és az ózon, melyek nem okoznak szennyezést a felszín alatti vízben.

Az utókezelés szükségességéről az utolsó injektálás eredménye ismeretében lehet döntést hozni. Amennyiben az utókezelés szükségesnek ítéltetik, az injektálások után tapasztalható szennyezettségi állapot szerint kell kiválasztani az utókezelés módozatát és megtervezni azt.

4.7. A beavatkozás dokumentálásának módja

A műszaki beavatkozás helyszíni dokumentálására az építési naplóban kerül sor, amelynek vezetése a 14/1970. (VI.6) ÉVM. sz. rendelet alapján történik.

A műszaki beavatkozás befejezésekor el kell készíteni a 219/2004 (VII. 21.) Korm. rendelet 9. sz. melléklet szerinti záródokumentációt. A részjelentéseket a hatósági előírásoknak megfelelően kell elkészíteni.

4.8. Betartandó környezetvédelmi és egyéb jogszabályi előírások

A műveletek elkezdése előtt a munkálatokhoz biztonsági és higiéniai tervet kell biztosítani.

A mentesítési műtárgyak építése során az érvényben lévő általános és eseti munka-, baleset- és életvédelmi előírásokat be kell tartani.

A beépítendő eszközök és berendezések kiválasztásánál, telepítésénél és működtetésénél a tulajdonos által adott területre érvényes tűz- és robbanásveszély megelőzését szolgáló előírásokat be kell tartani.

A helyszínt el kell látni a megfelelő tűzvédelmi felszereléssel és használatukra az üzemeltetést végzőket ki kell oktatni. Egyéb kérdésekben a vonatkozó tűzrendészeti szabályok az érvényesek.

A beavatkozás alatt a kármentesítést végzőknek egyéni védőfelszerelés használata kötelező, különös tekintettel az illékony klórozott szénhidrogének veszélyességére.

4.9. A kármentesítéshez szükséges infrastruktúra bemutatása

Az injektáló kutak létesítése, valamint az injektálás speciális berendezések használatával történik, melyek rendes működésük során külön villamosenergia ellátásra, hálózati infrastruktúrára nem szorulnak.

Ettől függetlenül, a területi adottságokat vizsgálva megállapítható, hogy az ÉMI területén van kiépített elektromos csatlakozási lehetőség, a volt szovjet laktanya területén nincs.

Az injektálni kívánt anyagok bekeverését a helyszínen kell végezni, amihez a szükséges vízmennyiségnek az injektálni kívánt terület közvetlen környezetében kell rendelkezésre állnia. Az injektálás becsült vízszükséglete 9 m^3 kutanként, egy injektálási ciklus alkalmával.

4.10. Próbaüzemi terv

Az alkalmazni kívánt technológia esetén terepi pilot teszt elvégzésére került sor, mely során meghatározásra kerültek az injektálás műszaki paraméterei. A tervezet injektálás 3 ciklusban kerül elvégzésre, ami lehetőséget ad az egyes ciklusok eredménye értékelése alapján a technológia további optimalizálására. A műszaki megoldás jellege miatt a fent leírtak alapján külön próbaüzemi szakasz elvégzésre nem kerül sor. A beavatkozás alatt az eredmények folyamatos értékelésével kell a beavatkozás optimalizálását elérni.

4.11. A technológiák megvalósításának hossza, időütemezés

Egy injektálási ciklust az alábbi fázisokra lehet bontani:

- nZVI injektálás
- redoxpotenciál mérése
- mikrobiológiai aktivitás segédanyagokkal történő fokozás
- redoxpotenciál mérése

Amennyiben az nZVI, majd az előreláthatóan néhány héttel később a segédanyagok injektálása megtörtént, a redoxpotenciál folyamatos mérésével lehet az injektálási ciklus „hatékony élettartamát" mérni. Amikor a redoxpotenciál értéke visszaáll a -200 mV értékre, akkor az injektálási ciklus újra kezdődik. A jelenlegi ismeretek alapján egy-egy ciklus hossza minimum 1,5 hónap.

Az első két injektálási ciklus alatt mindegyik pontban kell injektálni, a harmadik ciklusban csak az injektáló pontok 75 %-ában.

A fenti becslést figyelembe véve a tervezett injektálási ciklusok megvalósítása várhatóan 2 évet vesz igénybe, a kivitelezés előkészítése és a kutak létesítése 1 év időigénnyel tervezhető.

4.12. A kármentesítési beavatkozás befejezésével elbontandó létesítmények terve

A beavatkozás befejeztével a visszamaradó szennyezettség pontos állapotának és eloszlásának ismeretében kerülnek meghatározásra a megtartandó és az eltömedékelendő injektáló és CMT kutak, a vízbázis hosszú távú védelme figyelembe vételével.

4.13. A kármentesítési beavatkozás végrehajtásához szükséges egyéb engedélyek beszerzésére vonatkozó tervek másolatai

A műszaki beavatkozási tervhez mellékeljük az injektáló kutak vízjogi engedélyezésre alkalmas tervét.

Amennyiben a hatóságok részéről az a döntés születik, hogy a 235 db egymástól 14-16 m távolságban mélyülő – 2-3 évig működő – injektáló kút vízjogi engedélyköteles, akkor az engedélyezési eljárás lefolytatható.

5. A tényfeltárás alatt és azt követően üzemeltetett kármentesítési monitoring bemutatása

5.1. A monitoring rendszer létesítményeinek bemutatása

A kármentesítés monitoring létesítményei – beleértve az ideiglenes megfigyelő pontokat is – több fázisban kerültek kialakításra. A szennyezettség megismerése az alábbi időpontokhoz köthető:

1997-1999.: Sérülékeny ivóvízbázisok biztonságba helyezése;

2002.: Tényfeltárás;

2010.: Tényfeltárási záródokumentáció;

2016.: Szentendre Dózsa György úti (volt szovjet) laktanya környezetének állapotfelmérése (NMV Zrt. megbízás);

2018.: 1910/2017. (XII. 7.) Korm. határozat végrehajtása;

I. A vízjogi engedéllyel rendelkező megfigyelő kutak 1997-2002 között létesültek.

A KTVF: 30272-8/2010. számú határozat szerint a kármentesítési montoring rendszer elemei (32. táblázat):

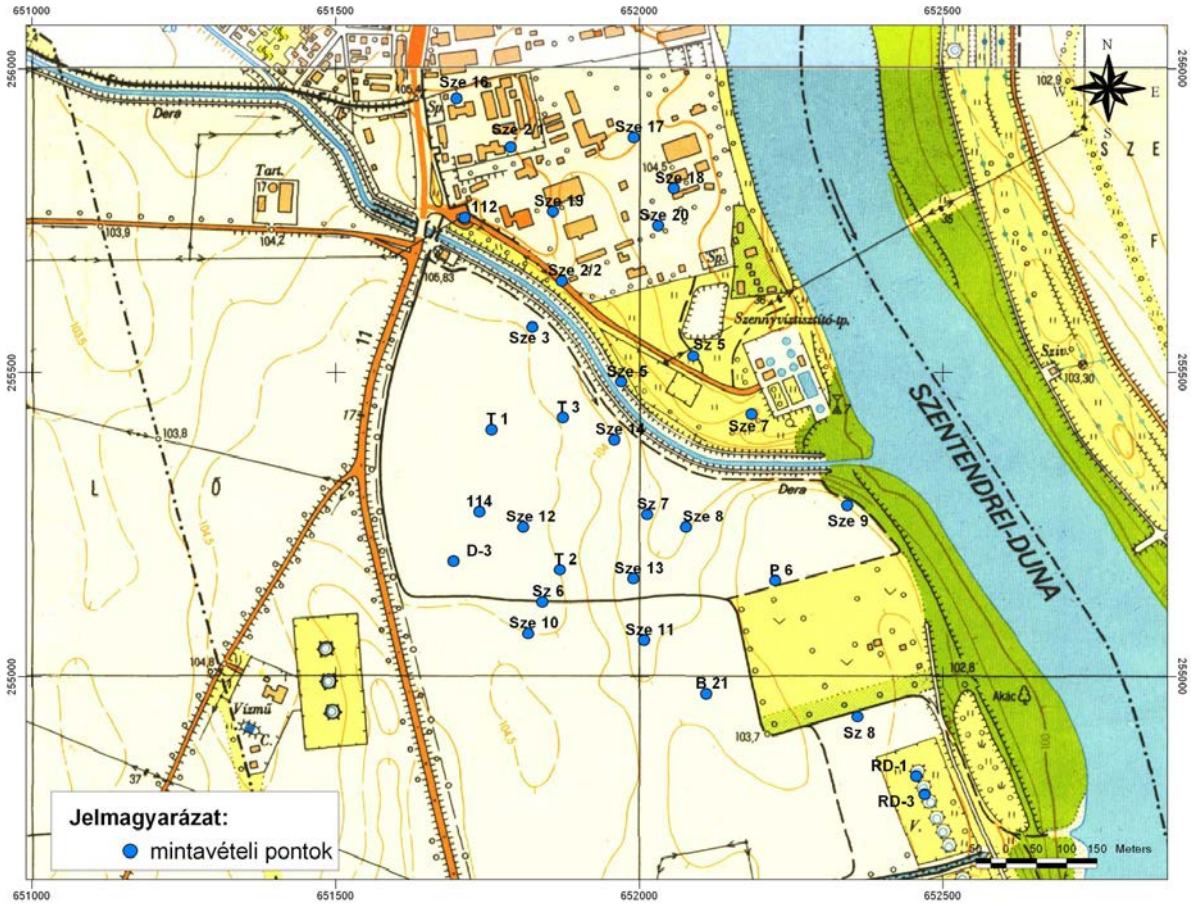
- A területen a korábbi kármentesítési munkálatok során létesült, vízjogi létesítési engedéllyel (H.77.830/2003., vízikönyvi szám:6.3/g/77) rendelkező monitoring kutak: Sze-1/2, Sze-2/2, Sze-3, Sze-5, Sze-7, Sze-8, Sze-9, Sze-10, Sze-11, Sze-12, Sze-13, Sze-14
- A területen a korábbi kármentesítési munkálatok során létesült, vízjogi létesítési engedéllyel nem rendelkező monitoring kutak: Sze-2/1, Sze-16, Sze-17, Sze-18, Sze-19, Sze-20, T-1, T-2, T-3
- A Duna Menti Regionális Vízmű Zrt. által üzemeltetett monitoring kutak: Sz-5, Sz-6, Sz-7, Sz-8, 112, 114, P-6, B-21, D-3, RD-1, RD-3

Kút jele	EOVy	EOVx	Csőperem magasság	Terep-magasság	Talp-mélység	Szűrőzött szakasz	Szűrőcső átmérő
			[mBf]	[mBf]	[m]	[m-m]	[mm]
Sze 1/2	651 658	255 817	105,66	105,33	11,83	9,0 - 11,0	125
Sze 2/1	651 788	255 871	107,17	106,32	12,85	9,5 - 11,5	110
Sze 2/2	651 872	255 651	105,75	104,91	12,54	9,2 - 11,2	125
Sze 3	651 824	255 575	105,86	105,18	13,38	10,2 - 12,2	125
Sze 5	651 970	255 485	104,69	104,00	13,19	11,0 - 13,0	125
Sze 7	652 185	255 432	106,07	105,26	13,81	10,5 - 12,5	125
Sze 8	652 077	255 246	103,81	102,90	13,51	10,1 - 12,1	125
Sze 9	652 342	255 282	105,81	104,99	14,82	11,5 - 13,5	125
Sze 10	651 817	255 071	105,40	104,67	12,73	9,5 - 11,5	125
Sze 11	652 008	255 060	103,72	102,90	12,62	9,3 - 11,3	125
Sze 12	651 809	255 246	106,21	105,37	14,84	11,5 - 13,5	125
Sze 13	651 990	255 161	105,00	104,12	12,98	9,5 - 11,6	125
Sze 14	651 959	255 390	104,24	103,37	12,57	9,2 - 11,2	125
Sze 16	651 699	255 951	106,14	105,54	13,10	10,0 - 12,0	110
Sze 17	651 991	255 887	106,11	105,42	15,69	13,0 - 15,0	125

Kút jele	EOVy	EOVx	Csőperem magasság	Terep-magasság	Talp-mélység	Szűrőzött szakasz	Szűrőcső átmérő
			[mBf]	[mBf]	[m]	[m-m]	[mm]
Sze 18	652 057	255 803	106,07	105,40	15,67	12,5 - 14,5	125
Sze 19	651 858	255 765	106,02	105,20	13,82	10,5 - 12,5	125
Sze 20	652 031	255 742	105,39	104,73	13,16	10,0 - 12,0	125
T 1	651 757	255 406	105,62	105,40	14,92		200
T 2	651 869	255 176	104,83	104,48	15,55		200
T 3	651 874	255 426	104,96	104,77	14,89		200
Sz 5	652 089	255 527	106,18	105,26	16,92	2,5 - 16,0	125
Sz 6	651 840	255 123	104,95	104,09	13,86	2,5 - 12,0	125
Sz 7	652 013	255 267	103,86	103,07	13,79	2,5 - 12,0	125
Sz 8	652 359	254 934	104,84	104,07	8,27	2,0 - 7,5	125
112	651 712	255 755	106,41	105,50	14,91	9,5 - 12,5	125
114	651 737	255 271	106,28	105,45	14,83	10,1 - 13,1	125
P 6	652 224	255 158	105,33	104,21	15,72		125
B 21	652 110	254 972	104,15	103,87	9,38	5,0 - 11,0	125
D-3	651 694	255 190	103,18	104,59	13,09	5,0 - 11,5	125
RD-1	652 456	254 836	105,27	104,00	21,27	4,0 - 12,0	125
RD-3	652 470	254 806	105,21	104,10	20,11	4,0 - 12,0	125

32. táblázat KTVF 30272-8/2010. számú határozat szerinti a kármentesítési montoring rendszer adatai

A határozatban foglalt mintavételi pontok elhelyezkedését a 34. ábra mutatja.



34. ábra A monitoring létesítményeinek elhelyezkedése

II. A 2009-2010 évi tényfeltárás során többszöri mintavételre alkalmas létesítmény nem került kialakításra.

III. A 2016. évi állapotfelmérés során 51 db ideiglenes mintavételre alkalmas fúrás létesült (33. táblázat). A kutakat „A” jellel különböztették meg a korábban létesített monitoring pontoktól.

Fúrás jele	EOVy	EOVx	Csőperem magasság	Terep-magasság	Talp-mélység	Szűrőzött szakasz	Szűrőcső átmérő
			[mBf]	[mBf]	[m]	[m-m]	[mm]
A1	255074	651910	104,08	103,57	11,1	9,1 - 11,1	63
A2	255131	651775	105,17	104,34	12,5	10,5 - 12,5	63
A3	255209	651823	105,19	104,45	12	10 - 12	63
A4	255237	651949	104,50	103,95	13,7	11,7 - 13,7	63
A5	255204	651764	105,32	104,97	12,5	10,5 - 12,5	63
A6	255282	651872	105,26	104,59	13	11 - 13	63
A7a	255317	651917	105,08	104,40	14	12 - 14	63
A+	255175	652144	103,68	103,88	13,6	11,6 - 13,6	63
A9	255309	652037	103,88	103,75	15,4	13,4 - 15,4	63
A10	255357	651823	105,18	104,72	13,1	11,1 - 13,1	63
A11	255389	651914	104,52	104,07	13,1	11,1 - 13,1	63
A12	255384	651749	104,98	104,85	13,5	11,5 - 13,5	63
A13	255431	651793	104,55	105,15	13,6	11,6 - 13,6	63
A14	255436	651849	105,01	104,56	13,1	11,1 - 13,1	63
A15	255434	651925	104,26	103,76	13,5	11,5 -13,5	63
A16	255482	651862	104,90	104,59	13,2	11,2 -13,2	63
A17	255470	651769	106,13	105,43	13,6	11,6 -13,6	63
A18	255489	651815	105,57	104,82	12,5	10,5 -12,5	63
A19	255470	651890	104,94	104,59	12,4	10,4 -12,4	63
A20	255530	651863	104,85	104,59	12,7	10,7 - 12,7	63
A21	255540	651754	105,45	105,10	13	11 - 13	63
A22	255591	651795	104,56	104,79	13	11 - 13	63
A23	255435	652014	104,01	103,49	14,4	12,4 - 14,4	63
A24	255453	652081	104,64	104,19	13,5	11,5 - 13,5	63
A25	255484	652149	106,14	105,54	14,5	12,5 - 14,5	63
A26	255586	652230	106,05	105,35	15	13 - 15	63
A30	255599	652112	104,75	104,85	14	12 - 14	63
A31	255599	652032	104,90	104,94	13,4	11,4 - 13,4	63
A32	255626	651923	105,71	105,06	13,5	11,5 - 13,5	63
A33	255669	652105	105,91	105,30	15	13 - 15	63
A34	255676	652037	105,56	105,01	13,7	11,7 - 13,7	63
A35	255702	651827	105,72	105,27	13,2	11,2 - 13,2	63
A36	255720	651964	106,24	105,24	12,8	10,8 - 12,8	63
A37	255733	651872	105,27	105,14	13,5	11,5 - 13,5	63
A38	255768	651913	106,01	105,16	13,6	11,6 - 13,6	63
A39	255758	651764	105,70	104,97	14	12 - 14	63
A41	255753	652135	105,38	105,31	15	13 - 15	63
A42	255761	652075	104,82	105,33	15,3	13,3 - 15,3	63

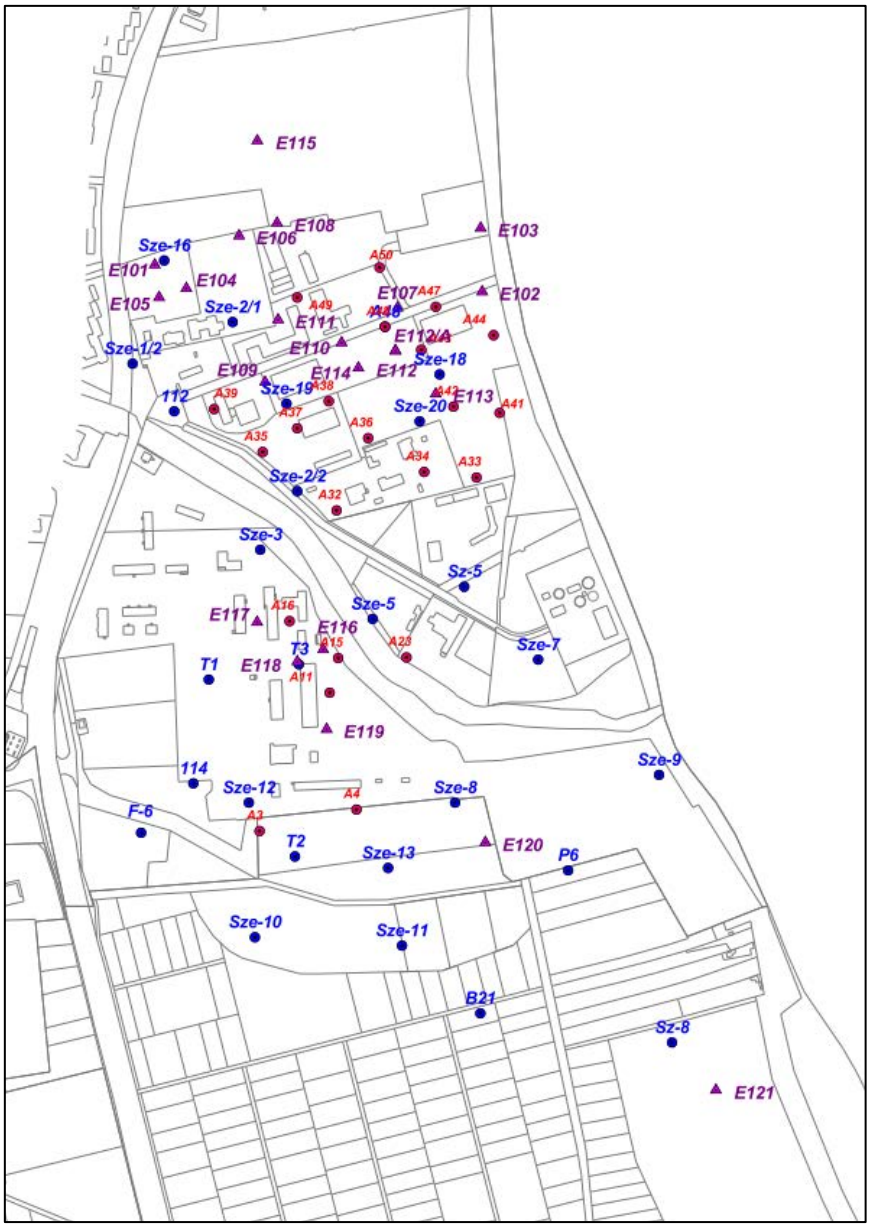
Fúrás jele	EOVy	EOVx	Csőperem magasság	Terep-magasság	Talp-mélység	Szűrőzött szakasz	Szűrőcső átmérő
			[mBf]	[mBf]	[m]	[m-m]	[mm]
A43	255835	652033	105,38	105,12	14,1	12,1 - 14,1	63
A44	255854	652127	105,58	105,24	14,8	12,8 - 14,8	63
A45	255805	651840	-	105,35	14	12 - 14	63
A46	255830	651891	-	105,17	12,4	10,4 - 12,4	63
A47	255891	652052	105,60	105,19	15,2	13,2 - 15,2	63
A48	255865	651986	106,03	104,99	13,5	11,5 - 13,5	63
A49	255903	651872	105,58	104,98	14,1	12,1 - 14,1	63
A50	255942	651979	105,80	105,20	14,5	12,5 - 14,5	63

33. táblázat 2016. évi felmérés során létesített mintavételi pontok adatai

35. ábra 2016. évi felmérés során létesített mintavételi pontok

IV. A szennyezett terület pontosításához, valamint a műszaki beavatkozási tervhez készített feltárások 2018-ban létesültek. Az ideiglenes mintavételi pontok „E” jelzést kaptak.

A fúrások helyszínrajzát a 36. ábra, műszaki paramétereit a 34. táblázat tartalmazza.



36. ábra "E" jelű fúrások helyszínrajza

Fúrás jele	EOVy	EOVx	Csőperem magasság	Terep-magasság	Talp-mélység	Szűrőzött szakasz	Szűrőcső átmérő
			[mBf]	[mBf]	[m]	[m-m]	[mm]
E101	255947,6	651686,9	106,13	105,45	18,25	15,4-17,4	63
E102	255912,6	652112,4	105,02	105,11	17,91	15,9-17,4	63
E103	255995,3	652110,4	106,69	106,00	15,65	12,9-14,9	63
E104	255916,9	651727,8	106,09	105,44	17,23	14,3-16,3	63
E105	255905,1	651692,4	106,28	105,55	12,38	9,6-11,4	63
E106	255985,4	651796,3	106,52	105,79	19,63	16,9-18,9	63
E107	255891,6	652002,5	105,08	105,12	18,95	11,9-18,9	63
E108	256001,9	651845,7	105,72	105,06	16,72	13,8-15,8	63

Fúrás jele	EOVy	EOVx	Csőperem magasság	Terep-magasság	Talp-mélység	Szűrőzött szakasz	Szűrőcső átmérő
			[mBf]	[mBf]	[m]	[m-m]	[mm]
E109	255794,9	651830,2	104,92	105,03	13,6	11,7-13,7	63
E110	255846,1	651929,5	105,01	105,08	13,73	12,0-14,0	63
E111	255876	651847,1	104,66	104,69	12,77	10,8-12,8	63
E112	255835,6	651999,9	104,82	104,88	12,46	10,8-12,4	63
E112/A	255835,7	652000,3	104,88	104,91	9,32	7,20-9,2	63
E113	255779,7	652052,1	104,76	104,83	12,86	10,4-12,9	63
E114	255813,3	651951,6	104,82	104,95	14,76	13,0-15,0	63
E115	256126,0	651848,0	105,04	104,20	12,00	10,0-12,0	63
E116	255447,1	651905,7	104,52	103,85	12,77	10,0-12,0	63
E117	255482,7	651819,8	105,40	104,68	16,15	13,7-15,7	63
E118	255432,1	651868,1	105,01	104,31	14,19	11,3-13,3	63
E119	255343,4	651910,3	104,95	104,26	13,82	11,0-13,0	63
E120	255196,2	652116,4	105,47	104,78	16,48	13,7-15,7	63
E121	254873,0	652416,7	104,64	103,82	12,3	10,3-12,3	125/115

34. táblázat "E" jelű mintavételi pontok műszaki paraméterei

5.2. A vizsgált paraméterek köre környezeti elemenként, térben lehatárolva.

A szennyezettség megismerése és a rendszeres monitoring vizsgálat során mért paramétereket – környezeti elemenként – a 35. táblázat ismerteti.

Időszak	Feladat	Talajvizsgálat	Vízvizsgálat
1997-1999	Vízbázis diagnosztikai vizsgálat	Szennyezésre vonatkozó talajvizsgálat nem történt	Szennyezőforrás és termelő kutak sérülékeny ivóvízbázisok biztonságba helyezési programja szintű feltárása
1999-2001	Rendszeres vizsgálatok	-	Alkalomszerű VOCl vizsgálat
2002-2003	Részletes tényfeltárás	-	Monitoring kialakítása (új kutak kiépítése, meglévő kutak kármentesítési monitoring rendszerbe történő bevonása), VOCl (DCE, TriCE, TeCE és VC), illetve alkalmanként szulfát vizsgálatára került sor.
2004-2008	Rendszeres vizsgálatok	-	Halogénezett alifás szénhidrogének: DCE, TriCE, TeCE és VC –

Időszak	Feladat	Talajvizsgálat	Vízvizsgálat
			minden mintában, szulfát – B-21, Sz-6, Sz-8, Sze-10, Sze-11, Sze-12, Sze-13, T2 monitoring pontokban.
2009-2010	Tényfeltárás	12 db talajvizsgálat	ÁVK, Redoxpotenciál,VOCl
2010-	Rendszeres monitoring	-	VOCl vizsgálat a meghatározott kutakban
2016.	Szentendre Dózsa György úti (volt szovjet) laktanya környezetének állapotfelmérése	-	Összes mintázható kút (monitoring kutak, „A” jelű pontok) VOCl vizsgálata
2018.	Műszaki beavatkozás tervezése	Tájékoztató talajmintavétel az „E” jelű fúrásokból (VOCl).	Összes mintázható kút (monitoring kutak, „A” és „E” jelű pontok) VOCl vizsgálata

35. táblázat Vizsgált paraméterek összefoglalása

5.3. A vizsgálati gyakoriság

A felszín alatti vízvizsgálat időpontjait a 36. táblázat mutatja.

Időszak	Feladat	Mintavétel időpontja időpont
1997-1999	Vízbázis diagnosztikai vizsgálat	Expediciós vizsgálat
1999-2001	Rendszeres vizsgálatok	1999.V.15. 1999.XI.9 1999.XI.23 2000.III.1. 2000.V.2. 2000.05. 2000.VIII.29. 2000.XII.5. 2001.IV.17. 2001.VII.24. 2001.XI.6.
2002-2003	Részletes tényfeltárás	2002.I.29. 2002.XI.11.18-20 2003.IV.14-15. 2003.V.5-8. 2003.05. 2003.VII.21-23. 2003.07.
2004-2008	Rendszeres vizsgálatok	2004.VII. 6-7.

Időszak	Feladat	Mintavétel időpontja időpont
		2005.11.21 2006.III.13. 2006.03. 2006.05.29 2006.05. 2007.06.20 2007.12.10-11 2008.01.15-16. 2008.02.12 2008.03.12 2008.04.16 2008.05.14 2008.06.11 2008.06.16 2008.07.08-09 2008.07.09 2009.05.11
2009-2010	Tényfeltárás	2009.11.10 2010.03.01
2010-	Rendszeres monitoring	2010.03.22 2010.04.08 2010.04.12-13, 15 2010.04.21 2010.10.19 2010.11.18 2011.02.15-17. 2011.11.9-11. 2012.02.16 2012.03.26 2012.06.05 2013.09.09 2014.05.20 2014.10.28 2015.06.24 2015.09.08-09 2015.09.18V 2015.11.20V 2016.08.22V 2016.10.19 2017.04.03-04 2017.06.12-13. 2017.06.19 2017.07.22

Időszak	Feladat	Mintavétel időpontja időpont
		2017.08.22-23. 2017.10.03 2017.10.25-26-27-30 2017.10.30-31 2018.05.09 2018-07-16-19 2018.08.29
2016.	Szentendre Dózsa György úti (volt szovjet) laktanya környezetének állapotfelmérése	2016.11.24 2016.12.15-19
2018.	Műszaki beavatkozás tervezése	2018. 03.-04. 2018.06.28 2018.08.24 2018.10.1-4

36. táblázat felszín alatti vízvizsgálat időpontjai

5.4. A mérések, megfigyelések, észlelések, továbbá a mintavételezések módszertana

Az expedíciós (vízbázis diagnosztika, illetve tényfeltárás), valamint a rendszeres monitoringozás során a mintavevő szervezet akkreditációjának megfelelően a kutakban a tisztítószivattyúzás előtt nyugalmi vízszint és talpmélység mérés történt. A talpmélység és a nyugalmi vízszint adatai alapján a helyszínen került meghatározásra a kútban lévő víz mennyisége, illetve ennek a háromszorosa (háromszoros kúttérfogat).

Ezt követően végezték el a tisztító szivattyúzást, mely közben pH, vezetőképesség és vízhőmérséklet mérés történt. A fenti paraméterek állandósulását követően a kutak mintázása során mintavételi jegyzőkönyvben rögzítették az akkreditált szabvány szerinti helyszíni pH-, vezetőképesség- és hőmérsékletmérési eredményeket.

A mintákat légmentesen záródó edénybe vették, szükség esetén a laboratóriummal egyeztetett módon mintatartósítást végeztek. A minták szállítása során a hűtést biztosították.

A mintavételi jegyzőkönyvet a 2018. évi vizsgálatok kivételével az adott jelentés tartalmazza. A jelenlegi dokumentáció kizárólag a 2018. évi, KDVVIZIG által megbízott mintavételi és analitikai jegyzőkönyvét tartalmazza.

5.5. A mért, észlelt, megfigyelt adatok nyilvántartása és feldolgozási rendje

A feladat teljesítése során a rendelkezésre álló adatokat táblázatos formában dolgoztuk fel (19. melléklet). A táblázatban szereplő, mért értékek alapján komponensenként meghatároztuk a vizsgálati időszakban a kutankénti észlelt maximum koncentrációt, a mért érték viszonyát a (B) szennyezettségi határértékhez, illetve a részterületekre javasolt (D) kármentesítési célállapot határértékhez.

5.6. Az értékelés és adatszolgáltatás rendje, az értékelés eredménye, amelynek ki kell terjednie a következőkre:

Az adatszolgáltatást a kötelezett Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság saját hatáskörben végzi.

5.6.1. A létesítmények állapota

A létesítmények állapota változó. A kutak/mintavételi pontok egy része rendelkezik védőcsővel, más részük („A" jelű ideiglenes mintavételi pontok) nem. A kutak, ideiglenes mintavételi pontok mintavételre alkalmasak.

5.6.2. A mintavételek rendszeressége

A mintavételek a költségvetési forrás rendelkezésre állásának függvényében történtek. A mintavételi időpontokat a 36. táblázat mutatja.

5.6.3. A mintavételek megbízhatósága

A mintavételek akkreditáltan, az adott mintavételi szervezet MINŐSÉGÜGYI KÉZIKÖNYV-ében foglaltak szerint, az ott meghatározott megbízhatósággal készültek.

5.6.4. A helyszíni vizsgálatok megbízhatósága

A helyszíni vizsgálatok akkreditáltan, az adott mintavételi szervezet MINŐSÉGÜGYI KÉZIKÖNYV-ében foglaltak szerint, az ott meghatározott megbízhatósággal készültek.

5.6.5. A laboratóriumi vizsgálatok megbízhatósága

A laboratóriumi vizsgálatok akkreditáltan, az adott laboratórium MINŐSÉGÜGYI KÉZIKÖNYV-ében foglaltak szerint, az ott meghatározott megbízhatósággal készültek. A rendelkezésre álló dokumentációk alapján a mérések megbízhatósága 90% feletti.

5.6.6. Az adatok viszonyítása a vonatkozó határértékekhez

Az eredmények értékelése, valamint a beavatkozás tervezéséhez a mérési eredményeket a 37. táblázatban ismertetett határértékekhez viszonyítottuk.

Szennyezőanyag	Talajvíz (µg/l)		
	(B)	(D) iparterület	(D) laktanya
Tetraklór-etilén	10	240	-
Triklór-etilén	10	150	-
Diklór-etilének	10	200	65
Vinil-klorid	0,5	30	10

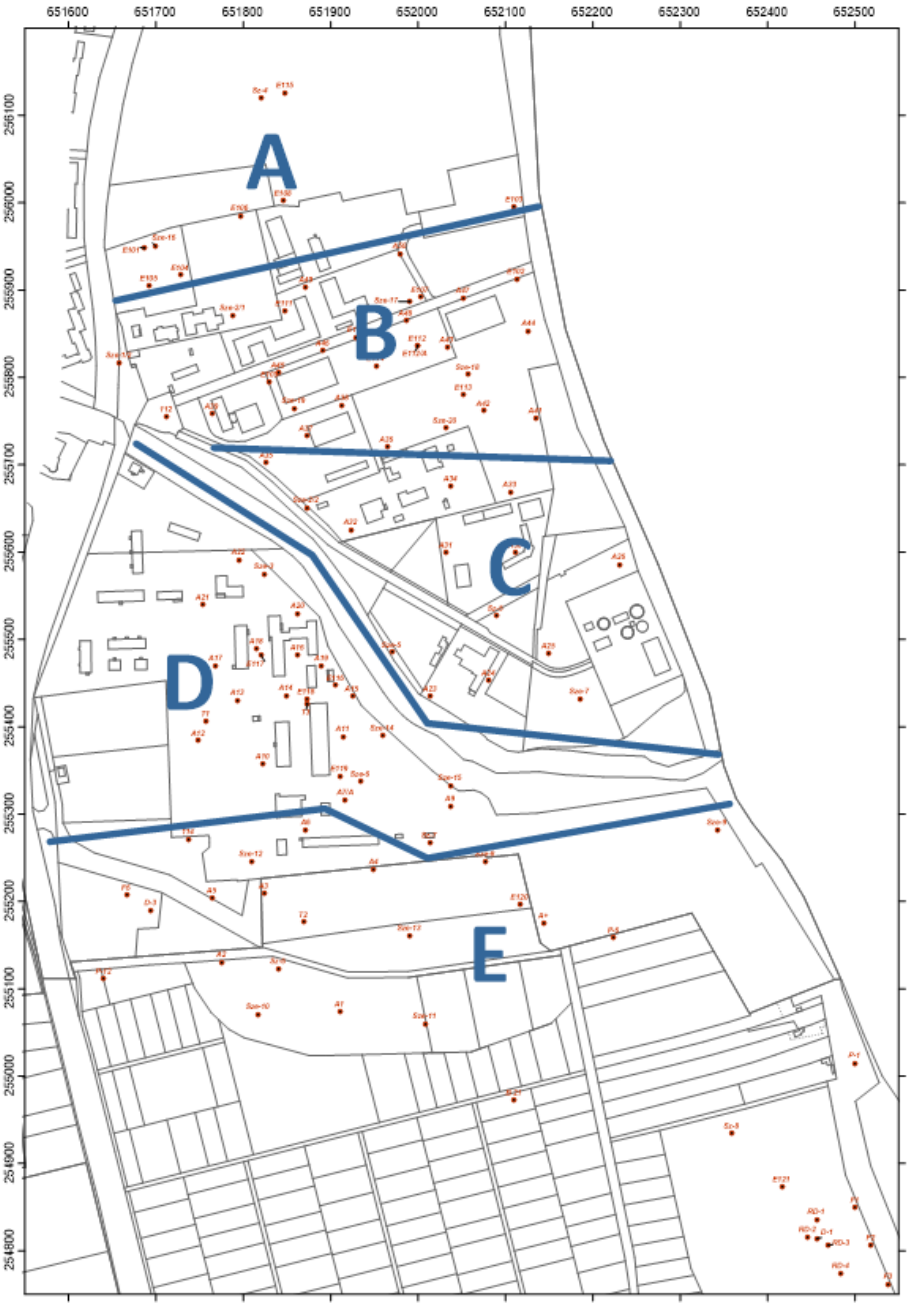
37. táblázat Viszonyítási határértékek részterületenként

5.6.7. Trendvizsgálatok, tendenciák felismerhetősége

A szennyezőanyag viselkedésében trendszerű változás nem ismerhető fel. A mérések során az eredmények szórása nagy. Illékony klórozott szénhidrogének esetében itt is ugyanúgy, mint más területen megfigyelhető, hogy az akár rövid időn belüli mérések között is igen nagy az eltérés.

5.6.8. A szennyezett földtani közeget, felszín alatti vizet térben lehatároló monitoring eredmények rövid, összefoglaló bemutatása.

A mérési eredmények értékelése, a szennyezettség bemutatása érdekében a területet öt részterületre osztottuk.



37. ábra: értékelési részterületek

Az „A" jelű részterület a vizsgálati terület É-i részén található, az Sz4; Sze16; E 101; E 103; E 104; E 105; E 106; E 108 és E 115 jelű fúrással jellemezhető. A területre vonatkozóan 2000. óta rendelkezünk az Sz4; Sze16 fúrásokból vizsgálati eredménnyel. Ezeket az eredményeket egészíti ki a 2018-ban létesített „E" jelű fúrások analitikai vizsgálata.

A területen az elmúlt 18 év során egyetlen klórozott szénhidrogén komponens esetében sem észleltek (B) szennyezettségi határértéket megközelítő szennyezettséget.

A „B” jelű részterület az ÉMI területének az É-i része, a 112; Sze1/2; Sze2/1; Sze17; Sze18; Sze19; Sze20; A/36; A/37; A/38; A/39; A/41; A/42; A/43; A/44; A/45; A/46; A/47; A/48; A/49; A50; E 102; E 107; E 109; E 110; E 111; E 112; E 112/A; E 113 és E 114 fúrásokkal jellemezhető.

Ez a terület tekinthető a szennyező gócterületnek. Itt egyaránt magas PCE, TCE, DCE, illetve VC értékeket lehetett több esetben mérni.

A PCE mért maximuma 2390 µg/l, a TCE maximuma 346 µg/l, a VC maximuma 80,5 µg/l volt, melyeket 2018-ban észleltünk. A DCE maximumát 2003-ban észlelték 1140 µg/l koncentrációban.

PCE szennyezettség jellemzése:

112 és Sze1/2 fúrással a PCE szennyezett terület nyugatról lehatárolásra került. Szintén nem mutat szennyezettséget az Sze20, A/36, A/38, A/45, A/47, A/50, E102, E109 fúrás. Az A/44-es fúrás minden mérése kimutatási határérték alatti koncentrációt adott.

Az A/37-es fúrásban a mért szennyezőanyag koncentráció jellemzően (B) érték körül mozog. Ugyanez mondható el az Sze-19, A/37, A/41, A/49, E/102, E/109 mérési pontok esetében.

Magas, a (B) szennyezettségi határt kétszeresen meghaladó koncentráció legalább egyszer volt mérhető (1999-2018) az Sze2/1, Sze17, Sze18, A/39, A/42-A/44, A/46, E107, E110-114 fúrásban.

Kiemelkedően magas érték volt az A/43, A/48, E111, E112 és E114 jelű fúrásokban.

TCE szennyezettség jellemzése:

A szennyezettség eloszlása hasonló képet mutat a PCE szennyezettség eloszlásával, de a szennyezőanyag elterjedése és mért koncentrációk kisebb értékűek. A területen 2018-ban mértük a legmagasabb értéket (A/48). A TCE komponens ugyanúgy, mint a PCE 2003-2016 közötti időszakban az Sze17 és Sze18 fúrásban jelentkezett magas koncentráció értékekkel. 2018-ban az A/43, A/48, E107, és E111, fúrásokból vett vízminták mutatták a legnagyobb értéket.

DCE szennyezettség jellemzése:

A klórozott szénhidrogének bomlási sorozatának harmadik tagja a területen nagyobb kiterjedésben észlelhető, mint a PCE és TCE.

Szennyezettségi határérték alatti koncentrációval jellemezhetők az Sze1/2, A/39, A/42, E102, E112/A kutakból vett vízminták. (B) szennyezettségi határértéket kisebb mértékben átlépő szennyezettség volt mérhető a 112, Sze 18, Sze20, A/43, A/44, E110, és az E112 mintavételi pontban.

Komolyabb szennyezettséget mutató koncentráció volt mérhető a mérési időszakban (1999-2018 között) legalább egyszer az Sze2/1, Sze17, Sze18, Sze19, Sze20, A/36, A/37, A/38, A/41, A/44-A/50, valamint az E107, E109-E/111, E/113-E/114 kutakban. A maximális koncentrációt 2003-ban az Sze19 kútban észlelték.

VC szennyezettség jellemzése:

Vinilklorid (B) érték feletti szennyezettséget egyetlen egy mérés során sem lehetett kimutatni a 112, Sze1/2, Sze2/1, Sze18, Sze20, A/36, A/41, A/42, A/43, A/44, A/46, E102, E107, E109, E112, E112/A, E 113 és E114 pontokon.

(B) határértéket kismértékben meghaladó koncentráció az A/38, A/47 kutakban volt mérhető a szennyezettség ismertté válása óta.

Magas, a (B) szennyezettségi határt kétszeresen meghaladó koncentráció legalább egyszer mérhető volt 1999-2018 közötti időszakban az Sze17, Sze19, A/37-A/39, A/46, A/48, A/50, E110-E/111 pontokon. A legszennyezettebb mérési eredményt 2018-ban észleltük az E/110-es pontban.

A „C" jelű részterület az ÉMI területének a D-i része, az Sz5, Sze2/2, Sze5, Sze7, A/23, A/24, A/25, A/26, A/30, A/31, A/32, A/33, A/34, A/35 és A/35 fúrásokkal jellemezhető. A terület déli határa a Dera-patak.

A PCE mért maximuma 25,7 µg/l, a TCE maximuma 5,4 µg/l, DCE maximuma 1650 µg/l a VC maximuma 64,2 µg/l volt.

A területen (B) értéket meghaladó PCE szennyezettséget az Sze5, A/32, A/33 és A/35 fúrásban észleltek. A 25,7 µg/l-es maximális értéket 1999-ben mérték.

(B) szennyezettségi határértéket meghaladó TCE szennyezettség kimutatására a vizsgálat (1999-2018) során nem került sor.

A fenti eredmények, valamint a DCE és VC koncentrációk egyaránt bizonyítják, hogy a területet csóvaterületnek kell tekinteni. Az A/24, A/25, A/26, A/30, és az A/31 pont kivételével minden pontban lehetett a vizsgálat során (B) érték kétszeresét meghaladó DCE szennyezettséget kimutatni. Vinilklorid esetében is hasonló a kép, de ez a szennyezőanyag még több kútban megjelent. (B) értéket meg nem haladó koncentrációt csak az A/24, A/30 és A/32 kút mutatott. A többi kútban a mérések közül legalább egy meghaladta a (B) határérték kétszeresét. Maximális szennyezettségi értéket 2018-ban mértünk.

A „D" jelű részterület a Dera-pataktól délre, a volt szovjet laktanya területe. A terület a következő fúrásokkal jellemezhető: Sz7, Sze14, Sze15, Sze3, T1, T3, Sze6, A/7A, A/9, A/10, A/11, A/12, A/13, A/14, A/15, A/16, A/17, A/18, A/19, A/20, A/21, A/22, E 116, E 117, E 118, E 119. A korábbi időszakban feltételezettekkel ellentétben ez a terület nem elsődleges gócterület, hanem szennyező csóva terület, viszont a klórozott szénhidrogén bomlástermékeit bizonyos időszakokban magas koncentrációban lehet mérni.

A részterületen a PCE mért maximuma 33 µg/l, a TCE maximuma 7,3 µg/l, DCE maximuma 1593,7 µg/l a VC maximuma 282 µg/l volt.

PCE esetében az 1999-2018 közötti időszakban két kútban lehetett (B) szennyezettségi határérték feletti koncentrációt mérni. Az Sz7 kútban 2001-2002 évi mérések, a T3 pontban 2010-ben és 2015-ben mutatkozott szennyezettségi határérték túllépés. TCE mérések közül egyetlen kútban sem volt határértéket meghaladó eredmény.

A DCE szennyezőanyag területi elterjedését mutatja, hogy csak a terület keleti és nyugati szélén mélyült A/7A, A/9, A/10, A/12-A/14, A/16-A/21, E116 és E119 fúrásokban mért szennyezettség nem haladta meg a határértéket. (B) határértéket kismértékben meghaladó

szennyezettség a mérések során az Sze3, A/11, E111 jelű fúrásban jelentkezett. Az összes többi fúrásban a (B) szennyezettségi határt kétszeresen meghaladó koncentráció legalább egyszer mérhető volt. A vinilklorid szennyezettség hasonló képet mutat a DCE komponens elterjedéséhez. A monitoringozási időszakban a T1, A/7A, A/10, A/12-A/14, A/17, A/18, A/21, A/22, E117 és E119 fúrásokban mért szennyezettség nem haladta meg a határértéket. Az összes többi kútban legalább egyszer mértek (B) határérték kétszeresét meghaladó koncentrációt. A legmagasabb értéket 2010-ben a T3 ponton mérték.

Az „E" részterület a vizsgálati terület déli részén a Szentendre Regionális Déli Vízbázis É-i kútjaiig terjed. Az értékelés az alábbi mérési helyek alapján történt: 114, A+, B21, D3 (F6), P6, RD1, RD3, RéD1, RéD2, RéD3, Sz6, Sz8, Sze10, Sze11, Sze12, Sze13, Sze8, Sze9, T2, P1, P12, A/1, A/2, A/3, A/4, A/5, A/6, E120, E121.

A részterületen a PCE mért maximuma 95 µg/l, a TCE maximuma 40,4 µg/l, DCE maximuma 7010 µg/l a VC maximuma 9,9 µg/l volt.

A magas DCE szennyezettséget 1999-ben a Szentendre Régi Déli vízbázis RéD3 kútjában mérték. 2003-tól egyetlen pontban sem mértek (B) értéket meghaladó koncentrációt.

TCE szennyezettség legmagasabb értékét szintén 1999-ben észlelték. Ezen a területen 2008-tól nem mutatkozott (B) határértéket meghaladó TCE koncentráció.

Hasonlóan az előző szennyezőanyagokhoz a DCE szennyezettség szintén 1999-ben, valamint a 2000-es években több kútban mutatkozott. A legutóbbi időkben folyamatos szennyezettség mérhető az Sze12, A/3, A/4 kutakban.

Vinilklorid mérésre a monitoringozás kezdeti időszakában ezen a területen nem került sor, mérési eredmények 2002-től állnak rendelkezésre. (B) szennyezettségi értéket meghaladó koncentrációt az A/1, Sz6, Sze8, Sze11-Sze13, T2 és E120-as kútban lehetett mérni.

A (D) határérték (37. táblázat) feletti felszín alatti víz szennyezettség térképét az 20. melléklet mutatja be.

A (B) és (D) határérték felett szennyezett terület kiterjedését 38. táblázat mutatja be.

		területi kiterjedés (ha)
(B) feletti szennyezettség		32,8
(D) feletti szennyezettség	az iparterületen	6,5
	a laktanya területén	1,5

38. táblázat: felszín alatti víz szennyezettség területi kiterjedése (B) és (D) határérték felett

6. A beavatkozáshoz kapcsolódó kármentesítési monitoring bemutatása

6.1. A javasolt monitoring rendszer létesítményeinek bemutatása

A javasolt monitoring rendszert két szakaszra kell bontani, melynek 1. szakasza a műszaki beavatkozás megkezdéséig, 2. szakasza a műszaki beavatkozás megkezdésétől tart a beavatkozás befejezéséig. Az üzemeltetést ennek megfelelően szükséges végezni.

A javasolt monitoring rendszer elemeit a 21. melléklet mutatja be.

6.1.1. Meglévő létesítmények műszaki adatai

A meglévő létesítményeket az alábbi módon lehet csoportosítani:

- VIZIG által üzemeltetett vízjogi engedéllyel rendelkező monitoring kutak (SZ-, SZE- és T-jelűek),
- 2016-ban létesített ideiglenes mintavételi pontok (A-jelűek),
- 2018-ban létesített ideiglenes mintavételi pontok (E-jelűek).

A műszaki beavatkozás ideje alatt az összes meglévő létesítményt javasoljuk megtartani és a 6.2. fejezetben leírtak szerint továbbiakban is ellenőrizni. A meglévő monitoring kutak műszaki állapotát ellenőrizni kell, a hiányzó kútsapkákat pótolni, mindegyik kutat legalább csőkulccsal zárható kútsapkával ellátni szükséges.

6.1.2. Javasolt új létesítmények műszaki adatai

Új létesítmények a műszaki beavatkozás hatékonyságának ellenőrzésére szolgáló CMT-kutak lesznek. A CMT észlelő pontok kialakítása szónikus fúrással és védőcső beépítéssel történik. Az alacsony hozamú („low-flow”) mintavételre alkalmas, kis kúttérfogatú mintavételi kutakban három-három szűrőzött szakasz kialakítása szükséges az ÉMI területén előreláthatólag 8-12 m mélységközben, a Laktanya területen 6-16,5 m mélységközben.

Az injektálási terület ellenőrzését nagyjából egységesen, 100×100 m-es hálóban létesített monitoring kút-hálózat tudja megoldani, melyhez a meglévő pontok mellett az ÉMI területén 5 db, a Laktanya területén 3 db CMT-kút létesítése javasolt.

6.1.3. megszüntetésre javasolt objektumok felszámolási terve

A műszaki beavatkozás ideje alatt javasoljuk megtartani az A-jelű és E-jelű ideiglenes megfigyelési pontokat, a beavatkozást követően azonban szabvány szerint cementtejjel eltömedékelésre kerülnek. Az ideiglenes mintázásra történt kialakításuk hosszabb távú monitoringra való alkalmazást nem tesz lehetővé. A beavatkozás eredményeitől függően néhány helyen végleges monitoring kút kialakítására szükség lehet a későbbiekben.

6.2. A monitoring rendszert bemutató tervdokumentáció

6.2.1. A monitoring rendszer létesítményeinek bemutatása

A meglévő létesítmények és a tervezett műszaki beavatkozások figyelembe vételével a monitoring rendszert az alábbi objektumokkal tervezzük megvalósítani:

Meglévő monitoring kutak:

- VIZIG által üzemeltetett vízjogi engedéllyel rendelkező monitoring kutak (SZ-, SZE- és T-jelűek),
- 2016-ban létesített ideiglenes mintavételi pontok (A-jelűek),
- 2018-ban létesített ideiglenes mintavételi pontok (E-jelűek).

Új létesítmények (az injektálást megelőzően kerülnek kialakításra):

- CMT észlelő pontok az ÉMI területén,
- CMT észlelő pontok a Laktanya területén.

6.2.2. A vizsgálandó paraméterek köre, a vizsgálatok gyakorisága

Az 1. szakaszban a műszaki beavatkozás megkezdéséig javasolt az összes meglévő mintavételi pontban a talajvízben az illékony klórozott szénhidrogén komponenseket havi gyakorisággal ellenőrizni a szennyezett terület időszakos változásainak és a környezeti paraméterekkel való összefüggések további nyomon követésére (vízszint, csapadék utánpótlás, áramlási irány, mikrobiológiai aktivitás).

A 2. szakaszban a műszaki beavatkozás alatt a meglévő objektumokban az előzőekhez hasonló módon havi gyakorisággal kell végezni a monitoring tevékenységet.

A beavatkozási terület CMT észlelő pontjaiban az alább leírtak szerint kell végezni a monitoring tevékenységet.

A kármentesítés mikrobiológiai folyamatai nem tekinthetőek gyors folyamatnak, ezért kémiai analitikai vizsgálatokat 1 hónapnál sűrűbben nem célszerű végezni. Redox-potenciál méréseket az elején heti gyakorisággal, majd az eredmények függvényében később ritkábban is elég (2-4 hetente).

Bomlástermékek közül az acetátok, propionátok, butirátok, piruvát, és az oldott szerves szén (DOC) mérését javasolt végezni, de a mérések nehézsége miatt leginkább a DOC méréssel érdemes kalkulálni. A végtermékek tekintetében oldott metán, etán, etén és szén-dioxid mérései mutathatják a sikeres folyamatot, de ezeket is nagyon nehéz mérni a vízmintákból az alacsony koncentráció miatt, ezért legfeljebb csak néhány mintát javasolt venni havonta a kármentesítés kezdetén azért, hogy ellenőrizzük a lebontási folyamat kimutathatóan beindult-e.

Mikrobiológiai vizsgálatokra szükség lenne kb. 3 havi gyakorisággal. Ezek során PCR (Polymerase Chain Reaction) vizsgálat, Dehaloccocoides ethenogenes stb., gén kimutatás (16S rRNA Dhc, tceA, vcrA) lenne szükséges.

A 39. táblázat összefoglalóan mutatja be a beavatkozási területeken lévő CMT-kutakra javasolt monitoring gyakoriságát.

Vizsgálandó komponensek	Vizsgálati gyakoriság CMT-kutakban
Redoxpotenciál	injektálást követően heti gyakoriság, majd az eredmények függvényében 2-4 hetente
acetátok, propionátok, butirátok, piruvát, és az oldott szerves szén (DOC)	injektálást követően 3 alkalommal, havi gyakorisággal
PCE, TCE, DCE, VC	injektálást követően 2 alkalommal heti gyakoriság, ezt követően havonta
oldott metán, etán, etén (etilén) és szén-dioxid	injektálást követően 3 alkalommal, havi gyakorisággal
Mikrobiológiai vizsgálatok	3 havonta

39. táblázat: CMT kutak monitoring gyakoriság

A CMT kutakkal megegyező tartalmú monitoringot javasolt végezni a kármentesítés időtartama alatt

az ÉMI területén a következő kutakban: E110, E111, E112, E114, A38, A43, A44, A47, A48

a Laktanya területén a következő kutakban: A15, A16, A19, E116, E118, T3.

6.2.3. A mintavételek, a helyszíni vizsgálatok, laboratóriumi vizsgálatok megbízhatósága

A mintavételezést és a mintaelemzést csak a NAH által akkreditált szervezet végezheti. A mintavételeket, a helyszíni vizsgálatokat, laboratóriumi vizsgálatokat az előírásoknak megfelelően kell végezni. A mintavétel során különös tekintettel kell lenni a szennyezőanyagok illékony tulajdonságaira, a mintavételi edények tárolására, zárására. A mintavételi edénybe a vízmintavételt buborékmentesen kell végezni, ellenkező esetben az illékony komponens egy része a levegőbuborékba távozhat, befolyásolva az analitikai eredményeket.

6.2.4. A mért, észlelt, megfigyelt adatok nyilvántartása és feldolgozása

A monitoring eredményekről negyedévente javasolt részjelentéseket készíteni, majd évente összegző jelentés formájában kell dokumentálni a környezetvédelmi hatóság felé.

A monitoring jelentéseknek a fentiek mellett tartalmazniuk kell az alábbiakat:

- a létesítmények állapota (kútfej, talpmélység, stb.),
- a mintavételek rendszeressége,
- a mintavételek megbízhatósága (akkreditált vízmintavétel),
- a helyszíni vizsgálatok megbízhatósága (mintavételkor használt mérőműszerek),
- a laboratóriumi vizsgálatok megbízhatósága (elemzéskor használt műszerek),
- az adatok viszonyítása a vonatkozó határértékekhez,
- trendvizsgálatok, tendenciák felismerhetősége.

7. A beavatkozás várható eredménye

7.1. Az elérni kívánt környezeti állapot

A technológia eredményeként a szennyező gócban a szennyezettség mértéke várhatóan a (D) érték alá csökken, ami megszünteti a csóvaterületek kialakulását.

Amennyiben a beavatkozás végén egyes részterületek még (D) határérték feletti értéket mutatnak, a 4.6.6. fejezetben leírtak szerint utókezelést kell végezni pump and treat, valamint ISCO eljárásokkal további megfelelő monitoring mellett.

7.2. A várhatóan hátrahagyott szennyezettség jellemzése

7.2.1. a hátrahagyott szennyező anyagok minőségének, mennyiségének, koncentrációjának bemutatása

A műszaki beavatkozás végén a monitoring eredmények alapján meg kell határozni az illékony klórozott szénhidrogének (PCE, TCE, DCE, VC) koncentrációit, értékelni kell a változásokat, a műszaki beavatkozás alatt felismerhető trendeket. Meg kell határozni, hogy mely pontokban maradt (B) határérték feletti koncentráció, szükséges-e további beavatkozás, utókezelés, elegendő-e a további monitoring.

7.2.2. A szennyezett terület lehatárolása

A kármentesítés végén a műszaki beavatkozás eredményeként az injektált területen a talajvíz szennyezettségi koncentrációi várhatóan (D) határérték alá csökkennek, de a területen visszamarad egy (B) határérték feletti szennyezett terület, amit a monitoring kutakkal rendszeresen ellenőrizni kell, az eredmények alapján a kármentesítés végén komponensenként eloszlási térképeken kell bemutatni, (B) értékre lehatárolni. A beavatkozás célja, hogy ez a terület minél kisebb legyen, a továbbiakban ne növekedjen. Ez biztosítottnak látszik a területen tapasztalható mikrobiológiai bontás miatt.

7.2.3. A fennmaradó kármentesítési mennyiségi kockázat leírása

A mennyiségi kockázat a kármentesítést követően akkor értelmezhető, ha a szennyezett talajvízzel valamilyen receptor kapcsolatba kerül, illetve létezik olyan expozíciós útvonal, mely a szennyezőanyagot továbbítja. A műszaki beavatkozás tervezése során készült kockázatbecslés, mely megállapította, hogy bizonyos területhasználatok esetén a meglévő szennyezettség is tolerálható, de a felszín alatti víz közvetlen fogyasztása, belélegzése, bőrrel való érintkezése során a magas kockázat megmarad. A kármentesítés végén lehatárolt szennyezettségre érdemes a kockázatbecslést aktualizálni, majd a magas kockázattal járó tevékenységeket a továbbiakban megtiltani.

7.2.4. A szennyezettség miatt a jelenlegi és jövőbeni területhasználatokat érintő korlátok bemutatása

A műszaki beavatkozást követően a korábbi góc területen a talajvíz VOCl komponenseinek koncentrációi várhatóan (B) határérték felett maradnak, ezért a víz közvetlen fogyasztása, belélegzése, bőrrel való érintkezése kockázattal jár, ezért a területen termelőkút létesítését öntözés, vízfogyasztás céljából meg kell tiltani.

IRODALOMJEGYZÉK

ADEPT ENVIRO Kft. – GRECONOMY Kft., 2016: Szentendre Dózsa György úti (volt szovjet) laktanya környezetének állapotfelmérése

BGT Hungária Környezettechnológiai Kft, 2016: Tényfeltárás klórozott szénhidrogénekkel szennyezett területeken. Módszertani kézikönyv.

DMRV Zrt. Környezet- és Vízminőségvédelmi Osztály, 2010: Szentendre Regionális Déli üzemelő, sérülékeny Vízbázis biztonságba helyezése I. diagnosztikai fázis- Összefoglaló értékelő dokumentáció felülvizsgálata, kiegészítése (1999-2008)

DURA GYULA, 2003: klórozott alifás szénhidrogének (etilének) okozta szennyezettségből eredő egészségkockázat kvantitatív becslése, Szentendre, Dózsa György laktanya környezetében

GEOHIDROTERV Kft. 2003: Szentendre, Dózsa György laktanya klórozott szénhidrogén szennyeződés tényfeltárása és a javasolt műszaki beavatkozás előterve, Tényfeltárási záródokumentáció

GEOHIDROTERV Kft. 2003: Szentendre, Dózsa György úti laktanya klórozott szénhidrogén szennyeződés tényfeltárása és műszaki beavatkozási terve, Monitoring kutak vízjogi létesítési engedélyezési terve

GEOHIDROTERV Kft., 1999: Szentendre Regionális Déli üzemelő, sérülékeny Vízbázis biztonságba helyezése I. diagnosztikai fázis - összefoglaló értékelő dokumentáció - 1. kötet, 2. kötet, 3. kötet

GEOHIDROTERV Kft., 1999: Szentendre Regionális Déli üzemelő, sérülékeny Vízbázis biztonságba helyezése I. diagnosztikai fázis - Védőidomok, védőterületek meghatározása, állapotértékelés, vízmű üzemelésének optimalizálása, javaslat a vízbázis biztonságba helyezésére és biztonságban tartására

HADTÖRTÉNETI INTÉZET ÉS MÚZEUM, HADTÖRTÉNETI TÉRKÉPTÁR: légi felvételek (1940, 1944, 1951, 1953, 1955, 1958, 1962, 1987)

HÁROMKŐ Bt., 1999: Jelentés a Szentendre Déli Vízbázison és környezetében végzett geofizikai kutatásokról

HIDROKLIV Kft., 1993: Szentendre, Dózsa György laktanyához /objektum jelzőszáma: 30/31,42/ kapcsolódó szeméttelep környezet - szennyezések felszámolása, kiviteli terv.

HIDROKLIV Kft., 1993: Zárójelentés a Szentendre, Dózsa György laktanyához kapcsolódó szeméttelep környezeti kárelhárítási munkáiról

Jackson, R. E., 1998. “The Migration, Dissolution, and Fate of Chlorinated Solvents in the Urbanized Alluvial Valleys of the Southwestern USA,” Hydrogeol. J. Vol. 6, 144–55.

Kovács B. – Szanyi J., 2005: Hidrodinamikai és transzportmodellezés (Processing Modflow környezetben) I.-II. Miskolci Egyetem, Szegedi Tudományegyetem.

Kret E. - Kiecak A. - Malina G. - Nijenhuis I. - Postawa A., 2015: Identification of TCE and PCE sorption and biodegradation parameters in a sandy aquifer for fate and transport modelling: batch and column studies. Environ Sci Pollut Res (2015) 22:9877–9888.

Kueper B.H. – Wealthall G.P. - Smith J.W.N. – Leharne S.A. - Lerner D.N., 2003: An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface. Environment Agency Rio House Waterside Drive, Aztec West Almondsbury, Bristol BS32 4UD

NATURAQUA Kft., 2001: Szentendre, volt szovjet laktanya; Előzetes környezeti tényfeltárás és Részletes környezetvédelmi feltárási és vizsgálati terv

ÖKOPROJECT EGER Kft., 2010: Szentendre, Dózsa György Laktanya területén klórozott szénhidrogén szennyeződés részletes tényfeltárásának záródokumentációja és kármentesítési monitoring terve I. kötet

SUTHERSAN et al., 2016.: Remediation Engineering Design Concepts

US EPA, 1997.: Design Guidelines for Conventional Pump-and-Treat System

VITUKI, 2012: Szentendre, Dózsa György úti laktanya, monitoring jelentés 2001-2012

WEPROT Kkt., 2006: Szentendre, Dózsa György laktanya, valamint a környező területeken feltárt klórozott szénhidrogén szennyezéssel kapcsolatos felelőségi kör megállapítása, tisztázása, valamint a szennyezett terület kiterjedésének változásával kapcsolatos vizsgálatok

MELLÉKLETEK

1. melléklet: Átnézetes térkép
2. melléklet: Szennyezéssel érintett terület térképe
3. melléklet: Jogosultságok igazolása
4. melléklet: Kármentesítési eljárás során kiadott határozatok
5. melléklet: Fúrási és laborvizsgálati jegyzőkönyvek
6. melléklet: Talajszennyezettség térképe, 2018. augusztus
7. melléklet: PCE talajvízszennyezettségi térkép, 2018. október
8. melléklet: TCE talajvízszennyezettségi térkép, 2018. október
9. melléklet: DCE talajvízszennyezettségi térkép, 2018. október
10. melléklet: VC talajvízszennyezettségi térkép, 2018. október
11. melléklet: Veszélyeztetett terület térképe
12. melléklet: Földtani szelvények
13. melléklet: Költség terv
14. melléklet: Biztonsági adatlap
15. melléklet: Tervezett műszaki beavatkozás – északi terület
16. melléklet: Tervezett műszaki beavatkozás – déli terület
17. melléklet: CMT kutak tervezett kialakítása
18. melléklet: Injektáló kutak tervezett kialakítása
19. melléklet: Monitoring adatok értékelése
20. melléklet: Felszín alatti víz szennyezettség térkép (D) határérték felett
21. melléklet: Javasolt monitoring hálózat
22. melléklet: Monitoring objektumok műszaki adatai