

NATURAQUA



N A T U R A Q U A

Környezetvédelmi Tervező és Szolgáltató
Zártkörűen Működő Részvénytársaság

Msz: 844/2021

TUNGSRAM REAL ESTATE KFT.

**FÓTI ÚT 141. ALATTI TELEPHELY
(VÁKUUMTECHNIKAI GÉPGYÁR)**

Tényfeltárási záródokumentáció

2021. november

Telephely: 1118 Budapest, Dayka Gábor utca 5.
Telefon: (+36-1) 205-3680
Telefax: (+36-1) 205-3681
E-mail: info@naturaqua.hu

	NATURAQUA Környezetvédelmi Tervező és Szolgáltató Zrt. 1118 Budapest, Dayka Gábor utca 5. Tel: +36-1-205-3680 Fax: +36-1-205-3681 e-mail: info@naturaqua.hu web: www.naturaqua.hu	ISO 9001: 2015 ISO 14001: 2015   
---	---	--

TUNGSRAM REAL ESTATE KFT.

FÓTI ÚT 141. ALATTI TELEPHELY (VÁKUUMTECHNIKAI GÉPGYÁR)

Tényfeltárási záródokumentáció

2021. november

Megrendelő adatai

Neve:

Tungsrám Real Estate Kft.

Címe:

1044 Budapest, Váci út 77.

Vállalkozó adatai

Vezérigazgató:

Ali Tamás Gábor

Tervező(k):

Bagyinszki György
Czinkota Zsuzsanna
Zámbó Attila

Ellenőr:

Budai Tímea

T A R T A L O M J E G Y Z É K

1.	Alapadatok.....	9
1.1.	Az érintett terület	9
1.2.	A tényfeltárássra kötelező határozat szerinti szennyezéssel érintett terület tulajdonosainak és használóinak adatai	9
1.3.	A veszélyeztetett terület adatai	10
1.4.	A tényfeltárássra kötelezett adatai.....	10
1.5.	A tényfeltárás végzőjének, a dokumentáció készítőjének adatai.....	10
2.	Előzmények	12
2.1.	A tényfeltárást elrendelő határozat	12
2.2.	A szennyezés, károsítás ismertté válásának bemutatása, a szennyezettség, károsodás eredete, a szennyezőforrás jellemzői	12
2.3.	A szennyeződésről, károsodásról a feltárás megkezdésekor rendelkezésre álló információk, tanulmányok	13
3.	Az érintett terület bemutatása	26
3.1.	Földrajzi elhelyezkedés és morfológia	26
3.2.	A területhasználat története	26
3.3.	A terület jelenlegi használata	28
3.4.	A terület földtani, vízföldtani jellemzői.....	30
3.5.	A terület élővilága, védendő természeti értékei.....	32
3.6.	Az épített környezet, régészeti, műemléki értékek	32
3.7.	A szennyezett területen lévő és veszélyeztetett vízhasználatok bemutatása	33
3.8.	A terület érzékenységi besorolása	33
3.9.	A hatályos területrendezési terv szerinti területhasználati besorolás.....	33
3.10.	A szennyezett terület lehatárolásához igénybe vett eszközök, létesítmények műszaki adatai.....	34
4.	A tényfeltárás módszertana.....	37
4.1.	A feltárás végrehajtását befolyásoló körülmények és adottságok	37
4.2.	A tényfeltáró vizsgálatok módszertana.....	38
4.3.	Geodéziai, geofizikai és egyéb vizsgálatok	39
4.4.	A tényfeltárás létesítményei	39
4.5.	Mintavételezés	41
4.6.	Analitika	42
4.7.	Helyszíni mérések, vizsgálatok	49
4.8.	A kármentesítési mennyiségi kockázatfelmérés módszertana.....	49
5.	Vizsgálati eredmények.....	51
5.1.	Földtani, vízföldtani felépítés	51
5.2.	Hidrogeológiai, vízföldtani helyzet	51
5.3.	Szennyező anyagok minősége és mennyisége.....	54
5.3.1.	Talajvizsgálatok eredményei	54
5.3.2.	Talajvíz minták vizsgálatának eredményei.....	61
5.4.	A szennyezettség térbeli lehatárolása (B) szennyezettségi határértékig.....	67
5.4.1.	A talajszennyezettség lehatárolása	67
5.4.2.	A talajvíz szennyezettség lehatárolása	68
5.5.	A szennyező anyagok térbeli és időbeli mozgásának előrejelzése	71
5.5.1.	Az alkalmazott szoftverek	71
5.5.2.	A terület földtani-vízföldtani felépítése és annak hidrodinamikai modelladaptációja, a modellezési koncepció kialakítása	71

5.5.3.	A telephely környezetének transzportmodellje	73
5.5.4.	A számítások eredményei	79
5.6.	A veszélyeztetett terület térbeli lehatárolása az előrejelzés alapján	81
5.7.	A szennyezés, illetve szennyezettség környezetre gyakorolt hatása	82
5.8.	A szennyezettség, károsodás okának, eredetének, körülményeinek bemutatása.....	103
6.	Kockázatelemzés	107
6.1.	A probléma megfogalmazása	107
6.2.	A szennyező anyagok szűrése	108
6.3.	Receptorok (érintettek) szűrése	108
6.4.	Expozíciós (terjedési) útvonalak meghatározása	109
6.4.1.	A gyár területén dolgozók esetében figyelembe vett expozíciós útvonalak és receptorok	109
6.4.2.	A lakott területen élők esetében figyelembe vett expozíciós útvonalak és receptorok	110
6.5.	Az alkalmazott kockázatelemzési modellek és számítások	111
6.5.1.	A gyárterületen belül feltárt szennyezőanyagok okozta humán-egészségügyi kockázatok számítása	111
6.5.2.	A gyárterületen kívüli talajvíz-szennyezettség okozta humán-egészségügyi kockázatok számítása	111
6.6.	A kockázatok meghatározása	112
6.6.1.	A gyár területén munkát végzők egészségügyi kockázata	112
6.6.2.	A területen tartózkodók kockázata építés utáni időszakban	115
6.6.3.	A talajvíz szennyezettség kockázata a külső területen	116
6.7.	Környezeti kockázat	128
6.8.	Kármentesítési határértékek meghatározása	129
7.	Lehetséges beavatkozási változatok bemutatása, jellemzése	132
7.1.	A beavatkozási változatok technológiai és költségei	132
7.1.1.	Beavatkozás nélküli változat	132
7.1.2.	Sztrippelés	132
7.1.3.	In-situ kémiai oxidáció	133
7.1.4.	Fitoremediáció	135
7.2.	A javasolt technológiai elemek megfelelőségének igazolása	136
7.2.1.	Sztrippelés	136
7.2.2.	In-situ kémiai oxidáció	136
7.2.3.	Fitoremediáció	137
7.3.	A változatok által elérhető célállapotok	138
7.4.	A célállapotoknak megfelelő területhasználatok	139
7.5.	A célállapotok elérésével elkerült kármentesítési mennyiségi kockázat	139
7.6.	A javasolt változat bemutatása és indoklása	140
7.7.	Blaha Lujza utca melletti terület	140
7.8.	Schiller Karambolos Centrum parkolója	141
7.9.	A tetraklór-etilén szennyezés forrásának felszámolása	142
8.	A tényfeltárás keretében üzemeltetett kármentesítési monitoring	142
9.	Monitoring terv a tényfeltárást követő szakaszra	143
9.1.	A javasolt monitoring rendszer létesítményei	143
9.2.	A vizsgálandó paraméterek köre	143
9.3.	Vizsgálati gyakoriság	144
9.4.	A mérések és mintavételek módszertana	144
9.5.	A mérési adatok és eredmények nyilvántartása és feldolgozási rendje	144
9.6.	Az értékelés és adatszolgáltatás rendje	144

9.7.	Szükséges dokumentációk, engedélyek	145
10.	Egyebek	145
10.1.	Az elvégzett kármentesítési szakaszok költsége.....	145

ÁBRÁK

MELLÉKLETEK

Á B R Á K

- 1.1-1. ábra A szennyezéssel érintett terület környezetének topográfiája
- 1.1-2. ábra A szennyezéssel érintett terület és környezete ingatlan-nyilvántartási térképen
- 1.1-3. ábra A szennyezéssel érintett terület és környezete légifotón
- 2.3-1. ábra Az I. és II. csapadékvíz tározó mintavételi pontjai (Élő Bolygó Kft. 1994)
- 2.3-2. ábra Mintavételi pontok az I. tározónál (Biokör Kft. 2000. június)
- 2.3-3. ábra Mintavételi pontok a II. tározónál (Biokör Kft. 2000. június)
- 2.3-4. ábra Mintavételi pontok a volt vegyszertároló területén (Envi Tex Kft. 2001.)
- 2.3-5. ábra Mintavételi pontok a gyár északkeleti részén (ERM Hungária Kft. 2001. június-szeptember)
- 2.3-6. ábra A 2020. évi állapotfelmérés mintavételi pontjainak elhelyezkedése a vizsgált területen (VTK Innosystem Kft. 2020. március)
- 2.3-7. ábra A 2020. évi állapotfelmérés mintavételi pontjainak elhelyezkedése a vizsgált területen (VTK Innosystem Kft. 2020. március)
- 3.1-1. ábra A vizsgált terület elhelyezkedése
- 3.1-2. ábra A Vákuumtechnikai Gépgyár területéről készült légifotó (2018)
- 3.1-3. ábra A Fóti út 141. alatti telephely helyszínrajza
- 3.2-1. ábra Gyártási eljárások, tevékenységek alaprajza
- 3.2-2. ábra A Vákuumtechnikai Gépgyár területéről készült légifotó (1963)
- 3.2-3. ábra Légifotó a Vákuumtechnikai Gépgyár területéről (1978)
- 3.2-4. ábra Infravörös légifelvétel a Vákuumtechnikai Gépgyár területéről (1992)
- 3.2-5. ábra Légifelvétel a Vákuumtechnikai Gépgyár területéről (1996)
- 3.2-6. ábra Légifelvétel a Vákuumtechnikai Gépgyár területéről (2000)
- 3.2-7. ábra Légifelvétel a Vákuumtechnikai Gépgyár területéről (2005)
- 3.2-8. ábra Légifelvétel a Vákuumtechnikai Gépgyár területéről (20103)
- 3.4-1. ábra Felszíni földtani térkép
- 3.9-1. ábra Kerületi Építési Szabályzat és Szabályozási Terv részlet
- 3.10-1. ábra A 202. évi állapotfelmérés létesítményeinek elhelyezkedése a vizsgált területen
- 3.10-2. ábra A 2021. évi tényfeltárás létesítményeinek elhelyezkedése a vizsgált területen.
- 4.4-1. ábra Talajvizsgálati helyszínek a Fóti út 141. alatti telephelyen
- 4.4-2. ábra Talaj-mintavételi pontok az I. területen
- 4.4-3. ábra Talaj-mintavételi pontok a II. területen
- 4.4-4. ábra Talaj-mintavételi pontok a III. területen
- 4.4-5. ábra Talaj-mintavételi pontok a IV, VI. és VII. területen
- 4.4-6. ábra Talaj-mintavételi pontok az V. területen
- 4.4-7. ábra Talaj-mintavételi pontok a VIII. területen
- 5.1-1. ábra Földtani szelvények a telephelyen belül
- 5.1-2. ábra Földtani szelvény a Fóti úttal párhuzamosan, a TFM-1 és NA-25 pontok között
- 5.1-3. ábra Földtani szelvény az NA-08 és NA-21 pontok között
- 5.1-4. ábra Földtani szelvény az NA-22 és NA-04 pontok között
- 5.1-5. ábra Földtani szelvény a TF-30 és MW4 pontok között

- 5.2-1. ábra Talajvízszint és áramlási irány a Vákuumtechnikai Gépgyár területén a 2020.03.04-i mérés alapján
- 5.2-2. ábra Talajvízszintek alakulása a 2021. szeptember-októberi mérések alapján
- 5.3-1. ábra Klorid szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.3-2. ábra Szulfát szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.3-3. ábra Nitrát szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.3-4. ábra Nátrium szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.3-5. ábra Bór szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.3-6. ábra Molibdén szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.3-7. ábra Szén-tetraklorid szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.3-8. ábra Kloroform szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.3-9. ábra Tetraklór-etilén szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.3-10. ábra Triklór-etilén szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.3-11. ábra Vinil-klorid szennyezettség a talajvízben (2021. augusztus)
- 5.4-1. ábra Talajszennyezéssel érintett területek a Vákuumtechnikai Gépgyár területén
- 5.4-2. ábra (B) határérték felett szennyezett talajvíztestek közös felszíni vetülete (2021. augusztus)
- 5.5-1. ábra A vizsgált terület áttekintő térképe a szennyezett talajvíztest összegzett határával
- 5.5-2. ábra A számításokhoz használt rácsháló (a modell aktív cellái) a szennyezett talajvíztest összegzett határával
- 5.5-3. ábra A terepszintek izovonalas térképe
- 5.5-4. ábra A teraszréteg felső, homokos részének feküszintvonalas térképe
- 5.5-5. ábra A teraszréteg alsó, kavicsos részének feküszintvonalas térképe
- 5.5-6. ábra Nyugalmi potenciálszintek a vizsgált területen
- 5.5-7. ábra 1975-2004 évek átlagos maradó beszivárgása a CARPATCLIM adatbázis adatai alapján
- 5.5-8. ábra Tetraklór-etilén lehetséges biotikus és abiotikus bomlási sora talajvízben
- 5.5-9. ábra A szén-tetraklorid lehetséges bomlási sora a felszín alatti vizekben
- 5.5-10. ábra Felezési időben a szén-tetraklorid biocid hatása miatt alkalmazott korrekciók
- 5.5-11. ábra A permanens szivárgási potenciáltér térképe
- 5.5-12. ábra Tetraklór-etilén szennyezettség időbeli alakulása a talajvízben
- 5.5-13. ábra Triklór-etilén szennyezettség időbeli alakulása a talajvízben
- 5.5-14. ábra Diklór-etilén szennyezettség időbeli alakulása a talajvízben
- 5.5-15. ábra Vinil-klorid szennyezettség időbeli alakulása a talajvízben
- 5.5-16. ábra Szén-tetraklorid szennyezettség időbeli alakulása a talajvízben
- 5.5-17. ábra Kloroform szennyezettség időbeli alakulása a talajvízben
- 5.5-18. ábra Molibdén szennyezettség időbeli alakulása a talajvízben
- 10.1-1. ábra Javasolt monitoring pontok a telephelyen

M E L L É K L E T E K

1. melléklet Szakértői jogosultságok igazolása
2. melléklet Tényfeltárást elrendelő határozat
3. melléklet Geodéziai bemérési jegyzőkönyvek
4. melléklet Talajmechanikai vizsgálati jegyzőkönyvek
5. melléklet Mintavételi jegyzőkönyvek 2020
6. melléklet Mintavételi jegyzőkönyvek 2021
7. melléklet Analitikai vizsgálati jegyzőkönyvek 2020
8. melléklet Analitikai vizsgálati jegyzőkönyvek 2021
9. melléklet Kúttesztek mérési görbéi
10. melléklet Talajvizsgálati eredményeket összegző táblázatok 2020.
11. melléklet Talajvizsgálati eredményeket összegző táblázatok 2021.
12. melléklet Talajvíz vizsgálati eredményeket összefoglaló táblázatok 2020
13. melléklet Talajvíz vizsgálati eredményeket összefoglaló táblázatok 2021.
14. melléklet Szennyezéssel érintett ingatlanok adatai

1. ALAPADATOK

1.1. Az érintett terület

A feltárt szennyezés Budapest IV. kerületében, a Fóti út 141. alatti telephelyen, és az attól északnyugatra fekvő területen található.

A szennyezett területet magába foglaló poligon sarokponti koordinátái:

EOV-Y	EOV-X
654455,2	248027,3
654537,0	248025,5
654545,1	247851,9
654746,9	247668,1
654767,0	247565,3
654841,7	247505,0
654877,2	247299,2
654636,7	247132,8
654330,1	247403,0
654252,3	247350,3
654172,2	247409,9
654216,1	247830,6
654282,8	247889,0
654463,2	247820,8
654455,2	248027,3

A szennyezéssel érintett területet és környezetét az **1.1-1.** és **1.1-2. ábrák** mutatják topográfiai-, illetve ingatlan-nyilvántartási térképen. Az **1.1-3. ábrán** a szennyezett terület légifotója látható.

A szennyezés 212 db ingatlan területére terjed ki, az érintett ingatlanok adatai a **14. mellékletben** találhatók.

1.2. A tényfeltárássra kötelező határozat szerinti szennyezéssel érintett terület tulajdonosainak és használóinak adatai

A terület tulajdonosa: Tungram Real Estate Korlátolt Felelősségű Társaság
Tulajdonos rövid neve: Tungram Real Estate Kft.
Tulajdonos székhelye: 1044 Budapest, Váci út 77.
Elektronikus levélcím: info@tungram.com
Telefonos elérhetőség: (06 1) 399 1100

A terület használója:

A 75100/6 hrsz-ú ingatlan használója a Tungram Operations Korlátolt Felelősségű Társaság
Terület használójának rövid neve: Tungram Operations Kft.
Székhelye: 1044 Budapest, Váci út 77.
Elektronikus levélcím: info@tungram.com
Telefonos elérhetőség: (06 1) 399 1100

Kapcsolattartó személy a feltárás során:

Tóth Péter EHS & facility expert

A 75100/2 hrsz-ú ingatlant bejegyzett szolgalmi jog szerint, a 75100/7 hrsz-ú ingatlan területének egy részét Bérleti Szerződés szerint a Schiller Autóház Korlátolt Felelősségű Társaság (Schiller Karambolos Centrum) használja.

Terület használójának rövid neve: Schiller Autóház Kft.

Székhelye: 1138 Budapest, Váci út 113.

Elektronikus levélcím: info.opel@schiller.hu

Telefonos elérhetőség: (06 1) 452 1100

1.3. A veszélyeztetett terület adatai

A szennyezés számottevő elmozdulása nem várható, a szennyezettség a jelenleg is érintetteken kívül további ingatlanokat nem veszélyeztet.

1.4. A tényfeltárássra kötelezett adatai

A tényfeltárássra kötelezettje: Tungsram Real Estate Korlátolt Felelősségű Társaság

A kötelezett rövid neve: Tungsram Real Estate Kft.

A kötelezett székhelye: 1044 Budapest, Váci út 77.

A kötelezett elektronikus levélcíme: info@tungsram.com

A kötelezett telefonos elérhetősége: (06 1) 399 1100

1.5. A tényfeltáráss végzőjének, a dokumentáció készítőjének adatai

A társaság teljes cégneve: NATURAQUA Környezetvédelmi Tervező és Szolgáltató Zártkörűen Működő Részvénytársaság

A társaság rövidített cégneve: NATURAQUA Zrt.

Székhelye: 1118 Budapest, Dayka Gábor u. 5.

Adószáma: 26767385-2-43

Cégjegyzék száma: 01 10 140353

A dokumentációt készítették: Bagyinszki György okl. vegyészmérnök
(MMK szám: 01-8344)
Czinkota Zsuzsanna okl. hidrogeológus mérnök
környezetegészségügyi szakértő
Zámbó Attila okl. környezetmérnök
(MMK szám: 02-01394)

A szakértői jogosultságokat az **1. sz. mellékletben** látható okiratmásolatokkal igazoljuk.

A mintavételeket a NATURAQUA Zrt. Mintavételi szervezete és a VTK Innosystem Kft. Mintavételi csoportja végezte.

A NATURAQUA Zrt. Mintavételi szervezete a NAH által NAH-7-0033/2021. számon akkreditált mintavételi szervezet. Az akkreditáció érvényessége 2026. június 10.

(<https://nah.gov.hu/uploads/attachment/file/9548/RO1-210610-7-0033-2021-UA-DN-26767385-alairt.pdf>)

A VTK Innosystem Kft. Mintavételi csoportja a NAH által NAH-7-0009/2021. számon akkreditált mintavételi szervezet. Az akkreditáció érvényessége 2026. május 13.

(https://nah.gov.hu/uploads/attachment/file/9464/RO1-210513-7-0009-2021-UA-DN-10333655_a.pdf)

A minták analitikai vizsgálatát a Wessling Hungary Kft. Környezetanalitikai Laboratóriuma végezte, amely a NAH által NAH-1-1398/2019. számon akkreditált mintavételi szervezet. Az akkreditáció érvényessége 2024. október 17.

(https://nah.gov.hu/uploads/attachment/file/9023/RO3-201008-1-1398-2019-F1-FJ-10772452_alairt.pdf)

2. ELŐZMÉNYEK

2.1. A tényfeltárást elrendelő határozat

A tényfeltárás elvégzésére a Pest Megyei Kormányhivatal 2021. április 28-án kiadott PE-06/KTF/03315-8/2021 ügyiratszámú határozatában kötelezte a Tungsram Real Estate Kft-t. A kötelezés alapjául a VTK Innosystem Kft. által február 14. és március 31. között elvégzett állapotfelmérés szolgált, melynek eredményeit a Tungsram Real Estate Kft. megküldte a Környezetvédelmi Hatóságnak.

A Környezetvédelmi Hatóság a rendelkezésére álló adatok alapján megállapította, hogy a Főti út 141. alatti telephelyen detektált szennyeződés pontos lehatárolása, valamint a humán-egészségügyi és környezeti kockázatok meghatározása céljából – összhangban a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság Katasztrófavédelmi Hatósági Osztályának határozatával és szakhatósági állásfoglalásával – a további szükséges intézkedések megalapozása érdekében részletes tényfeltárás elvégzése indokolt.

A PE-06/KTF/03315-8/2021. számú határozat a **2. mellékletben** található.

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

2020. februárjában a Tungsram Operations Kft. megbízást adott a VTK Innosystem Kft-nek a Vákuumtechnikai Gépgyár telephelyének (1046 Budapest, Főti út 141.) talaj-és talajvíz állapot vizsgálatára. A felmérés (eredményeinek ismertetése a **2.3. fejezetben**) megállapította, hogy a telephely talajában és talajvizében több komponens koncentrációja meghaladja a B szennyezettségi határértéket.

A szennyezettség a telephelyen közel 70 évig folytatott ipari tevékenység következményeként alakult ki. A vizsgálandó területen a kezdetektől (1952) fogva a gépgyártás volt a fő tevékenység, a szennyezés forrásai elsősorban a gépgyártáshoz kapcsolódó felületkezelési technológiák voltak. A gépgyártó tevékenység 2017-ben szűnt meg véglegesen a telephelyen.

Az idők során számos termék és tevékenység megjelent, majd eltűnt a gyár területén. A technikai és technológiai változásokhoz, fejlődéshez kapcsolódóan a felhasznált nyers- és segédanyagok köre folyamatosan változott, ezért az előforduló szennyezőanyagok köre meglehetősen széles. Mivel a környezetvédelmi szempontok és előírások csak az utóbbi évtizedekben váltak hangsúlyossá, a telephelyen régebbi eredetű, több évtizedes szennyezések nyomai is fellelhetők.

A telephelyen a gépgyártás mellett jelentős raktározási, tárolási tevékenység is folyt. Több területen tároltak nyersanyagokat, alkatrészeket, félkész- és készterméket, valamint gyártási maradékokat, és a termelő tevékenység során keletkezett hulladékokat. A tárolásra, raktározásra használt helyszínek az idők során változtak, a környezetet veszélyeztető anyagok az ismert tárolási, felhasználási helyeken kívül is előfordulnak.

2.3. A szennyeződésről, károsodásról a feltárás megkezdésekor rendelkezésre álló információk, tanulmányok

A feltárást megelőzően a terület talajának és talajvizének állapotáról az alábbi jelentések, dokumentációk álltak rendelkezésünkre:

Sorszám	Dátum	Szerző	Cím, Leírás
1	1990 november	Arthur D. Little Inc	Environmental, Health and Safety Audit and Baseline Environmental Assessment of the GE Tungram Vacuum Technical Machine Shop (VTG) Plant No. 91 Budapest, Hungary
2	1991 január	Arthur D. Little Inc	Environmental, Health and Safety Audit and Baseline Environmental Assessment of the GE Tungram Vacuum Technical Machine Shop (VTG) Plant No. 91 Budapest, Hungary
3	1994 február	Élő Bolygó Környezetvédelmi Kft.	A Tungram RT vákuumtechnikai gépgyár csapadékvíz puffertároló tavak állapotfelmérése.
4	1996 október	BGT Hungaria Environmental Technology Ltd.	GE-Tungram Rt. Vákuumtechnikai gépgyár (VTG) 36; 70; és 77. épület környezetvédelmi auditáló vizsgálata (Phase I. audit), BGT Hungary Kft, 1996
5	2000 június	Biokör Technológiai és Környezetvédelmi Kft	Tungram Rt Vákuumtechnikai Gépgyár I. és II. sz. csapadékvíz tározójának vizsgálata.
6	2000 július	Biokör Technológiai és Környezetvédelmi Kft	Tungram Rt Vákuumtechnikai Gépgyár I. és II. sz. csapadékvíz tározójának kiegészítő vizsgálata.
7	2000 december	ENVI TEX Környezetvédelmi Mérnökiroda	Mérési eredmények, Tungram VTG Galvánüzem régi ciános helyiség
8	2001 január - február	ENVI TEX Környezetvédelmi Mérnökiroda	Mérési Jegyzőkönyv, Készült a GE Hungary Rt. Vákuumtechnikai Gépgyár Budapest, IV. Főti út 141. sz. alatti telephelyén a megszűnt vegyszertároló területén vett talajminták szennyezőanyag tartalom-vizsgálata alapján
9	2001 június	ERM Hungária Kft.	Phase II Investigation at the GE VTG Facility, Budapest
10	2001 szeptember	ERM Hungária Kft	Additional Phase II Investigation at the GE VTG Facility, Budapest
11	2001 augusztus	Biokör Kft.	Laboratory Analytical Reports of Soil Samples Collected from Storm Water Buffer Lagoon I
12	2020 március	VTK Innosystem Kft.	Tungram Operations Kft. Budapest Vákuumtechnikai Gépgyár állapotfelmérési dokumentáció

Az alábbiakban összefoglaljuk az egyes tanulmányok fontosabb megállapításait, eredményeit.

1-2. Environmental, Health and Safety Audit and Baseline Environmental Assessment of the GE Tungsram Vacuum Technical Machine Shop (VTG) Plant No. 91 Budapest, Hungary; Arthur D. Little Inc, (1990 november, 1991 január)

Az Arthur D. Little Inc. teljeskörű környezetvédelmi-, munkaegészségügyi és munkavédelmi ellenőrzést, valamint környezeti értékelést végzett 1990 szeptemberében, amely során számos potenciális és/vagy szennyeződött területet azonosítottak, valamint megállapításokat tettek a vizsgált terület környezeti állapotára vonatkozóan. A szerzők fontosabb megállapításai a következők voltak:

- A gyár területén 1953 előtt foci pálya, szőlőskert, lovaspálya volt, bizonyos területein szén és hamut tároltak.
- 1974-ben tűz ütött ki a fényforrásgyár vegyszerraktárában. A tűzoltás során savas konténerek sérültek meg, a terület talajának megtisztításáról vagy semlegesítéséről nem volt információ.
- Az 1980-84 között üzemelt veszélyes-hulladék égető közelében ebben az időszakban továbbra is tároltak ismeretlen eredetű és minőségű hulladékot. Ezzel kapcsolatban olyan tartályokról tettek említést, amelyek nem voltak feliratozva, szivárogtak és közvetlenül a talajon tárolták őket.
- Az 1984 előtti veszélyes hulladéktárolás módja nem volt pontosan ismert, a szerző feltételezte, hogy 1981 előtt kommunális hulladékkal együtt (is) kerültek elszállításra.
- A gyárban nem volt külön kezelési és ártalmatlanítási eljárás az azbeszttartalmú hulladékokra.
- Több területen (pontosan nem meghatározható helyszíneken) felszín alatti szennyeződést valószínűsítettek a nem megfelelő tárolás és hulladékkezelés, valamint a kiömlés elleni védelem hiánya miatt.
- Veszélyes-hulladék tárolás folyt több részén is a VTG-nek főként hordókban, amelyek a szerző megállapítása szerint rossz állapotban voltak.
- A töltőállomáson savas kiömlést észleltek, ahol beton megrongálódott és a lefolyás a csapadékvízgyűjtőben végződött.
- A NaOH tároló nem rendelkezett megfelelő másodlagos védelemmel.
- A 32. épület közelében lévő hulladékolaj-tároló nyílt terepen volt található, valamint a Főti utca mentén lévő vegyszertároló nem rendelkezett másodlagos védelemmel.
- Kiömlések és a felszín alatti szennyeződés gyanújával a következő helyeken éltek:
 - festékhulladék tároló,
 - oldószer, iszap és sav tartály tároló,
 - tűzveszélyes anyagok raktára,
 - olajtároló,
 - hulladékolaj emulzió raktár,
 - a volt hulladékégető területe,
 - csapadékvíztározó medencék,
- A hulladékfémek tárolása a szabad ég alatt történt, a csapadék ezekről az olajmaradványokat a talajba moshatta.
- A csapadékvízgyűjtő medencék felszín alatti szennyező hatását feltételezték.
- A cianidos hulladék tárolására szolgáló 67-es épületben szivárgásra találtak bizonyítékot, ami a padlóösszefolyóba jutott.

A jelentésben említett helyszínek azonosítását nehezíti, hogy a szerzők a területek azonosítására nem használták az épületek, területek jelölésére szolgáló számozást, helyette az ott folytatott tevékenységet vagy a terület funkciójának megnevezését használták.

3. A Tungsram RT vákuumtechnikai gépgyár csapadékvíz puffertároló tavak állapotfelmérése; Élő Bolygó Környezetvédelmi Kft. (1994 február)

A vizsgálat célja a csapadékvíz puffertároló tavak (szikkasztó medencék) felmérése és a tavak környezetének helyreállításához szükséges tanulmány elkészítése volt, amennyiben a vizsgálat eredményei alapján ez szükségessé válik. A háttérinformációk alapján feltételezhető volt, hogy szennyező anyagok, például galvanizáló iszap, festékiszap, kiégett olaj, egyéb olajos anyagok és szerves oldószerek bejuthattak az I. számú (helyszínrajzon 22.) csapadékvíz tároló lagúnába. Ezen kívül az I. lagúna déli oldala esetleg olajjal szennyeződött a nem megfelelő olajtárolási gyakorlatok miatt. A Tungsram illetékes személyei azt feltételezték, hogy a rendelkezésre álló információk alapján a II. számú lagúna (helyszínrajzon 30.) szennyeződésektől mentes.

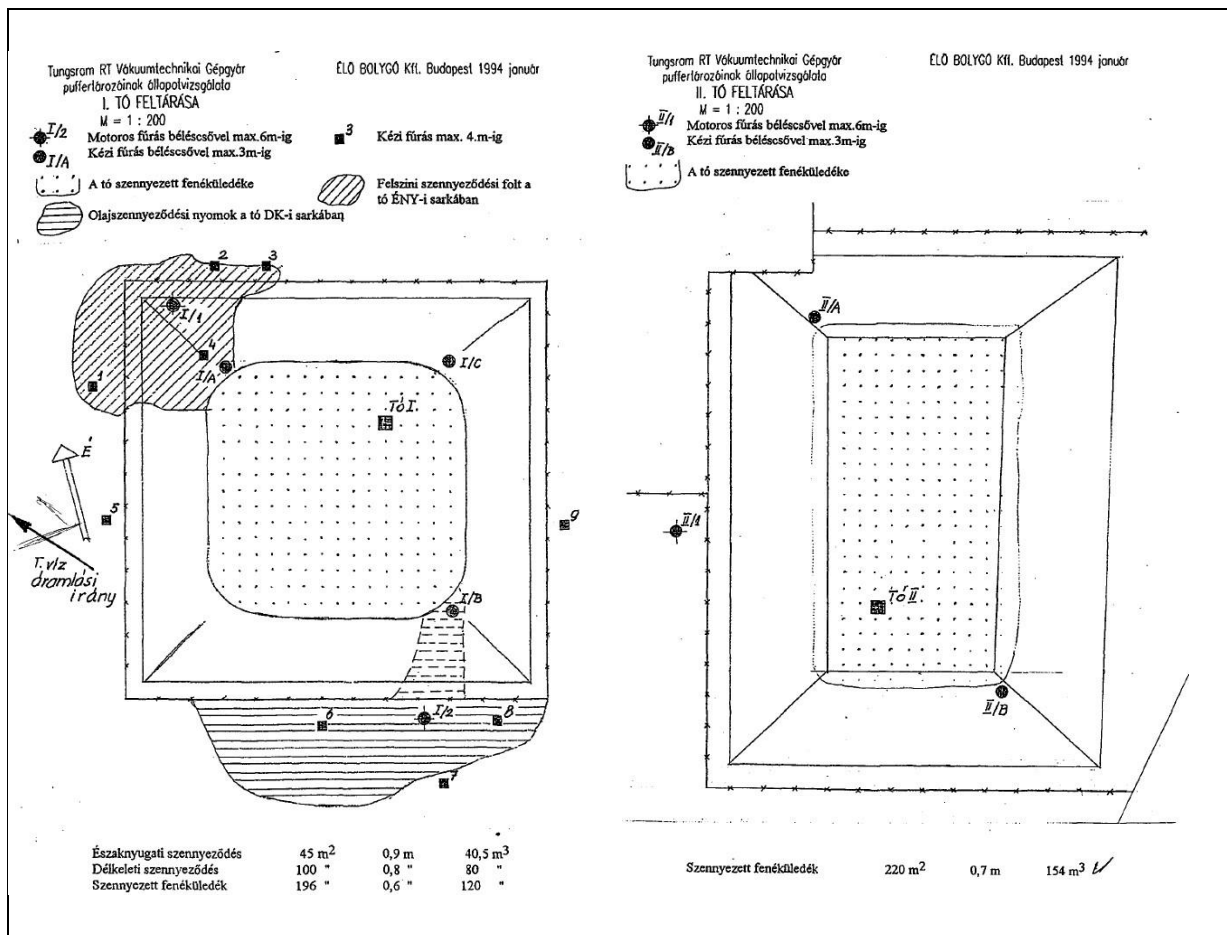
I. számú csapadékvíz tározó (helyszínrajzon 22. jelű terület)

- A vizsgálat során az első számú csapadékvíz tároló területén 14 db fúrást mélyítettek, amelyből 2 db 6 m, 3 db 3 m, 9 db 4 m mélységű volt.
- A fúrások közül 6 db a csapadéktározó északnyugati oldalán mélyült, ahol a felszíni szennyeződés volt látható.
- 5 db fúrást a tározó délnyugati oldalán mélyítettek, ahol szintén látható szennyeződést tapasztaltak.
- 3 db fúrás készült a tározó keleti, nyugati és északkeleti részén, valamint egy talajmintát vettek a tározó aljából.
- 2 db fúrást ideiglenes talajvízmegfigyelő kúttá alakítottak ki.
- Minden 0,5 méterről 2 db talajmintát vettek, amelyből az egyiket a GE Tungsram archiválta, míg a másikat laboratóriumba szállították archiválásra vagy vizsgálatokra, nem került vizsgálatra minden mélységközből minta.
- Talajmintákból vizsgált komponensek: PAH, Cd, Cr, Pb, Zn, Ni, Cu valamint cianidok egy pont esetében.
- 4 db vízmintát vettek 2 mintavételi pontból és a 2 ideiglenes talajvízmegfigyelő kútból (I/1, I/2, I/C és 4. pontokon), a vízminták minden komponensre határérték alattiak voltak.
- Nagyjából 45 m²-nyi területen 0,9 mélységig minősült a talaj szennyezettnek (TPH: 130-188500 mg/kg) a tározó északnyugati felén. A szennyezett talaj mennyiségét 40,5 m³-re becsülték. A délkeleti oldalon szennyezett talaj nagyjából 100 m²-nyi területen 0,8 m mélységig volt található, összesen 80 m³ mennyiségben.
- Szervetlen szennyezők több komponens (ólom, cink, réz, nikkel, kadmium) esetében is határérték felett voltak a felszíni mintákban (0,4 m-ig).
- Policiklikus aromás szénhidrogének egy esetben volt határérték felett (6,3 mg/kg).
- A tározó aljából vett iszap szennyezett volt TPH, ólom, cink és réz tekintetében, a szennyezett iszap mennyiségét 120 m³-re becsülték (196 m², átlagosan 0,6 m vastagságban).

II. számú csapadékvíz tározó (helyszínrajzon 30 jelű terület)

- A csapadékvízgyűjtő körül 3 db fúrás mélyült, attól északnyugatra, délkeletre és nyugatra.

- A csapadékvízgyűjtő aljában található iszapból is vettek mintát.
- 3 db vízmintát vettek a II/1, II/B és II/A pontokon, amelyek vizsgálati eredményei minden esetben határérték alatt voltak.
- A II. számú csapadékvízgyűjtő körül vett talajminták nem voltak szennyezettek.
- A fenékiszap szennyezettnek minősült TPH (30840 mg/kg), ólom (610 mg/kg), cink (2050 mg/kg) réz (470 mg/kg) kadmium (95 mg/kg) és PAH (1,94 mg/kg) tekintetében. A becsült szennyezett iszap mennyisége 154 m³ (220 m² területen átlagosan 0,7 m vastagságban) volt.



2.3-1. ábra Az I. és II. csapadékvíz tározó mintavételi pontjai (Élő Bolygó Kft., 1994)

4. GE-Tungsram Rt. Vákuumtechnikai gépgyár (VTG) 36; 70 és 77. épületeinek környezetvédelmi auditáló vizsgálata (Phase I. audit), BGT Hungary Kft. (1996 október)

A BGT Hungary Kft. a VTG épületeit, nevezetesen a 36 (volt irodaépület), 70 (valamikor forgácsoló csarnok, 2016-tól kerámia) és 77 (volt szerelőcsarnok, 2016-tól kerámia és GE Information Systems) épületeit, valamint a létesítmény működése által okozott esetleges hatásokat vizsgálta.

A vizsgálat során a 70-es épület beton aljzata olajjal szennyezettnek minősült azokon a helyeken, ahol a különböző gépek álltak. A 77-es épületben a falak és az ammónium raktár padlózata ammónium sókkal volt szennyezett.

A felmérés során a 70-es épületben 3 mélységből vettek mintát: 1 db minta a betonpadlóból, 1 db a betonburkolat alatti feltöltésből (0,2-0,4 m) és 1 db talajminta 1-2 m mélységből származott. Talajvíz mintavétel a 70-es épület mellett található monitoring kútból történt. Minden minta esetében TPH vizsgálat történt.

Eredmények:

- A talaj és a talajvíz minták esetében a TPH koncentráció „B” szennyezettségi határérték alatt maradt, viszont a betonpadlózatból származó minta TPH koncentrációja 7600 mg/kg volt.

5. Tungsram Rt. Vákuumtechnikai Gépgyár I. és II. sz. csapadékvíz tározójának vizsgálata, Biokör Kft. (2000 június)

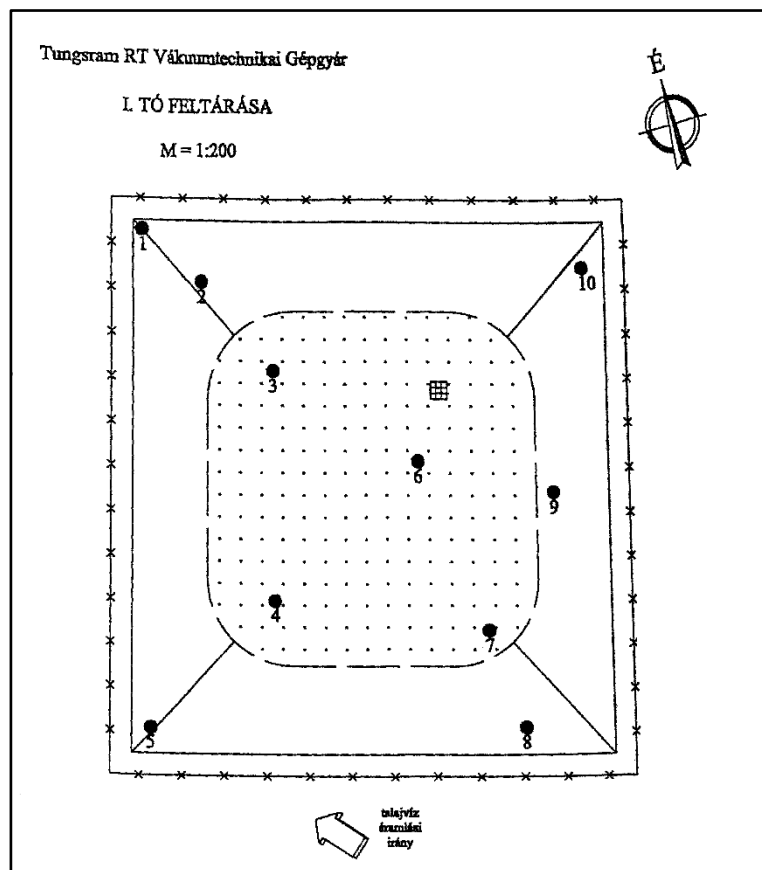
Az Élő Bolygó Környezetvédelmi Kft 1994 évi eredményei alapján újabb talajvizsgálatokat végeztek a csapadékvíz tározó medencék területén. Az I. számú tározónál 10 fúrás, a II. számú tározónál 14 fúrás létesült. A vizsgálat során összesen 23 mintát vettek az I. számú, 26 mintát a II. számú medencéből. Minden fúrásponton talajmintát vettek 0,1 m és 1,0 m mélységben, valamint a kiválasztott pontok esetén 2,0 m és 3,0 m mélységben az I. számú medence esetében. Talajvíz mintavételre nem került sor. A talajmintákat nehézfémekre (Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, Cr), cianidokra, továbbá PAH és TPH komponensekre vizsgálták.

Az I. számú csapadékvíz tározó (helyszínrajzon 22. terület) esetében:

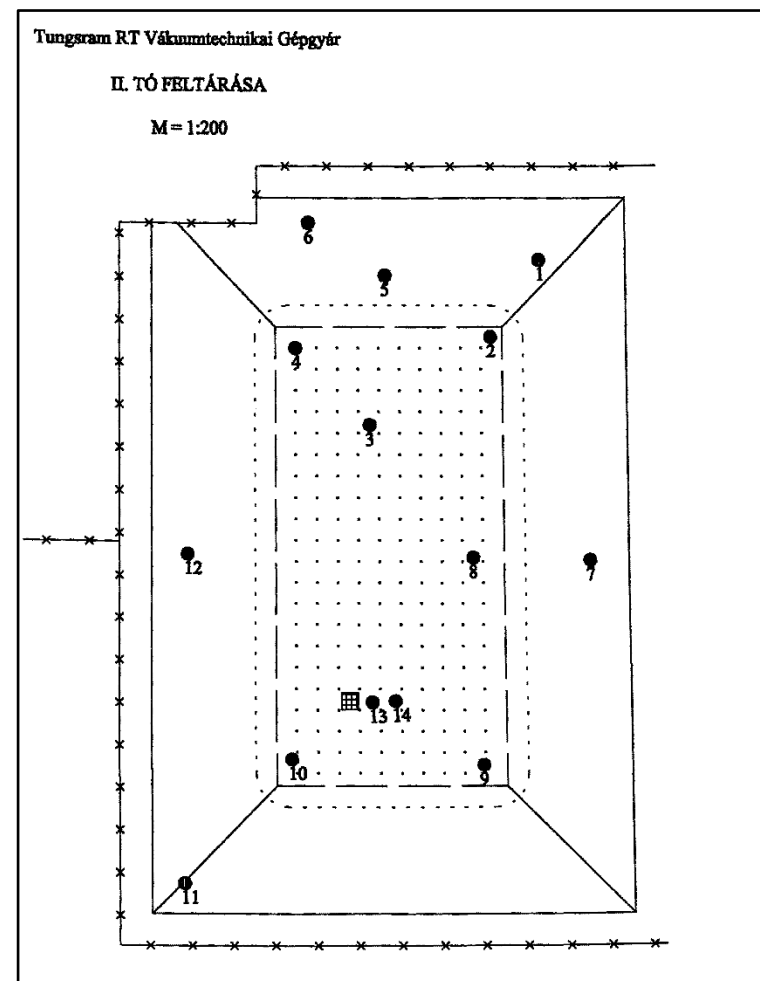
- A 23 mintából 22-ben a TPH koncentráció nagyon magas volt (522- 179863 mg/kg).
- A három vizsgálatra kijelölt mintából egyben volt magas PAH koncentráció (5,54 mg/kg).
- A három vizsgálatra kijelölt mintából egyben volt határérték feletti cianid tartalom (175,9 mg/kg), egy továbbiban a határértéket megközelítő mennyiségben volt jelen cianid.
- A 23 mintából 18 mintában legalább egy fém (de általában 3-4) koncentrációja jelentősen meghaladta a (B) határértéket.

A II. számú csapadékvíz tározónál (helyszínrajzon 30. jelű terület):

- A vizsgált 26 talajmintából 24-ben nagyon magas volt a TPH koncentráció (183 mg/kg – 177 115 mg/kg)
- Mindhárom vizsgált mintában határértéket meghaladó volt a PAH vegyületek mennyisége (3,31 - 10,65 mg/kg).
- Cianidok tekintetében a 3 vizsgált minta határérték alatti volt.
- Nehézfémek esetében 25 mintában nagyon magas koncentrációkat mértek legalább egy komponens tekintetében.



2.3-2. ábra Mintavételi pontok az I. tározónál
(Biokör Kft. 2000. június)



2.3-3. ábra Mintavételi pontok a II. tározónál
(Biokör Kft. 2000. június)

6. Tungsram Rt. Vákuumtechnikai Gépgyár I. és II. sz. csapadékvíz tározójának kiegészítő vizsgálata, Biokör Kft. (2000 július)

A Biokör Kft. vizsgálatainak eredménye alapján 2000 júliusában kiegészítő talajvíz vizsgálatokra került sor. Talajvíz-mintákat vettek az I. csapadékvíz tározó monitoring kútjából, valamint egy ideiglenes talajvíz mintavételi ponton a II. csapadékvíz tározónál. Ezen a ponton 4 db talajmintát is vettek az ideiglenes kút kialakítása során 0,8-1,0 m, 1,5-2,0 m, 2,5 m és 3,0-3,5 m mélységekből. Minden mintában a korábban is vizsgált 6 db nehézfém (Zn, Cd, Pb, Ni, Cu, Cr), és a TPH mennyiségét mérték.

A kapott eredmények szerint:

- A talajminták nehézfém tartalma minden mintában „B” határérték alatti volt, a TPH tartalom csak a felszínhez legközelebbi mintában haladta meg minimális mértékben (108,3 mg/kg) a határértéket.
- A talajvíz mintákban a nehézfémek közül egyedül az ólom haladta meg a „B” határértéket a II. tározó közelében.
- A talajvíz minták összes alifás szénhidrogén tartalma meghaladta a „B” határértéket (213,7 µg/l; 390,2 µg/l)

Az eredmények alapján a tanulmány végső következtetése az volt, hogy a talajvíznél kárelhárítás nem szükséges.

7. A megszűnt Galvánüzem savazó és cianidos helyiségeinek vizsgálata, Envi Tex Környezetvédelmi Mérnökiroda (2000 november-december)

Az Envi Tex Környezetvédelmi Mérnökiroda végzett a megszüntetett Galvánüzem savazó és cianos helyiségeiben szennyezőanyag vizsgálatokat. A vizsgálat során több körben mintavétel történt a padlóról, falról, vakolatról és betonból, valamint a beton alatt található talajból (20 cm-rel a beton alatt). A mintákat a szemmel láthatóan leginkább szennyezett területekről vették. A mintákban az összes cianidok és a nehézfémek, nevezetesen Cr, Cr VI, Zn, Co, Ni, Cu, Pb, Mn és Sn mennyiségét határozták meg.

Eredmények:

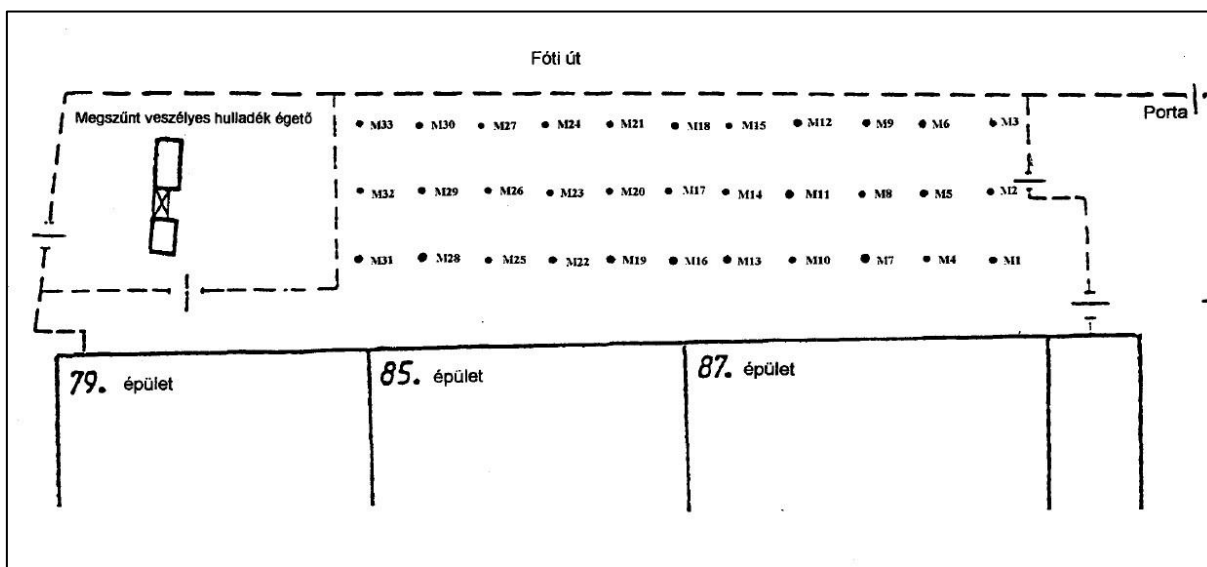
- Az összes króm tartalom meghaladta a „B” szennyezettségi határértéket (75 mg/kg) a savazó helyiség falában és a padlójában (155-272 mg/kg).
- Mindkét helyiségből származó mintákban mértek „B” határérték feletti vagy ahhoz közeli réz koncentrációkat, azonban a legmagasabb értékeket a savazó helyiség falából és padlózatából vett mintákban mérték. Az aljzat alatti talaj mindkét helyiségben „B” határérték feletti mennyiségben tartalmazott rézet.
- A nikkel a savazó helyiség falából és beton padlózatából származó mintákban haladta meg a szennyezettségi határértéket (624-714 mg/kg).
- Ólom koncentráció a savazó helyiség padlójában és falában volt jóval a „B” határérték felett (165-2007 mg/kg). A vizsgálat megállapítása szerint a falról származó mintában mért magas koncentrációt a helyiségek évenkénti festése okozta, amelyhez ólom bázisú festékeket használtak.
- Cinket mindkét helyiségből származó mintákban találtak „B” határérték felett, viszont a cianidos szobában voltak magasabbak a koncentrációk (979 -3564 mg/kg).

- Cianidokat csak a ciános helyiségben detektáltak, de mennyiségük jóval a 20 mg/kg-os „B” határérték alatt volt (1,37-2,47 mg/kg).

Az eredmények alapján a helyiségek ipari tisztítását és/vagy a szennyezett fal és beton felületek, illetve talaj eltávolítását javasolták.

8. A GE Hungary Rt. Vákuumtechnikai Gépgyár Budapest, IV. Fóti út 141. sz. alatti telephelyén a megszűnt vegyszertároló területén vett talajminták szennyezőanyag tartalom-vizsgálata, Envi Tex Kft. (2001 január- február)

A GE Hungary Kft. megbízást adott az Envi Tex Környezetvédelmi Mérnökirodának, hogy felmérje a 85 és 87-es épületek nyitott vegyszertárolóinak szennyezettségét. A terület jelenleg aszfaltburkolatú parkoló (helyszínrajzon 57-14 jelű). A vizsgált terület 180 m x 48 m nagyságú volt, amelyen 33 sekély fúrást mélyítettek (3 sorban 11 darab) 16x16-os mintavételi hálóban. 66 db mintát vettek, minden fúrásból 2 db-ot. Egyet a felszín közeléből 0,1-0,2 m, egyet pedig 0,6 m mélységből.



2.3-4. ábra Mintavételi pontok a volt vegyszertároló területén (Envi Tex Kft. 2001.)

A mintákban a szerves szennyező anyagok közül az alifás- és alkil-aromás szénhidrogéneket, valamint a klórozott szénhidrogéneket vizsgálták. A toxikus fémek mennyiségét Lakanen-Erviö-féle (pH=4,5) kivonóoldatos extraktumból határozták meg.

A vizsgálati eredmények szerint a minták nem tartalmaztak mérhető mennyiségben alifás szénhidrogéneket (TPH < 0,5 mg/kg), benzolt, toluolt, etilbenzolt, xilolokat és alkilbenzol komponenseket (BTEX < 0,1 mg/kg) és klórozott szénhidrogéneket (< 0,5 mg/kg).

A nehézfém vizsgálatok eredményei szerint:

- A vizsgált 13 fémes elem közül 6: arzén, kadmium, molibdén, réz, bárium és cink volt jelen több mintában is szennyezettségi határérték feletti mennyiségben.
- A vizsgált 33 + 33 talajminta közül 24 felszíni mintában és 14 db 60 cm-es mintában találtak egy vagy több fém „B” határérték feletti mennyiségben.

- „B” határérték feletti arzén koncentrációt 25 mintában mértek 15,3 - 45,2 mg/kg közötti értékekkel.
- A kadmium 10 mintában volt „B” határérték felett (1,05-4,89 mg/kg).
- A cink tartalom 7 minta esetében haladta meg a „B” határértéket (235-8240 mg/kg).
- A molibdén tartalom 6 mintában haladta meg a „B” szennyezettségi határértéket (8,18-27,8 mg/kg).
- 4 mintában mértek határérték feletti réz tartalmat (116-153 mg/kg).
- Bárium 2 db, ólom 1 db mélyebb rétegből származó mintában volt „B” szennyezettségi határérték felett.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a „B” határérték feletti arzén és kadmium tartalom a volt vegyszertároló terület egészen jellemzőnek tekinthető a felső 0-60 cm-es talajrétegben, míg a többi fém csak sporadikusan fordul elő határértéket meghaladó koncentrációban ugyanitt.

9-10. Phase II Investigation at the GE VTG Facility, Budapest – II. fázisú vizsgálat a GE Vákuumtechnikai Gépgyárában, ERM Hungária Kft. (2001. június-szeptember)

Az ERM Hungária Kft által végzett vizsgálat célja az volt, hogy alapállapot felmérést végezzen talaj és talajvíz tekintetében a gyár területének északkeleti részén, egy kb. 6000 m²-es területen. A vizsgált területet jelenleg a Schiller Karambolos Centrum parkolója, valamint az attól délre eső gyárterület a 71. és 81. kazánházi épületek vonaláig.

A vizsgálatok két lépésben történtek, az első lépésben kapott eredmények alapján szükségessé vált további vizsgálatok elvégzése.

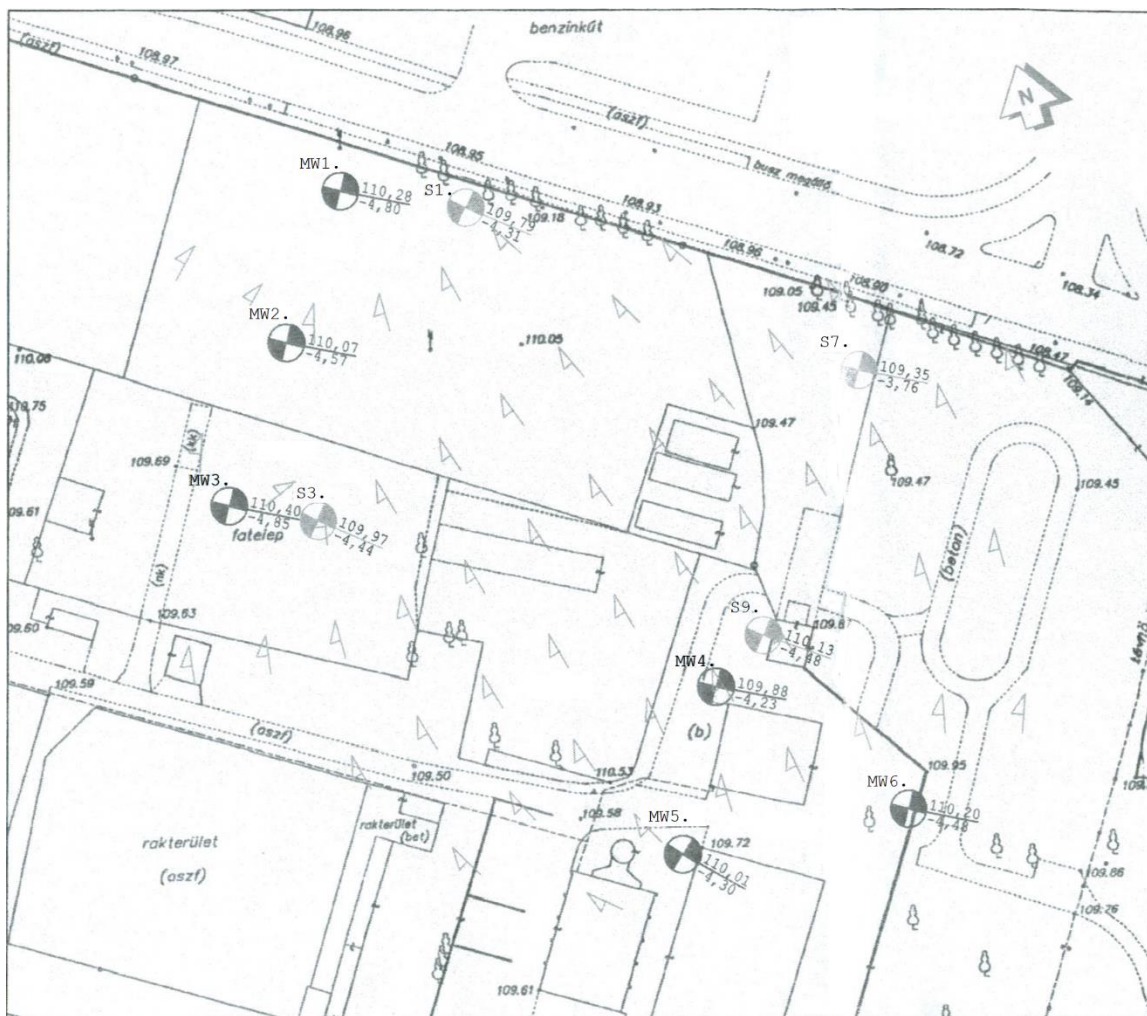
Az első vizsgálati körben 9 db fúrás mélyült (S1-S9) 4,5 m mélységben, melyek közül négyet ideiglenes kúttá képeztek ki. A fúrások mélyítése során 27 db talajmintát vettek 0,5 m, 2-3 m és 4-4,5 m mélységekből. A talaj- és talajvíz mintákban a következő komponenseket vizsgálták: VOCI, BTEX, PAH, TPH, PCB, toxikus fémek.

A vizsgálatok eredményei szerint:

- A talajmintákban a poliaromás vegyületek mennyisége egy esetben haladta meg a „B” szennyezettségi határértéket (S4-0,5 m: 7,56 mg/kg), a talajvíz mintákban nagyon alacsony, alsó méréshatárhoz közeli értékeket mértek.
- Aromás és alkilaromás vegyületek (BTEX), illetve PCB vegyületek nem voltak jelen mérhető mennyiségben sem a talajmintákban, sem a talajvíz mintákban.
- Alifás szénhidrogének (TPH) egy talajmintában voltak mérhető mennyiségben, de ez is jóval a szennyezettségi határérték alatt maradt. A vizsgált talajvíz minták közül az S1 jelű kútból vett mintában határérték feletti (280 µg/l), a többi mintában alsó méréshatár alatti volt a TPH.
- Az illékony halogénezett szénhidrogének közül a talajmintákban egyedül triklór-etilén volt jelen mérhető, és egyben határérték feletti mennyiségben, az S4 fúrás felszínközeli mintájában. A többi vizsgált mintában nem volt jelen mérhető mennyiségű VOCI komponens.
- A talajvíz mintákban a VOCI komponensek közül cisz-1,2-diklóretilén, triklór-etilén és tetraklór-etilén volt mérhető mennyiségben jelen. „B” szennyezettségi határértéket meghaladó koncentrációban volt triklór-etilén az S1, S3 és S9 jelű kutakban, a legmagasabb

értéket az S9 kútban mérték (861 µg/l). A tetraklór-etilén koncentrációja csak az S9 kút vizében lépte túl a szennyezettségi határértéket (18,6 µg/l). A cisz-1,2-diklóretilén csak az S3 jelű kút vizében volt jelen mérhető, de határérték alatti koncentrációban.

- A toxikus fémek közül arzént, báriumot és molibdént találtak határértéket meghaladó mennyiségben a talajmintákban. Az arzén koncentrációja csak a 4 m mélységből vett mintákban haladta meg a határértéket, míg a bárium és a molibdén egy, illetve kettő felszín közeli mintában volt jelen határérték feletti mennyiségben.
- A talajvíz mintákban arzén és molibdén volt „B” határérték feletti koncentrációban, valamint szelén a határértéket elérő, illetve minimális mértékben meghaladó koncentrációban. Az arzén koncentrációja mind a négy vizsgált talajvíz mintában határérték feletti volt, molibdén csak az S1 jelű kút vizében.



2.3-5. ábra Mintavételi pontok a gyár északkeleti részén (ERM Hungária Kft. 2001. június-szeptember)

Az eredményeket figyelembe véve további kiegészítő vizsgálatokra került sor, melyek célja az volt, hogy a talajvíz szennyezettségét vizsgálja. A munka során 6 db talajvízszintfigyelő kutat (MW1-MW6 jelűek) létesítettek a területen. A kutakból vett vízmintákban a VOCI komponenseket vizsgálták, valamint az MW1, MW3 és MW5 kutak vizében a toxikus fémeket is. Ezen felül vizsgálták a talajvíz áramlási irányát és a vízszinteket.

A vizsgálati eredmények azt mutatták, hogy:

- Triklór-etilén két kút (MW3, MW5) vizében volt mérhető, de a határértéknél jóval kisebb mennyiségben.
- Tetraklór-etilén egy kút (MW1) kivételével mindenütt jelen volt a talajvízben, de koncentrációja sehol nem érte el a „B” határértéket (2,7- 9,2 µg/l).
- Az S jelű kutak vizében korábban nem azonosított kloroform és széntetraklorid négy, illetve öt kút vizében volt jelen, többségében határérték feletti koncentrációkban.
- A három vizsgált vízmintából az MW1 kút vizében találtak határértéket meghaladó koncentrációban molibdént (50 µg/l), valamint bórt (750 µg/l).

**11. Talaj és vízanalitikai eredmények a csapadékvíz tározó tisztítása előtt és alatt
2000 Augusztus- Október valamint a megerősítő talajminták eredményei,
Biokör Kft (2001. augusztus)**

Talajminták vizsgálatának eredményeit tartalmazza a dokumentum, amely mintákat a kísérőlevél szerint a Vákuumtechnikai Gépgyár területén 2000.09.18. és 2000.10.05. között végzett záportározó medence tisztítási munkálatok során adtak át laboratóriumi vizsgálatra. Sajnos a dokumentumokból, vizsgálati jegyzőkönyvekből nem derül ki, hogy a minták a tisztítás előtt, alatt, vagy után, illetve helyileg pontosan honnan (melyik medencéből, annak melyik részéről) kerültek megvételre, így ez az anyag mindössze azt támasztja alá indirekt módon, hogy a záportározók valamelyikénél történt beavatkozás.

**12. Vákuumtechnikai Gépgyár állapotfelmérési dokumentáció, VTK Innosystem Kft.
(2020. március)**

A Tungsram Operations Kft. 2020 februárjában adott megbízást a VTK Innosystem Kft-nek a Vákuumtechnikai Gépgyár telephelyének (1046 Budapest, Főti út 141.) talaj-és talajvíz állapot vizsgálatára. A felmérés célja az volt, hogy átfogó képet adjon a telephely talajának és talajvizének minőségi állapotáról, az esetleges szennyezések elhelyezkedéséről, a szennyezőanyagok mozgásáról és veszélyességéről, figyelembe véve a későbbi lehetséges területhasználatot.

A feltárás során 37 db fúrás mélyült, melyek közül 8 db ismételt mintavételre alkalmas talajvíz mintavételi ponttá (ideiglenes kúttá) lett alakítva. A fúrási, mintavételi pontok helye a **2.3-6. és 2.3-7. ábrákon** látható.

A talajból mintákat a felszíni hatásoknak kitett felső 0,5 m vastagságú rétegből, a közművekkel leginkább érintett 1,0-1,5 m közötti rétegből és a talajvízszint ingadozásával érintett kapilláris zónából (a legtöbb esetben 4,0-4,5 m mélységből) vettek. Talajvíz mintát a háttér irányába eső, illetve a kilépő oldalon található mintavételi pontokon, a feltételezett szennyezések helyén, valamint az egyenletes lefedettséget biztosító pontokon vettek.

A felmérésben 101 db talajminta és 20 db talajvíz minta vizsgálatát végezték el. A talajmintákban elsősorban a környezetre veszélyes fémek és félfémek mennyiségét, az alifás szénhidrogének (TPH), valamint a policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) mennyiségét vizsgálták. A galvánüzemben működött cianidos technológia esetleges környezetszennyező

hatását a cianidok, a zsírtalanító és oldószerek használatából eredő esetleges szennyezést a klórozott alifás- és az aromás szénhidrogének vizsgálatával ellenőrizték.

A talajvíz mintákban – a talajmintákhoz hasonlóan – főként a környezetre veszélyes fémek és félfémek mennyiségét, valamint az alifás- és poliaromás szénhidrogének mennyiségét vizsgálták. A talajvíz állapotának általános jellemzésére általános vízkémiai vizsgálatok történtek, a zsírtalanító szerek és oldószerek használatából eredő esetleges szennyezést a klórozott alifás- és az aromás szénhidrogének vizsgálatával ellenőrizték.

A vizsgálandó komponensek körének ellenőrzésére két mintavételi ponton történt szűrővizsgálat két-két talaj, illetve talajvíz mintából. A szűrővizsgálatba bevont komponensek közül a növényvédő-szer hatóanyagok vizsgálatát a telephely történetének ismeretében nem tartották indokoltnak.

A talajminták vizsgálatának eredményei szerint:

- Az alifás szénhidrogének (TPH) mennyisége a vizsgált 88 talajmintából mindössze háromban haladta meg az alsó méréshatár értékét. A minták a két csapadékvíz szikkasztó medence medrének, és egy jelenleg is működő raktár melletti csapadékvíz elvezető árok felső, 0,0-0,5 m-es rétegéből származtak. A mért értékek a 108-187 mg/kg tartományba estek.
- Policiklusos aromás vegyületek (PAH) a gyárterület északi részén vett talajmintákban fordultak elő az 1 mg/kg-os (B) határértéket meghaladó vagy ahhoz közeli mennyiségben (0,92-7,86 mg/kg). A magasabb értékek egyértelműen az építési törmeléket is tartalmazó rétegekből vett mintákra voltak jellemzők. A legmagasabb PAH tartalom a volt veszélyes-hulladék égető melletti területen mélyült TMF-1 és TF-1 fúrások 1,0-1,5 m mélységből vett talajmintájában volt (7,86, ill. 2,54 mg/kg).
- Egy ponton, a TF-6 fúrás felszíni mintájában találtak lokális, kis területre kiterjedő triklór-etilén és tetraklór-etilén szennyezést.
- A talajminták fémvizsgálatának eredménye szerint a vizsgált mintákban nyolc fémes elem fordult elő határérték feletti mennyiségben. A talaj fémszennyezettségének értékelése a Nemerow féle szennyezettségi index alapján történt, amely szerint a következő területek igényelnek kiemelt figyelmet:
 - a volt Galvánüzem helyiségei és a galvánüzemi szennyvíztisztító területe,
 - a TF-10 és TF-15 fúrások közötti (volt fémhulladék tároló) terület,
 - a csapadékvíz szikkasztók területe,
 - a volt hulladékégető területe és a Főti úti kerítéstől délre eső, mintegy 50 m szélességű sáv,
 - az 53, 54, 55 és 90, 94, 78 jelű épületek közötti terület

A talajvíz vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy:

- A szűrővizsgálatba bevont mintákban a fenolok és az egyéb szerves szennyezők csoportjába tartozó vegyületek (piridin, tetrahidrofurán, tetrahidrotiofén) koncentrációja nem érte el az alsó méréshatárt.
- A szűrővizsgálat klór-fenolok és halogénezett aromás vegyületek jelenlétét mutatta ki a veszélyes-hulladék égető melletti TFM-1 fúrás vizében mérhető, de a szennyezettségi határértéket el nem érő koncentrációban.

- A szűrővizsgálatok eredménye szerint az aromás szénhidrogének csoportjából mindkét mintában megtalálható volt a toluol, mérhető, de a szennyezettségi határértéknél jóval kisebb koncentrációban. Szintén előfordult toluol a festőműhely melletti TF-17 jelű fúrás vizében, de koncentrációja itt is messze a határérték alatt volt.
- Alifás szénhidrogének és policiklikus aromás vegyületek a vizsgált vízmintákban minden esetben az alsó méréshatár alatti mennyiségben voltak jelen.
- A határértékkel szabályozott általános vízkémiai komponensek közül a szulfát-ion koncentrációja több ponton is meghaladta a (B) határértéket. Ezen kívül a nitrát-ion koncentráció volt határérték felett, de csak egy ponton.
- A fémek-félfémek csoportjából a cink, molibdén, a bór és az alumínium azok, amelyek koncentrációja több mintában is meghaladta a (B) határértéket. Egy-egy mintában a nikkel és a kadmium koncentráció is túllépést mutatott. Króm (VI)-ot csak a galvánüzemi szennyvíztisztító területén mélyült TF-24 fúrás vizében találtak mérhető mennyiségben, koncentrációja azonban nem érte el a (B) értéket.
- A Galvánüzem és a galvánüzemi szennyvíztisztító környezetében vett vízminták összes cianid koncentrációja nem érte el a (B) határérték 10%-át.
- A klórozott alifás szénhidrogének csoportjából kloroform, szén-tetraklorid, triklór-etilén és tetraklór-etilén fordult elő a talajvízben határértéket meghaladó koncentrációban. A kloroform és a szén-tetraklorid mennyisége egyetlen vizsgált mintában, a TF-31 ponton vett talajvízben haladta meg a szennyezettségi határértéket. A többi vizsgált vízminta nem tartalmazott mérhető mennyiségű kloroformot és szén-tetrakloridot.
- Legnagyobb területet a tetraklór-etilén (tetraklóretén, perklór-etilén, PCE) szennyezés érint, ami majd minden vizsgált vízmintában mérhető mennyiségben volt jelen. A szennyezés feltételezett kiindulópontja a volt festőműhely, ahol a perklór-etilénes zsírtalanító berendezés üzemelt.

Mivel az állapotfelmérés alig egy évvel a tényfeltárási munkák előtt történt, az akkor született vizsgálati eredményeket felhasználtuk a tényfeltárás tervezésében, illetve ahol erre lehetőség, vagy szükség volt, a tényfeltárás során született eredményekkel együtt értékeltük.

3. AZ ÉRINTETT TERÜLET BEMUTATÁSA

3.1. Földrajzi elhelyezkedés és morfológia

A vizsgált terület Budapest északi részén, Újpesten, a Dunától keletre kb. 2,5 km-re található. A Vákuumtechnikai Gépgyár városon belüli elhelyezkedését a **3.1-1. ábra** mutatja. A telephely a Fóti út, Blaha Lujza utca, Lahner György utca és Szilágyi utca által határolt területen fekszik. A telephelyről készült légifotó a **3.1-2. ábrán**, helyszínrajza a **3.1-3. ábrán** látható. Az ingatlan területét minden irányból kerítés határolja. Megközelítése közúton a Fóti útról – amely a telephelyet északról határolja – és a Lahner György utca felől lehetséges. A telephelyet északi, nyugati és déli irányból családi, illetve társasházi beépítésű lakóterület veszi körül. Keleti irányban az ingatlan kerítése és a Szilágyi utca között kertészet, ill. faiskola, valamint családi házas lakótelkek találhatók. A Szilágyi utca túloldalán a Budapest-Vác vasúti fővonal halad. A gyárterülettől délkeleti irányban kb. 200-250 m-re, a Lahner György utca végén található Rákospalota-Újpest vasútállomás. A telephely egykori vasúti kapcsolata mára megszűnt, az iparvágányt lezárták és az ingatlanon belüli legnagyobb részét aszfalt borítás takarja. Az egykori üzem és tágabb környezete alapvetően sík, a tágabb területet tekintve kismértékben a Duna felé lejtős terület.

A Tungsram Real Estate Kft. tulajdonában lévő ingatlanok területe együttesen 187 218 m², ebből a beépített terület 101 281 m². Az épületek közötti közlekedő utak felülete szilárd burkolatú (aszfalt vagy beton).

3.2. A területhasználat története

Az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt. Géposztálya, amely elsősorban a külföldi eredetű gyári berendezések javítását, átalakítását és karbantartását végezte és új gépeket csak a vállalatnak készített, 1951-ben vált szét gépgyártó és karbantartó-javító részlegekre. Míg az utóbbiból gyáregységet szerveztek, addig a gépgyártó részlegből még ugyanabban az évben alakult meg a Vákuumtechnikai Gépgyár. A Vákuumtechnikai Gépgyár helyigényének megoldására 1951-ben csatolták a vállalatához a mechanikai és üvegtechnikai gépek gyártásával foglalkozó, egykori Hattyár András és Társai közkereseti társaság újpesti telepét. Az új gyár, mint önálló gyáregység 1952-53-ban költözött át a rákospalotai Szilágyi utcai új telephelyére, ahol kizárólag az Egyesült Izzó részére készített üveggyártó és üvegfeldolgozó gépeket, berendezéseket. A Vákuumtechnikai Gépgyár feladata volt az 1951-ben megalakult Mintagépgyár gyáregységben tervezett vákuumtechnikai termelőberendezések prototípusainak elkészítése is.

1956-ban helyezték át a fénycsőszerelvény-gyártást, 1958-ban pedig a fejgyártást, majd ezután a sajtolóüzemet és a vitritkögyártást a törzsgyárból a Vákuumtechnikai Gépgyárba, főként helyhiány miatt és a nehézkes kooperáció kiküszöbölésére. Az átköltözéssel valamennyi beolvadt a gépgyár szervezetébe. Az átköltözés során mód nyílt az üzemrészek korszerűsítésére is.

A Vákuumtechnikai Gépgyár 1960-ban már jelentős termelési kapacitáshiánnyal küzdött. Feloldására kooperációs kapcsolatba lépett a famegmunkáló és asztalosipari gépeket gyártó

Könnyűipari gépgyárral. 1961-ben a Gépgyár beolvasztotta magába kooperáló partnerét, gyártelepét leszerelte, berendezéseit és gépeit Rákospalotára szállította.

A Vákuumtechnikai Gépgyár 1964-ben átköltözött a Mintagépgyár területére, részben a helyhiány, részben pedig a kísérleti – egyedi és sorozat – gyártás jobb megszervezése érdekében. 1967-ben szervezetileg is egyesítették a Vákuumtechnikai Gépgyárat és a Mintagépgyárat.

A gyárban a 60-as években cserélték le a korábbi szénttüzelésű kazánokat földgáz tüzelésűekre. Ezt megelőzően a fűtéshez szükséges szén és a keletkező salakot a kazánház közelében, a talaj felszínén, szabadterén tárolták.

A Vákuumtechnikai Gépgyárból 1972-ben került át a nagytömegű lámpafej gyártás Zalaegerszegre, ahol a beruházás befejeztével évi 500 millió darab lámpafej gyártására nyílt már lehetőség. Ettől kezdve a gyárban túlnyomórészt a világítástechnikai termékek és alkatrészek gyártását végző vákuumtechnikai gépek-, berendezések és gyártórendszerek tervezése és gyártása történt.

1974-ben a Fényforrásgyár vegyianyagait tároló területen tűz ütött ki, melynek következtében több savtartály megsérült, és jelentős mennyiségű sav folyt ki a területen. Az ezt követő kárelhárításról vagy remediációról nincsenek elérhető információk. A későbbiekben ezen a területen megszüntették a vegyianyag tárolást és a 2000-es évek elején aszfaltozott parkolót alakítottak ki rajta.

1980 és 1984 között működött a gyárterület északnyugati részén egy veszélyes-hulladék égető, ahol folyékony hulladékokat (oldószereket, festékeket, olajat) égettek. Az égető működését lakossági panaszok miatt leállították, berendezéseit leszerelték.

Az 1990-es évek végén a gyárban az alábbi technológiák (üzemek és üzemrészek) működtek:

- **Gépi forgácsolás**
Esztergálás, marás, gyalulás, vésés, fúrás, fogazás, köszörülés, csiszolás, darabolás, szikraforgácsolás
- **Kézi forgácsolás**
Fúrás, menetfúrás, menetmetszés, dörzsölés, reszelés, fűrészelés, hántolás, csiszolások, köszörülés, vágás, hajlítás, kivágás, lyukasztás
- **Hegesztés, forrasztás**
Lánghegesztés, lángvágás, keményforrasztás, ívhegesztés, védőgáz as ívhegesztések
- **Hőkezelések, nitridálás**
- **Öntvénytisztítás**
- **Egyéb műveletek**
Szerelési műveletek, szerszám készítés, lakatos munkák, elektromos szerelés, asztalos munkák, géppróbák, minőségbiztosítás, karbantartás
- **Festés, zsírtalanítás**
Zsírtalanítás: Uddeholm zsírtalanító berendezés (perklór etilénnel), kézi zsírtalanítás
Festés: festés előkészítés, vízfüggönyös festő szórófal
- **Galvanizálás**
A galvanizáló üzemben az alábbi műveleteket végezték:
 - Emulziós zsírtalanítás

- Kémiai zsírtalanítás
- Eloxálás
- Borköves öblítés
- Dekapírozás – kénsavas pácolás
- Sárgítás – sárga és vörösréz kémiai tisztítása
- Elektropolírozás
- Salétromsavas pácolás
- Horganyzás
- Sósavas pácolás
- Feketítés – acél, vas és öntöttvas vegyi oxidálása
- Alumínium alkatrészek vegyi fehérítése
- Vöröszerezés – vas és acél alkatrészeknél
- Cíános horganyzás – vashüvelyek és fejek bevonása, gépalkatrészek korrózió elleni védelme
- Nikkelezés – vas, réz és rézötvözetű fejek, hüvelyek, egyéb alkatrészek nikkelezése
- Krómozás – szerszámok, gépalkatrészek kopásállóságának növelésére

Az egyes tevékenységek akkori elhelyezkedését mutatja a **3.2-1. ábra**.

A gyárban a galvanizáló működése 2005-2006-ban szűnt meg. A galvanizáló műhely gépeit, berendezéseit leszerelték, a csatlakozó szennyvízvezetéseket és a galvános szennyvízkezelő berendezéseit eltávolították, a felhagyott műtárgyakat kiürítették és kitisztították.

2006-ban kezdte meg működését a Kerámiaüzem a felújított 70-es épületben, majd 2009-ben kibővült és a szomszédos 77-es épület egy részét is használatba vette.

A gépgyártási tevékenység a korábbi tulajdonos General Electric profiltisztítási törekvéseinek következményeként 2017-ben szűnt meg a gyárban.

A Vákuumtechnikai Gépgyár területéről 1963-2010. között készült légifotók a **3.2-2 – 3.2-8. ábrákon** láthatók.

3.3. A terület jelenlegi használata

A gyár területén található épületek többsége a vizsgálat időpontjában használaton kívül volt. A használatban lévő épületekben tárolási, raktározási tevékenység, karbantartó és állagmegóvási tevékenység folyik. Termelő tevékenység a 70-es épületben és a 77-es épület egy részében történik (CHM kerámiaüzem), ahol világítástechnikai kerámia alkatrészeket állítanak elő alumínium-oxid és szilícium-dioxid tartalmú por alapanyagból préseléssel.

A gyár területén jelenleg a következő közmű, illetve gyári belső ellátó hálózat működik:

- Ivóvízhálózat
- Kommunális szennyvízcsatorna
- Csapadékvíz csatorna
- Elektromos hálózat
- Földgáz hálózat
- Telefon/informatikai hálózat

A közmű- és belső ellátó vezetékek közül terepszint alatt találhatók a víz- és csatorna-, továbbá részben a gáz-, telefon/informatikai hálózat és az elektromos kábelek.

A gyár területén felszín alatti víz kivétel vagy hasznosítás nincsen, a telephely vízellátása teljes egészében a Fővárosi Vízművek Zrt. ivóvíz hálózatáról történik. A gyár a vizet a Lahner György utca felől kapja NA150-es és NA80-as vezetéken.

A gyáron belüli csatornarendszer a gyárterület nagyobb részén elválasztott rendszerű, a telephely délkeleti részén egyesített. A kommunális csatornahálózat egy ponton, a 28. jelű végátemelő után csatlakozik a Fővárosi Csatornázási Művek kezelésében lévő, Lahner György utcai gyűjtőcsatornához. A gyárat elhagyó szennyvizet a Fővárosi Csatornázási Művek ZRt. Észak-Pesti Szennyvíztisztító Telepe tisztítja.

A keletkező szennyvíz döntő hányada a 28. sz. átemelőn keresztül hagyja el a gyárat. Az átemelőt megkerülő vizek a 86. orvosi rendelő, az 59. porta és a 36, 77, 78, és 94 épületekből származó szennyvízből, valamint a porta és orvosi rendelő előtti térburkolatról összefolyó csapadékvízből tevődnek össze. A 27. jelű kiegészítő átemelő vize is a 28-as átemelőt megkerülve hagyja el a gyárat, de csak abban az esetben, ha a gyárból érkező szennyvíz mennyisége olyan nagy, hogy a 27-es átemelő előtti csatlakozó akna túlfolyó csatornáján és az azt követő ülepítőn átfolyva eljut az átemelő aknájába. (Abban az időben, amikor a gyár 1500-2000 fős dolgozói létszámmal működött, ilyen csúcsidő jelentkezett műszakváltáskor. A mai létszám mellett ez már csak rendkívüli zápor esetén fordulhat elő.)

Az épületekről és térburkolatról elfolyó csapadékvíz összegyűjtése és elvezetése a gyár területének nagy részén elválasztott csatornákon történik. Kivételt képeznek az 59-es, 86-os, 70-es és 77-es épületek szennyvizét és az épületekről levezetett, illetve a mellettük található burkolt felületekről 12 db víznyelőn lefolyó csapadékvizet elvezető csatornák, amelyek egyesített rendszerben gyűjtik és vezetik el a vizeket. Ezek a csatornák a 28-as végátemelőt elkerülve csatlakoznak a gyárból kimenő csatornához.

A telephelyen belül, a gépjármű parkoló területéről elvezetett – esetlegesen olajjal szennyezett – csapadékvizek előkezelését egy SEPURATOR 90 MÖA-40/II-3-9,7 típusú olaj-iszapfogó biztosítja. A valamikori konyha és étkező szennyvizének előkezelésére egy FAK-4-16-0,6 PURATOR típusú zsírfogó szolgált.

A 70-es épületben működő CHM kerámiaüzem technológiai szennyvizének előkezelése HAURATON D 1000 E típusú berendezéssel történik.

A 10. sz. targoncagarázsban működött gépjármű-mosó vize az épület előtti 10 m³-es olajfogó, ülepítő aknán keresztül kerülhet a csatornába. A járműmosó több évtizede nem üzemel.

Az elválasztott rendszerű csapadékcatornák a 22-es és 30-as jelű záportározó medencékbe vezetik a vizet. A záportározók ~800 és ~1100 m³ térfogatú, kerítéssel körülvett földmedencék, melyekből a csapadékvíz részben elpárolog, illetve elszikkad. A záportározók túlfolyói a szennyvízelvezető rendszer csatornáihoz csatlakoznak.

A 85-ös és 87-es épületek tetővizeinek egy része, és az északi oldalukon lévő burkolt területről elfolyó csapadékvíz a burkolt terület mellett húzódó szivárgóárokba kerül.

3.4. A terület földtani, vízföldtani jellemzői

A Budapestet felépítő kőzetek 5 nagyobb kőzetcsoportba sorolhatók:

- 1) Az első csoportba a Dunántúli-középhegység fő tömegét is alkotó, egységes főkarsztvíz-tárolót képező, nagy vastagságú, zömében középső- és felső-triász, valamint a tároló vízzáró fekvését alkotó felső-permi és alsó-triász medence-aljzati kőzetek tartoznak.
- 2) Az eocén korú (55-35 millió éves) mészkövek és márgák ugyan üledékhézaggal települnek a triász rétegekre, de hévízföldtani szempontból sokszor egységet alkotnak velük. A főváros térségében paleogén vulkanitokat is feltártak egyes fúrások.
- 3) A harmadik csoportba az előzőkre üledékhézag nélkül is rátelepült oligocén (35-25 millió éves) vízzáró agyagos-márgás-homokkőves képződmények tartoznak. Az ilyen agyagos üledékek jelentősége geotermikus szempontból kiemelkedő, ugyanis hatékonyan elválasztják egymástól a felszín-közeli, hidegvizes rétegvíz-tároló képződményeket a medencealjzati termálvizes főkarsztvíz tárolótól.
- 4) Miocén és Pliocén korú vegyes anyagú üledékek Pestre jellemző neogén fedőrétegek, változó mennyiségű vulkáni tufákat is tartalmaznak.
- 5) A legfiatalabb negyedkori laza homokos- kavicsos folyóvízi üledékek, illetve a kiemeltebb részekben lerakódott futóhomok és lösz alkotja a felszín-közeli rétegeket (a mesterséges feltöltések alatt).

A feltáráshoz kapcsolódóan az 5. nagyobb csoportot mutatjuk be részletesebben is.

A miocén végén jött létre a Pannon-tó, amelyből a Budai-hegység szigetként állt ki, így csak a peremeken rakódtak le különféle lokális üledékek. Az Alföld felépítését meghatározó pannon korú agyagos és homokos rétegek csak Budapest keleti és déli szélén jelennek meg, vastagságuk DK felé nő, de a város szélén is legfeljebb csak 150 méteres vastagságot érnek el.

A pannon és a legfiatalabb felszín-közeli negyedkori rétegek üledékek még nem szenvedhettek el jelentősebb kompakciót, ennél fogva anyaguk laza homokliszt, homok, kavics és agyag keveréke. Egyedüli kivétel az ugyanekkor keletkező édesvízi mészkő, amely a folyam aktuális szintje mellett felfakadó hévforrásokból vált ki a Budai oldalon, pl. a Kiscelli-fennsík oldalában.

A budai oldal kiemelkedése és a pesti oldal süllyedése a földtörténet legutolsó korszakaiban felgyorsult, aminek hatására a regionális kiterjedésű és nagy mélységű *Dunántúli főkarsztvíz-tároló* keleti szélének a legfontosabb megcsapolási zónája, forrásterülete alakult ki a főváros budai oldalán. A hegység idős lepusztult tönkszerkezete a jégkorszaki másodlagos kiemelkedés hatására némileg meredekebbé vált. A fővárosban 5 teraszszint különíthető el, mindegyiknek megfelel egy kavicsszint, illetve a folyómeder budai oldalán egy-egy édesvízi mészkő szint is. A kavicsteraszszerű legidősebb pleisztocén képződményei pannóniai üledékre települve találhatók, a Duna II/a. és II/b. terasza átmenő, felszíne gyakran parti buckákkal, futóhomokkal, lösz-szerű üledékekkel magasított. A IV. sz. gyakran édesvízi mészkővel takart, és az V. és idősebb teraszok csak foltokban jelennek meg.

Ezzel párhuzamosan a feltöltődő alacsony részekben folyami üledékek lerakódása kezdődött meg, elsőként feltehetően egy észak, észak-kelet felől érkező folyó, majd a visegrádi áttörés kialakulása után a Duna által lerakott rétegekkel.

A mélyebb zónában a folyó erodáló és bevágó hatása mellett széles ártéri zóna jött létre, és a meanderező, vándorló folyó medrénél kavics, távolabb homok, a mocsaras, csak ritkán elöntött részekben pedig agyag és tőzeg rakódott le.

Budapest eredeti vízrajza a jelenlegitől nagyban különbözött még a történelmi időkben is. A folyó maga is 50-100 méterrel szélesebb volt, sokkal több szigettel. A Pesti-síkság jelentős része mocsaras, áradás idején elöntött zóna volt. A jelenlegi egyberendezett, elsősorban NY-K lefolyású patakok (pl. Rákos-patak) mellett több déliesebb lefutású vízfolyás volt. A Római-fürdő területénél természetes forrástól létezett egészen az 1950-es évekig, ezzel szemben a Dél-Pesten és a Csepel-szigeten levő tavak többsége bányató, a kavics-kitermelések következménye.

A Duna pesti oldalán és így a vizsgált területen is a talajvíztartó rétegek a Duna kavicssteraszai. A kavicsos víztartókat általában löszös, homokos rétegek és különböző holocén (antropogén) feltöltések takarják. A Káposztásmegyertől délre húzódó partvonalon a vízadó kavicssterasz fekvését oligocén agyag alkotja. A parttól távolabbi terület az újpleisztocénvégi teraszhoz tartozik. Itt is megtalálható a quarter folyami durva kavics, mintegy 10-15, helyenként 20 m mélységig. Alatta pleisztocén aleuritos, homokos agyagos rétegek települnek változatos kifejlődésben és vastagságban, mintegy 90-100 m mélységig. Ez a vastag vízzáró, helyenként féligáteresztő összlet védelmet biztosít az alsóbb homokrétegek felé. A **3.4-1. ábra** a vizsgált területen (piros keret) és környezetében előforduló felszíni földtani képződményeket mutatja, amely szerint a terület nagyrészen folyóvízi aleurit, kisebb részen fluvioeolikus homok található.



3.4-1. ábra
Felszíni földtani térkép (piros keret jelzi a vizsgált területet)
(Forrás: MBFSZ térképszerver)

3.5. A terület élővilága, védendő természeti értékei

A terület természetföldrajzi szempontból az Alföld nagytáj Dunamenti-síkság középtáján belül a Pesti-síkság kistáj-csoportához tartozó Pesti hordalékkúp-síkság nyugati részén helyezkedik el. A telephely Budapest belterületén található. A vizsgált terület közvetlen közelében nem helyezkedik el természet- vagy tájvédelmi szempontból védett terület.

A vizsgált terület növényföldrajzi szempontból az Alföld (Eupannonicum) flóraidékén belül a Duna-Tisza közti flórajárásba (Praematricum) tartozik. Természetes növényzet gyakorlatilag nem található a telephely területén és környezetében.

A gyár területe országos jelentőségű, egyedi jogszabály által kijelölt védett természeti területet, vagy ex lege védett természeti területet, illetve természeti értéket nem érint. Nem képezi részét a Natura 2000 hálózathoz tartozó területnek, és barlang felszíni védőövezete sem érinti. Egyedi tájértéket nem érint, és nem képvisel.

A Vákuumtechnikai Gépgyár területéhez legközelebb eső országos jelentőségű természetvédelmi terület a telephelytől nyugatra található „Duna és ártere” nevű Natura 2000 terület (HUDI20034), ami kiemelt jelentőségű természet megőrzési terület. Ugyancsak itt, a telephelytől nyugatra található a Palotai-sziget, melyet Budapest Főváros Önkormányzatának Közgyűlése 25/2013.(IV.18.) Főv. Kgy. rendeletében nyilvánított helyi jelentőségű védett természeti területté.

3.6. Az épített környezet, régészeti, műemléki értékek

A Magyar Nemzeti Múzeum Régészeti Adatbázisa szerint a feltárással érintett területen az alábbi helyszíneken található régészeti lelőhely:

- Leiningen Károly u. 47. avar kori csontvázas sír (azonosító szám 15686)

<https://archeodatabase.hnm.hu/hu/node/27093>, 2021. november 10.

- Megyeri út-Reviczky utca-Erdősor-út-Pálya utca-Bajza u-Fóti út őskori település (azonosító szám 66164)

<https://archeodatabase.hnm.hu/hu/node/32331>, 2021. november 10.

Helyi védettségű épület vagy műemléki érték a helyi művi értékvédelmi kataszter szerint a tényfeltárással érintett ingatlanok területén nem található.

3.7. A szennyezett területen lévő és veszélyeztetett vízhasználatok bemutatása

A Fóti út 141. alatti telephely területén felszín alatti víz kivétel vagy hasznosítás nincsen, a telephely vízellátása teljes egészében a Fővárosi Vízművek Zrt. ivóvíz hálózatáról történik.

A gyárat körülvevő családiházas, kertvárosias lakóövezet ivóvízellátását is a Fővárosi Vízművek Zrt. biztosítja, azonban az ingatlanok nagy részén található – többségében nem bejelentett – saját használatú talajvízkút, melyek vizét elsősorban locsolásra, öntözésre, kisebb részben kerti medencék feltöltésére használják.

A Vákuumtechnikai Gépgyár szennyvízgyűjtő hálózata a gyárterület nagyobb részén elválasztott rendszerű, a telephely délkeleti részén egyesített. A kommunális csatornahálózat egy ponton, a 28. jelű végátemelő után csatlakozik a Fővárosi Csatornázási Művek kezelésében lévő, Lahner György utcai gyűjtőcsatornához. A gyárat elhagyó szennyvizet a Fővárosi Csatornázási Művek ZRt. Észak-Pesti Szennyvíztisztító Telepe tisztítja.

A lakóingatlanokon keletkező szennyvíz összegyűjtését és elvezetését is a Fővárosi Csatornázási Művek Zrt. biztosítja. Ennek ellenére néhány ingatlanon még mindig megtalálható a csatornahálózat kiépítését megelőző időkben használt szikkasztó, illetve kerti WC.

3.8. A terület érzékenységi besorolása

A felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet 7 §-a és a 2. számú melléklete szerint, a 7 § (4) bekezdésben meghatározott 1:100 000 méretarányú országos érzékenységi térkép alapján a terület a felszín alatti víz állapota szempontjából érzékeny.

3.9. A hatályos területrendezési terv szerinti területhasználati besorolás

A Vákuumtechnikai Gépgyár területe a Budapest Főváros IV. kerület Újpest Önkormányzata Képviselő-testületének 5/2018. (I.26.) számú Önkormányzati rendelete alapján az 5. számú Újpest kertváros Városszerkezeti egység részét képezi. A Fóti úti telephely a szabályozási tervlap alapján Gksz-2/IV-5/3 besorolású, gazdasági, jellemzően raktározásra és termelésre szolgáló terület.

A Schiller Autóház Kft. által bérelt terület besorolása Gksz-2/IV-5/2 – gazdasági, jellemzően raktározásra és termelésre szolgáló terület.

A gyár területét is magába foglaló tervlap a **3.9-1. ábrán** látható.

3.10. A szennyezett terület lehatárolásához igénybe vett eszközök, létesítmények műszaki adatai

A szennyezett terület lehatárolásához korábban készült figyelő- és ideiglenes kutakat, ismételt mintavételre alkalmassá tett fúrási pontokat (ideiglenes kút) vettünk igénybe, valamint egyszeri mintavételt biztosító feltáró fúrásokat mélyítettünk. A Vákuumtechnikai Gépgyár területén kívül a talajvíz mintákat 7 db meglévő, saját használatú talajvíz kútból, illetve 3 ponton egyszeri mintavételt biztosító (kézi) feltáró fúrásból vettük.

A tényfeltárás során alapul vettük, illetve felhasználtuk a VTK Innosystem Kft. által 2020-ban készített állapotfelmérés eredményeit, ezért az ahhoz használt eszközöket és létesítményeket is bemutatjuk.

A 2020-as állapotfelmérés során 37 db fúrás mélyült, melyek közül 8 db ismételt mintavételre alkalmas talajvíz mintavételi ponttá (ideiglenes kúttá) lett alakítva. A 2021-ben elvégzett tényfeltárás részeként 29 db talajvizet feltáró fúrás készült, melyek közül 26 db lett ismételt mintavételre alkalmas mintavételi ponttá alakítva. Ezek mellett, a talajszennyezettség vizsgálatára 76 db 1,0-1,5 m mélységű talajfeltáró fúrás mélyült és 6 ponton történt mederüledék mintavétel.

A gépi fúrások 2020-ban Geotool GTR-780 típusú, 2021-ben Nordmeyer RSB típusú dízelhidraulikus, gumilánc talpas fúróberendezéssel készültek. A gépi fúrások és ideiglenes kutak kivitelezője mindkét évben Mocsai Károly egyéni vállalkozó volt. A talajfeltáró fúrásokhoz Eijkelkamp kézi talajmintavevő fúrókészletet használtunk csakúgy, mint a gépi fúrásokat minden esetben megelőző 1,5 m mélységű kézi feltárásokhoz.

Az újonnan létesült ideiglenes kutak tisztítása teflon, illetve rozsdamentes acél anyagú bailerrel, a talajvíz mintavétele Whale GP1352 típusú meríthető szivattyúkkal történt.

A 2020-2021. évi feltárások létesítményeinek műszaki jellemzőit a **3.10-1. és 3.10-2. táblázatokban** foglaltuk össze, elhelyezkedésük a **3.10-1. és 3.10-2. ábrán** látható.

3.10-1. táblázat A 2020 évi állapotfelmérés létesítményei

Jelölés	Típus	EOV-Y	EOV-X	Terepszint [mBf]	Talpmélység [m] terepszint alatt	Szűrőzött szakasz [m] terepszint alatt	Vízszintmérés alappontja (csóperem) [mBf]	Csőátmérő [mm]	Megjegyzés
TFM-1	feltáró fúrás	654351,714	247568,412	109,295	10,0	–	–	–	
TFM-2	feltáró fúrás	654609,251	247483,421	108,841	9,0	–	–	–	
TFM-3	feltáró fúrás	654464,763	247152,835	110,18	9,5	–	–	–	
TFM-4	feltáró fúrás	654724,158	247136,326	110,53	9,0	–	–	–	
TF-1	ideiglenes kút	654368,275	247559,967	109,305	6,0	4,5-5,5	109,503	60/52	
TF-2	feltáró fúrás	654369,846	247523,919	109,239	4,5	–	–	–	
TF-3	feltáró fúrás	654433,975	247536,052	108,642	4,5	–	–	–	
TF-4	feltáró fúrás	654487,108	247481,206	109,269	4,5	–	–	–	
TF-5	ideiglenes kút	654520,823	247469,007	109,113	6,0	4,5-5,5	109,703	60/52	
TF-6	feltáró fúrás	654595,196	247400,224	109,568	4,5	–	–	–	
TF-7	feltáró fúrás	654642,76	247398,773	109,493	6,0	–	–	–	
TF-8	feltáró fúrás	654615,25	247401,839	109,637	4,5	–	–	–	
TF-9	ideiglenes kút	654689,182	247401,449	109,54	6,0	4,5-5,5	110,001	60/52	
TF-10	feltáró fúrás	654732,831	247322,559	109,609	6,0	–	–	–	
TF-11	feltáró fúrás	654394,546	247361,283	109,534	4,5	–	–	–	
TF-12	feltáró fúrás	654412,056	247380,624	109,388	4,5	–	–	–	
TF-13	feltáró fúrás	654486,893	247392,963	109,538	6,0	–	–	–	
TF-14	feltáró fúrás	654663,729	247300,318	109,487	6,0	–	–	–	
TF-15	feltáró fúrás	654741,142	247275,821	109,615	5,0	–	–	–	
TF-16	ideiglenes kút	654344,195	247390,956	109,342	6,0	4,5-5,5	109,786	60/52	
TF-17	feltáró fúrás	654602,946	247304,147	109,51	6,0	–	–	–	
TF-18	feltáró fúrás	654441,019	247295,693	109,51	4,5	–	–	–	
TF-19	ideiglenes kút	654509,918	247277,118	109,592	6,0	4,5-5,5	109,796	60/52	
TF-20	feltáró fúrás	654793,497	247203,119	107,68	1,0	–	–	–	II szikkasztó medrében
TF-21	feltáró fúrás	654554,822	247195,455	110,408	1,0*	–	–	–	Épületen belül, aljzat alatt
TF-22	feltáró fúrás	654569,301	247196,221	110,415	1,5	–	–	–	Épületen belül, aljzat alatt
TF-23	feltáró fúrás	654602,55	247185,158	110,499	1,5	–	–	–	Épületen belül, aljzat alatt
TF-24	feltáró fúrás	654572,967	247180,531	110,272	6,0	–	–	–	
TF-25	feltáró fúrás	654583,955	247155,486	110,358	4,5	–	–	–	
TF-26	feltáró fúrás	654545,663	247153,898	110,295	6,0	–	–	–	
TF-27	feltáró fúrás	654558,3	247148,8	105,8	1,5	–	–	–	I szikkasztó medrében
TF-28	feltáró fúrás	654571,1	247123,361	110,168	4,5	–	–	–	
TF-29	ideiglenes kút	654561,968	247111,675	110,148	6,0	4,5-5,5	110,252	60/52	
TF-30	ideiglenes kút	654690,072	247060,65	110,533	6,0	4,5-5,5	110,66	60/52	
TF-31	feltáró fúrás	654745,002	247445,416	109,515	6,0	–	–	–	
TF-32	feltáró fúrás	654823,807	247345,092	109,371	4,5	–	–	–	
TF-33	ideiglenes kút	654766,851	247190,559	111,083	6,0	4,5-5,5	111,276	60/52	
Korábban létesült kutak									
MW1	monitoring kút	654560,92	247136,114	109,87	6,0	–	110,614	120/110	Az Élő Bolygó Kft. I/2. kútja
MW3	monitoring kút	654705,102	247382,736	109,931	8,5	6,0-8,0	110,40	57/50	
MW4	monitoring kút	654798,496	247347,019	109,765	9,5	7,0-9,0	109,908	57/50	
MW5	monitoring kút	654793,135	247316,326	109,622	9,3	6,8-8,8	110,101	57/50	Eltömődött, nem használható
MW6	monitoring kút	654836,347	247322,217	109,822	9,1	6,6-8,6	110,204	57/50	
S9	ideiglenes kút	654806,968	247354,337	109,863	7,5	5,0-7,0	110,142	57/50	

* Keresztben futó csatornacsövek miatt a fúrást nem lehetett tovább mélyíteni.

3.10-2. táblázat A 2021 évi tényfeltárás létesítményei

Jelölés	Típus	EOV-Y	EOV-X	Terepszint [mBf]	Talpmélység [m] terepszint alatt	Szűrőzött szakasz [m] terepszint alatt	Vízszintmérés alappontja (csóperem) [mBf]	Csőátmérő [mm]	Megjegyzés
NA-01	ideiglenes kút	654465,561	247141,009	110,313			110,852	60/52	
NA-02	ideiglenes kút	654382,12	247220,665	109,361			109,929	60/52	
NA-03	ideiglenes kút	654519,785	247200,146	110,517			111,118	60/52	
NA-04	ideiglenes kút	654551,617	247232,334	110,441			110,702	60/52	
NA-05	ideiglenes kút	654409,746	247290,709	109,594			110,169	60/52	
NA-06	ideiglenes kút	654602,913	247304,034	109,521			109,992	60/52	
NA-07	ideiglenes kút	654663,772	247300,404	109,452			109,868	60/52	
NA-08	ideiglenes kút	654296,975	247464,139	109,366			109,824	60/52	
NA-09	ideiglenes kút	654485,415	247388,544	109,549			109,879	60/52	
NA-10	ideiglenes kút	654574,904	247407,752	109,394			109,872	60/52	
NA-11	ideiglenes kút	654760,064	247384,683	110,693			111,053	60/52	
NA-12	ideiglenes kút	654608,972	247434,753	109,082			109,531	60/52	
NA-13	ideiglenes kút	654676,551	247460,179	109,233			109,726	60/52	
NA-14	ideiglenes kút	654608,086	247480,351	108,781			109,254	60/52	
NA-15	ideiglenes kút	654507,218	247518,176	109,266			109,624	60/52	
NA-16	ideiglenes kút	654433,791	247536,033	108,578			109,333	60/52	
NA-17	ideiglenes kút	654329,499	247537,515	109,193			109,572	60/52	
NA-18	ideiglenes kút	654584,157	247155,537	110,290			110,891	60/52	
NA-19	ideiglenes kút	654636,811	247449,11	108,879			109,338	60/52	
NA-20	feltáró fúrás	654605,845	247454,034	108,882				–	
NA-21	ideiglenes kút	654788,366	247256,437	109,469			109,866	60/52	
NA-22	ideiglenes kút	654280,631	247423,894	108,975			109,428	60/52	
NA-23	ideiglenes kút	654744,834	247445,233	109,474			109,864	60/52	
NA-24	ideiglenes kút	654789,672	247432,381	109,582			109,852	60/52	
NA-25	ideiglenes kút	654828,285	247419,688	109,276			109,546	60/52	
NA-26	ideiglenes kút	654808,685	247236,099	109,968			110,608	60/52	
NA-31	saját használatú kutak	654700,258	247577,854	108,624			109,464		
NA-32		654263,943	247669,094	108,580			107,43		
NA-33		654320,1	247808,9	108,597					
NA-34		654454,17	247712,025	108,675			108,485		
NA-35		654623,8	247585,9						
NA-36		654493,7	247594,7	108,65			108,13		
NA-37		654152,871	247628,925	110,448			110,678		
NA-38	feltáró fúrás	654747,917	247824,11	107,186				–	
NA-39	feltáró fúrás	654677,463	248008,465	107,078				–	
NA-40	feltáró fúrás	654501,715	247994,988	107,791				–	
Tarzan park	saját használatú kút	654801,656	247656,035	107,91			106,81		
2020-ban készült létesítmények									
TF-1	ideiglenes kút	654368,275	247559,967	109,305	6,0	4,5-5,5	109,503	60/52	
TF-5	ideiglenes kút	654520,823	247469,007	109,113	6,0	4,5-5,5	109,703	60/52	
TF-9	ideiglenes kút	654689,182	247401,449	109,54	6,0	4,5-5,5	110,001	60/52	
TF-16	ideiglenes kút	654344,195	247390,956	109,342	6,0	4,5-5,5	109,786	60/52	
TF-19	ideiglenes kút	654509,918	247277,118	109,592	6,0	4,5-5,5	109,796	60/52	
TF-29	ideiglenes kút	654561,968	247111,675	110,148	6,0	4,5-5,5	110,252	60/52	
TF-30	ideiglenes kút	654690,072	247060,65	110,533	6,0	4,5-5,5	110,66	60/52	
TF-33	ideiglenes kút	654766,851	247190,559	111,083	6,0	4,5-5,5	111,276	60/52	
Korábban létesült kutak									
MW1	monitoring kút	654560,92	247136,114	109,87	6,0	–	110,614	120/110	Az Élő Bolygó Kft. I/2. kútja
MW3	monitoring kút	654705,102	247382,736	109,931	8,5	6,0-8,0	110,40	57/50	
MW4	monitoring kút	654798,496	247347,019	109,765	9,5	7,0-9,0	109,908	57/50	
MW5	monitoring kút	654793,135	247316,326	109,622	9,3	6,8-8,8	110,101	57/50	Eltömődött, nem használható
MW6	monitoring kút	654836,347	247322,217	109,822	9,1	6,6-8,6	110,204	57/50	

4. A TÉNYFELTÁRÁS MÓDSZERTANA

4.1. A feltárás végrehajtását befolyásoló körülmények és adottságok

A vizsgálandó terület mintegy hetven évig ipari tevékenység helyszínéül szolgált, ahol a kezdetektől fogva a gépgyártás volt a fő tevékenység – a mindenkorai technikai, technológiai szintnek megfelelő módon. Mivel a környezetvédelmi szempontok és előírások csak az utóbbi évtizedekben váltak hangsúlyossá, a területen régebbi eredetű, több évtizedes szennyezés jelenléte sem volt kizárható.

Az idők során számos termék és tevékenység megjelent, majd eltűnt a gyár területén. A technikai és technológiai változásokhoz, fejlődéshez kapcsolódóan a felhasznált nyers- és segédanyagok köre folyamatosan változott, ezért az előforduló esetlegesen szennyező vegyi anyagok köre nehezen behatárolható. A 2020-ban végzett vizsgálatok eredményei szerint (részletes bemutatásuk az **5.3.1. és 5.3.2. fejezetekben**) a gyárterület talajának jellemző szennyezőanyagai a fémek-félfémek csoportjába tartozó elemek és a policiklikus aromás szénhidrogének. Ugyanezen állapotfelmérés azt is megmutatta, hogy – összhangban a korábban végzett feltárások megállapításaival – a gyárterület talajvizében szulfát és nitrát, a fémek és félfémek csoportjába tartozó elemek, valamint klórozott alifás szénhidrogének vannak jelen (B) szennyezettségi határértéket meghaladó koncentrációban.

A telephelyen a gépgyártás mellett jelentős raktározási, tárolási tevékenység is folyt. Több területen tároltak nyersanyagokat, alkatrészeket, félkész- és készterméket, valamint gyártási maradékokat, és a termelő tevékenység során keletkezett hulladékokat. A tárolásra, raktározásra használt helyszínek az idők során változtak, a veszélyes, környezetet veszélyeztető anyagok tárolóhelyeinek műszaki védelme sem volt mindig megfelelő, nem zárta ki minden esetben a szennyezés lehetőségét.

A telephely területének 54%-án épületek helyezkednek el, az épületek közötti közlekedő utak burkolata szilárd, aszfalt vagy beton. A sűrű beépítettség és a burkolt területek erősen korlátozták a feltárás létesítményeinek elhelyezését.

A gyáron belül a közművek jelentős része (víz- és csatornahálózat, elektromos ellátás, távközlés, informatika) a felszín alatt található. A felszín alatti közműhálózat elhelyezkedését figyelembe kellett venni a vizsgálatok helyszínének kijelölésekor.

A telephelyen a 2000-es évek elején, majd a 2020-ban végzett feltárások több helyszínen azonosítottak szennyezőanyagokat a talajban és a talajvízben. Ezeket a korábbi eredményeket figyelembe vettük a vizsgálati pontok és a vizsgálandó komponensek kijelölésénél. A 2020-as állapotfelmérés ugyanakkor arra is rávilágított, hogy az elszennyeződött talajvíz elterjedésének határa a gyárterületen kívülre esik, ezért a telephelyen kívüli lakóterületen kell a szennyezést lehatárolni.

4.2. A tényfeltáró vizsgálatok módszertana

A tényfeltáró vizsgálatok tervezésében elsősorban a 2020-ban készült állapotfelmérés eredményeire támaszkodtunk.

Ez az állapotfelmérés elegendő pontossággal és részletességgel határozta meg a terület talajának földtani felépítését, a talajvíz áramlási irányát, valamint a talajvíz áramlását biztosító kavicsos, homokos rétegek alatt található vízrekesztő réteg anyagát és helyzetét, ezért további, erre irányuló további vizsgálatokat nem tartottunk szükségesnek.

A szennyezőanyagok mozgásának előrejelzése és a veszélyeztetett területek meghatározása a felszín alatti víz áramlását leíró hidraulikai- és transzport modellek segítségével történt. A modellhez szükséges területspecifikus szivárgási jellemzők meghatározására kúthidraulikai vizsgálatokat (leszívás-visszatöltődés és nyeletéses mérés) végeztünk a vizsgálati terület jellemző pontjain.

Az állapotfelmérés keretében végzett szűrővizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a telephely talajában nincsenek jelen mérhető mennyiségben alifás- és aromás szénhidrogének, fenolok és klórfenolok, halogénezett aromás vegyületek, valamint az egyéb szerves szennyezők csoportjába tartozó vegyületek (piridin, tetrahidrofurán, tetrahidrotiofén). A 2020-ban végzett vizsgálatok eredményei szerint a gyárterület talajának jellemző szennyezőanyagai a fémek-félfémek csoportjába tartozó elemek és a policiklikus aromás szénhidrogének, ezért a tényfeltárás részeként végzett talajvizsgálatok elsősorban erre a két szennyezőanyag csoportra irányultak. Az alifás szénhidrogének (TPH) vizsgálatát – két részterület kivételével – a korábbi eredmények nem tették indokolttá.

A talaj szennyezettsége miatt a következő területek igényeltek kiemelt figyelmet:

- a volt Galvánüzem helyiségei és a galvánüzemi szennyvíztisztító területe,
- a volt fémhulladék tároló terület,
- a csapadékvíz szikkasztók területe,
- a volt hulladékégető területe és a Főti úti kerítéstől délre eső, mintegy 50 m szélességű sáv,
- az 53, 54, 55 és 90, 94, 78 jelű épületek közötti terület

A talaj szennyezettségének vizsgálatát a felsorolt helyszíneken, illetve azok környezetében végeztük el. A talajállapot jellemzésére a valószínűsíthető területi inhomogenitások miatt nem pontszerűen vett mintákat, hanem az egyes területek több pontjáról vett részmintákból képzett átlagmintákat vizsgáltunk.

A 2020-ban elvégzett állapotfelmérés talajvíz esetében szennyezettségi határérték túllépést szulfát-ion, a fémek-félfémek csoportjába tartozó komponensek és klórozott alifás szénhidrogének tekintetében állapított meg. A talajvíz minták analitikai tervét is ennek megfelelően állítottuk össze.

A talajvíz állapotának megismerésére tervezett feltáró fúrások helyének kijelölésénél a következő szempontokat kívántuk érvényesíteni:

- Legyen kellő számú mintavételi pont a háttérből érkező talajvíz minőségének megismerésére, hogy egyértelműen elválasztható legyen a háttér területek és a vizsgált telephely hatása.
- Ugyanebből az okból, legyen kellő számú mintavételi pont a telephelyet elhagyó talajvíz minőségének megismerésére.
- A mintavételi pontok biztosítsák az állapotfelmérés során azonosított szennyezések minél pontosabb lehatárolását a telephelyen belül.
- A mintavételi pontok lehetőség szerint egyenletesen fedjék le a vizsgált területet.
- Legyenek mintavételi pontok a telephely területén kívül elhelyezkedő talajvíz szennyezés lehatárolására.

A Vákuumtechnikai Gépgyár környezetében, a talajvíz áramlásának irányában családi- és társasházas beépítésű lakóövezet található. Ezen a területen a szennyezés lehatárolásához szükséges talajvízmintákat meglévő saját használatú kutakból, valamint egyszeri mintavételt biztosító feltáró fúrásokból vettük.

4.3. Geodéziai, geofizikai és egyéb vizsgálatok

A feltárás során létesített mintavételi pontok, valamint a korábbi feltárásokból használható állapotban megmaradt észlelőkutak geodéziai bemérését 2020-ban és 2021-ben is a Cartoranje Kft végezte. A mérés GNSS hálózatra támaszkodva Trimble S5, illetve Trimble S7 2” robot mérőállomással történt. A mérési jegyzőkönyveket a **3. melléklet** tartalmazza.

A kézi feltáró fúrások (közelítő) koordinátáinak meghatározása Garmin Montana 650t típusú kézi GPS vevővel történt.

A 2020-as állapotfelmérés részeként négy fúrás talajmintáiból végeztek talajmechanikai vizsgálatokat. A minták a fúrásokkal feltárt jellemző rétegeket reprezentálták. A talajmechanikai vizsgálatokat a SZÁMGEO Bt. Talajmechanikai Laboratóriuma végezte. Az agyagos rétegekből vett minták esetén folyási- valamint plasztikus határ vizsgálat történt, míg a homokos, kavicsos rétegekből vett mintákból szemcseméret eloszlási vizsgálatot végeztek. A vizsgálati eredményeket tartalmazó jegyzőkönyvek a **4. mellékletben** találhatók.

4.4. A tényfeltárás létesítményei

A 2020 és 2021. évi vizsgálatok létesítményeinek műszaki jellemzőit a **3.10-1. és 3.10-2. táblázatokban** és a **3.10-1 és 3.10-2. ábrákon** korábban bemutatottuk.

A talajszennyezés megismerése és lehatárolása céljából vizsgált területek telephelyen belüli elhelyezkedését a **4.4-1. ábrán** látható helyszínrajz mutatja. A tényfeltárás során a talaj szennyezettségi állapotának vizsgálatára nem pontszerűen vett mintákat, hanem az érintett területek több pontjáról vett részmintákból képzett átlagmintákat készítettünk. Az átlagminták képzéséhez szükséges részmintákat a **4.4-2 – 4.4-7. ábrákon** látható, illetve a **4.4-1. táblázatban** felsorolt fúrási pontokon vettük.

4.4-1. táblázat A tényfeltárás talajmintavételi pontjai

Fúrás jele	EOV-Y	EOV-X	Átlagminta jele	Fúrás jele	EOV-Y	EOV-X	Átlagminta jele
I/1-1	654347	247571	I/1	IV/3-1	654554	247162	IV/3
I/1-2	654360	247569		IV/3-2	654559	247159	
I/1-3	654360	247561		IV/3-3	654566	247156	
I/1-4	654354	247566		V/1-1	654464	247289	V/1
I/1-5	654346	247564		V/1-2	654465	247282	
I/2-1	654389	247557	I/2	V/1-3	654471	247285	V/2
I/2-2	654404	247553		V/2-1	654477	247285	
I/2-3	654397	247548		V/2-2	654482	247282	
I/2-4	654387	247542		V/2-3	654486	247283	V/3
I/2-5	654396	247539		V/3-1	654491	247281	
I/3-1	654332	247539	I/3	V/3-2	654495	247278	V/3
I/3-2	654335	247534		V/3-3	654500	247279	
I/3-3	654340	247535		V/4-1	654515	247268	V/4
I/4-1	654380	247531	I/4	V/4-2	654516	247277	
I/4-2	654339	247527		V/4-3	654519	247285	VI/1
I/4-3	654382	247522		VI/1-1	654547	247183	
I/5-1	654364	247545	I/5	VI/1-2	654549	247184	VI/1
I/5-2	654363	247537		VI/1-3	654550	247183	
I/5-3	654368	247538		VI/2-1	654559	247184	VI/2
I/5-4	654369	247543		VI/2-2	654562	247183	
II/1-1	654342	247387	II/1	VI/2-3	654564	247182	VI/2
II/1-2	654338	247385		VI/3-1	654569	247181	
II/1-3	654336	247389		VI/3-2	654569	247179	VI/3
II/2-1	654332	247393	II/2	VI/3-3	654571	247180	
II/2-2	654326	247391		VI/3-4	654571	247181	VI/4
II/2-3	654325	247397		VI/4-1	654573	247179	
II/3-1	654318	247398	II/3	VI/4-2	654575	247180	VI/4
II/3-2	654313	247395		VI/4-3	654576	247179	
II/3-3	654313	247403		VII/1-1	654543	247117	VII/1
III/1/1	654771	247190	III/1	VII/1-2	654545	247112	
III/1/2	654771	247180		VII/1-3	654548	247114	VII/2
III/2/1	654786	247174	III/2	VII/2-1	654550	247110	
III/2/2	654790	247180		VII/2-2	654552	247111	VII/2
III/3/1	654780	247210	III/3	VII/2-3	654553	247109	
III/3/2	654776	247207		VII/3-1	654556	247108	VII/3
IV/1-1	654548	247145	IV/1	VII/3-2	654559	247110	
IV/1-2	654554	247141		VII/3-3	654560	247107	VIII/1
IV/1-3	654560	247136		VIII/1-1	654719	247282	
IV/2-1	654563	247146	IV/2	VIII/1-2	654724	247281	VIII/1
IV/2-2	654559	247150		VIII/2-1	654729	247280	
IV/2-3	654551	247153		VIII/2-2	654733	247279	VIII/2

4.5. Mintavételezés

A talaj- és talajvíz mintavételt 2020-ban a VTK Innosystem Kft. Mintavételi csoportja, 2021-ben a VTK Innosystem Kft. Mintavételi csoportja és részben a NATURAQUA Zrt. Mintavételi szervezete végezte.

A VTK Innosystem Kft. Mintavételi csoportja a NAH által NAH-7-0009/2021. számon akkreditált mintavételi szervezet. Az akkreditáció érvényessége 2026. május 13.

(https://nah.gov.hu/uploads/attachment/file/9464/RO1-210513-7-0009-2021-UA-DN-10333655_a.pdf)

A NATURAQUA Zrt. Mintavételi szervezete a NAH által NAH-7-0033/2021. számon akkreditált mintavételi szervezet. Az akkreditáció érvényessége 2026. június 10.

(<https://nah.gov.hu/uploads/attachment/file/9548/RO1-210610-7-0033-2021-UA-DN-26767385-alairt.pdf>)

A gépi fúrások 2020-ban Geotool GTR-780 típusú, 2021-ben Nordmeyer RSB típusú dízelhidraulikus, gumiláncalpas fúróberendezéssel készültek. A berendezések 120 mm átmérőjű és 1,5 m hosszúságú spirálfúró egységei anyacsavarral biztosított csapszeggel csatlakoztak egymáshoz. A fúrás 1-1,5 m-es szakaszonként mélyült. Furatmélyítés előtt kitermelésre került a korábbi furatanyag teljes mennyisége, a mintaanyag fúrása „tisztá” furatból indult. A talajmintákat a még nem harántolt talajba lassú előtolással behajtott, majd a furatból kiemelt legalsó spirálról vették. A spirálon elhelyezkedő furadék külső felületét tiszta késsel levágták és eltávolították. A vizsgálandó réteg részmintáit a megtisztított felületű talajból vették, ügyelve arra, hogy ne kerüljön bele a spirállal közvetlenül érintkező anyag. A részminták homogenizálását követően a talajminták a vizsgáló laboratóriumtól kapott, sötét színű, teflon zárókoronggal ellátott, csavaros tetejű üvegedénybe kerültek.

A kézi feltáró fúrások Eijkelkamp gyártmányú kézi talajmintavevő fúróval készültek. A fúrások a talaj típusának megfelelő 100 mm átmérőjű fúrófejjel mélyültek. A fúrófej és az 1 m hosszúságú fúrószár egységek bajonettzáras csatlakozással kapcsolódnak egymáshoz. A fúróval a talaj 20 cm vastagságú rétegekben emelhető ki, illetve mintázható. Fúrás során a fúrólyukból eltávolították az oldalról és/vagy felülről behullott furatanyagot, és a mintavételt megelőzően megtisztított fúróval vették ki a talajmintát a mintázandó rétegből. A fúróval kiemelt talaj külső felületét tiszta késsel levágták és eltávolították. A laboratóriumba kerülő talajmintát a megtisztított felületű talajból vették, ügyelve arra, hogy ne kerüljön bele a fúróval közvetlenül érintkező anyag. A talajminták a vizsgáló laboratóriumtól kapott, sötét színű, teflon zárókoronggal ellátott, csavaros tetejű üvegedénybe kerültek.

A hűtve tárolt talajminták még a mintavétel napján bekerültek a laboratóriumba.

A talajállapot vizsgálatára kijelölt III. részterületet (csapadékvíz szikkasztó, helyszínrajz 30.) az év nagy részében – gyakorlatilag folyamatosan – víz borítja, és így volt ez a tényfeltárás időszaka alatt is. Emiatt a terület jellemzésére szolgáló mintákat mederüledékként, dugattyús mintavevő eszközzel kellett megvenni.

A feltáró fúrásokból történt talajvíz mintavétel előtt az elkészült furatba kúpos végű DN50-es acélcső került behelyezésre, melynek alsó 1 m-es szakaszán 0,3 mm-es réselés tette lehetővé a talajvíz bejutását a cső belső terébe, és egyben biztosította a talajszemcsék kizárását. Az így stabilizált furat tisztítása teflon, illetve rozsdamentes acél anyagú bailerrel, a talajvíz mintavétele Whale GP1352 típusú meríthető szivattyúkkal történt.

Az ideiglenes kúttá alakított furatokba 60 mm külső átmérőjű, 4 mm falvastagságú menetes csatlakozású PVC kútsző került. Az ideiglenes kutak 0,5 m iszapzsákkal, felette 1 m hosszúságú 0,5 mm-es réselt szűrővel készültek.

Kutakból végzett talajvíz mintavétel előtt minden esetben tisztító szivattyúzást történt a vízben lévő finom talajszemcsék eltávolítása érdekében. Ez biztosította, hogy a kútból kitermelésre kerüljön az ott összegyűlt talajvíz minimum tízszeres térfogatának megfelelő mennyiségű víz. A vízmintákat a vizsgáló laboratórium által biztosított edényekbe vették. A fém komponensek vizsgálatára szánt minták 0,45 µm pórusméretű szűrőn megszűrve kerültek a laboratórium által tartósítószerrel ellátott műanyag edénybe.

A hűtve tárolt és szállított vízminták a mintavétel napján átadásra kerültek a vizsgáló laboratóriumba.

A mintavételi jegyzőkönyvek az **5. (2020)** és a **6. (2021) mellékletekben** találhatók.

4.6. Analitika

A 2020-as állapotfelmérésben a talajmintákban elsősorban a környezetre veszélyes fémek és félfémek mennyiségét, az alifás szénhidrogének (TPH), valamint a policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) mennyiségét vizsgálták. A galvánüzemben működött cianidos technológia esetleges környezetszennyező hatását a cianidok, a zsírtalanító és oldószerek használatából eredő szennyezést a klórozott alifás- és az aromás szénhidrogének (BTEX) vizsgálatával ellenőrizték.

A talajvíz mintákban – a talajmintákhoz hasonlóan – főként a környezetre veszélyes fémek és félfémek mennyiségét, valamint az alifás- és poliaromás szénhidrogének mennyiségét vizsgálták. A talajvíz állapotának általános jellemzésére általános vízkémiai vizsgálatokat végeztek, a zsírtalanító szerek és oldószerek használatából eredő esetleges szennyezést a klórozott alifás- és az aromás szénhidrogének vizsgálatával ellenőrizték.

A vizsgálandó komponensek körének ellenőrzésére a kármentesítési tényfeltárás szűrővizsgálatával kapcsolatos szabályokról szóló 14/2005. (VI.28.) KvVM rendelet szerinti szűrővizsgálat két mintavételi ponton történt két-két talaj, illetve talajvíz mintából. A telephely történetének ismeretében a szűrővizsgálatban növényvédőszer hatóanyagokat nem vizsgáltak.

A 2020 évi állapotfelmérés során elvégzett analitikai vizsgálatokat a **4.6-1. és 4.6-2. táblázatok** foglalják össze.

4.6-1. táblázat A 2020 évi feltárás során vett talajmintákból végzett analitikai vizsgálatok

Fúrás jele	Minta jele	Vizsgált komponensek							
		Szűrővizsgálat peszticidek nélkül	Fémek, félfémek Cr (VI nélkül)	Cr (VI)	TPH	PAH	VOC	BTEX	Cianidok
TFM-1	0,0-0,5 m	X							
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	5,0-5,5 m		X		X				
TFM-2	0,0-0,5 m		X		X				
TFM-3	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TFM-4	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m				X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-1	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	5,0-5,5 m		X		X				
TF-2	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-3	0,0-0,5 m		X						
	1,0-1,5 m		X						
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-4	0,0-0,5 m		X			X			
	1,0-1,5 m		X						
	4,0-4,5 m		X						
TF-5	0,0-0,5 m		X						
	1,0-1,5 m		X						
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-6	0,0-0,5 m	X							
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-7	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-8	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-9	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-10	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-11	0,0-0,5 m		X		X				
	1,0-1,5 m		X		X				
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-12	0,0-0,5 m		X		X				
	1,0-1,5 m		X		X				
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-13	0,0-0,5 m		X		X				
	1,0-1,5 m		X		X				
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-14	0,0-0,5 m		X		X				
	1,0-1,5 m		X		X				
	5,5-6,0 m		X		X				
TF-15	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				

4.6-1. táblázat (folytatás) A 2020 évi feltárás során vett talajmintákból végzett analitikai vizsgálatok

Fúrás jele	Minta jele	Vizsgált komponensek							
		Szűrővizsgálat peszticidek nélkül	Fémek, félfémek Cr (VI nélkül)	Cr (VI)	TPH	PAH	VOC	BTEX	Cianidok
TF-16	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-17	1,0-1,5 m						X	X	
	4,0-4,5 m						X	X	
TF-18	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-19	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-20	0,0-0,5 m		X		X	X			
TF-21	0,0-0,5 m		X	X					X
	1,0 m		X	X					X
TF-22	0,0-0,5 m		X	X					X
	1,0-1,5 m		X	X					X
TF-23	0,0-0,5 m		X		X				
	1,0-1,5 m		X		X				
TF-24	0,0-0,5 m		X	X	X	X			X
	1,0-1,5 m		X	X	X	X			X
	4,0-4,5 m		X	X					X
TF-25	0,0-0,5 m		X	X	X	X			X
	1,0-1,5 m		X	X	X	X			X
	4,0-4,5 m		X	X	X				
TF-26	0,0-0,5 m		X	X	X	X			X
	1,0-1,5 m		X	X	X	X			X
	4,0-4,5 m		X	X	X				X
TF-27	0,0-0,5 m		X	X	X	X			X
	1,0-1,5 m		X	X	X	X	X		X
	4,0-4,5 m		X	X	X	X			X
TF-28	0,0-0,5 m		X	X	X	X			X
	1,0-1,5 m		X	X	X	X			X
	4,0-4,5 m		X	X	X				X
TF-29	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X	X	X				
TF-30	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X	X			
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-31	0,0-0,5 m		X		X	X			
	1,0-1,5 m		X		X				
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-32	0,3-0,8 m		X		X	X			
	1,3-1,8 m		X		X				
	4,0-4,5 m		X		X				
TF-33	0,0-0,5 m		X	X	X				
	1,0-1,5 m		X	X	X				

4.6-2. táblázat A 2020 évi feltárás során vett talajvíz mintákban végzett analitikai vizsgálatok

Minta jele	Vizsgált komponensek								
	Szűrővizsgálat peszticidek nélkül	Általános vízkémia	Fémek, félfémek Cr (VI nélkül)	Cr (VI)	TPH	PAH	VOCl	BTEX	Cianidok
TFM-1	X								
TFM-2			X		X	X	X		
TFM-3		X	X		X				
TF-5			X		X				
TF-7	X								
TF-9			X		X				
TF-10			X		X		X		
TF-13			X		X		X		X
TF-14			X		X				
TF-16		X	X		X	X			
TF-17							X	X	X
TF-19			X		X	X	X		X
TF-20		X	X		X				
TF-24			X	X	X	X	X		X
TF-26			X		X	X	X		X
TF-27		X	X		X	X	X		X
TF-29			X	X	X				
TF-30		X	X		X				
TF-31		X	X		X	X	X		
TF-33						X	X		

A 2021. évi tényfeltárás keretében vett talaj- és talajvízmintákban vizsgált komponenseket a korábbi felmérések, elsősorban a 2020-as állapotfelmérés eredményeinek figyelembevételével jelöltük ki.

Ennek megfelelően talajmintákban jellemzően a fémek-félfémek és a poliaromás vegyületek mennyiségét vizsgáltuk. Az alifás szénhidrogének mennyiségét a két csapadékvíz szikkasztó medence talajában, illetve medrében mértük, mert a 2020-as felmérés csak ezen a két területen talált mérhető mennyiségű TPH-t.

A talajvíz mintákban az általános vízkémiai komponenseket, a fémek-félfémek és az illékony halogénezett alifás szénhidrogének koncentrációját határoztuk meg. Nem mértük a talajvíz alifás- és poliaromás szénhidrogén (TPH és PAH) tartalmát, mivel az állapotfelmérés során vizsgált vízminták egyikében sem érte el mennyiségük az alsó méréshatár értékét.

Ismételt mintavétellel és méréssel ellenőriztük a telephelyen kívül, lakott területen vett minták (B) határértéket meghaladó komponenseinek koncentrációját az NA-31, NA-32, NA-33, NA-34 és NA-36 pontokon. Sajnálatos módon, a legnagyobb szennyezettséget mutató NA-35 jelű ponton nem volt lehetőség az ismételésre. Az első mérés során kiugróan magas, nehezen hihető szennyezettséget mutató NA-19 ponton kétszeri ismétléssel ellenőriztük az illékony halogénezett szénhidrogének koncentrációját.

Az analitikai vizsgálatokat 2020-ban és 2021-ben is a Nemzeti Akkreditáló Hatóság által NAH-1-1398/2019 számon akkreditált Wessling Hungary Kft. Környezetanalitikai Laboratórium végezte. Az egyes komponensek mérése során alkalmazott módszerek, illetve szabványok, valamint a mérési eredmények a **7. és 8. mellékletben** csatolt vizsgálati jegyzőkönyvekben megtalálhatók.

A tényfeltárás során vett mintákat és az elvégzett analitikai vizsgálatokat a **4.6-3. és 4.6-4. táblázatok** mutatják, illetve foglalják össze.

4.6-3. táblázat A 2021 évi tényfeltárás során vett talajminták és analitikai vizsgálatok

Minta jele	Vizsgált komponensek			
	Fémek, félfémek Cr (VI nélkül)	Cr (VI)	TPH	PAH
I/1 0,0-0,5 m		X		X
I/1 1,0-1,5 m		X		X
I/2 0,0-0,5 m		X		X
I/2 1,0-1,5 m		X		X
I/3 0,0-0,5 m		X		X
I/3 0,5-1,0 m		X		X
I/4 0,0-0,5 m		X		X
I/4 0,5-1,0 m		X		X
I/5 0,0-0,5 m		X		X
I/5 0,5-1,0 m		X		X
II/1 0,0-0,5 m				X
II/1 0,5-1,0 m				X
II/2 0,0-0,5 m				X

4.6-3. táblázat (folytatás)

A 2021 évi tényfeltárás során vett talajminták és analitikai vizsgálatok

Minta jele	Vizsgált komponensek			
	Fémek, félfémek Cr (VI nélkül)	Cr (VI)	TPH	PAH
II/2 0,5-1,0 m				X
II/3 0,0-0,5 m				X
II/3 0,5-1,0 m				X
III/1	X		X	X
III/2	X		X	X
III/3	X		X	X
IV/1 0,0-0,5 m	X	X	X	X
IV/1 0,5-1,0 m	X	X	X	X
IV/2 0,0-0,5 m	X	X	X	X
IV/2 0,5-1,0 m	X	X	X	X
IV/3 0,0-0,5 m	X	X	X	X
IV/3 0,5-1,0 m	X	X	X	X
V/1 0,0-0,5 m	X			
V/2 0,0-0,5 m	X			
V/2 1,0-1,5 m	X			
V/3 0,0-0,5 m	X			
V/3 1,0-1,5 m	X			
V/4 0,0-0,5 m	X			
V/4 1,0-1,5 m	X			
VI/1 0,0-0,5 m	X	X		
VI/1 1,0-1,5 m	X	X		
VI/2 0,0-0,5 m	X	X		
VI/2 1,0-1,5 m	X	X		
VI/3 0,0-0,5 m	X	X		
VI/3 1,0-1,5 m	X	X		
VI/4 0,0-0,5 m	X	X		
VI/4 1,0-1,5 m	X	X		
VII/1 0,5-1,0 m	X			
VII/2 0,0-0,5 m	X			
VII/2 1,0-1,5 m	X			
VII/3 0,0-0,5 m	X			
VII/3 1,0-1,5 m	X			
VIII/1 0,0-0,5 m	X			
VIII/1 0,5-1,0 m	X			
VIII/2 0,0-0,5 m	X			
VIII/2 0,5-1,0 m	X			
NA-13 0,0-0,5 m	X			
NA-13 1,0-1,5 m	X			
NA-14 0,0-0,5 m	X			
NA-14 1,0-1,5 m	X			

4.6-4. táblázat A 2021 évi tényfeltárás során vett talajvíz mintákban végzett analitikai vizsgálatok

Minta jele	Általános vízkémia	Fémek, félfémek Cr (VI nélkül)	VOC_I	Minta jele	Általános vízkémia	Fémek, félfémek Cr (VI nélkül)	VOC_I
NA-01	X	X		NA-31	X	X	X
NA-02	X	X		NA-31 ism			X
NA-03	X	X	X	NA-32	X	X	X
NA-04		X	X	NA-32 ism			X
NA-05	X	X	X	NA-33	X	X	X
NA-06		X	X	NA-33 ism			X
NA-07		X	X	NA-34	X	X	X
NA-08	X	X	X	NA-34 ism			X
NA-09		X	X	NA-35	X	X	X
NA-10	X		X	NA-36	X	X	X
NA-11	X	X	X	NA-36 ism			X
NA-12	X	X	X	NA-37	X	X	X
NA-13	X	X	X	NA-38	X	X	X
NA-14	X	X	X	NA-39	X	X	X
NA-15	X	X	X	NA-40	X	X	X
NA-16	X	X	X	TF-1	X	X	X
NA-17	X	X	X	TF-5		X	X
NA-18	X	X	X	TF-9	X	X	X
NA-19	X	X	X	TF-16	X	X	X
NA-19 ism			X	TF-19		X	X
NA-19 ism2			X	TF-29	X	X	
NA-20		X		TF-30	X	X	
NA-21	X	X	X	TF-33	X	X	
NA-22			X	MW-1		X	
NA-23	X	X	X	MW-3		X	X
NA-24	X	X	X	MW-4	X	X	X
NA-25	X	X	X	MW-6	X		X
NA-26	X	X	X	Tarzan park	X	X	X

4.7. Helyszíni mérések, vizsgálatok

A feltáró fúrások mélyítése és a talajvíz mintavételi pontok kialakítása során kitermelt furatanyag (talaj) szemrevételezése és makroszkópos vizsgálata a helyszínen történt. A vizsgálat alapján készült makroszkópos közetleírás, illetve fúrási rétegsor a mintavételi jegyzőkönyvekben (**1. melléklet**) található.

A vizsgált területen fellelt figyelőkutakban és a kialakított ideiglenes kutakban több alkalommal egyidejű talajvízszint mérést végeztünk. A méréshez OWI-120 típusú kézi vízszintmérőt használtunk. A mérés az ismert magasságú csőperemekhez képest történt, a leolvasás pontossága ± 1 cm. A mérési eredmények az **5.2. fejezetben** kerülnek bemutatásra.

A talajvíz-mintavétel során a tisztító szivattyúzást követően a helyszínen mértük a talajvíz hőmérsékletét, pH-ját és fajlagos elektromos vezetőképességét. A helyszínen mért értékek az **5. és 6. mellékletben** csatolt mintavételi jegyzőkönyvekben találhatók.

A vízáadó rétegek hidraulikai tulajdonságainak pontosabb megismerése érdekében szivattyúzási és visszatöltődési, valamint nyeletésez vizsgálatokat végeztünk három ponton (NA-02, NA-06, NA-16 jelű mintavételi pontok). A mérést megelőzően a mintavételi pontot 20-60 liternyi víz szivattyúzásával megtisztítottuk, majd megvártuk a vízszint stabilizálódását. Ezt követően újraindítottuk a szivattyút, miközben a vízszint változását DA-S-LTRB 122 típusú Dataqua Smart vízszint- és hőmérsékletregisztráló segítségével 1 másodperces gyakorisággal mértük. A vízszint állandósulását követően a szivattyút leállítottuk, közben továbbra is rögzítettük a vízszint változását.

A nyeletésez vizsgálatban 20-40 liter előzetesen kiszivattyúzott vizet töltöttünk vissza a kútba, miközben a vízszint változását 1 másodperces gyakorisággal mértük és rögzítettük.

A mérési görbék a **9. mellékletben** láthatók.

4.8. A kármentesítési mennyiségi kockázatfelmérés módszertana

A Vákuumtechnikai Gépgyár területén és annak környezetében feltárt szennyezés környezeti- és humán-egészségügyi kockázatát a következő lépéseken keresztül elemeztük:

1. A probléma megfogalmazása
2. Szennyező anyagok szűrése
3. Receptorok (érintettek) szűrése
4. Expozíciós (terjedési útvonalak) meghatározása
5. A kockázatok meghatározása
6. A kockázatok értékelése
7. Célállapotok meghatározása

A gyár területén belül a talajban és a talajvízben feltárt (B) szennyezettségi határértéket meghaladó koncentrációjú szennyezőanyagok a jelenlegi és jövőben feltételezett területhasználatok során csak az ott dolgozóakra, illetve az építési munkákat végzőkre

jelenthetnek egészségügyi kockázatot. Mivel a területen felszín alatti vízhasználat nincsen, ezért a talajból kiporzás útján, a felszín alatti vízből pedig kipárolgással levegőbe jutó szennyezőanyagok lehetséges maximális mennyiségét számoltuk ki, és vetettük össze a vonatkozó határértékekkel.

A gyár területén kívüli kertvárosias területen élőket érintő kockázatokat két külön modellben vizsgáltuk:

1. Az első modellben a gyárterületről kilépő talajvíz szennyezettségéből adódó kockázat mértékét vizsgáltuk. Mivel a feltárt szennyezőanyagok használata a telephelyen már évekkel ezelőtt megszűnt, nincsen aktív szennyezőforrás a területen, a szennyezőanyagok utánpótlása megszűnt. Ezért feltételezhető, hogy a gyárterület határán kialakult koncentrációknál nagyobb mértékben szennyezett talajvíz nem jut ki a lakott területre a forrásterületről. Ennek megfelelően a gyárterület talajvíz áramlási iránya szerinti határán mért maximális koncentrációkat figyelembe véve végeztük el az expozíciós számításokat.
2. A második modellben a külső, lakott területen lévő mintavételi pontokon mért legnagyobb koncentrációkat vettük figyelembe a számítások során. Így külön vizsgáltuk a külső forrásból származó, ismeretlen eredetű szennyeződés okozta humán-egészségügyi kockázatot.

Mindkét modellben a talajvízből kipárolgó, az öntözésre és a kerti medencék feltöltésére használt vízből bőrön keresztül és belégzéssel felvett, a locsolásra használt vízből felszívódó és kipárolgó, valamint az öntözött növények fogyasztása során felvett szennyezőanyagok mennyiségét modelleztük és hatásait vizsgáltuk.

5. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

5.1. Földtani, vízföldtani felépítés

Felmérésünk során a telephely északi részén mélyített fúrások a felső 1-2 m-es rétegben változatos anyagú (beton, téglá, aszfalt, salak) feltöltést tártak fel. A feltöltéssel nem érintett területeken a felső 20-30 cm-es humuszos feltalaj alatt változó (2-3 m) vastagságú- barna és sárga finomhomok volt jellemző. A 2020-ban készült talajmechanikai vizsgálatok szerint ez az 1-3 m mélységben található finomhomok kissé iszapos, agyagos jellegű.

A finomhomok rétegek alatt általában kavicsos homok réteg helyezkedik el, amely esetenként több méter vastagságú. A kavicsos homok réteg a felszíntől távolodva jellemzően egyre nagyobb méretű kavicsokat tartalmaz, helyenként 5-10 cm átmérővel rendelkezőket is beleértve. A kavicsos homokot egy főként szürke színű, homokos-kavics réteg váltja fel, amelynek fekéje a jellemzően kékeszöld, helyenként szürke színű, közepesen plasztikus sovány agyag. Ezt az agyagos réteget a tényfeltárás során készült fúrások nem érték el, de a 2020 februárjában készült 4 db mélyebb fúrás 8,7-10 m mélységben elérte. A Vákuumtechnikai Gépgyár telephelyén kívül mélyült NA-31-es jelű furat az agyagos réteget 6,5 m mélységben érte el.

A 2020-as és 2021-es feltáró fúrások furatanyagának közetleírása alapján a British Geological Survey által fejlesztett BGS Groundhog Desktop GSIS programmal szerkesztett földtani szelvények az **5.1-1 – 5.1-5. ábrákon** láthatók.

5.2. Hidrogeológiai, vízföldtani helyzet

A felmérés során mélyített fúrások rétegsorai alapján megállapítható, hogy a Vákuumtechnikai Gépgyár területén egy jó vízvezető tulajdonságokkal rendelkező rétegegyüttes található. A vízföldtani helyzet pontosabb megismerése érdekében 2020-ban és 2021-ben is történt egyidejű vízszintmérés. Jelen vizsgálati program során a hidrogeológiai paraméterekről meglévő ismereteket állandó hozamú szivattyútesztel, valamint nyeletéses vizsgálatokkal egészítettük ki. Ennek eredményeként az alábbi szivárgási tényezők adódtak:

Kút jele	s [m]	Q [l/p]	Q [m ³ /d]	r ₀ [m]	K[m/d]
NA-06	0,23	5	7,2	0,025	27,5
NA-02	0,23	5	7,2	0,025	27,5
NA-16	0,06	2,5	3,6	0,025	25

A vízszint mérési eredményeket az **5.2-1. táblázat** tartalmazza. A mérési eredmények alapján szerkesztett talajvízszint térképek az **5.2-1. és 5.2-2. ábrákon** láthatók.

5.2-1. táblázat Vízszintmérési eredmények

Mérési pont	Csőperem	Vízszint 2020.03.04.		Vízszint 2021.09.06 - 10.06.	
		Csőperemtől [m]	[mBf]	Csőperemtől [m]	[mBf]
TF-1	109,503	4,675	104,83	4,85	104,65
TF-5	109,703	4,71	104,99	4,89	104,81
TF-9	110,001	4,77	105,23	4,96	105,04
TF-16	109,786	4,88	104,91	5,06	104,73
TF-19	109,796	4,72	105,08	4,92	104,88
TF-20		vízszint	107,68	–	–
TF-29	110,252	4,8	105,45	5,11	105,14
TF-30	110,66	4,88	105,78	5,22	105,44
TF-33	111,276	4,67	106,61	5,38	105,90
MW1	110,614	5,19	105,42	5,56	105,05
MW3	110,40	5,11	105,29	5,35	105,05
MW4	109,908	4,43	105,48	4,64	105,27
MW6	110,204	4,66	105,54	4,87	105,33
S9	110,142	4,67	105,47	–	–
NA-01	110,852			5,94	104,91
NA-02	109,929			5,16	104,77
NA-03	111,118			6,18	104,94
NA-05	110,169			5,40	104,77
NA-06	109,992			5,06	104,93
NA-07	109,868			4,76	105,11
NA-08	109,824			5,15	104,67
NA-09	109,879			5,03	104,85
NA-10	109,872			4,97	104,90
NA-11	111,053			5,97	105,08
NA-12	109,531			4,65	104,88
NA-13	109,726			4,77	104,96
NA-14	109,254			4,54	104,71
NA-15	109,624			4,86	104,76
NA-16	109,333			4,59	104,74
NA-17	109,572			4,87	104,70
NA-18	110,891			5,76	105,13
NA-19	109,338			4,42	104,92
NA-21	109,866			4,55	105,32
NA-22	109,428			4,76	104,67
NA-23	109,864			4,97	104,89
NA-24	109,852			4,89	104,96
NA-25	109,546			4,55	105,00
NA-26	110,608			5,38	105,23
NA-31	109,464			4,72	104,74
NA-32	107,43			2,87	104,56
NA-34	108,485			3,88	104,61
NA-36					104,71
NA-37	108,12			3,41	104,83
NA-38				2,72	104,47
NA-39				2,75	104,33
NA-40				3,50	104,29

A mérési eredmények szerint a 2020-as vizsgálat során a területen a talajvízszint 4,5-5 m-rel a felszín alatt helyezkedett el, a mérés napján ÉNY-i irányba áramlott. A 2021-es mérések során a vízszint a 2020-as adatokhoz képest 0,2-0,5 m-rel alacsonyabb volt, jellemzően 4,7-5,2 m között alakult.

Az adatokból megállapítható volt, hogy a 2020-ban készült TF-33 és a TF-30 jelű fúrások környezetében a talajvíztartó réteget a telephely más területeihez képest eltérő, finomszemcsés rétegegyüttes alkotja, így a vízadó képessége kisebb, mint a telephelyen található más kutak esetén. Ezen kutak a mintázás során néhány perc termeltetés után leürültek, visszatöltődésük lassú volt. A 2021-es mintavételi kampány során a TF-33-as kút visszatöltődésének ütemét mértük, a leürülés után a vízszint 5 cm-t emelkedett 2 perc 37 másodperc alatt míg 10 cm vízszint növekedéshez 4 perc 13 másodperc volt szükséges.

A talajvízszint esése a vízszintmérések adatai alapján a II. csapadékvízgyűjtő medence környezetében viszonylag nagy, a medencétől távolodva folyamatosan csökken. Az átlagos hidraulikus gradiens értéke a medencétől távolabb eső részeken 0,001 m/m, a medence közelében 0,02 m/m volt.

A telephely területe az sp.1.13.1, Duna bal parti vízgyűjtő - Vác-Budapest nevű sekély porózus víztestre esik, mely mennyiségi szempontból jó, de gyenge kockázatú értékelést kapott vízmérleg teszt miatt. A Vízgyűjtő Gazdálkodási Terv (VGT2) adatai alapján a víztestből való víztermelés 64 076 m³/nap, melyből 45 528 m³/nap parti szűrészű vízbázisból történik. A víztest regionálisan leáramló, beszivárgó áramlási képet mutat, de esetenként lehetnek kisebb lokális feláramlási zónák is. A víztest minőségi szempontból gyenge minősítést kapott, melynek okai: felszíni víztest állapota, szennyezett (NO₃, SO₄, NH₄ és atrazin) ivóvízbázis védőterület és diffúz (NO₃) szennyeződés. A telephely területén, mélyebben a h 1.7 jelű, Börzsöny, Gödöllői-dombvidék – Duna vízgyűjtő nevű, áramlási szempontból vegyes hegységvidéki víztest található, mely mind mennyiségi, mind minőségi szempontból jó értékelést kapott a VGT2-ben.

5.3. Szennyező anyagok minősége és mennyisége

5.3.1. Talajvizsgálatok eredményei

Beavatkozás nélkül a talaj szennyezettségi állapota lassan változik, ezért a talaj állapotát a 2020-ban végzett állapotfelmérés során kapott vizsgálati eredményekkel együtt mutatjuk be, illetve értékeljük.

A talajmintákban vizsgált komponensek koncentrációit a **10. és 11. melléklet** táblázatai foglalják össze. A mérési eredményeket a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről kiadott 6/2009. (IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet 1-3. mellékleteiben található (B) szennyezettségi határértékekhez (a továbbiakban: (B) határérték) viszonyítva értékeltük. A **10. és 11. melléklet** táblázataiban **vastag piros számok** jelölik a (B) határérték feletti értékeket.

Szűrővizsgálat két talajmintából történt a 2020-as felmérésben:

- (1) A volt veszélyes-hulladék égető (helyszínrajz 68. épület) mellett mélyített TFM-1 fúrás 0,0-0,5 m-es mintájából, valamint
- (2) A helyszínrajzon 29-cel jelölt vegyszertároló területén mélyült TF-6 jelű fúrás felső, 0,0-0,5 m-es réteget reprezentáló mintájából.

A szűrővizsgálatok eredménye szerint a vizsgált talajmintákban nem voltak mérhető mennyiségben alifás- és aromás szénhidrogének, fenolok és klórfenolok, halogénezett aromás vegyületek, valamint az egyéb szerves szennyezők csoportjába tartozó vegyületek (piridin, tetrahidrofurán, tetrahidrotiofén).

Az illékony halogénezett alifás vegyületek közül triklór-etilén és tetraklór-etilén volt jelen mérhető mennyiségben egyetlen, a TF-6 jelű fúrás 0,0-0,5 m-es rétegből vett mintájában. Ezen két vegyület mennyisége külön-külön is meghaladta az illékony halogénezett alifás vegyületek összességére megállapított (B) szennyezettségi határértéket (0,1 mg/kg). Az ugyanezen fúrás mélyebb rétegeiből származó mintákban, és a legközelebbi TF-7 és TF-8 jelű fúrások felszíni mintáiban azonban a halogénezett alifás vegyületek egyikének a mennyisége sem érte el az alsó méréshatárt.

A zsírtalanításra használt tetraklór-etilén ismert felhasználási helyének (festő- és zsírtalanító műhely az 1. épületben) közelében mélyült TF-17-es fúrásban sem a felszín közelében, sem a kapilláris zónából vett mintában nem volt mérhető mennyiségű halogénezett alifás vegyület. Ugyanez volt az eredménye az I. szikkasztó medrében, illetve a volt hulladékégető közelében vett felszín közeli minták vizsgálatának.

A policiklusos aromás vegyületek (PAH) mennyiségét 50 darab talajmintában vizsgálták a 2020-as felmérésben, ezek közül 10 mintában volt az 1 mg/kg-os (B) határértéket meghaladó vagy ahhoz közeli érték (0,92-7,86 mg/kg) az összes PAH tartalom. A magasabb értékek a feltöltött, építési törmelék is tartalmazó rétegekből vett mintákra voltak jellemzők.

Az alifás szénhidrogének (TPH) mennyisége a 2020-ban megvizsgált 88 darab minta közül csak háromban haladta meg az alsó méréshatár értékét, egyúttal azonban mindháromban a (B)

szennyezettségi határértéket is. A túllépés mértéke egyik mintában sem volt jelentős, a mért értékek a 108-187 mg/kg tartományba estek.

A volt galvanizáló üzem és galvánüzemi szennyvíztisztító területén, valamint annak környezetében vett talajmintákban az összes cianid tartalom nem érte el az alsó méréshatár értékét.

A 2020-as feltárás során 97 darab talajmintában végezték el a fémek-félfémek mennyiségének meghatározását. A vizsgált minták közül 20-ban haladta meg egy vagy több fém koncentrációja a (B) határértéket. A határértéket meghaladó fémek a higany, réz, cink, arzén, molibdén, nikkel, kadmium, króm, illetve króm (VI) voltak.

A talajminták vizsgálatának 2020 évi eredményei azt mutatták, hogy a vizsgált terület talaja több részterületen magasabb koncentrációban tartalmaz fémeket és policiklikus aromás vegyületeket. A szennyezettség mértékét az **5.3-1. és 5.3-3. táblázatok** foglalják össze.

A 2021-es tényfeltárásban a talaj szennyezettségének jellemzésére részmintákból képzett átlagmintákat vizsgáltunk. A vizsgálati eredményeket összegző táblázatok a **11. mellékletben** találhatóak. A szennyezettség mértékét az **5.3-4. és 5.3-6. táblázatok** foglalják össze.

A talajmintákban vizsgált komponenseket az előző évi felmérés eredményei alapján, az adott részterületre jellemzőnek vélt, vagy ott korábban is előfordult szennyező anyagokat figyelembe véve jelöltük ki. Ennek megfelelően alifás szénhidrogéneket csak a két csapadékvíz szikkasztó területén mértünk. Az eredmények szerint az I. szikkasztó medence talaja (IV. terület) ásványolaj eredetű szénhidrogénekkal csak a csapadékvíz bevezetés környezetében és minimális mértékben, míg a II. szikkasztó mederanyaga a mintavételi helyek mindegyikén jelentősebb mértékben szennyezett.

A fémvizsgálatok eredménye szerint a határértékekkel szabályozott toxikus fémek közül mindössze három – kobalt, szelén és bór – volt, ami egyik vizsgált mintában sem lépte túl a szennyezettségi határértéket. A határérték túllépések gyakorisága alapján a legjellemzőbb szennyező fémek a réz, cink, nikkel, kadmium és higany. Ezen fémek mindegyikét használták a telephelyen egykor működött technológiákban. A legtöbb féle (B) határértéket túllépő fém a II. szikkasztó medence mederanyagában és az egykori fémhulladék tároló területet reprezentáló mintákban volt jelen (11, illetve 10 db).

Policiklikus aromás szénhidrogének jellemzően az építési törmelékkel, illetve salakkal feltöltött területeken található meg (B) határértéket meghaladó mennyiségben. Ezek mellett a II. medence mederanyaga minősül PAH vegyületekkel (is) szennyezettnek.

5.3-1. táblázat A 2020 évi állapotfelmérésben vizsgált talajminták fémszennyezettsége

Réteg [m]	TFM-1	TFM-2	TFM-3	TFM-4	TF-1	TF-2	TF-3	TF-4	TF-5	TF-6	TF-7	TF-8	TF-9
0-0,5 m	Higany: 0,79 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Higany: 0,58 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Arzén: 16 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Molibdén: 7 mg/kg
1,0-1,5 m	Nincs határérték feletti komponens	–	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Réz: 97 mg/kg Cink: 228 mg/kg Higany: 0,85 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens
Kapilláris zóna	Nincs határérték feletti komponens	–	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Arzén: 21 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens
Réteg [m]	TF-10	TF-11	TF-12	TF-13	TF-14	TF-15	TF-16	TF-17	TF-18	TF-19	TF-20	TF-21	TF-22
0-0,5 m	Réz: 131 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Réz: 206 mg/kg Higany: 6,74 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	–	Nincs határérték feletti komponens	Higany: 1,72 mg/kg	Cink: 237 mg/kg Higany: 0,99 mg/kg	Nikkel: 817 mg/kg Króm(VI): 2,0 mg/kg	Nikkel: 1400 mg/kg
1,0-1,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nikkel: 51 mg/kg Higany: 1,55 mg/kg	–	Króm: 125 mg/kg Nikkel: 386 mg/kg Réz: 119 mg/kg Kadmium: 24,4 mg/kg Króm (VI): 2,0 mg/kg	Nikkel: 1060 mg/kg
Kapilláris zóna	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	–	–	–
Réteg [m]	TF-23	TF-24	TF-25	TF-26	TF-27	TF-28	TF-29	TF-30	TF-31	TF-32	TF-33		
0-0,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Réz: 171 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Cink: 331 mg/kg Higany: 1,25 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens		
1,0-1,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Króm (VI): 5,6 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Réz: 110 mg/kg Cink: 511 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens		
Kapilláris zóna	–	Nikkel: 85 mg/kg Réz: 172 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	–	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés		

5.3-2. táblázat A 2020 évi állapotfelmérésben vizsgált talajminták PAH szennyezettsége

Réteg [m]	TFM-1	TFM-2	TFM-3	TFM-4	TF-1	TF-2	TF-3	TF-4	TF-5	TF-6	TF-7	TF-8	TF-9
0-0,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	ΣPAH: 1,46 mg/kg	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens
1,0-1,5 m	ΣPAH: 7,86 mg/kg	–	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	ΣPAH: 2,54 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens
Kapilláris zóna	Nem történt mérés	–	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés

Réteg [m]	TF-10	TF-11	TF-12	TF-13	TF-14	TF-15	TF-16	TF-17	TF-18	TF-19	TF-20	TF-21	TF-22
0-0,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	ΣPAH: 1,41 mg/kg	–	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	ΣPAH: 1,31 mg/kg	Nem történt mérés	Nem történt mérés
1,0-1,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	–	Nem történt mérés	Nem történt mérés
Kapilláris zóna	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	–	–	–

Réteg [m]	TF-23	TF-24	TF-25	TF-26	TF-27	TF-28	TF-29	TF-30	TF-31	TF-32	TF-33		
0-0,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	ΣPAH: 1,07 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens		
1,0-1,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens		
Kapilláris zóna	–	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	–	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés		

5.3-3. táblázat A 2020 évi állapotfelmérésben vizsgált talajminták TPH szennyezettsége

Réteg [m]	TFM-1	TFM-2	TFM-3	TFM-4	TF-1	TF-2	TF-3	TF-4	TF-5	TF-6	TF-7	TF-8	TF-9
0-0,5 m	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés
1,0-1,5 m	Nincs határérték túllépés	–	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés
Kapilláris zóna	Nincs határérték túllépés	–	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nem történt mérés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés

Réteg [m]	TF-10	TF-11	TF-12	TF-13	TF-14	TF-15	TF-16	TF-17	TF-18	TF-19	TF-20	Tf-21	TF-22
0-0,5 m	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Σ TPH: 108 mg/kg	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	–	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Σ TPH: 164 mg/kg	Nem történt mérés	Nem történt mérés
1,0-1,5 m	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nem történt mérés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	–	Nem történt mérés	Nem történt mérés
Kapilláris zóna	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	–	–	–

Réteg [m]	TF-23	TF-24	TF-25	TF-26	TF-27	TF-28	TF-29	TF-30	TF-31	TF-32	TF-33		
0-0,5 m	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Σ TPH: 187 mg/kg	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés		
1,0-1,5 m	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés		
Kapilláris zóna	–	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	–	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nem történt mérés		

5.3-4. táblázat A tényfeltárás keretében vizsgált talajminták fém szennyezettsége

Réteg [m]	I/1	I/2	I/3	I/4	I/5	II/1	II/2	II/3	III/1	III/2	III/3
0,0-0,5 m	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Réz: 116 mg/kg Cink: 612 mg/kg Kadmium: 2,5 mg/kg Higany: 7,62 mg/kg Ólom: 115 mg/kg Antimon: 5,5 mg/kg	Nikkel: 52 mg/kg Réz: 198 mg/kg Cink: 1150 mg/kg Kadmium: 4,9 mg/kg Higany: 11,7 mg/kg Ólom: 224 mg/kg Ezüst: 2,1 mg/kg	Króm: 111 mg/kg Nikkel: 56 mg/kg Réz: 219 mg/kg Cink: 312 mg/kg Molibdén: 15 mg/kg Kadmium: 1 mg/kg Higany: 235 mg/kg
0,5-1,0 m	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel
1,0-1,5 m	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel
Réteg [m]	IV/1	IV/2	IV/3	V/1	V/2	V/3	V/4	VI/1	VI/2	VI/3	VI/4
0,0-0,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nikkel: 43 mg/kg Réz: 112 mg/kg Cink: 679 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nikkel: 43 mg/kg	Nikkel: 124 mg/kg Kadmium: 1,3 mg/kg Higany: 24,6 mg/kg	Nikkel: 52 mg/kg Réz: 109 mg/kg Kadmium: 1,8 mg/kg	Nikkel: 47 mg/kg Kadmium: 1,3 mg/kg	Nikkel: 86 mg/kg Réz: 426 mg/kg Cink: 3450 mg/kg Kadmium: 3,9 mg/kg	Nikkel: 94 mg/kg
0,5-1,0 m	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel
1,0-1,5 m	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nikkel: 51 mg/kg	Higany: 3,25 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nikkel: 58 mg/kg Réz: 483 mg/kg Cink: 330 mg/kg Kadmium: 2 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens
Réteg [m]	VII/1	VII/2	VII/3	VIII/1	VIII/2	NA-13	NA-14				
0,0-0,5 m	Bárium: 393 mg/kg	Arzén: 16 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Réz: 184 mg/kg Cink: 269 mg/kg Ón: 34 mg/kg Higany: 8,37 mg/kg Antimon: 7,8 mg/kg	Króm: 88 mg/kg Nikkel: 64 mg/kg Réz: 3800 mg/kg Cink: 406 mg/kg Molibdén: 8 mg/kg Kadmium: 2,1 mg/kg Ón: 341 mg/kg Higany: 4,72 mg/kg Ólom: 113 mg/kg Antimon: 7,4 mg/kg	Réz: 99 mg/kg Higany: 10,2 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens				
0,5-1,0 m	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Higany: 0,94 mg/kg	Réz: 730 mg/kg Ón: 60 mg/kg Higany: 3,22 mg/kg	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel				
1,0-1,5 m	Nem történt mintavétel	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Higany: 2,05 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens				

5.3-5. táblázat A tényfeltárás keretében vizsgált talajminták PAH szennyezettsége

Réteg [m]	I/1	I/2	I/3	I/4	I/5	II/1	II/2	II/3	III/1	III/2	III/3
0,0-0,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Σ PAH: 14,11 mg/kg	Σ PAH: 7,48 mg/kg	Σ PAH: 7,81 mg/kg	Σ PAH: 9,28 mg/kg	Σ PAH: 7,07 mg/kg	Σ PAH: 7,01 mg/kg	Σ PAH: 12,6 mg/kg	Σ PAH: 18,08 mg/kg	Σ PAH: 3,25 mg/kg
0,5-1,0 m	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Σ PAH: 7,73 mg/kg	Σ PAH: 15,97 mg/kg	Σ PAH: 37,39 mg/kg	Nincs határérték feletti komponens	Σ PAH: 1,1 mg/kg	Σ PAH: 10,73 mg/kg	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel
1,0-1,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel
Réteg [m]	IV/1	IV/2	IV/3	V/1	V/2	V/3	V/4	VI/1	VI/2	VI/3	VI/4
0,0-0,5 m	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés
0,5-1,0 m	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel
1,0-1,5 m	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés
Réteg [m]	VII/1	VII/2	VII/3	VIII/1	VIII/2	NA-13	NA-14				
0,0-0,5 m	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés				
0,5-1,0 m	Nem történt mérés	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel				
1,0-1,5 m	Nem történt mintavétel	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mintavétel	Nem történt mintavétel	Nem történt mérés	Nem történt mérés				

5.3.2. Talajvíz minták vizsgálatának eredményei

A talajvíz minták vizsgálatának eredményeit a **12. és 13. mellékletben** található táblázatok foglalják össze. A mérési eredményeket a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről kiadott 6/2009. (IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet 1-3. mellékleteiben található (B) szennyezettségi határértékekhez (a továbbiakban: (B) határérték) viszonyítva értékeltük.

A tényfeltárás analitikai programját a 2020-as állapotfelmérés eredményeit figyelembe- és alapul véve határoztuk meg, ezért röviden összefoglaljuk az állapotfelmérésnek a talajvíz állapotára vonatkozó megállapításait. A vizsgált minták szennyezettségét (határérték feletti komponenseket és koncentrációjukat) az **5.3-6. táblázat** mutatja.

A 2020. évi állapotfelmérés során szűrővizsgálatot két vízmintában végeztek: A volt veszélyes-hulladék égető (helyszínrajz 68. épület) mellett mélyített TFM-1 fúrásponton és a volt vegyszertároló területén mélyült TF-7 jelű fúrás mintáiból.

A szűrővizsgálatok eredménye szerint az aromás szénhidrogének csoportjából mindkét mintában megtalálható volt a toluol, mérhető, de a szennyezettségi határértéknél jóval kisebb koncentrációban. Szintén előfordult toluol a festőműhely melletti TF-17 jelű fúrás vizében, de koncentrációja itt is messze a határérték alatt volt.

A szűrővizsgálatba bevont mintákban a fenolok és az egyéb szerves szennyezők csoportjába tartozó vegyületek (piridin, tetrahydrofurán, tetrahidrotiofén) koncentrációja nem érte el az alsó méréshatárt.

A szűrővizsgálat klórfenolok és halogénezett aromás vegyületek jelenlétét mutatta ki a veszélyes-hulladék égető melletti TFM-1 fúrás vizében mérhető, de a szennyezettségi határértéket el nem érő koncentrációban. Az azonosított vegyületek 2,4-diklórfenol és 2,5-diklórfenol, valamint triklór-benzolok és tetraklór-benzolok voltak. Ezek az anyagok az égető működése során, ahhoz kapcsolódóan kerülhettek a talajba, majd azon keresztül a talajvízbe, mert bár az égető 1984 óta nem üzemelt, de az 1996-os audit során még találtak az égető melletti területen ismeretlen eredetű és anyagú folyékony hulladékot, amelyet rossz állapotban lévő hordókban tároltak műszaki védelem nélkül.

A határértékkel szabályozott általános vízkémiai komponensek közül a szulfát-ion koncentrációja több ponton, a nitrát-ion egy ponton haladta meg a (B) határértéket. A többi általános vízkémiai komponens koncentrációja nem érte el a szennyezettségi határértéket.

A fémek-félfémek csoportjából cink, molibdén, bór és alumínium volt jelen több mintában is (B) határértéket meghaladó mennyiségben. Egy-egy mintában a nikkel és a kadmium koncentráció is túllépést mutatott. Króm (VI)-ot csak a galvánüzemi szennyvíztisztító területén mélyült TF-24 fúrás vizében találtak mérhető mennyiségben, koncentrációja azonban nem érte el a (B) értéket.

A galvánüzem és a galvánüzemi szennyvíztisztító környezetében vett vízminták összes cianid koncentrációja nem érte el a (B) határérték 10%-át.

A klórozott alifás szénhidrogének csoportjából kloroform, szén-tetraklorid, triklór-etilén és tetraklór-etilén fordult elő a talajvízben határértéket meghaladó koncentrációban.

Alifás szénhidrogének és policiklikus aromás vegyületek a vizsgált vízmintákban minden esetben az alsó méréshatár alatti mennyiségben voltak jelen. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a talajmintákban kimutatott TPH és PAH vegyületek a talaj szerves anyagaihoz erősen kötődnek, mobilitásuk csekély, csak lassan és kis mennyiségben jutnak át a talajból a talajvízbe.

Az állapotfelmérés eredményei alapján a tényfeltárás során vett talajvíz mintákban az általános vízkémiai komponenseket, a fémek-félfémek és az illékony halogénezett alifás szénhidrogének koncentrációját határoztuk meg. A nagyszámú mérési eredmény lényegét kiemelve, az **5.3-7. táblázatban** már csak a vízminták szennyezettségét (határérték feletti komponenseket és koncentrációjukat) tüntettük fel.

A vizsgálati eredmények szerint az általános vízkémiai komponensek közül a klorid-, szulfát- és nitrát-ionok koncentrációja haladta meg a (B) határértéket. Egyetlen, telephelyen kívüli mintavételi ponton a nátrium koncentrációja is túllépte a szennyezettségi határértéket minimális mértékben. A szennyezők koncentrációeloszlását szemléltető **5.3-1 – 5.3-4. ábrákon** megfigyelhető, hogy a szennyezett vízrészek foltszerűen helyezkednek el, nem alkotnak összefüggő víztestet. A szulfát- és nitrát szennyezés a telephely Főti út melletti részén jellemző, a szennyezés zöme a Főti úttól északra eső, lakóterületre esik.

A toxikus fémek közül a telephely talajvizében bór és molibdén volt megtalálható a (B) határértéket meghaladó koncentrációban. Amint az az **5.3-5 – 5.3-6. ábrákon** látható, a két fém a telephelyen kívül vett talajvíz mintákban is magas koncentrációban van jelen. A mért koncentráció értékek és a kapott koncentráció eloszlás képek összhangban vannak a 2020-ban született eredményekkel.

A 2020-as felmérés határérték túllépést tárt fel a galvánüzemi szennyvíztisztító területén mélyült TF-24 fúrás vízmintájában nikkelt, cinkt és kadmium komponensekre. A tényfeltárás során a galvánüzem és szennyvízkezelő területén nem mélyült talajvizet elérő fúrás, az NA-03, NA-04 és NA-18 jelű mintavételi pontok célja a galvánüzemhez köthető talajvíz szennyezés lehatárolása volt. A kapott eredmények szerint a talajvíz szennyezettsége a galvánüzem közelében kis területe kiterjedő lokális szennyezés, a szennyező komponensek koncentrációja a forrásnak tekinthető galvánüzem közelében a szennyezettségi határérték alá csökken.

(B) határértéket meghaladó cinket talált a 2020-as állapotfelmérés a TFM-3 jelű fúrásból vett vízmintában. A TFM-3 fúrás nem lett ismételt mintavételre alkalmas ponttá alakítva, így az eredmény közvetlen ellenőrzése nem volt lehetséges. A közelben kialakított NA-01 jelű, illetve a 70-es épület túloldalán kialakított NA-03 jelű mintavételi pontokon vett vízminták vizsgálati eredményei nem igazolták a talajvíz cink szennyezettségét ezen a területen. Hasonló módon, a TF-1 és NA-17 jelű mintavételi pontokon született eredmények sem igazolták a TFM-1 fúrás vízmintájában 2020-ban mért magas cink koncentrációt. Szennyezettségi határértéket meghaladó mennyiségű cinket a telephelyen kívül, az NA-37 jelű ponton vett talajvíz mintában találtunk.

5.3-6. táblázat: A 2020-as állapotfelmérésben vizsgált talajvíz minták szennyezettsége

Komponenskör	Mintavételi pont									
	TFM-1	TFM-2	TFM-3	TF-5	TF-7	TF-9	TF-10	TF-13	TF-14	TF-16
Általános vízkémia	Szulfát: 460 mg/dm ³	Nem történt mérés	Szulfát: 310 mg/dm ³	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens
Fémek, félfémek	Cink: 588 µg/dm ³	Molibdén: 813 µg/dm ³ Bór: 640 µg/dm ³	Cink: 500 µg/dm ³	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Bór: 610 µg/dm ³
PAH	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens
TPH	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés
Illékony halogénezett alifások	Tetraklóretén: 16,2 µg/dm ³	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Tetraklóretén: 29,9 µg/dm ³	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Tetraklóretén: 63,3 µg/dm ³ Összes halogénezett alifás szénhidrogén: 66,9 µg/dm ³	Nem történt mérés	Nem történt mérés
Komponenskör	Mintavételi pont									
	TF-17	TF-19	TF-20	TF-24	TF-26	TF-27	TF-29	TF-30	TF-31	TF-33
Általános vízkémia	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Szulfát: 320 mg/dm ³	Szulfát: 410 mg/dm ³ Nitrát: 84 mg/dm ³	Nem történt mérés
Fémek, félfémek	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Bór: 690 µg/dm ³ Alumínium: 298 µg/dm ³	Nikkel: 62,9 µg/dm ³ Cink: 714 µg/dm ³ Kadmium: 7,1 µg/dm ³	Alumínium: 298 µg/dm ³	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Molibdén: 59,9 µg/dm ³ Bór: 740 µg/dm ³	Nem történt mérés
PAH	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens
TPH	Nem történt mérés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nincs határérték túllépés	Nem történt mérés
Illékony halogénezett alifások	Triklóretén: 13,6 µg/dm ³ Tetraklóretén: 288 µg/dm ³ Összes halogénezett alifás szénhidrogén: 301,6 µg/dm ³	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Tetraklóretén: 31,9 µg/dm ³	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Kloroform: 10,0 µg/dm ³ Szén-tetraklorid: 80,7 µg/dm ³ Triklóretén: 40,2 µg/dm ³ Tetraklóretén: 23,2 µg/dm ³ Összes halogénezett alifás szénhidrogén: 154,1 µg/dm ³	Nincs határérték túllépés

5.3-6. táblázat A tényfeltárás keretében vizsgált talajvíz minták szennyezettsége

Komponenskör	Mintavételi pont								
	NA-01	NA-02	NA-03	NA-04	NA-05	NA-06	NA-07	NA-08	NA-09
Általános vízkémia	Klorid: 390 mg/l Szulfát: 360 mg/l	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés
Fémek, félfémek	Bór: 560 µg/l	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens
Illékony halogénezett alifások	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Tetraklóretén: 23,1 µg/l	Nincs határérték feletti komponens	Triklóretén: 22,4 µg/l Tetraklóretén: 467 µg/l Σ VOCl: 489,4 µg/l	Tetraklóretén: 257 µg/l Σ VOCl: 265,2 µg/l	Tetraklóretén: 50,3 µg/l Σ VOCl: 53,2 µg/l	Tetraklóretén: 140 µg/l Σ VOCl: 146,2 µg/l
Komponenskör	Mintavételi pont								
	NA-10	NA-11	NA-12	NA-13	NA-14	NA-15	NA-16	NA-17	NA-18
Általános vízkémia	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Szulfát: 480 mg/l Nitrát: 116 mg/l	Nincs határérték feletti komponens	Szulfát:260 mg/l	Szulfát: 320 mg/l	Nincs határérték feletti komponens	Szulfát: 270 mg/l
Fémek, félfémek	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Molibdén:685 µg/l Bór: 650 µg/	Molibdén: 699 µg/	Nincs határérték feletti komponens	Bór: 730 µg/	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens
Illékony halogénezett alifások	Tetraklóretén: 14,2 µg/l Vinil-klorid: 1,4 µg/l	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Tetraklóretén: 14,4 µg/l	Nincs határérték feletti komponens	Tetraklóretén: 19 µg/l	Vinil-klorid: 0,5 µg/l	Tetraklóretén: 15,8 µg/l	Nincs határérték feletti komponens
Komponenskör	Mintavételi pont								
	NA-19	NA-19 ism	NA-19 ism2	NA-20	NA-21	NA-22	NA-23	NA-24	NA-25
Általános vízkémia	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Szulfát: 380 mg/l Nitrát: 82 mg/l	Szulfát: 380 mg/l Nitrát: 137 mg/l	Szulfát: 440 mg/l Nitrát: 116 mg/l
Fémek, félfémek	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Molibdén: 366 µg/	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Molibdén:44,7 µg/l Bór: 690 µg/	Molibdén:29,2 µg/l Bór:710 µg/	Bór: 760 µg/
Illékony halogénezett alifások	Hibás mérés	Tetraklóretén: 11,1 µg/l	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Szén-tetraklorid: 2,7 µg/l	Tetraklóretén: 72,6 µg/l Σ VOCl: 75,7 µg/l	Kloroform: 8,4 µg/l Szén-tetraklorid: 60,4 µg/l Triklóretén: 10,5 µg/l Tetraklóretén: 13,3 µg/l Σ VOCl: 92,6 µg/l	Szén-tetraklorid: 169 µg/l Triklóretén: 15 µg/l Σ VOCl: 185,5 µg/l	Szén-tetraklorid: 2,5 µg/l
Komponenskör	Mintavételi pont								
	NA-26	NA-31	NA-31 ism	NA-32	NA-32 ism	NA-33	NA-33 ism	NA-34	NA-34 ism
Általános vízkémia	Nincs határérték feletti komponens	Klorid:363 mg/l Szulfát: 410 mg/l Nitrát: 87 mg/l Nátrium: 205 mg/l	Nem történt mérés	Szulfát: 310 mg/l	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés
Fémek, félfémek	Nincs határérték feletti komponens	Molibdén: 80,8 µg/l Bór: 600 µg/l	Csak molibdén mérés Molibdén: 63,7 µg/l	Bór: 1070 µg/l	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés
Illékony halogénezett alifások	Nincs határérték feletti komponens	Kloroform: 10,8 µg/l Szén-tetraklorid: 45,1 µg/l Triklóretén: 16,2 µg/l Tetraklóretén: 12,9 µg/l Σ VOCl: 85 µg/l	Kloroform: 12,2 µg/l Szén-tetraklorid: 62 µg/l Triklóretén: 12,8 µg/l Σ VOCl: 89,6 µg/l	Tetraklóretén: 17,4 µg/l	Tetraklóretén: 14,6 µg/l	Tetraklóretén: 21,7 µg/l	Tetraklóretén: 19,9 µg/l	Szén-tetraklorid: 4 µg/l Tetraklóretén: 42,7 µg/l	Szén-tetraklorid: 8,2 µg/l Tetraklóretén: 43,3 µg/l

5.3-6. táblázat (folytatás) A tényfeltárás keretében vizsgált talajvíz minták szennyezettsége

Komponenskör	Mintavételi pont								
	NA-35	NA-36	NA-36 ism	NA-37	NA-38	NA-39	NA-40	TF-1	TF-5
Általános vízkémia	Klorid: 278 mg/l Szulfát: 450 mf/l Nitrát: 121 mg/l	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Szulfát: 280 mg/l	Nem történt mérés
Fémek, félfémek	Molibdén:42,7 µg/l Bór: 630 µg/	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Cink: 307 µg/	Csak molibdén mérés Nincs határérték túllépés	Csak molibdén mérés Nincs határérték túllépés	Csak molibdén mérés Nincs határérték túllépés	Bór: 780 µg/l	Nincs határérték feletti komponens
Illékony halogénezett alifások	Kloroform: 19 µg/l Szén-tetraklorid: 1700 µg/l Triklóretén: 316 µg/l Tetraklóretén: 16,1 µg/l Σ VOCl: 2051,1 µg/l	Szén-tetraklorid: 4,5 µg/l Tetraklóretén: 131 µg/l Σ VOCl: 140,7 µg/l	Szén-tetraklorid: 3,9 µg/l Tetraklóretén: 107 µg/l Σ VOCl: 115,5 µg/l	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Szén-tetraklorid: 45,1 µg/l	Tetraklóretén: 19,4 µg/l	Tetraklóretén: 18,5 µg/l
Komponenskör	Mintavételi pont								
	TF-9	TF-16	TF-19	TF-29	TF-30	TF-33	MW-1	MW-3	MW-4
Általános vízkémia	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens	Szulfát: 320 mg/l	Nincs határérték feletti komponens	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Klorid: 340 mg/l Szulfát: 380 mg/l Nitrát: 77 mg/l
Fémek, félfémek	Nincs határérték feletti komponens	Bór: 540 µg/l	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Nincs határérték feletti komponens	Bór: 520 µg/l
Illékony halogénezett alifások	Nincs határérték feletti komponens	Vinil-klorid: 0,5 µg/l	Tetraklóretén: 28,7 µg/l Vinil-klorid: 0,5 µg/l	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Nem történt mérés	Tetraklóretén: 26,4 µg/l Vinil-klorid: 0,7 µg/l	Tetraklóretén: 19,5 µg/l Vinil-klorid: 0,7 µg/l
Komponenskör	Mintavételi pont								
	MW-6	Tarzan-park							
Általános vízkémia	Klorid: 419 mg/l Szulfát: 440 mg/l Nitrát: 727 mg/l	Nincs határérték feletti komponens							
Fémek, félfémek	Nem történt mérés	Nincs határérték feletti komponens							
Illékony halogénezett alifások	Tetraklóretén: 11,7 µg/l Vinil-klorid: 1,3 µg/l	Nincs határérték feletti komponens							

A halogénezett alifás szénhidrogének csoportjából kloroform, szén-tetraklorid, tetraklór-etilén, triklór-etilén, és vinil-klorid volt a talajvízben határértéket meghaladó koncentrációban. A klórozott alifás szénhidrogének talajvízben mért koncentrációit és koncentrációeloszlását az **5.3-7 – 5.3-11. ábrák** mutatják.

A Vákuumtechnikai Gépgyár területén a kloroform mennyisége egyetlen vizsgált mintában, a TF-31 fúrás helyén kialakított NA-23 ponton vett talajvízben haladta meg a szennyezettségi határértéket. Az NA-23 pont környezetében az ERM Hungária Kft. 2001-ben végzett vizsgálata is (B) határérték feletti koncentrációban találtak halogénezett szénhidrogéneket, az eredmények szerint az eltelt közel húsz évben nem történt jelentős mértékű javulás a talajvíz minőségét illetően. Az NA-23 ponton mért értéket meghaladó kloroform koncentrációk voltak a Fóti úttól északra eső területen az NA-35 és NA-31 jelű pontokon, a legmagasabb kloroform koncentráció a telephelyen kívül található NA-35 jelű mintavételi pont vizét jellemezte.

A szén-tetraklorid kiugróan legnagyobb koncentrációja szintén az NA-35 jelű ponton vett mintában volt. A gyár területén belül a Fóti út melletti NA-23, NA-24 és NA-25 jelű pontokon, valamint az NA-21 jelű ponton vett mintában fordult elő szén-tetraklorid határérték túllépés.

Triklór-etilén szennyezés három területen volt kimutatható, melyből kettő található a gyár területén. Ez utóbbiak egyike a volt festőműhely környezete (NA-06 fúráspont), ahová a triklór-etilén a tetraklór-etilén kísérelő anyagaként vagy bomlástermékeként kerülhetett, a másik pedig a Fóti út mellett, az NA-23 és NA-24 jelű mintavételi pontok környezete. A harmadik, egyben legnagyobb kiterjedésű és legnagyobb koncentrációval jellemezhető triklór-etilén szennyezés az üzemi területen kívül, az NA-35 jelű mintavételi pont környezetében helyezkedik el.

A koncentrációk eloszlását szemléltető **5.3-7 – 5.3-9. ábrák** azt mutatják, hogy a kloroform, szén-tetraklorid és triklór-etilén szennyezés maximuma a Vákuumtechnikai Gépgyár területén kívül, az NA-35 mintavételi pont környezetében található.

Legnagyobb területet a tetraklór-etilén (tetraklóretén, perklór-etilén, PCE) szennyezés érint. A szennyezés kiindulópontja a volt festőműhely, ahol a perklór-etilénes zsírtalanító berendezés üzemelt. A tetraklór-etilénnel szennyezett talajvíz csóva hossz tengelye a talajvíz áramlási irányába esik. A csóván belül lokális koncentráció maximumok találhatók az NA-22 és NA-36 pontok közelében.

A klórozott alifás szénhidrogének vizsgálatának telephelyen belüli eredményei jó egyezést mutatnak a 2020 évi állapotfelmérés eredményeivel.

5.4. A szennyezettség térbeli lehatárolása (B) szennyezettségi határértékig

5.4.1. A talajszennyezettség lehatárolása

Az **5.3.1. fejezetben** bemutatott eredmények, valamint a korábban a területen végzett talajállapot felmérő vizsgálatok eredményei alapján kijelenthető, hogy a Vákuumtechnikai Gépgyár telephelyén belül a talaj számos területen antropogén szennyezéssel terhelt. Az érintett területek, melyek elhelyezkedése az **5.4-1. ábrán** látható, a következők:

A volt hulladékégető területe és a Főti úti kerítéstől délre eső, mintegy 50 m szélességű sáv

A terület kiterjedése 19 730 m², a szennyezett földtani közeg a felszíntől 1,5 m mélységig terjedő, építési hulladékot, salakot tartalmazó feltöltött réteg.

A helyszínrajzon 11-gyel jelölt tároló színtől nyugatra eső II. vizsgálati terület

A terület nagysága 675 m², a PAH szennyezés a talaj felső 1,0 m-es rétegét érinti.

Csapadékvíz szikkasztó területe a telephely keleti részén, III vizsgálati terület

Szennyezett a szikkasztó medence 831 m² felületű medrének felső 0,5 m-es rétege.

Csapadékvíz szikkasztó az 1. épülettől délre, IV vizsgálati terület

A szikkasztó medrének területe 645 m², amelyből szennyezett a csapadékvíz bevezetés környezetében kb. 215 m² a felső 0,5 m-ben.

Az 55. és 90. épületek közötti V. vizsgálati terület

A szennyezés az 55. épület melletti 275 m²-nyi terület felső 2 m-es rétegét érinti.

A galvánüzem és a galvánüzemi szennyvíztisztító területe

A szennyezés az 1. épületben található egykori galvánüzem és az épület melletti galvánüzemi szennyvíztisztító területét érinti. A szennyezett terület együttesen 650 m², a szennyezett földtani közeg a felszíntől a talajvíz szintjéig terjed.

A 32. raktárépülettől délre eső VII vizsgálati terület

A szennyezés kiterjedése 175 m², a szennyezett közeg a felszín alatti 0,5 m vastagságú építési törmeléket tartalmazó homokos talaj.

A volt fémhulladékgyűjtő területe

A szennyezett terület 1250 m², a szennyezés a talaj felső 1 m-es rétegét érinti.

5.4.2. A talajvíz szennyezettség lehatárolása

A talajvíz szintje a telephelyen és környezetében a felszíntől számított 4,5-5,0 m mélységben helyezkedik el. A feltáró fúrások talajmintáinak makroszkópos leírása és talajmechanikai vizsgálata igazolta, hogy a talajvíztartó homokos, kavicsos rétegek fekszenek a felszín alatt 9-10 m mélységben húzódó gyenge vízvezető képességű agyagos képződmény. A talajvízben oldott anyagoknak a mélyebb vízadóba jutását ez a képződmény meggátolja, ennek a rétegnek a fedőszintje adja a talajvíz szennyezés terjedésének alsó határát. Fentiek alapján a szennyezett talajvíz vertikális kiterjedése a talajvíz mindenkorai szintjétől az agyagos fekvő 9-10 méter mélységben található felszínéig terjed.

A talajvízben (B) határértéket meghaladó koncentrációjú komponensek az alábbiak voltak:

ÁVK komponensek	Fémek-félfémek	Klórozott alifások
Klorid	Molibdén	Kloroform
Szulfát	Bór	Szén-tetraklorid
Nitrát		Tetraklór-etilén
		Triklór-etilén
		Diklór-etének
		Vinil-klorid

A talajvízszennyezéssel érintett területek nagyságát és a szennyezett talajvízben található anyagok mennyiségét a Surfer program térfogatszámoló funkciójának (Volume) használatával határoztuk meg. A koncentrációk eloszlását tartalmazó grid fájlok alapján a Volume funkcióval meghatározható a (B) határértéket meghaladó terület nagysága, valamint ezen a területen belül egységnyi rétegvastagságú talajvízben oldott anyag mennyisége. A teljes anyagmennyiség meghatározásához a talajvíz vertikális kiterjedését (4,5-9 m) és a víztartó réteg porozitását (0,22) kell még számításba venni.

Klorid

A klorid szennyezés három különálló foltban jelenik meg a vizsgált területen, melyből egy kívül esik a telephely területén. A gyár területét is érintő klorid szennyezés elhelyezkedése háttérterületek felől érkező szennyezést valószínűsít.

A klorid maximális koncentrációja a talajvízben	419 mg/L
A szennyezett talajvíz felszíni vetülete	20 781 m ²
A klorid mennyisége a szennyezett talajvízben	680 kg

Szulfát

A szulfát szennyezés négy különálló foltban jelenik meg a vizsgált területen, melyek közül háromnak a helyzete háttérterületek felől érkező szennyezést valószínűsít.

A szulfát maximális koncentrációja a talajvízben	480 mg/L
A szennyezett talajvíz felszíni vetülete	110 941 m ²
A szulfát mennyisége a szennyezett talajvízben	7 653 kg

Nitrát

A nitráttal szennyezett talajvíz helyzete alapján külső forrásból származó szennyezés feltételezhető.

A nitrát maximális koncentrációja a talajvízben	137 mg/L
A szennyezett talajvíz felszíni vetülete	110 940 m ²
A nitrát mennyisége a szennyezett talajvízben	2 722 kg

Bór

A bór szennyezés két különálló foltként jelenik meg a vizsgált területen.

A bór maximális koncentrációja a talajvízben	1070 µg/L
A szennyezett talajvíz felszíni vetülete	100 302 m ²
Bór mennyisége a szennyezett talajvízben	12,02 kg

Molibdén

A molibdén szennyezés a telephelyen belüli gócpontból induló csóvaként jelenik meg a vizsgált területen.

A molibdén maximális koncentrációja a talajvízben	699 µg/L
A szennyezett talajvíz felszíni vetülete	42 346 m ²
A molibdén mennyisége a szennyezett talajvízben	3,74 kg

Kloroform

A kloroformmal szennyezett talajvíz zöme és a szennyezés gócpontja a telephelyen kívül található.

A kloroform maximális koncentrációja a talajvízben	19 µg/L
A szennyezett talajvíz felszíni vetülete	30 675 m ²
A molibdén mennyisége a szennyezett talajvízben	0,10 kg

Szén-tetraklorid

A szén-tetrakloriddal szennyezett talajvíz zöme és a szennyezés gócpontja a telephelyen kívül található.

A szén-tetraklorid maximális koncentrációja a talajvízben	1700 µg/L
A szennyezett talajvíz felszíni vetülete	106 045 m ²
A szén-tetraklorid mennyisége a szennyezett talajvízben	19,02 kg

Tetraklór-etilén

A tetraklór-etilén maximális koncentrációja a talajvízben	467 µg/L
A szennyezett talajvíz felszíni vetülete	245 749 m ²
A tetraklór-etilén mennyisége a szennyezett talajvízben	9,37 kg

Triklór-etilén

A triklór-etilén szennyezés három különálló foltot alkot, melyek közül kettő esik a telephelyen belülre. A legnagyobb mértékű triklór-etilén szennyezés a telephelyen kívül található.

A triklór-etilén maximális koncentrációja a talajvízben	316 µg/L
A szennyezett talajvíz felszíni vetülete	46 430 m ²
Triklór-etilén mennyisége a szennyezett talajvízben	2,76 kg

Vinil-klorid

A vinil-kloriddal szennyezett talajvíz három különálló foltot alkot a telephelyen belül.

A vinil-klorid maximális koncentrációja a talajvízben	1,4 µg/L
A szennyezett talajvíz felszíni vetülete	14 419 m ²
A vinil-klorid mennyisége a szennyezett talajvízben	2,722 g

Az ipari tevékenységhez köthető szennyezőanyagokkal (B) határérték feletti koncentrációban szennyezett területek közös burkológörbéje az **5.4-2. ábrán** látható. A burkológörbével határolt terület nagysága 322 470 m².

5.5. A szennyező anyagok térbeli és időbeli mozgásának előrejelzése

A szennyezőanyagok térbeli és időbeli elmozdulásának előrejelzése érdekében a területre hidrodinamikai és transzportmodell épült. A numerikus modellezéshez a helyszíni feltárások rétegsorait, a vízföldtani vizsgálatok eredményeit, valamint a kémiai analitikai és talajmechanikai laborvizsgálatok eredményeit egyaránt felhasználtuk. A számításokat a legjellemzőbb (B) szennyezettségi határérték feletti koncentrációban előforduló szennyezőanyagokra végeztük el, melyek a molibdén, a kloroform és a szén-tetraklorid, valamint a tetraklór-etilén – triklór-etilén – diklór-etilén és vinilklorid bomlási sora. Mindezek miatt azonos hidrodinamikai modellre egy többkomponensű (MT3DMS) és egy reaktív transzportmodellt (RT3D) illesztettünk rá.

5.5.1. Az alkalmazott szoftverek

A hidrodinamikai számítások során a Processing MODFLOW Pro környezet 8.0.47 Windows 10 adaptált verzióját (©Simcore Software, 1991-2017) használtuk fel. A szoftver a MODFLOW klónok egyike, amely egyrészt a hasonló klónokhoz (Visual MODFLOW, GMS, GW Vistas, MODFLOW-SURFACT, Processing MODFLOW for Windows stb.) hasonlatosan a nemzetközi gyakorlatban elfogadott változat, kiterjedt kalibrációs referenciákkal rendelkezik.

A hidrodinamikai számításokat a MODFLOW-96 és MODFLOW-2000/2005 public domain USGS verziójával végeztük el. Az eredmények megtekintéséhez, értelmezéséhez, valamint az áramvonalak és elérési idők meghatározásához a PMPATH 98/NT program 8.0.42 verzióját (©W-H. Chiang & W. Kinzelbach, 1994-2016) használtuk fel.

A transzportszámításokat az MT3DMS v5.3, illetve RT3D v2.5 programok public domain verzióival végezzük el. A felsorolt programokat a MODFLOW-val való együttes használatra fejlesztették ki, ezért illesztésük a hidrodinamikai programhoz gyakorlatilag problémamentes.

A térképek szerkesztésére, a lokális adatokból interpolációk végzésére a Surfer for Windows 22.1.151 változatát (© Golden Software Inc., 1993-2021) alkalmaztuk.

Az alkalmazott környezet a nemzetközi és hazai gyakorlatban elfogadott számítási rendszer, amely a szivárgás alapegyenletének véges differencia, illetve a transzportegyenletnek véges differencia, illetve karakterisztika módszerén alapuló megoldásait használja fel.

5.5.2. A terület földtani-vízföldtani felépítése és annak hidrodinamikai modelladaptációja, a modellezési koncepció kialakítása

A hidrodinamikai modell által érintett térrész egy általános tájolású, 1300×2010 m méretű téglalap alakú terület, amit célszerűen megválasztottan azonos 10×10 m méretű elemekből (130-201 db) építettünk fel (5.5-1. és 5.5-2. ábra).

A területen, néhány méteres fedőréteg alatt megtalálható a Duna kavicsterasza, amelyet a gyár tevékenysége során elszennyezett. A teraszréteg alatt agyagos képződmények települnek, a

függőleges vízforgalom a teraszréteg és feküképződményei között elhanyagolhatónak tekinthető, ezért a modellezés során vízzáró teraszfeküvel számoltuk.

A teraszréteg fedőjében iszapos agyag, agyagos iszap települ foltos kifejlődésben, amit holocén, uralkodóan futóhomok vagy löszös homok borít. A fedőképződmények mindenütt megtalálhatók, ugyanakkor vastagságuk erősen változó, és foltszerűen változik, mind a finomhomok, mind az iszapos réteg jelenléte.

A teraszréteg anyagi felépítése területileg változó. Általánosságban a vízáadó felső része homok, esetleg kissé iszapos vagy kavicsos homok, ezért kevésbé vízvezető, mint a teraszréteg alsó részén található durvább, homokos kavics vagy kavicsos homok üledékek. A finomabb szemcséjű üledékek egyes területrészekben a kavicsos rész alatt is kis vastagságban megtalálhatók, de ez a térség vízforgalmát csak elhanyagolható mértékben módosítja.

A modell geometria meghatározásakor a tényfeltárás során mélyített fúrások adatsorából indultunk ki. Mivel természetesen a transzportmodell a telephelynél és magánál a szennyeződésnél is nagyobb kiterjedésű, ezért a vizsgált területtől távolodva fokozatosan egy átlagos geometria felé közelítettünk, egyéb ismeretek hiányában.

A modell kétrétegű, mivel a teraszréteg fedőképződményei uralkodóan szárazak, ilyen módon kizárólag a pleisztocén korú felső homokos összletben és az alsó homokos kavics vagy kavicsos homokban bekövetkező folyamatok szimulációjára került sor.

A térség vízföldtani felépítését, egyben a térségi modell geometriai viszonyait az **5.5-3 – 5.5-5. ábrákon** mutatjuk be, egyrészt a terep, a homokos összlet és a teraszfekü és fedőképződmények és a teraszrétegek fekvő szintvonalas térképei segítségével.

Az egyes rétegek vízföldtani jellemzéséhez feldolgoztuk a próbaszivattyúzások adatait, melyeket a VTK Innosystem Kft. végzett el a területen. Általánosságban megállapítható, hogy gyakorlatilag kizárólag a vízáadó kavicsra, ritkábban a vízáadó homokra és kavicsra együttesen állnak rendelkezésre mérési adatok, a fedőképződményeket ebben a tekintetben nem ismerjük. Mivel a telített közegbeli, tehát a MODFLOW alapú modellel vizsgált vízmozgás szinte kizárólag a teraszrétegben történik, mindez nem zavarta a modell felépítését.

5.5-1. táblázat: A VTK Innosystem Kft. által végzett próbaszivattyúzások alapján számított szivárgási tényezők

Kút jele	s [m]	Q [l/p]	Q [m ³ /d]	r ₀ [m]	K[m/d]
NA-06	0,23	5	7,2	0,025	27,5
NA-02	0,23	5	7,2	0,025	27,5
NA-16	0,06	2,5	3,6	0,025	25

A vertikális szivárgási tényezőket a vízáadóban 5 anizotrópia tényezővel adtuk meg. A szabad hézagterefogat értékeket a szivárgási tényező függvényében számítva vettük fel.

5.5-2. táblázat: A modellben alkalmazott vízföldtani paraméterek

Réteg	Szivárgási tényező [m/d]		Szabad hézagterfogat n ₀ [-]
	K _h	K _v	
Homokos felső rész	0,5	0,1	0,08
Kavicsos alsó rész	25	3,5	0,22

A nyugalmi nyomásszint-eloszlását, azaz a modellszámítás kezdeti feltételeinek meghatározását a Naturaqua Zrt. mérései alapján az **5.5-6. ábrán** mutatjuk be.

A térség vízforgalmára részben a Duna, részben a Szilas-patak hat. Ennek megfelelően a szivárgásnak van egy uralkodóan DKK-ÉNyNy-i irányú komponense, ami a Főti úttól északra egyre inkább ÉÉNy-i, illetve ÉNy-i majd egészen a patak közelében É-i irányúvá válik.

Ugyanezt a hatást érik el azok a feltételezett kutak is, melyeknek sem helyét, sem hozamát nem ismerjük, melyek a sporttelepek térségében valószínűsíthetőek és gyepfelület locsolásának céljából a nyári időszakban üzemelhetnek.

A terület vízforgalma szempontjából ugyan elhanyagolható a csapadékból történő beszivárgás, mégis a modellbe a NATÉR CARPATCLIM adatbázis adatai alapján számított 30 éves (1975-2004) átlagos maradó beszivárgási értékeket (35 mm/év) adtuk meg (**5.5-7. ábra**).

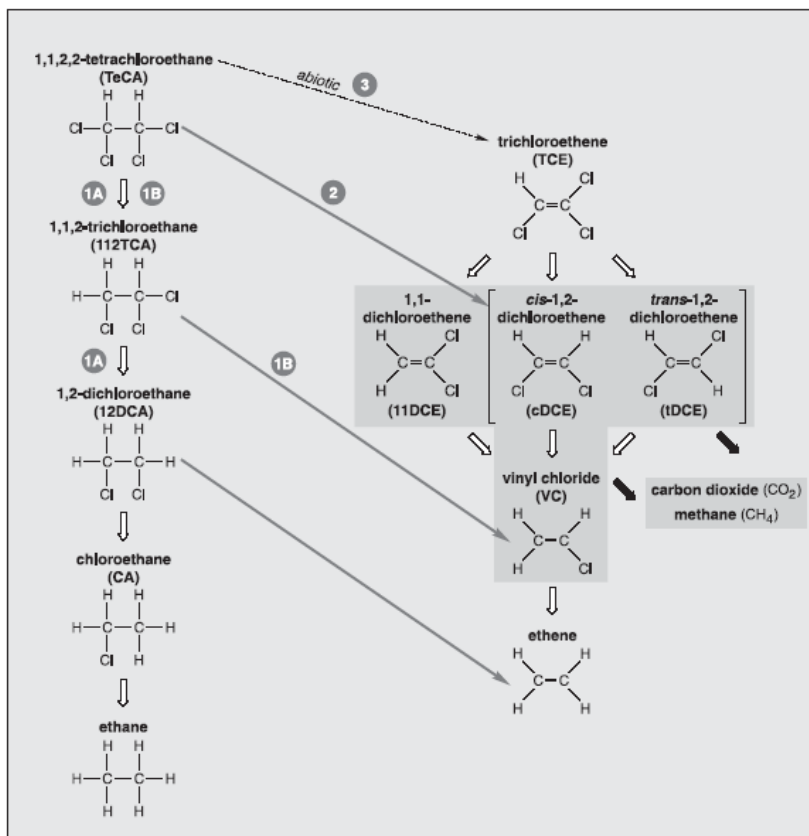
Fontos a szerepük a felszíni vízfolyásoknak a modell szempontjából. A Duna és a Szilas patak is egyfajta hidraulikai, hidrodinamikai határt képez a rendszerben. A Szilas pataktól északra eső területeket ennek megfelelően a modellben inaktívvá tettük, a Duna a modell területére nem esik rá, miközben a hatására kialakuló vízszinteket a peremfeltételekben rögzítettük. A Szilas-patak paramétereit a meder burkolatának, a geometriai viszonyoknak megfelelően becsültük, illetve a kalibrálás során a mért vízszintek alapján rögzítettük.

5.5.3. A telephely környezetének transzportmodellje

A transzportmodellezés során a következő komponenseket vizsgáltuk: molibdén, kloroform, szén-tetraklorid, tetraklór-etilén, triklór-etilén, diklór-etilén és vinil-klorid.

A területen feltárt és vizsgált klórozott szénhidrogén szennyezőanyagok két dehalogenizációs bomlási sort képeznek (**5.5-8 – 5.5-9. ábrák**).

A tetraklór-etán → triklór-etilén → cisz- és transz-diklóretilén → vinil-klorid bomlási sor jól ismert és bár a tetraklór-etán felől több lehetséges biotikus és abiotikus bomlási pálya is kialakulhat (**5.5-8. ábra**) a helyi redox- és koncentráció-viszonyok függvényében, mégis összességében az átalakulások általában hasonló módokon mennek végbe és a dehalogenizációval egyre mobilisabb komponensek alakulnak ki.

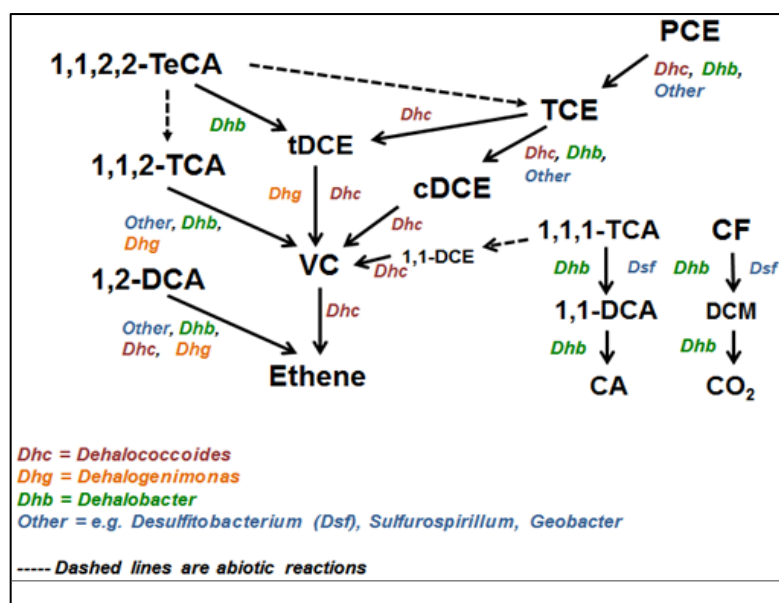


EXPLANATION

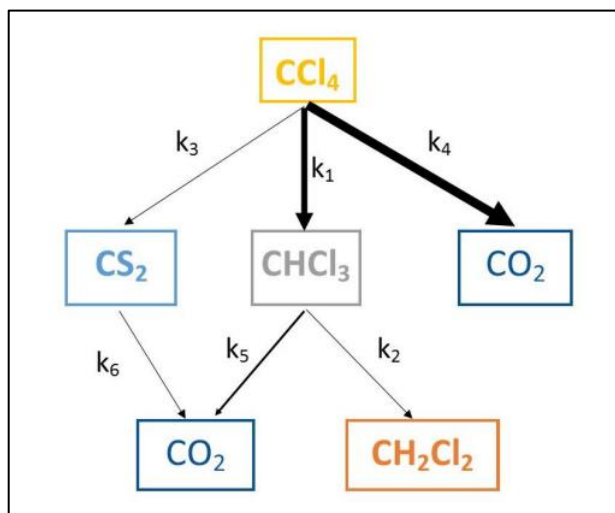
↓ ANAEROBIC OXIDATION ↓ HYDROGENOLYSIS ↓ DICHLOROELIMINATION ↓ DEHYDROCHLORINATION

Pathways of TeCA degradation:

- 1A TeCA HYDROGENOLYSIS TO 112TCA AND 12DCA
- 1B TeCA HYDROGENOLYSIS TO 112TCA FOLLOWED BY DICHLOROELIMINATION OF 112TCA TO VC
- 2 TeCA DICHLOROELIMINATION TO cDCE AND tDCE
- 3 TeCA DEHYDROCHLORINATION TO TCE



5.5-8. ábra: Tetraklór-etilén lehetséges biotikus és abiotikus bomlási sora talajvízben



5.5-9.ábra: A szén-tetraklorid lehetséges bomlási sora a felszín alatti vizekben¹

Az ilyen bomlási sorok előfordulása esetén jellemző, hogy a bomlás előrehaladtával egyes utód-komponensek koncentrációja megnőhet mindaddig, amíg a szülőkomponensekből történő keletkezés nagyobb ütemű, mint a komponens bomlása. Ezen a területen is jellemző, hogy a diklór-etilén koncentrációk alacsonyabbak, mint a szennyezettségi határérték, azaz ennek a komponensnek a képződése lassabb, mint a bomlási sebessége az itt kialakult körülmények között. A vinil-klorid koncentrációja is alacsony, határérték közele, ami azt mutatja, hogy a bomlási sor teljesen végigfut. Az a tény, hogy a vinil-klorid szennyezettségi határérték feletti, csak annyit tesz, hogy miközben 1 db 96,95 g/mol molekulatömegű diklór-etilén molekulából 1 db 62,5 g/mol molekulatömegű vinil-klorid molekula képződik (tömegarány 1,55:1), és a (B) szennyezettségi határértékek koncentrációaránya 10:0,5, azaz 20:1, ilyen módon a bomlási sebességarányának a diklór-etilén és vinilklorid között $20/1,55=12,9$ - szeresnek kellene lennie, hogy a vinil-klorid is a szennyezettségi határérték alatt maradjon. A különbség azonban ennél kisebb, ilyen módon a diklór-etilén elbomlása közben keletkező vinil-klorid kismértékben szennyezettségi határérték feletti koncentrációkban lehet jelen.

A másik bomlási sor a szén-tetraklorid → kloroform → diklór-metán sorozat (5.5-9. ábra) a környezeti kémiában sokkal kevésbé ismert és alárendelt előfordulási gyakoriságú. Ennek az az oka, hogy a szén-tetraklorid → kloroform átalakulás igen lassú, ráadásul sok egyéb körülmény is szükséges a végbemeneteléhez. Laboratóriumi körülmények között a folyamat katalizátorokkal erősen felgyorsítható és jól vizsgálható, a talajvízadóban ugyanakkor ilyen katalizátorok hiányában a folyamat előrehaladása kisebb mértékű és lassú.

Az ismert, hogy a kloroformot sötét üvegben kell tartani, mert oxigén és fény hatására könnyen és gyorsan foszgénné és sósavvá alakul. Mivel a felszín alatt oxigén korlátozottan áll rendelkezésre és a fényhatás is kizárható, ezért ez az átalakulás nem következik be.

¹ K.E.Vickstroma, M.F.Aziziana, L.Semprinia: Transformation of Carbon Tetrachloride and Chloroform by Trichloroethene Respiring Anaerobic Mixed Cultures and Supernatant; School of Chemical, Biological and Environmental Engineering; 102 Gleeson Hall, Oregon State University Corvallis, Oregon 97331, US.
https://pdf.sciencedirectassets.com/271852/1-s2.0-S0045653517X00118/1-s2.0-S0045653517306811/Kyle_E_Vickstrom_Carbon_tetrachloride_2017.pdf

Van azonban a szén-tetraklorid dehalogenizációjának egy másik lehetősége is. A szén-tetraklorid egyik klóratomját vizes közegben hidroxid(oxónium)-ion kilökheti a helyéről, ha a klórkoncentráció nem túl magas, és ha a közeg megfelelően redukzív. Esetünkben nemcsak a szén-tetraklorid, hanem a további klórozott szénhidrogén-szennyezések miatt a redukтивitás kialakulhatott, így ez a folyamat lassan bekövetkezhetett. A hidroxid-iont egy második lépésben már kicserélheti a hidrogén, így kloroform jön létre.

A folyamat a köztes komponens és a termodinamikailag kis energiaszint változások miatt igen lassú, de a területen a hosszú időn keresztül fennálló redukтивitás miatt az átalakulás bekövetkezése feltételezhető. Ráadásul a tényfeltárások során mért koncentrációk eloszlása a kloroform szén-tetraklorid-eredetét alátámasztja, ezért a területen ez a ritkán előforduló bomlási sor feltételezhető.

A kezdeti koncentrációkat az **5.3-7 – 5.3-11. ábrák** mutatják be. A koncentráció-eloszlások alapján kijelenthető, hogy a területen két eltérő eredetű szennyeződés van jelen. Az egyik a perklóretilén (PCE) és annak bomlási utódtermékei, amik egy nagyobb területről, a Tungsram telephely középső részén kerültek a talajvízbe, míg a másik, eltérő eredetű csóva a szén-tetraklorid-kloroform szennyeződés, aminek forrása viszont valahol a Fóti út közelében a másik csóvától K-i irányban volt. A két szennyeződés egyértelműen elkülöníthető. A molibdén csóva elhelyezkedése sem a tetraklór-etilén sem a kloroform szennyeződéssel nem mutat rokonságot, annak forrása a Fóti út mentén, de szélesebb sávban, az NA-13, -14 és -20 kutak térségében lehetett.

A szennyeződések annyiban hatnak egymásra, hogy a szén-tetraklorid és a kloroform erősen biocid hatású, ilyen módon a PCE biodegradációja mindenképpen kisebb sebességű a szén-tetraklorid szennyeződés területén belül.

A transzportmodellezés során az advektív-diszperzív transzportot vizsgáltuk megkötődéssel és bomlással.

5.5.3.1. Advekción

A szennyezőanyag advektív transzportját a hibrid áramvonal módszerével (HMOC) végeztük el. A módszerre jellemző, hogy ahol jelentős koncentráció-változások vannak, ott a hagyományos karakterisztika megoldást használja sok részecskével, míg a kevésbé változó koncentrációkkal jellemezhető helyen a módosított karakterisztika módszert használja fel, így ötvözi a két módszer előnyeit. A HMOC módszerrel előállított egyenletrendszer numerikus megoldását hibrid elsőrendű Euler és negyedrendű Runge-Kutta algoritmussal végeztük el a lokális koncentráció-gradiensek függvényében. A Courant számot 0,75-ben definiáltuk, ami megakadályozza, hogy egy időlépcső alatt a szennyezőanyag-részecske egy cellánál nagyobb utat tegyen meg, vagyis, hogy átugorjon elemeket a modellben.

Az anyagmegmaradás teljesülése miatti numerikus hibákból származó, fiktív szennyezőanyag-áramoknak a modell peremére jutása instabilitást okozhat, aminek kialakulását a peremi elemekben nyelőelemekkel (állandó zérus koncentráció) akadályoztuk meg. Mivel a peremközeli koncentrációk 10^{-3} ppb nagyságrendűek legfeljebb, így ez a megoldás a rendszer szennyezőanyag-mérlegét érdemben nem befolyásolta.

Az így kialakított rendszerben a numerikus hibákat csökkentő, a transzportegyenlet linearizálásán alapuló, hibrid karakterisztika módszerének, továbbá az állandó koncentrációjú nyelőelemek alkalmazása mintegy kettős védelmet adva jelentősen csökkentette a numerikus hibák abszolút értékét (javította a jel-zaj arányt). Ez azért volt különösen fontos, mert a területen nagyterjedésű alacsony koncentrációjú térség van, ahol esetleg a numerikus hibák miatti kialakuló fiktív koncentrációk összevethetőek lehetnek volna a határérték-koncentrációkkal.

A numerikus hibák csökkentésének érdekében használtuk a hidrodinamikai modellezés során az egyenközü rácshálót, hogy optimális transzport-időlépcsőkkel dolgozhassunk, mind az iterációk számának csökkentése okozta numerikus hiba redukció, mind a számítási idők csökkentése érdekében.

5.5.3.2. Diszperzió és diffúzió

A vizsgált szennyezőanyagok szóródását alapvetően meghatározza a hidrodinamikai diszperzió jelensége, a diffúzió hatásának jelentősége lényegesen kisebb. A diffúziót jellemző paraméter az effektív molekuláris diffúzió-állandó. A hidrodinamikai diszperziót leíró jellemző a diszperzivitás [m], melynek szorzata a szivárgás cellabeli sebességével [m/d] megadja a hidrodinamikai diszperzió-állandót [m²/d].

Eltérő diszperzió és diffúzió értékeket alkalmaztunk a vízádókra és a vízrekesztő képződményekre.

A permanens számítások esetén az áramlás iránya és sebessége minden cellában időben állandó, de cellánként változó szóródási paramétermezővel dolgoztunk.

A longitudinális diszperzivitás, horizontális transzverzális és vertikális transzverzális diszperzivitást, valamint az effektív molekuláris diffúzió állandó értékeket az **5.5-3. táblázat** foglalja össze.

5.5-3. táblázat: A modellben alkalmazott szóródási paraméterek

Paraméter	Homokos vízádó	Homokos kavics vízádó
Longitudinális diszperzivitás [m]	10	2
Horizontális transzverzális diszperzivitás [m]	1	0,2
Vertikális transzverzális diszperzivitás [m]	0,5	0,1
Effektív diffúzió állandó [m ² /d]	1·10 ⁻⁵	1·10 ⁻⁵

5.5.3.3. Szorpció és bomlás

Az egyes vizsgált szennyezőanyagok megkötődése eltérő. A megkötődést lineáris szorpcióval közelítettük (Henry-féle, lineáris szorpcióis izoterma feltételezésével), ahol a szennyezőanyag adszorpciójának mértékét, azaz a Henry - izoterma meredekségét a K_d megoszlási együtthatóval (m³/mg) adhatjuk meg. Az értékek meghatározásánál a K_{ow} oktanol-víz megoszlási együttható és a szerves széntartalom (f_{oc}) alapján számítottuk a K_d értékét:

$$K_d = K_{ow} \cdot f_{oc},$$

illetve ebből számoltuk az R késleltetésre jellemző számot is a porozitás és a jellemző száraz állapotú halomsűrűség felhasználásával:

$$R = 1 + \frac{K_d \rho_b}{n_0}$$

A K_{ow} oktanol-víz megoszlási együtthatót a K_{oc} oktanol-szén megoszlási együttható alapján négy módszerrel számítottuk, melyek közül az esetleges outliert kihagyva átlagot számoltunk. A négy módszer a következő képleteket alkalmazza:

$$\log K_{oc} = 0,81 \cdot \log K_{ow} + 0,1 \text{ (EU, 1996)}$$

$$\log K_{oc} = 0,72 \cdot \log K_{ow} + 0,49 \text{ (Schwarzenback - Westall, 1981)}$$

$$\log K_{oc} = 0,411 \cdot \log K_{ow} \text{ (Karickhoff, 1981)}$$

$$\log K_{oc} = 1,01 \cdot \log K_{ow} - 0,72 \text{ (IOWA, Alvarez, 2000)}$$

A számításokhoz szükséges alapadatok a Royal Academy of Chemistry Chemspider adatbázisából származnak, az US Environmental Protection Agency EpiSuiteTM motorjával becsült/meghatározott értékek alapján.

A lineáris adszorpció mértékét a reális tartományban inkább a kisebb megkötődés felőli részen tételeztük fel, ezzel biztosítva a migráció során a konzervatív megközelítést. Ennek a megoldásnak a hátránya, hogy a csóva elmozdulása mindenképpen a valóságoshoz képest kissé túlbecsült lehet.

A megkötődési és bomlási jellemzőket a szennyező-komponensekre az **5.5-4. táblázat** mutatja be. A felezési időket a szakirodalomban található adatok alapján becsültük meg.

5.5-4. táblázat: A szennyezőanyagok megoszlási együtthatói és bomlási paraméterei

Komponens	K_d [cm ³ /g]	λ_1 [-]	λ_2 [-]	Korrektció (biodegradáció gátlása miatt)	Modell
Tetraklór- etilén	8,5	0,000844 +korr	-	igen	RT3D
Triklór- etilén	9,1	0,000704	0,000704 +korr	igen	
Diklór- etilének	3,2	0,00117	0,00117 +korr	igen	
Vinilklorid	0,8	0,0031	0,0031 +korr	igen	
Szén- tetraklorid	15,0	0,0001	0,0003	nem	MT3DMS
Kloroform	2,5	0,0001	0,00025	nem	
Molibdén	1,0	0,000035	0,000055	nem	

λ_1 – bomlási állandó RT3D: anaerob állapot, MT3DMS: adszorptívum esetében

λ_2 – bomlási állandó RT3D: aerob állapot, MT3DMS: pórusfolyadékban

+korr: A komponens esetében a szén-tetraklorid koncentrációk függvényében korrekciót alkalmaztunk

(5.5-5. táblázat)

K_d : megoszlási együttható

Ahogy az korábban is említettük, mind a szén-tetraklorid, mind a kloroform erős biocid hatása ismert, ilyen módon a két vegyület jelenléte a biológiai lebomlást érdemben lassítja. Mivel a két vegyület a bomlási sor következtében hasonló térbeli eloszlású, ezért a szén-tetraklorid koncentrációk eloszlásának mintázata alapján vettük fel a bomlási állandókat (5.5-10. ábra és 5.5-5. táblázat).

5.5-5. táblázat: A bomlási állandók korrekciója a szén-tetraklorid koncentrációk alapján

Minimális	Maximális	Bomlási állandó csökkentés [-]	Felezési idő növelés [-]
Szén-tetraklorid koncentráció [µg/l]			
2	100	0,5	2x
100	300	0,2	5x
300	500	0,1	10x
500		0,05	20x

Az RT3D transzportmodell kalibrációja során analóg földtani és szennyezettségű területeken meghatározott, kalibrált szennyeződésterjedési jellemzőkkel kezdtük el a számításokat, majd ezeket a 15 éves transzportfolyamatok tapasztalatai alapján trial-and-error módszerrel közelítettük. Bomlási sorok esetén komponensenként a „szülő” komponensek felől az „utód” komponensek irányába végeztük komponensenként a kalibrációt. Ennek az előnye a jobb kalibrálhatóság a fokozatosság miatt, hátránya pedig – a szükséges futtatások számának emelkedése miatt megnövekedett időigény.

5.5.4. A számítások eredményei

A számítások során először meghatároztuk a permanens szivárgási potenciálteret (5.5-11. ábra), amiben a transzportfolyamatok jellemzően lezajlanak. Ez a számított állapot egy jellemző, reprezentatív állapot, ugyanakkor mind a szén-tetraklorid, mind a kloroform csóva alakjából látható, hogy a Főti úttól északra eső területrészekben pontosan nem ismert helyen vagy helyeken időszakosan, jelentős hozammal valamilyen felszín alatti vízkivétel üzemel vagy üzemelt.

Az említett csóvák hosszan elnyúló alakjára a képződmények geometriája, változékonysága, a vízföldtani tulajdonságok vagy a szennyező komponensek terjedési jellemzői alapján nem lehet magyarázatot adni, annak oka csak valamilyen külső hidraulikai hatás, egy ideiglenesen kialakuló, a szennyezett területtől ÉNy-i irányban található depresszió lehet. Ennek hatására az adott nyelő üzemelése idején felgyorsul a hatásterületre jutott szennyezőanyag mozgása és az aktív objektumhoz közeledve a szivárgási sebesség exponenciálisan gyorsuló mozgása hatására egy szintén exponenciálisan csökkenő szélességű csóva alakul ki. Ezen csóva azután a nyelő megszűnését vagy időszakos inaktiválódását követően a gócterületi csóva mozgásához hasonló módon – azaz a kitüntetett irány helyett a térségi talajvízáramlási iránynak megfelelően, illetve a jellemző átlagos szivárgási sebességre jellemző oldalirányú szóródással terjed tovább.

A transzportmodellel a bemutatott hidrodinamikai viszonyok mellett számítottuk a koncentrációkat 5, 10 és 20 éves időtávlatra. A számítások során semmilyen antropogén beavatkozás hatását, aktív kármentesítést nem vettünk figyelembe. A koncentráció-eloszlásokat a tetraklór-etilén – triklór-etilén – diklór-etilén – vinilklorid bomlási sorra az **5.5-12 – 5.5-15. ábrák**, a szén-tetrakloridra az **5.5-16. ábra**, a kloroformra az **5.5-17. ábra**, a molibdénre pedig az **5.5-18. ábra** mutatja be.

A tetraklór-etilén szennyeződés – beavatkozás nélkül - várhatóan a térségben a következő 20 évben a területen megmarad. Az **5.5-12. ábra** alapján látható, hogy maga a csóva az alacsony szivárgási sebességek miatt és az utánpótlódás vélhetően kis mértékének köszönhetően gyakorlatilag helyben marad, miközben a koncentrációk lassan csökkennek. A koncentrációcsökkenés ugyanakkor nem akkora mértékű, hogy a komponens által elszennyezett terület nagysága érdemben lecsökkenjen. Mivel a komponens felezési ideje 5-6 év így a koncentrációk a 20 éves periódus alatt legjobb esetben is gyakorlatilag tizedére csökkenhetnek, ami azt jelenti, hogy azon területek, ahol a koncentrációk most 100 µg/l felettiek, azok elvileg sem tisztulhatnak meg a biodegradáció miatt. Ráadásul a komponens magas szorpciós képessége miatt a felületen megkötött hányadból várhatóan még évtizedes időtávlatban lehet a komponensnek utánpótlódása. A helyzetet rontja a lassan bomló szén-tetraklorid és kloroform szennyezés jelenléte, ami a bomlási folyamatokat akadályozza annak ellenére, hogy két eltérő eredetű csóváról beszélünk. Ilyen módon a tetraklór-etilén tekintetében a következő 20 évben lassú javulás várható a szennyezett talajvíztest érdemi elmozdulása nélkül és a terület kismértékű csökkenése mellett.

A triklór-etilén komponens (5.5-13. ábra) a perklór-etilén bomlástermékének tekintjük, ilyen módon azokon a területeken, ahol jelenleg nagy a tetraklór-etilén koncentráció, ott a triklór-etilén-koncentrációk kismértékű emelkedésével, a jelenlegi gócban pedig annak csökkenésével számolunk. Összességében a koncentrációk a gócban várhatóan 10 éves távlatban jelentősen csökkennek, miközben egyes kisebb területrészekben, ahol magasabb a tetraklór-etilén koncentráció, ott a komponens (B) szennyezettségi határérték közeli koncentrációkban megjelenhet, esetleg kis mértékben azt meg is haladhatja a következő két évtizedben. A triklór-etilén alvízi irányú elmozdulásától várhatóan nem kell tartani.

A diklór-etilén vizsgálatára azért került sor, mert a komponens a bomlási sor része és annak viselkedése a vinil-klorid transzportját meghatározza. A komponens jelenleg nincs (B) szennyezettségi határérték feletti koncentrációban a talajvízben, bár jelenléte számos mintából kimutatható volt. Úgy látszik, hogy a térségben a diklór-etilén bomlási intenzitása kis mértékben meghaladja a triklór-etilénét, ilyen módon magasabb koncentrációk nem alakulhatnak ki a komponens esetében (5.5-14. ábra). A számítások szerint a koncentrációk az elkövetkezendő időszakban sem fogják várhatóan meghaladni a (B) szennyezettségi határértéket. A térképeken a 2 µg/l feletti koncentrációjú területeket ábrázoltuk, azaz a határérték alatti térségeket, hogy ezt a megállapítást alátámasszuk.

A vinil-klorid esetében a koncentrációkat részben a bomlási sebesség, részben szennyezőanyag szóródása miatti hígulás, és az alvíz felé történő elmozdulás határozzák meg (5.5-15. ábra). Összességében a határértéket csak kis mértékben meghaladó koncentrációk jellemzőek. A számítások azt mutatták, hogy a jelenleg szennyezettnek talált helyen a szennyeződés

megszűnik és várhatóan más helyeken jelenhet meg a vinil-klorid szennyeződés. A koncentrációk ugyan határértéket meghaladóak lehetnek, de azt csak néhányszorosan léphetik túl. A koncentrációk emelkedése ideiglenesnek látszik, ami a szülőkomponensek bomlásából fakadó utánpótlódás mérséklődésével előbb stagnáló majd retrográd csóvát fog kialakítani. Összességben a vinil-klorid – mint a bomlási sor legmobilisabb tagja – képes a telephelytől a legtávolabbra eljutni, azonban a jelenlegi viszonyok mellett szennyezettségi határérték feletti koncentrációban 20 év alatt sem lép ki a jelenleg is (B) határérték felett szennyezett területről. Erre a komponensre jelentheti a legnagyobb veszélyt bármilyen környező intenzív vízkivétel, ami a mobilis komponens fokozott északi irányú elmozdulását okozhatja.

A szén-tetraklorid csóva (5.5-16. ábra) várhatóan a jövőben helyben marad és lassan és fokozatosan egyre csökkenő csúcskoncentrációkkal egy retrográd csóvát képez. A számítások során feltételeztük, hogy a szennyeződésnek nincs aktív forrása, ami abból a szempontból is fontos, hogy csak ebben az esetben csökken a szén-tetraklorid szennyeződés, ami segíthet a térségi mikroorganizmusoknak a klórozott alifás szénhidrogének gyorsuló lebontásában. A szén-tetraklorid csóva várhatóan idővel különálló darabokra hullik szét, melyek külön-külön retrográd csóvaként lassan felszámolódnak.

A kloroform-csóva (5.5-17. ábra) képződési módjánál fogva hasonló módon viselkedik a szén-tetrakloridhoz, a gócban a koncentrációk csökkenése prognosztizálható és a csóva lassú megszűnése.

A molibdén esetében (5.5-18. ábra) a csóva kevésbé jó megkötődő képessége miatt a koncentrációk csökkenése mellett a csóva alvízi irányú kismértékű elmozdulásával számolunk. A koncentrációk fokozatosan csökkennek majd várhatóan. A molibdén csóva az alvízi irányú elmozdulás ellenére sem jelent veszélyt a Szilas-patakra.

5.6. A veszélyeztetett terület térbeli lehatárolása az előrejelzés alapján

A szennyezés terjedésének előrejelzésére végzett modellszámítások eredményei szerint, a szén-tetraklorid és kloroform szennyezés a jövőben várhatóan helyben marad és lassan megszűnik. Tetraklór-etilén tekintetében a következő 20 évben lassú javulás várható a szennyezett talajvíztest érdemi elmozdulása nélkül és a terület kismértékű csökkenése mellett. A triklór-etilén alvízi irányú elmozdulásától várhatóan nem kell tartani, a számítások szerint a diklór-etilén koncentrációk az elkövetkezendő időszakban sem fogják várhatóan meghaladni a (B) szennyezettségi határértéket. A vinil-klorid képes a telephelytől a legtávolabbra eljutni, azonban a jelenlegi viszonyok mellett szennyezettségi határérték feletti koncentrációban 20 év alatt sem lép ki a jelenleg is (B) határérték felett szennyezett területről.

A molibdén esetében a koncentrációk csökkenése mellett a szennyezett víztömeg kismértékű elmozdulásával lehet számolni. A szennyezés a gyár területétől északi irányba fog elmozdulni, és jelentős részben áttevődik a sportpályák és a Tarzan-park területére.

5.7. A szennyezés, illetve szennyezettség környezetre gyakorolt hatása

A szennyezés kockázatának reális módon történő értékeléséhez az azonosított szennyezőanyagok tulajdonságait, élettani és környezeti hatásait kell ismerni.

Klorid

A klorid-ion a természetben széles körben megtalálható, elsősorban nátrium-, kálium- és kalcium- sóként fordul elő. Ezek vízben jól oldódó sók, oldhatóságuk következtében a felszíni- és talajvizek áramlás közben magukkal szállítják, ezért a tengerekben és óceánokban halmozódnak fel. A tiszta felszín közeli talajvizekben a kloridok mennyisége általában 100 mg/l alatt mérhető. Szennyezett vizekben a klorid koncentráció a több 100 mg/l-t is elérheti. Mélységi rétegvizekben néhány mg/l-től több 1000 mg/l-ig fordulhat elő természetes sók oldódásának eredményeként.

A nátrium-klorid fontos vegyipari nyersanyag, az élelmiszeripari használata (konyhasó) mellett legismertebb a síkosságmentesítésben való felhasználása – kalcium és magnézium kloriddal együtt. Kálium-kloridot legnagyobb mennyiségben a műtrágyagyártás használ.

A klorid az élő szervezetek számára esszenciális elem. Az emberi szervezet klorid tartalma kb. 0,15% (1,1 g/kg), melynek nagyrésze a sejten kívüli állományban található. Rendkívül mobilis anion, ami könnyen átjut a sejtmembránon, fontos szerepe van a megfelelő ozmózis nyomás-, a vízháztartás-, és a sav-bázis egyensúly fenntartásában.

A táplálékkal felvett klorid mennyisége sómentes diéta esetén kb. 100 mg/nap, a főzés során és étkezéskor hozzáadott konyhasóval ez átlagosan 6 g/nap-ra növekszik, ami esetenként elérheti a 12 g/nap-ot is. Az ivóvízzel bevitt klorid a napi bevitel 0,3-1,6%-a. A táplálék és ivóvíz klorid tartalma a béltraktusból gyakorlatilag teljes mértékben felszívódik. A szervezetben található klorid mennyiségét elsődlegesen a veséken keresztül történő kiválasztás szabályozza. A vizsgálatok szerint a naponta felvett klorid nagy része kiürül, legnagyobb része (90-95%) vizelettel távozik, kisebb hányada (4-8%) a széklettel és izzadsággal (2%).

A klorid-ion emberi szervezetre gyakorolt mérgező hatását a nátrium-klorid anyagcsere zavarainak speciális esetét kivéve nem vizsgálták. Egészséges személyek nagy mennyiségű klorid bevitelét képesek tolerálni, feltéve, hogy ez kellő mennyiségű ivóvíz fogyasztással párosul. A hosszú ideig tartó, nagy mennyiségű klorid felvétel egészségre gyakorolt hatásairól kevés ismeret áll rendelkezésre. Állatkísérletek eredményei szerint a nátrium-klorid fogyasztáshoz köthető magas vérnyomás inkább a nátrium bevitellel hozható összefüggésbe.

Ivóvízben a magas klorid koncentráció ízrontó hatású, mértéke a kloridhoz kapcsolódó kationtól függ. Nátrium- és kalcium-klorid esetében ez a küszöbérték 200-300 mg/l. A magas klorid koncentráció növeli a víz elektromos vezetőképességét és így növeli a víz korrozivitását is. Fémes szerkezeti anyagokkal érintkezve a klorid-ion vízzoldható sókat képez, ezáltal megnöveli a fémek koncentrációja a vízben. A magas klorid koncentráció meggyorsítja a korróziós folyamatokat.

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) az ivóvíz klorid tartalmára vonatkozóan nem tett ajánlást egészségügyi alapú határértékre. Bár a 250 mg/l feletti klorid tartalom érzékelhető

ízromlást okozhat, de a tartósan magas klorid koncentrációjú vizet fogyasztók szervezete ehhez hozzászokik. Az ivóvízben megengedett 250 mg/l-es klorid határérték technikai jellegű.

A jelen feltárás során a klorid-ion maximális koncentrációja a talajvízben 419 mg/l volt.

Szulfát

A szulfát természetes körülmények között számos ásvány alkotóeleme, melyek oldott állapotban hozzájárulnak a vizek keménységének emeléséhez. Az élő szervezet számára fontos ásványi anyag, a szervezet felépítő és metabolikus folyamataiban fontos szerepet játszik. Az élő szervezetbe való bekerülése szempontjából az ivóvíz és az ételek szulfáttartalma a meghatározó, belégzéssel az élő szervezetbe elhanyagolható mennyiségben képes csak bekerülni. Az átlagos napi bevitel kb. 500 mg, melyből az étellel bevitt szulfáttartalom teszi ki a legjelentősebb hányadot.

Leggyakoribb előfordulási formái közül a nátrium-, kálium és magnéziumszulfát mindegyike vízben jól oldódik, a kalcium-szulfát és a nehézfém szulfátok oldhatósága gyengébb. A fosszilis tüzelőanyagok elégetése során és kohászati tevékenységek következtében képződő légköri kéndioxid hozzájárulhat a felszíni vizek szulfáttartalmának a növeléséhez.

A szulfát egyike a legkevésbé toxikus anionoknak, azonban a szervezetbe került magas koncentráció esetén hashajtóhatást, dehidratációt és a béltraktus irritációját figyelték meg. Az ivóvíz magas szulfát tartalma jelentős ízromláshoz vezet, az alsó ízküszöb értéke kb. 250 mg/l. Mindezek mellett a magas szulfáttartalmú víz erős korróziós hatással jellemezhető.

A 600 mg/l szulfátkoncentrációt meghaladó ivóvíz fogyasztása esetén hashajtóhatás jelentkezett, azonban kísérletek során azt is megfigyelték, hogy huzamosabb ideig történő fogyasztás esetén az emberi szervezet alkalmazkodott a bevitt szulfát koncentrációhoz. A gyermekek és az idősök szervezete érzékenyebben reagál, hashajtóhatás mellett itt fokozottabb dehidratációs tünetek is felléphetnek.

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) az ivóvíz szulfát tartalmára vonatkozóan nem határozott meg egészségügyi alapú határértéket, mindössze arra hívja fel a figyelmet, hogy 500 mg/l feletti szulfát tartalom esetén a kellemetlen ízhatás miatt a panaszok számának növekedése valószínűsíthető.

A szennyezett talajvízben a mért legmagasabb szulfát-koncentráció 480 mg/l.

Nitrát és nitrit

A nitrát és a nitrit a talajban, a vizekben és az élelmiszerekben is természetes körülmények között megtalálható ion. A természetben lejároló nitrogén ciklusban baktériumok alakítják át a nitrogént nitrát-ionná, mely nitrogénformát már képesek a növények felvenni és szöveikbe beépíteni. A növényeket fogyasztó szervezetek a növényi szövetekbe beépített nitrátot fehérjék felépítéséhez használják fel. Az állati és emberi szervezet emésztőrendszerében, illetve a környezetben található mikroorganizmusok képesek a nitrátot nitritté, majd ezt követően nitrogénné alakítani, mely elem a nitrogén ciklus kiindulópontja. Normális körülmények között a fent vázolt körfolyamat nem ad lehetőséget arra, hogy a környezetben nagyobb mennyiségben

halmozódjon fel nitrát- illetve nitrit-ion, azonban emberi tevékenység hatására (nitrogén tartalmú műtrágyák alkalmazása, állattartás, hulladéklerakás) felléphet a környezeti elemekben koncentrációemelkedés.

A nitrát- (és többnyire a nitrit) vegyületek vízben nagyon jól oldódnak, ezáltal igen mobilisnak tekinthetők, könnyen lejutnak a felszín alatti vízkészletekbe.

A nitrát és nitrit az emberi táplálék természetes alkotóeleme, az élelmiszerekkel szervezetbe kerülő nitrát napi mennyisége 43-131 mg, nitrit esetében ez az érték 1,2-3 mg. A nyálban található baktériumok a táplálék nitráttartalmának kb. 5%-át nitritté alakítják át, majd ez az átalakulás az emésztőrendszer további részeiben is megfigyelhető. A gyomorban uralkodó magasabb pH viszonyok, mely főként gyermekeknél jellemző – pH értéke nagyobb, mint 5 – jelentősen elősegítik a nitrát nitritté alakulását.

A fentiekből következik, hogy a nitrát gyakorlatilag nem toxikus vegyület, azonban a szervezetben nitritté alakulva a vér hemoglobinjával képes reakcióba lépni és a vas oxidálásával methemoglobint képez. A methemoglobin nem képes oxigén megkötésére, ennek következtében a tüdőből a véráramon keresztül sokkal kevesebb oxigén jut a szövetekbe. Egészséges szervezet általában kevés methemoglobint (0,5-2%) tartalmaz. Ha ez az érték 10% fölé emelkedik a bőr és az ajkak kékes elszíneződése figyelhető meg, 25% feletti érték gyengeséget és gyors szívverést okoz, 50-60% körüli érték eszméletvesztést, kómás állapotot illetve halált idézhet elő. Különösen érzékenyek erre a betegsége a 3 hónapnál fiatalabb csecsemők.

Nitrátra vonatkozóan az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (European Food Safety Authority) és az Egészségügyi Világszervezet (WHO) szakbizottságai által elfogadott napi bevitel értéke 3,7 mg nitrát/testtömeg kg/nap, míg nitritre ugyanez az érték 0,07 mg nitrát/testtömeg kg/nap.

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által ivóvízre ajánlott 50 mg/l nitrát határérték a kellően dokumentált methemoglobinémiás megbetegedések tapasztalatain alapszik, és megfelelő védelmet nyújt a kizárólag mesterségesen táplált csecsemők számára is, ennél fogva a népesség kevésbé érzékeny csoportjai számára is.

A nitritre meghatározott 3 mg/l-es határérték olyan humán vizsgálati eredményeken alapszik, amelyek szerint a csecsemőknél methemoglobinémiát okozó nitrit mennyiség 0,4-től több mint 200 mg/ testtömeg kg/nap értékig terjedt. A legalacsonyabb 0,4 mg/ testtömeg kg/nap értéket, 5 kg-os csecsemőt és 0,75 l/nap vízfogyasztást alapul véve adódik a 3 mg/l megengedhető nitrit koncentráció.

Mivel nitrát és nitrit egyidejűleg is előfordulhat az ivóvízben, a két ion határértékekre vonatkoztatott arányának összege nem lehet nagyobb egynél. A nitrit a jelen feltárás során nem jelentkező határérték felett, a nitrát legmagasabb mért koncentrációja 137 mg/l volt.

Nátrium

A nátrium a hatodik leggyakoribb elem a Földön, és széles körben elterjedt a talajban, a növényekben, a vízben és élelmiszerekben. Erősen reakcióképes, ezért a természetben elemi

állapotban nem fordul elő, hanem különböző sók formájában anionokhoz kötődve (klorid, karbonát, szilikát). A nátriumsók nem illékonyak, ezért levegőben csak a szálló porban, annak részeként fordulnak elő. Vízben általában jól oldódnak, ezért a felszínről és a talajból könnyen bemosódnak a felszíni- és felszín alatti vízbe. A felszíni és felszín alatti vizek többségében a nátrium koncentrációja nem éri el a 20 mg/l-t, de szikes vizekben és egyes ásványvizekben ezt jóval meghaladó koncentrációban található meg.

A felnőtt emberi szervezet kb. 80-100 g nátriumot tartalmaz, melynek nagyrésze oldott állapotban a testnedvekben, minimális mennyisége a sejteken belül, a többi a csontokban és a kötőszövetekben (kötött formában) található. A nátrium a káliummal együtt részt vesz a sav-bázis egyensúly és a vízháztartás szabályozásában, biztosítja az idegek és az izmok megfelelő működését, nélkülözhetetlen az idegrendszeri ingerületek átvitelénél, szerepe van a szénhidrát- és fehérje anyagcserében.

A sejten kívüli folyadékban található nátriumszint elsősorban a veseműködés által szabályozott szűk határok között mozog. A szervezeten belüli nátrium egyensúlyt egymással kölcsönhatásban működő, az ideg- és hormonrendszert is magába foglaló komplex rendszer szabályozza. A nátrium eltávolítása a szervezetből alapvetően a vizelettel történik – a beviteltől függő mértékben.

Az emberi szervezetbe jutó nátrium elsődleges forrása a táplálék, ezen belül is a konyhasó (nátrium-klorid). A nyugat-európai és észak-amerikai étkezési szokások alapján becsült átlagos napi bevitel 4 g/nap nátrium (10 g/nap nátrium-klorid). Az ivóvízzel felvett nátrium becsült mennyisége 40 mg/nap. Az ivóvíz nátrium tartalma általában kisebb, mint 20 mg/l, de ettől lehetnek eltérések. Általánosan elfogadott, hogy a nátrium az emberi szervezet számára nélkülözhetetlen, a minimális napi mennyiséget illetően azonban nincsen egyetértés. Becslések szerint a felnőtt szervezet számára szükséges napi mennyiség kb. 500 mg, míg a gyerekek és fiatalok számára 120-400 mg nátrium szükséges naponta.

A szerves nátrium-sók általában nem mérgezőek, ami a felnőtt szervezet (vese) hatékony nátrium kiválasztásának köszönhető. Ugyanakkor véletlen túladagolások következtében fellépő akut hatásokat (hányinger, hányás, görcsök, izomrángás, agyi- és tüdőödéma) és haláleseteket is feljegyeztek. Állatkísérletekben a mérgező hatás 1-3 g/testtömeg kg nátrium-klorid beviteli értékeknél jelentkezett.

A nátrium hosszútávú túladagolásakor magas vérnyomás és keringési megbetegedések léphetnek fel. Magasabb dózisú túladagolás esetén görcsök, központi idegrendszeri zavarok, tüdőödéma lehetséges, ilyen esetek 3000 mg/l nátriumot tartalmazó forrásvíz tartós fogyasztása során fordultak elő. A nátrium rákkeltő hatása nem ismert.

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) által kiadott, az ivóvíz minőségére vonatkozó útmutatót megalapozó dokumentum szerint, a rendelkezésre álló eredmények alapján nem lehet határozott és egyértelmű összefüggést megállapítani az ivóvízben lévő nátrium és a magas vérnyomás előfordulása között. Ezért az Egészségügyi Világszervezet (WHO) nem tett egészségügyi alapú ajánlást az ivóvíz nátrium tartalmára.

A nátriumra vonatkozó (B) szennyezettségi határérték 200 mg/l, ami megegyezik az ivóvíz minőségi követelményeiről szóló 201/2001 (X.25.) Korm. rendeletben szereplő határértékkel.

Ez a határérték – összhangban a WHO megalapozó dokumentummal – a nátrium ízrontó hatása alapján került meghatározásra.

A vizsgált területen a talajvízben a legmagasabb nátrium-koncentráció 205 mg/l volt, mely éppen meghaladja az előírt (B) szennyezettségi határértéket.

Bór

Elemi állapotban a bór nem található meg a természetben, leggyakrabban a bórsav anionjaként, borát-ion formájában fordul elő. A bórsav és a borátok legnagyobb felhasználója az üveg-, kozmetikai-, nukleáris és háztartásvegyipar. A bórsavat és sóit antiszeptikus hatása miatt használják kozmetikumokban, pH pufferként gyógyszerekben, neutron befogó képessége miatt sugárterápiában, növényvédő szerekben és adalékként műtrágyákban.

Természetes vizekben a bór disszociálatlan bórsav és/vagy borát anionként van jelen. A tengervízben jelentős mennyiségű oldott bór található, átlagos koncentrációja 4,5 mg/kg. A felszín alatti vizekbe természetes módon a bór-, illetve boroszilikát tartalmú ásványok mállása útján kerül.

Az 1920-as években nyert bizonyítást, hogy a bór egyike a növények megfelelő növekedéséhez szükséges eszenciális elemeknek. Ugyanakkor az is ismert, hogy nagyon csekély a különbség a növényekben hiányt és mérgezést okozó bór mennyisége között.

Az emberi bőrexpozíció leggyakoribb formája a gyümölcsökön, zöldségeken és vízen keresztül történő bór felvétel. Az átlagos napi bór bevitel 1,2 mg/nap körüli érték. Számos tanulmány igazolta, hogy a bórsav és a borátok az emésztőrendszeren és a légutakon keresztül is felszívódnak, amit a vérben, szövetekben és a vizeletben mérhető bór mennyiségének növekedése jelez. A magasabb bór expozíciók bőrirritációhoz, máj és vese problémákhoz vezethetnek. A becslések szerint azonban a klinikai tünetek megjelenéséhez napi 5 gr-ot meghaladó expozíció szükséges. Az emberekkel végzett kísérletek során nyert eredmények azt mutatták, hogy a bór dinamikus nyomelem, amely az életfolyamatokban résztvevő számos anyag metabolizmusát és hasznosítását képes befolyásolni, olyanokét, mint a kalcium, réz, magnézium, nitrogén, glükóz, trigliceridek, reaktív oxigén és ösztrogén. A bór biológiai akkumulációja és rákkeltő hatása nem bizonyított.

A toxikológia vizsgálatok alapján meghatározott megengedhető napi bór bevitel (TDI) értéke 0,16 mg/testtömeg kg. Ez alapján a WHO irányelvek szerint az ivóvízben megengedett bór koncentráció 0,5 mg/l.

A bór 1070 µl maximális koncentrációban volt kimutatható a vizsgált területen a talajvízben.

A talajvízben (B) szennyezettségi határértéket meghaladó általános vízkémiai paraméterek, valamint a nátrium és bór esetében az elhanyagolható humán egészségügyi kockázat miatt a fentiekben bemutatott komponenseket a kockázatelemzési modellszámítások során nem vizsgáltuk.

Arzén

Az arzén ismereteink szerint nem tartozik az esszenciális elemek közé, erős mérge, emberen a becsült halálos dózisa 100-300 mg. Nagy dózisban erős gyomortáji fájdalom jelentkezik, hányással és hasmenéssel, ami nagyfokú folyadékvesztéssel jár. Kisebb koncentrációk hosszan, évtizedeken át tartó bevitele esetén csak sok év után okoz észrevehető tüneteket. Ezek elsősorban bőrtünetek, mint pl. fokozott elszarusodás, hiperpigmentáció vagy éppen ellenkezőleg, a bőr pigmentációjának csökkenése. Ezeknél az is nehézséget jelent, hogy előfordulásuk nemcsak arzénhez köthető, és a növekvő életkorral egyébként is előfordulhatnak.

Az arzén az esetek túlnyomó többségében geológiai eredetű, a talaj mélyebb víztartó rétegeiben fordul elő és onnan kerül az ivóvízbe. Magyarországon (a Kárpát-medencében) van a világ harmadik legnagyobb kiterjedésű természetes jellegű arzén előfordulása (Nevada – USA – és Bangladesh után). Természetesen emberi tevékenység is szennyezheti a környezetet (bányászat: meddőhányók; fémolvasztás; ipari salakok lerakása; szén, olaj, hulladékok égetése).

Az egészségre általában sokkal veszélyesebb szerves arzén, egyes üledékes kőzetekben és vulkanikus tevékenységek körzetében fordul elő a természetben a legnagyobb mennyiségben, és az itt uralkodó redukáló körülmények elősegítik a vízben történő oldódását. Az állati szervezetekben és a növényekben a szerves arzén vegyületek dominálnak, de a szerves:szervetlen részarány változó.

A szervetlen arzén legnagyobb arányban az ivóvízben (100%), majd a hús- és a gabonaféleségekben (65-75%) van jelen, kisebb az aránya a zöldségekben és gyümölcsökben (15- 25%) és még kisebb a tengeri eredetű élelmiszerekben (1-2%). Korábban sokféle mérgező szerves arzénvegyületet használtak a növényvédelemben, de ezek nagy részét már betiltották.

Az ivóvízre vonatkozó határérték 10 µg/liter. Az arzén bejutásának legáltalánosabb módja a szájon át a táplálékkal és az ivóvízzel történő bejutás. Belégzéssel is jut – az előzőekben említetthez képest elhanyagolható – mennyiség a szervezetünkbe, elsősorban arzénal szennyező ipari tevékenységek (fémfeldolgozás /kivéve a vaskohászatot/, kőolaj- feldolgozás, üvegipar) közelében. A FAO és a WHO közös szakértő bizottsága (JEFCA) az arzén legmagasabb megengedhető napi bevitelére (PMTDI) 1988-ban 0,002 mg/kg testsúly/nap (azaz 2 µg/kg/nap) értéket állapított meg. Ehhez a mennyiséghez pl. egy 70 kg testsúlyú ember és 10 µg/liter arzéntartalom esetén napi 2 liter ivóvíz elfogyasztása kb. 14%-ban járul hozzá. Az élethosszig szájon át történő bevitel USA Környezetvédelmi Ügynöksége (USEPA) által meghatározott referencia-dózisa (RfD) 0,0003 mg/kg testsúly/nap.

Kadmium

Szemcsés, halványszürke színű, puha, nyújtható nehézfém. Elsősorban kéntartalmú ércekben, cinkkel és ólommal együtt lelhető fel, fém formájában csupán néhány lelőhelye ismert. A környezetbe jutó kadmiumnak a természetes forrásokon túl a fosszilis tüzelőanyagok égetése, a foszfát műtrágyák, a vas, acél és egyéb fémek gyártása, a kommunális hulladékok égetése és

a cementgyártás a forrása. A legveszélyesebb expozíció, ha a kadmiumot tartalmazó fém hegesztése vagy olvasztása során keletkező füstöt vagy port belélegezzük. A dohányzás növeli a kadmiumkitettséget. A kadmiumot és legtöbb vegyületét minden nemzetközi szervezet rákkeltő anyagként sorolja be. Mérgező hatással van a vesére, a májra, a csontokra és a herékre, és megzavarja a hormonális és az immunrendszer, valamint a szív- és érrendszer működését. A szervezetbe kerülve helyettesíti az esszenciális cinket, ám toxikus hatása miatt a cink helyébe beépülve súlyos károsodásokat okoz. A kadmium emellett felhalmozódik az emberi és állati szervezetben, így krónikusan toxikussá válik.

Az ivóvíz kadmiumszennyezettsége leggyakrabban a nem vegytiszta cinkkel galvanizált csővezetékekből, ill. a kadmiumtartalmú forrasztásokból, vízmelegítőkből, vízhűtőkből és csapokból származhat, ám csupán az esetek 1%-ában ér el kimutatható (0,1-0,2 µg/l) koncentrációt.

A mezőgazdasági forrásokat tekintve a növényvédő szerek, a foszfáttartalmú műtrágyák, az istállótrágyák és a szennyvíziszapok jelentik a legnagyobb, jelentős területet érintő (diffúz) kadmiumszennyezést.

A kadmiumnak nincs esszenciális szerepe magasabb rendű élőlények működésében. A legtöbb növénynek igen nagy a kadmium toleranciája, ezért a kadmium – anélkül, hogy a növények láthatóan károsodnának – észrevétlenül bekerülhet a teljes táplálékláncba. Az emberi és állati szervezetben a kadmium egyaránt felhalmozódik.

Króm

A króm nehézfém, mely elemi formában szürke porként vagy ezüstös fémként lelhető fel. Legjelentősebb ásványi formái a kromit és a kroit. Előállításánál előbb a krómvaskőből króm-oxidot nyernek, majd abból úgynevezett aluminotermiás vagy egyéb redukációs eljárással készül a fém króm. Ha a krómot nem krómozásra használjuk, akkor az iparban inkább ötvözeteire van szükség, ezek kiindulási anyaga a ferrokróm (60% króm, krómvaskő redukációjával készül).

Vegyületeiben a króm oxidációs száma 0 és +6 között változhat. Számos formája megtalálható az élő szervezetekben, a talajban, a vizekben és a levegőben. Nagy különbség van a hat- és háromvegyértékű króm között. A Cr(VI) toxikus, humán daganatkeltő, a Cr(III) esszenciális, nélkülözhetetlen nyomelem.

Az átlagos lakosság körében a króm [elsősorban az esszenciális mikroelemnek számító Cr(III)] bevitel napi szintje úgy tevődik össze, hogy 0,2-0,4 µg a levegőből, 2 µg az ivóvízzel, 60 µg pedig az élelmiszerekkel jut be a szervezetbe. Hüvelyesek, csíráztatott magvak, csokoládé, élesztő, valamint több gyümölcs- és zöldségféle különösen sokat tartalmaz ebből a nyomelemből. Felszívódhat a tüdőn, a bőrön és a gyomor-bél rendszeren át, felszívódása azonban nagyban függ az adott vegyület tulajdonságaitól, ill. a szervezetbe kerülés útvonalától. Igazolt, hogy az anyatej közvetítésével a csecsemők is felvehetik.

Az egészségkárosító hatású Cr(VI) és vegyületei szennyezett étel, ital fogyasztásával, bőrön át, vagy belégzéssel kerülhetnek az átlagosnál nagyobb mennyiségben az emberi szervezetbe.

Krómot tartalmaz a dohányfüst, dohányfüstös zárt térben a mérhető krómkoncentráció a kültéri érték 10-400-szorosa lehet.

A krómvegyületek hatása az egészségre alapvetően függ a króm oxidációs állapotától, és kisebb mértékben az oldékonyságától. A Cr(III) kis mennyiségben esszenciális nyomelem, amely részt vesz a szervezet glükóz-, lipid- és fehérje-anyagcseréjében, csak nagyobb mennyiségben toxikus. A fém krómot és a króm(III) vegyületeket nem sorolták be a rákkeltő anyagok közé.

A króm felhalmozódhat a májban, a vesében, kimutatható a vizeletben és a vérben. A tetra-kromát és kromátsav nagyon erős oxidálószeres és ezért irritálják a nyálkahártya-szöveteket.

A súlyosan mérgező Cr(VI) a sejtekbe jutva károsítja a DNS-t. Az EPA álláspontja szerint a Cr(VI) emberben és állatokon egyaránt bizonyítottan rákkeltő hatású, belégzése 30–1100 µg/m³ koncentrációban 4-24 év expozíciós idő alatt tüdőrákot, lenyelve pedig gyomordaganatot idézhet elő. Rákot okozhatnak a hatvegyértékű krómvegyületek, mint a króm(VI)-oxid, a kromátok és a dikromátok is. A kálium-dikromát káros a szaporítórendszerre is, valamint magzatkárosító hatású lehet. Állatkísérletek kimutatták, hogy károsítja a hímivarsejtet és káros hatással van a hímek reprodukciójára, mely alomszám-csökkenéshez, növekedési problémákhoz vezet. Elsősorban foglalkozási expozícióban okoz helyi tüneteket a bőrön: heveny irritatív bőrgyulladást, fekélyesedést.

Valószínűleg a legjellegzetesebb következményes egészségkárosodás a bőr kromát-allergiája. Erősen allergizál a króm(VI), jóval kevésbé a króm(III). Elhúzódóan gyógyuló krómfekélyek jelenhetnek meg a bőrön, az ujjakon, az alkaron, amit króm(VI)-vegyületek okoznak. Krónikus expozíció az ornyálkahártyán okozhat károsodást, vérzést, kifelégyesedést és átfúródást.

A Cr(VI)-kibocsátás jellemző módon emberi (ipari, kohászati stb.) tevékenységből származik. Többféle festékben és bőrcserzéshez is használták, innen és az iparból is gyakran jutott ki króm a környezetbe, ill. jut ki ma is a gépjármű- és a repülőgépgyártó iparból. Emiatt több volt és a jelenlegi ipari területek környékén is erősen szennyezett krómmal a talaj és a talajvíz. A levegőbe kerülve a kiporzását követően nem sokáig marad fenn, leülepedik a talajra, vizekbe, ahonnan egy része aeroszol formájában távozik, jelentős hányada azonban oldhatatlan állapotban visszamarad. A vízben, mint vízoldható komplex, hosszú ideig fennmaradhat. A környezeti feltételektől függően (pH, redox-potenciál stb.) különböző oxidáltsági fokú termékei könnyen átalakulnak egymásba. A vízi szervezetek közül halak nem akkumulálják, de az osztriga és a kék kagyló igen.

Magyarországon – a WHO ajánlással egyezően – a 201/2001. (X. 25.) korm. rendeletben meghatározott határérték az ivóvízben az összes krómra vonatkozóan 50 µg/l. A WHO a levegőben megengedett Cr(VI)-koncentrációt 1 µg/m³-ben határozza meg. A 6/2009. (IV. 14) KvVM–EüM–FVM együttes rendeletben meghatározott szennyezettségi határérték földtani közegben az összes krómra 75 mg/kg, Cr(VI)-ra 1 mg/kg, míg felszín alatti vízre a vonatkozó szennyezettségi határérték az összes krómra 50, Cr(VI)-ra 10 µg/l.

Réz

A réz megtalálható a felszíni vízben, a talajvízben, tengervízben és az ivóvízben is. Az USA-ban egy tanulmány szerint (ATSDR, 2002) a felszíni vizekben 0,0005 mg/l és 1 mg/l közötti koncentrációban található meg, átlagos értéke 0,01 mg/l. A réz koncentrációja ivóvízben széles határok között változhat, befolyásolja pl. a víz PH értéke, keménysége. A réz nélkülözhetetlen tápanyag. Az ajánlott napi bevitel (RDA) felnőtteknek 900 mg/nap, 0-3 éves gyermekek esetében 340 mg/nap, 4-8 éves korban 440 µg/nap, 9-13 éves korban 890 mg/nap 14-18 éves kor között 700 mg/nap (IOM, 2001). Az IOM (2001) ajánlása szerint 10 mg/nap mennyiség a tolerálható maximális beviteli szint felnőttek esetében.

Számos tanulmány vizsgálta a réz rákkeltő hatását, különböző rézvegyületekkel laboratóriumi állatokon (US NRC, 2000). A rendelkezésre álló adatok korlátozottak, nem ad javaslatot, hogy a réz vagy sói rákkeltők. Az US EPA (1991) D-csoportba sorolja, nem osztályozható emberi rákkeltő hatása. Az akut halálos dózis felnőtteknél a testsúly adatok alapján véletlen lenyelés esetében 4-400 mg réz (II) ion kilogrammonkénti (Chuttani et al. 1965; Jantsch et al., 1984-1985; Agarwal et al., 1993). Nagy adag réz elfogyasztása emésztőrendszeri vérzést, akut veseelégtelenséget és oliguriát okozhat (Agarwal et al., 1993). Réz ionok alacsonyabb dózisban történő elfogyasztása ételmérgezés (fejfájás, hányinger, hányás, hasmenés) jellemző tüneteit okozhatja.

Esettanulmányok szerint rézzel szennyezett víz elfogyasztását követően 15-60 perces expozíciót követően hányinger és hányás, gyakrabban hasmenés tünetei jelentkeztek (Wyllie, 1957; Spitalny et al., 1984; US EPA, 1987; Knobeloch et al. 1994; Low és mtsai., 1996; Stenhammar, 1999). A legalacsonyabb koncentrációban kb. 4 mg/liter vagy nagyobb mennyiségben rezet tartalmazó ital elfogyasztását követően jelentkeztek a rézhez kapcsolódó hatások. Egy pohár több mint 3 mg/l koncentrációban rezet tartalmazó víz egyszerre történő elfogyasztása nagyobb valószínűséggel vált ki hányingert, mint ugyanezen mennyiség egész nap időszakosan elosztva történő fogyasztásakor.

Higany

A higany természetes körülmények között megtalálható fém, mely tiszta formájában ezüstfehér, szagtalan folyadék halmazállapotú, melegítés hatására színtelen, szagtalan gázzá alakul át. A környezetbe elsősorban a mezőgazdasági csávázószeres, az elemek és akkumulátorok révén kerül a higany, majd ott bakteriális redukcióval fém higannyá alakulva és metileződve mobilizálódik a higanyszennyezés. Vizes környezetben oldható higany-vegyületek fordulnak elő, továbbá a pH-tól is függően különböző halogénkomplexek. A higanyionok nem stabilak, csak egyes reakciók köztitermékeként fordulnak elő.

A higany az élő szervezetben lassú kiürülésének köszönhetően felhalmozódik, mérgező tulajdonsága már régóta ismeretes. Mivel könnyen kapcsolódik tiol (-SH) csoportokhoz, ezért számos alapvető fontosságú biokémiai reakciót képes gátolni a kialakult vegyület. A higany a sejtek membránszerkezetére tapad, és csökkenti a sejtek ribonukleinsav tartalmát, így a sejtek a működésükhöz szükséges fehérjéket nem tudják előállítani. A higany gőzének huzamos belégzése az idegrendszert károsítja. Kezdeti tünetekként fáradékonyságot, fejfájást, ingerlékenységet és ideggyengeséget lehet tapasztalni, az idült higanymérgezés

szájgyulladással, fogromlással, makacs náthával jár együtt. A higany rontja a védekezőrendszer működését, csökkenti az immunválasz hatékonyságát. Krónikus higanymérgezés a kezek remegésével, a szövetek elhalásából következő emlékezetkihagyással, súlyos esetben halállal járhat.

A szerves higanyvegyületek mérgező hatása az anyag oldhatóságának emelkedésével nő. Ezek közül a vegyületek közül a legmérgezőbbek a HgCl_2 és a $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, mivel jó oldhatóságuk következtében a gyomorban nagyon gyorsan képesek felszívódni, görcsös gyomor- és bélfájdalmakat, ismétlődő hányást, súlyosabb esetekben halált okozva.

A szerves higanyvegyületek a szerves vegyületeknél mérgezőbbek. A higanytartalmú anyagok aerob és anaerob körülmények között egyaránt metileződhetnek, és toxikus vegyületekké alakulhatnak. A metil-higany vegyületek lipofil tulajdonságúak, a vízi élőlényekben felszaporodhatnak, a dimetil-higany nagy gőznyomása következtében az atmoszférába kerül és ott elbomlik. A vegyület szerves csoportja megkönnyíti a szervezetbe bejutást, a higany az agy különböző területein halmozódik fel, ennek következtében kedvezőtlen hatást fejt ki a látásra, hallásra, az agy koordinációs központjára és emlékezetkieséseket is okozhat.

Molibdén

A molibdén elemi formában fémes fényű sötétszürke vagy fekete por, illetve ezüstös fém. A természetben tiszta fémként nem, főként oxidok és szulfidok formájában fordul elő. Legfontosabb természetes előfordulásai a molibdén tartalmú ásványok: molibdenit, powellit, wulfenit.

Molibdént számos iparág használ, magas olvadáspontja miatt széles körben használják speciális acélok előállítására, elektromos csatlakozókban, gyújtógyertyák, röntgen-csövek, híradástechnikai alkatrészek gyártásánál, ötvözetekben, pigmentekben, és a wolframgyártásban. A molibdén szulfid egyedülálló tulajdonságai miatt kenőanyagok adalékaként használatos. A mezőgazdaságban közvetlenül és a műtrágyák adalékanyagaként is használnak molibdént.

A molibdén esszenciális nyomelem mind az állati, mind az emberi szervezet számára. Az ajánlott napi beviteli értékek a csecsemők számára javasolt 0,015-0,04 mg/nap értéktől a 10 év felettiek számára ajánlott 0,025-0,15 mg/nap értékig terjednek. A tápláléknövények közül a hüvelyesek és a gabonafélék, a húsfélék közül a belsőségek jó molibdén források, míg a gyümölcsök, a gyökér- és szárzöldségek, valamint a tökehúsok viszonylag kevés molibdént tartalmaznak.

A talajban található molibdén a növények számára fontos mikroelem, különösen érzékenyen reagálnak a molibdén hiányra a pillangósok, a paradicsom, a répafélék és a zab is. A molibdén a molekuláris nitrogén mikroorganizmusok általi megkötésében és a nitrát redukcióban vesz részt. Távollétében a növényi sejt a nitrátot nem tudja redukálni, hogy azt fehérjéibe beépítse. Emiatt a növények molibdén-hiány betegsége nitrát felhalmozódással jár együtt.

A légkörbe jutó molibdén elsődleges forrása a fosszilis tüzelőanyagok égetése, a levegőből kiülepedéssel vagy csapadékkal kimosódva kerül a talaj felszínére. A talajba vagy a vízbe kerülő molibdén jól kötődik szerves anyagokhoz, ezért általában nem jut messzire a kijutás helyszínétől. A talajásványokhoz kapcsolódását a talaj tulajdonságai, elsősorban annak kémhatása befolyásolja. Savanyú talajokból rövid idő alatt kimosódik.

A táplálékkal emberi szervezetbe került molibdénnek legalább a fele felszívódik és bekerül a véráramba. A vérárammal eljut a szervezet minden részébe, legnagyobb mennyiségben a májba és a vesébe. A molibdén kiválasztása nagyrészt a vizelettel, kisebb részben a széklettel történik. Egészséges szervezetben a molibdén felvétele és kiválasztása egyensúlyban van és közel állandó molibdén szintet biztosít.

A magas molibdén expozíció egészségkárosító hatását patkányokon és egereken vizsgálva azt tapasztalták, hogy a szükséges napi bevétel ezerszeresét elfogyasztó állatokban károsodtak a szaporító szervek, valamint a máj és a vese. A molibdén rákkeltő hatása nem ismert.

Humán kísérletekben ivóvízzel történő molibdén felvétel esetén a NOAEL érték 0,2 mg/L-nek adódott. Ebből kiindulva az Egészségügyi Világszervezet ajánlása szerint a molibdén egészségügyi alapú megengedhető koncentrációja ivóvízben 0,07 mg/L, ami azonos nagyságrendű az állatokkal végzett toxikológiai vizsgálatok alapján kapott megengedhető értékekkel és összhangban van az ajánlott napi molibdén bevétel értékével.

A vizsgált területen a talajvízben mért legmagasabb nátrium-koncentráció 699 µg/l volt.

Nikkel

Az elemi nikkel nagyon reakcióképes, így elsősorban vegyületek formájában található meg. Természetes módon vulkáni tevékenységgel, ill. a földkéreg eróziójával jut a környezetbe, ahonnan kis koncentrációban az élelmiszerbe, vízbe, levegőbe és a talajba kerül. Egyes talajok (pl. az ún. serpentin talajok) az átlagosnál nagyobb koncentrációban tartalmazzák. Normál körülmények között a környezetünkben mérhető koncentrációja: 300 ng/l vizekben, 3-1000 mg/kg mezőgazdasági művelés alatt álló talajokban és 6-20 ng/m³ a légkörben.

Relatív alacsony hő- és elektromos vezetőképessége, oxidációval, korrózióval szemben mutatott ellenálló képessége, valamint keménysége, könnyű ötvözhetősége és mágnesezhetősége kiváló nyersanyaggá teszi. Ennek köszönhetően több mint 300 ezer fogyasztói termék alapanyaga, felhasználja számos iparág, többek között a katonaság, az építészet, vagy akár az űrtechnológia is. Legfontosabb felhasználási területe a rozsdamentes acél, ill. a nikkel ötvözetek gyártása.

Vizeinkbe kerülhet a kőzetekből kioldódva, ipari és kommunális szennyvízből, salakból és légköri ülepedésből. A talajba jutása elképzelhető légköri ülepedéssel, ill. szennyvizekből. A szárazföldi növényzet elsősorban gyökerei révén képes a nikkelt felvenni: a természetes vegetáció 0,05-5 mg/kg száraztömegre vetített koncentrációban tartalmazza.

A szervezetbe kerülése elképzelhető szájon át (táplálékkal, vízzel), belégzéssel, ill. a bőrrel történő érintkezés révén. Étkezési szokásoktól függően naponta átlagosan 100-300 µg nikkelt fogyasztunk el a táplálékkal, 2 µg a folyadékkal történő bevétel, míg 0,1-1 µg a belégzés útján

kerül a szervezetünkbe. A napi tolerálható beviteli nikkeltartalom 12 µg/testtömeg kg. Legjelentősebb forrása a táplálék. Magasabb koncentrációban található meg babban, szójában, kakaóban, napraforgómagban, zöld salátában, földimogyoróban és spenótban. Koncentrációja függ a termesztési terület talajminőségétől. Jelentős nikkeltartalma van továbbá a csokoládénak és a malomipari termékeknek.

Bőrön keresztül érintkezésbe kerülhetünk nikkellel ékszerek, érmék, nikkelt bevonatú tárgyak által. A nikkelt a méhlepényen keresztül a magzatba is átjut, akár császárszülés során: az anyatej közvetítésével a csecsemők napi 5-15 µg nikkelt vehetnek fel. A nikkelt illetve vegyületeit, ötvözeit gyártó, felhasználó üzemekben a kitettség az átlagosnál jóval nagyobb lehet. A szervezetbe jutáskor a nikkelt részecskék mérete, ill. oldékonysága meghatározó: a kisebb frakciók lejutnak a tüdőbe, az oldékony formái pedig felszívódhatnak a bőrön, a belekben, ill. a tüdőn keresztül és bejutnak a véráramba. A véráramba került nikkelt egy része a vizelettel együtt távozik, de a fennmaradó hányad bármelyik szervbe eljut; átmenetileg felhalmozódhat a vesékben, a májban, a nyirokcsomókban és az agyban is.

Több nikkelt vegyületet bizonyítottan emberi rákkeltő anyagként tart számon a WHO. A nikkelt szükséges az emberi szív működéséhez. A nikkelt befolyásolja a vasfelvételt és -metabolizmust, valamint feltehetően szükséges a vörösvértestek és vérlemezkék képződéséhez is. Hiánytüneteit azonban embernél még nem észlelték. Toxikus, mérgező elem; az általa kiváltott egészségügyi problémák leggyakoribb formája az allergia. A népesség kb. 7-10%-a túlérzékeny a nikkeltre, melynek következtében bőrgyulladás, ekcéma jelentkezhet. Lenyelve 0,49 mg/nap mennyiségnél figyelhető meg arra érzékenyeknél allergiás reakció.

Rendszeres belégzéses expozíciónál (pl. ipari munkásoknál) súlyosabb egészségkárosodás is kialakulhat, mint például asztma, orrüregi és ornyálkahártya gyulladások, krónikus hörghurut, csökkent tüdőkapacitás. Számos vizsgálat talált összefüggést a miokardiális infarktus, az agyvérzés kialakulása, a májzsugor és a vérsavóban talált, megemelkedett nikkeltkoncentráció között, ám az ok-okozati összefüggést napjainkig nem tisztázták. Állatkísérletek alapján a nikkelt bizonyos sói kromoszóma rendellenességet okoznak, mert gátolják a DNS szintézist.

Tudományos kísérletek alapján igazolt, hogy a nikkelt humán daganatkeltő anyag, mely elsősorban tüdő és orrüregi rák kialakulásáért felelős, de állatkísérletek alapján gyakorlatilag bármely szervben képes lehet rák kiváltására. Főleg a nehezen oldódó nikkelt származékok, mint a nikkelt-szulfid, vagy a nikkelt-oxid belégzése okozhat rákot; a kizárólag szájon keresztül történő expozíció karcinogén hatása nem bizonyított. Az IARC besorolása szerint a nikkelt-fém csupán lehetséges humán daganatkeltő, míg a nikkelt vegyületek emberben bizonyítottan rákkeltő hatásúak. Az EPA szerint a nikkelt finomítói por, és a nikkelt-szulfid bizonyítottan humán rákkeltő, a nikkelt-karbonil feltehetően az, míg a további nikkelt vegyületek esetében az intézmény nem foglalt állást. Látható tehát, hogy az álláspontok ma sem teljesen egységesek az egyes nikkelt vegyületek rákkeltő hatásának megítélésében. Összefoglalásképp kijelenthető, hogy a nikkelt vegyületek humán daganatkeltő hatása igazolt.

A 6/2009 (IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben felszín alatti vízre meghatározott határértéke Magyarországon 20 µg/l. Ivóvízben megengedett koncentrációja a 201/2001 (X.25.) Korm. rendelet alapján 20 µg/l.

A nikkel és vegyületei mérgezőek a vízi szervezetekre nézve, ám a toxicitás jelentős eltéréseket mutat az egyes fajoknál, melyben az abiotikus tényezők is fontos szerepet játszanak.

Cink

A cink a természetben közönségesen előforduló anyag. Leggyakrabban szulfidos ércek formájában fordul elő. A talajok természetes cink tartalma 1-300 mg/kg. Természetes felszíni vizekben a cink mennyisége általában 10 µg/l alatti, felszín alatti vizekben 10-40 µg/l.

Számos élelmiszer tartalmaz cinket. A fehérjékben gazdag ételek, mint a húsok és a tenger gyümölcsei magas cinktartalmúak, míg a gabonafélék, zöldségek és gyümölcsök cinkben szegények. A cink az emberi és állati szervezet számára nélkülözhetetlen tápanyag, közel 200 féle metalloenzim működéséhez szükséges.

A környezeti cinkterhelések döntő mértékben ipari tevékenységekhez, bányászathoz, hulladékégetéshez és acélfeldolgozáshoz kapcsolhatók.

A cink a tüdőből és a bőrön keresztül is felszívódik. Az emésztőrendszerbe került cinknek normál esetben 20-30%-a szívódik fel. A felszívódott cink eloszlik a szervezetben, legnagyobb része (90%) az izmokban és a csontokban található. A cink nem metabolizálódik, kiválasztása elsősorban a széklettel, kisebb mértékben a vizeleten keresztül történik.

Túlzott cinkbevitel étvágytalansághoz, hasi görcsökhöz, hányáshoz és hasmenéshez vezethet. Cink vegyületek hosszú idejű orális expozíciója a rézhiány korai tüneteivel, mint az eritrociták számának csökkenésével és a csökkent hematokrit szintekkel járhat. A rézhiány a cink és a réz közötti kölcsönhatásnak köszönhető, aminek eredményeként csökken a réz felszívódása a táplálékból. A cink több más fém, mint a kadmium, ólom és nikkel felszívódását is akadályozza.

A javasolt napi cink bevitel 0,3 mg/testtömeg kg, míg a maximálisan megengedhető napi bevitel értéke 1 mg/testtömeg kg.

A WHO ivóvízre vonatkozó irányelveit alátámasztó háttér dokumentum következtetése az, hogy a felnőttek számára ajánlott 15-22 mg/nap cink bevitel, és a legújabb kutatási eredmények fényében az ivóvíz cink tartalmára vonatkozóan nem szükséges egészségügyi alapú határértéket meghatározni.

Szelén

A szelén a természetben a kén kísérőjeként található meg. A talaj- és felszíni vizek szelén koncentrációja kb. 0,06 mg/l - 400 mg/l tartományban található (Smith & Westfall, 1937, Scott & Voegeli, 1961, Lindberg, 1968). Egyes területeken a szelén a felszín alatti vízben megközelítheti a 6000 mg/l-t (Cannon, 1964). A magasabb és alacsonyabb pH értékek is befolyásolják a víz szelén koncentrációját.

Jelentőségét 1973-ban ismerték fel. A szelén alapvető komponense a glutathion-peroxidáz enzimnek, amely a szervezet antioxidáns folyamataiban működik közre, esszenciális elem. Hiányában elégtelen lehet az izomszövetek működése és fokozódik a kadmium, illetve az ólom toxicitása. Megfelelő mennyiségű szelén bevitele állapotjavulást okoz gyulladáisos

mozgásszervi megbetegedésekben, sőt daganatellenes hatásáról is beszámoltak. Epidemiológiai vizsgálatokban korrelációt figyeltek meg az elégtelen szelén-ellátottság és a colorectalis, valamint emlőrákok előfordulása között. Szelénmérgezést emberben még nem írtak le. FAO/WHO (1998) feljegyzése szerint a kontinenseken a szelén bevitel jelentősen eltér egymástól, az átlagos bevitel viszonylag magas Észak-Amerikában (85-150 µg/nap), közepes Európában (40-90 µg/nap) és alacsony Kínában (10-20 µg/nap). Európában 29-39 µg/nap mennyiségre csökkent az elmúlt évtizedekben.

A 6/2009 (IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendeletben Magyarországon a szelén felszín alatti vízre meghatározott határértéke 10 µg/l, földtani közegre 1 mg/kg.

Ón

Az ón természetes formában megtalálható a földkéregben. Megjelenését tekintve puha, fehér színű ezüstös jellegű fém, amely természetes formájában vízben nem oldható. Különböző fémek ötvöző anyagént használják, ezen kívül megtalálhatóak a konzerves dobozok, aeroszolos kannákban is. Az ónnak számos vegyülete ismert. Ezen vegyületei felhasználják műanyagok gyártásánál, rovarirtó szereknél, festékekben egyaránt. Az ón természet és vegyület formájában egyaránt megtalálható a levegőben, vízben, és talajban is, ahol a felszíni ón érc dúsulások környezetében, illetve az ón bányák környezetében, feldolgozó ipari létesítményekben.

A szerves ón a környezetre ártalmatlan, az óntartalmú szerves vegyület lebomlanak a napfény illetve baktériumok hatására. Megtalálható az ón a levegőben gázok formájában és a légkörben lévő porhoz tapadva. a szerves ón vegyületek egy része megtalálható a talaj szemcséihez kötődve. Egyes vegyületei a vízben is jelen lehetnek oldott formában. A szerves vegyületei beépülhetnek például halkba esetleg más élőlényekbe és növényekbe is. Különböző olyan táplálékok illetve folyadékokkal juthat be a szervezetbe, amelyek óntartalmú tárolókban kerültek forgalomba. A második lehetőség, hogy óntartalmú port lélegzünk be illetve érintünk meg, ez leginkább olyan helyen fordulhat csak elő, ahol ónnal dolgoznak, vagy veszélyes hulladék lerakók környezetében. Előfordulhat lenyelése tengeri halak fogyasztásakor, illetve óntartalmú műanyagok lenyelésekor.

Az ón fém formájában egy kevésbé mérgező fém. Különböző kísérletek alapján, nagy mennyiségben lenyelt szerves ón vegyületek, gyomorfájást, anémiát, máj és vese problémákat okozhatnak. Szerves vegyületei állatokon immunrendszeri problémákat okozott, embereken a hatásokat nem vizsgálták. Szerves és szerves ón vegyületei bőrön és a szembe kerülve irritációt okozhat. Rákkeltő hatása a különböző vegyületeit vizsgálva nem volt megállapítható, az emberi szervezetben daganatos megbetegedést nem okoz. A gyermekekre gyakorolt élettani hatásait nem vizsgálták. Az OSHA (Foglalkoztatási Egészség és Biztonság Hivatal) megállapított határértékei a következők: szerves vegyületei levegőbeli előfordulása munkahelyen: 0,1 mg/m³ és 0,2 mg/m³ szerves ón vegyületeit tekintve, kivéve az ón oxidjai.

Bárium

A bárium egy ezüstös fehér fém, ami a természetben különböző érceiben fordul elő. A báriumnak különböző vegyületei is ismertek. A bárium vegyületeit az olaj és gáz iparban

fűróiszapokban használják, ezen kívül jelen van festékekben, kerámiákban, üvegben és gumi termékekben is. A gyógyászatban a bárium-szulfátot különböző labor tesztekhez, illetve gasztroenterológiai röntgen vizsgálatoknál használhatják. A bárium a levegőbe kerülhet a bányászat helyén, az érc finomításánál, illetve a szén és szénhidrogének égetésénél. Az egyes vegyületei (bárium-klorid, bárium-nitrát, bárium-hidroxid) vízben jól oldódnak, így rövid ideig vannak jelen környezetünkben. A bárium ezen vegyületei beoldódnak a vízbe és vegyületet képeznek a vízben lévő szulfátokkal, és karbonátokkal, amelyek már lassan bomlanak le és tartósan jelen lesznek a környezetben. A halakban és egyéb vízi élőlényekben raktározódik a bárium. Általánosságban lenyeléssel élelmiszerből, vagy folyadékból elhanyagolható mennyiség jut a szervezetbe. A báriummal dolgozók illetve olyan hulladéklerakó mellett élők ahol báriumos hulladékot helyeznek el, vannak kitéve a legjobban a bárium hatásának.

Élettani hatás a bárium vegyületeknek attól függ, hogy mennyire jól oldódott be a vízbe. Különböző vegyületei nem ártalmasak, mint például a bárium-szulfát. A bárium vegyületeinek első sorban gasztroenterológiai hatása ismert illetve izomgyengeséget okozhat, ha az EPA által meghatározott érték feletti mennyiség kerül rövid időn belül a szervezetbe. Az említett EPA által meghatározott mennyiség felett bevitt bárium okozhat hányást, vérnyomás emelkedést, nehéz légzést, izomgyengeséget. A nagy mennyiségben bevitt bárium okozhat szívritmus zavart, paralízist és esetlegesen halált is. A Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (IARC) nem találta a báriumot karcinogénnek. Nem készültek arra vonatkozó kutatások, hogy a gyermekek kevésbé vagy jobban érzékenyek a báriumra. A leggyakoribb a bárium táplálékkal vagy folyadékkal történő szervezetbe jutása, bár ennek mennyisége elhanyagolható.

Az EPA által meghatározott mennyiség 2,0 mg/l ivóvízben. A foglalkoztatási biztonság és egészség hivatal által meghatározott mennyiség 0,5 mg/m³ levegőben 8 órás munkaidőben 40 órás munkahéten. Bárium szulfátra 15 mg/m³, belélegezhető méretű por esetében 5 mg/m³.

Ólom

A toxikus nehézfémek közül az ólom az egyik legrégebben ismert foglalkozási mérgezést okozó anyag. Expozíciója során hajlamos az emberi szervezetben felhalmozódni és egészségkárosodást okozni. Ólom expozíció számtalan munkatevékenység során előfordulhat. Az ólom és szervetlen vegyületei elsősorban légutakon, tápcsatornán keresztül szívódnak fel. Lehetséges közvetlenül testbe jutást követő kioldódás (pl. ólomlövedék, nyílt seb szennyeződése), ez azonban ritka.

A légutakon keresztüli felszívódás ólom tartalmú részecskék (por), vagy ólom gőz belégzésével lehetséges. Előbbire jellemző a csiszolás, köszörülés munkaművelete. Utóbbi fémólm, vagy ólom ötvözet hevítésekor keletkezik: olvasztás, megmunkálás, (láng)vágás, hegesztés, illetve speciális esetben, ólom magvú lövedék kilövésekor, becsapódásakor. A levegőből származó ólom egészségkárosító hatása a részecske méretétől függ. A 0,5 µm-nél kisebb részecskék visszamaradhatnak a tüdőben, míg a nagyobb részecskék kiülednek a felső légutakban, ahonnan a csillósörős mozgás elszállítja a garatba, majd lenyeléssel az emésztőrendszerbe juthatnak. A tüdő legmélyén kiüledő ólom akár 90%-a felszívódik. A tápcsatornába jutott ólomnak felnőtt emberben, normális étrend és tápláltság mellett kb. 10-15%-a szívódik fel, de

a felszívódás mértéke lényegesen nagyobb lehet, ha az ólom éhgyomorra kerül be, illetve különböző hiányállapotokban (vas, cink, D-vitamin, stb.) és függ az ólomvegyület fajtájától is. Így a tápcsatornába jutott ólom akár 90 %-a is távozhat a széklettel. A tápcsatornán keresztüli expozíció munkaegészségügyi előfordulását általában a munkahigiénés szabályok megszegése okozza. Az ólommal szennyezett kézzel történő étkezés, dohányzás jelentős mértékben fokozhatja a mérgezés veszélyét. A lakosság körében az ólomfelvétel becsült értéke 10 és 150 µg/nap közötti. Bár a fő forrás az élelmiszer és a víz, jelentős mennyiség szívódhat fel a szervezetbe az ólom gőzök és a szilárd részecskék belégzéséből a szennyezett városi környezetben. Az ólom a véráramba kerülve különböző szervekbe jut. A vér ólomtartalmának körülbelül 95%-a a vörösvérsejtekhez kötődik. A szérumban a hirtelen nagy expozíciót leszámítva csak nagyon alacsony szintet lehet mérni, de innen kerül az ólom a szervezet egyéb raktáraiba, s alakul ki az egyensúlyi állapot. A raktárak két részre oszthatók: kemény szövetek (csont, haj, köröm, fog) és lágy szövetek (csontvelő, idegrendszer, vese, máj). A vérben és a lágy szövetekben lévő ólom könnyen mozgósítható, a mérgező hatást is az itt megtalálható rész fejt ki. A kemény szövetekben az ólom szorosan kötött állapotban (általában a csontot alkotó hidroxipapatit kristályba a kalcium helyére beépülve) lelhető föl. A vérben és a lágy szövetekben a felezési időt 30-40 napra becsülik, míg a csontok szivacsos állományában évek, a tömör állományban több évtized is lehet. Az ólom elsősorban a vizelettel (75–80%), kisebb részben a széklettel (körülbelül 15%) választódik ki. A vizelettel a szérumban megtalálható ólom választódik ki. Emberben az epével az ólomnak csekély hányada ürül.

Ezüst

Az ezüst egy ritka, a természetben előforduló elem. A fémek közül az ezüst rendelkezik a legnagyobb elektromos és termális vezetőképességgel, emiatt az ezüstöt számos helyen felhasználják. Már az ősi civilizációk is ismerték az ezüst antibakteriális tulajdonságát. A fémezüstöt a sebészetben protézisek és splintek készítésére használják, alkalmazzák fungicidként is. Az ezüstsókat korábban hosszú ideig mentális betegségek, epilepszia, nikotinaddikció, gastroenteritis és infekciók (szifilisz, gonorrhoea) kezelésére használták. Az ezüstfehérje-kolloid valamikor a megfázás gyakran alkalmazott ellenszere volt, napjainkban azonban egyre népszerűbb, mint étrend-kiegészítő, számos betegségben vélt gyógyhatása miatt.

Az ezüst számos felhasználási módja következtében különböző utakon juthat be a szervezetbe. A szájon át történő felvétel az elsődleges, ennek tárgya a különböző ezüstvegyületek és ezüstfehérje-kolloidok. Az ezüst-füst és -köd inhalációja foglalkozási ártalom során valósul meg. A bőrrel való érintkezés munkavégzés során, illetve gyulladáscsökkentő krémek, ezüst ékszerek viselésekor jellemző. Ezüst kerülhet a szervezetbe akupunktúrás tűk, katéterek, fogászati amalgám és baleseti sérülés során.

Egy fémvegyület szervezetre gyakorolt hatását számos tényező befolyásolja: az oldhatóság, a biológiai helyek-hez való kötődési képesség, a keletkezett fémkomplex metabolizálódási, kiürülési rátája. Vizsgálatok igazolják, hogy egyes ezüstvegyületek jobban, míg mások kisebb mértékben szívódnak fel, így toxikus hatásuk is jelentősen eltérhet. Az ezüst normális szöveti koncentrációja kicsi. Becslések szerint az emésztett ezüstvegyületek mintegy 10%-a

abszorbeálódik, azonban mindössze 2–4% marad vissza a szövetekben. Az oldható ezüstvegyületek gyorsabban abszorbeálódnak, mint a fém vagy nem oldható formák, és így nagyobb a lehetőség a kedvezőtlen hatások kialakulására. Az ezüst kimutatható a vizeletben, vérben, székletben, de leginkább ez utóbbival ürül ki a szervezetből. Az abszorbeált ezüstvegyületek könnyen bejutnak a véráramba, majd komplexet képeznek elsősorban a fehérjékkel, megkötve azok szulfhidril, amino, karboxil, foszfát és imidazol oldalláncokat, kötések alakíthatnak ki az RNS-sel és a DNS-sel is. A fény katalitikus hatású, elősegíti a fotoredukciót, amely során az ezüstvegyületekből elemi ezüst lesz. A fém-ezüstöt a szövetek oxidálják, fekete ezüst-szulfid és/vagy ezüst-szelenid vegyületek keletkezhetnek, amelyek kötődnek a szövetekhez. E vegyületek képesek a melanintermelést stimulálni, különösen napfény által exponált helyeken, ez a folyamat végül is pigmentáció-hoz vezet, ami irreverzibilis. Az ezüst nagy affinitást mutat a májban lévő tiolcsoportokhoz, képes erősen kötődni a redukált glutationhoz, amellyel aztán az epébe transzportálódik, végül kiürül a szervezetből, magával együtt kiürítve más biokémiai folyamatokhoz szükséges redukált glutationt.

Az oldható vegyületek vagy a kolloidális ezüst hosszú ideig tartó inhalációja, illetve szájon át történő bevétele során akkumulálódik a bőrben, májban, vesékben, cor-neában, gingivában, nyálkahártyákban, körmökben, lépben – argyriához, argyrosishoz vezet. Az oldható vegyületek kis mennyiségben képesek akkumulálódni az agyban és az izmokban is. Az argyria egyes eseteiben az ezüstpartikulumok mellett a fekete ezüst-szulfid és ezüst-szelenid komplexek is jelen vannak.

Az ezüst-nitrát vízben jól oldódik, hidrolizál, erősen savas kémhatású. Az ezüst-nitrát szerepel az EINECS-listán oxidáló (R 8), maró (R 34), a környezetre veszélyes (R 51/53) besorolású vegyületként.

Az ezüst-nitrát különböző úton (lenyelve, intravénás, szubkután, intraperitoneal) a szervezetbe jutva mérgező, túlzott expozíciójának akut tünetei az emelkedett vérnyomás, diarrhoea, gyomorirritáció, gátolt légzés. Krónikus, kis dózisé, de hosszú ideig tartó ezüstbevitel a máj és a vesék zsíros elváltozását, a véréjtek változását is eredményezheti. Bőrrel érintkezve maró hatású, ismételt vagy hosszabb távú expozíció esetén allergiás bőrgyulladást eredményez, erősen irritálja a szemet és a nyálkahártyát, szaruhártya-károsodást is okozhat. Gőzeit belélegezve nehézlégzés, bódultság, fejfájás és légúti irritáció észlelhető. Lenyelve mérsékelt mérgező, hányingert, hányást, hasmenést okozhat. Nagyobb mennyiség lenyelése esetén azonban súlyos gyomor- és bélhurut alakulhat ki, ami halálos is lehet, továbbá tüdőödéma, csontvelő-, vese- és májnekrózis kialakulásának esélye is fennáll. Egy átlagos ember (60 kg-os) számára a halálos adag körülbelül 2 g.

Irodalmi adatok szerint nagy a valószínűsége, hogy az ezüst egyik formája sem toxikus az immun-, a cardio-vascularis, az ideg- és a reprodukív rendszerre, továbbá nem tekinthető karcinogénnek.

Antimon

Az antimon koncentrációja földkéregben 0,2-0,5 ppm. Elemi állapotban is előfordul a természetben, de gyakrabban ásványokban. Az antimon 4 µg/testsúly kg mennyiség alatt nem mérgező hatású. Akut intoxikáció (nagy dózisok miatti rövid távú mérgezés) 1 gramm antimon bevitelét követően következhet be; ezt bélrendszerrel kapcsolatos tünetcsoport jellemzi. Az antimonmérgezés tünetei nagyon hasonlóak az arzénmérgezéséhez. Kis adagban fejfájást, szédülést és depressziót okoz. Nagy adagban gyakori és heves hányáshoz vezet, amely pár napon belül halállal végződhet. A krónikus intoxikáció (hosszú távú mérgezés ismételt bevitel miatt) hematológiai rendellenességekhez vezet. Az antimon bélrendszeren és a veséken keresztül történő eltávolítása a szervezetből lassú folyamat. Az antimont az EPA nem sorolta a rákkeltő hatású vegyületek közé.

PAH vegyületek

A PAH vegyületcsoport nagyszámú kettő, vagy több kondenzált aromás gyűrűt tartalmazó vegyületet foglal magába. A benzolgyűrűk és a többnyire metil csoport szubsztituensek számából és térbeli elrendeződéséből adódóan a lehetséges vegyületek száma óriási, ezekből néhány száz amely ismeretes.

Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (US EPA) a PAH szennyezések vizsgálatához kulcs vegyületként 16 nem szubsztituált PAH vegyületet választott ki a környezetben való gyakori előfordulásuk, viszonylag egyszerű kimutathatóságuk és veszélyességük alapján.

A hosszabb szénláncú alifás vegyületekhez hasonlóan a PAH vegyületek hidrofóbok, szerves oldószerekben könnyen oldódnak, de kissé vízben is oldhatók. Az alacsony kondenzációjú PAH vegyületek (2-3 kondenzált benzolgyűrű) még hajlamosak a kipárolgásra. A naftalin (két benzolgyűrű) esetében az illékonyság lényeges tényező, a fenantrént (3 benzolgyűrű) már közepesen illékonynak nevezik.

A PAH vegyületek általában vízben csak kismértékben oldhatók. A naftalin mintegy 30 mg/dm³ értékkel viszonylag jól oldható, a benzo(a)pirén oldhatósága azonban már csak 2 µg/dm³, azaz a molekulatömeg növekedésével az oldhatóság nagymértékben csökken. Ugyanakkor a szorpciós hajlam növekszik. Amennyiben a PAH vegyületek más szennyezőkkel együtt jelennek meg, akkor immobilizálódnak a kátrányrészecskékben, vagy a kátrányolaj, illetve talajrészecskékben, melyeket kátrányolaj, vagy mesterséges aszfalt ragaszt össze. Általában a PAH vegyületeket 3 benzolgyűrűig tekintjük jól lebonthatónak, ezután a lebonthatóság csökken a biológiai hozzáférhetőség csökkenése következtében. Az extrahálható PAH vegyületek hosszabb időtartamon keresztül kimutathatók maradnak, és koncentráció csökkenésük nagyon lassú.

A PAH vegyületek közül néhányat iparilag állítanak elő, bár ez elég ritka. Ezek a tiszta PAH vegyületek gyakran színtelenek, fehérek vagy halvány sárgás-zöldes színűek. Megtalálhatók a kőszénkátrányban, kőolajban, karbolsavban, tetőkátrányban, de néhányat felhasználnak a gyógyszer-, műanyag-, gyomirtószer-, és festékgyártásnál. Számos PAH vegyület állatokban bizonyítottan rákkeltő (IARC 1973, 1983, 1987), emberben lehetséges rákkeltő.

A PAH vegyületek a szervezetbe kerülhetnek szennyezett levegő (fatüzelés, dohányfüst, városi levegő) belélegzésével és a szennyezett táplálékkal vagy ivóvízzel. A városok PAH szennyezettsége komoly problémát jelent. A benzo[a]pirén az egyik legveszélyesebb vegyület, a WHO IARC szerint az 1. rákkeltő kategóriába tartozik, egészségügyi éves határértéke lakóterületen 1 nanogramm/m³. A dohányfüsttel szennyezett beltérekben is rendkívül magas PAH koncentráció alakulhat ki.

PAH vegyületek élelmiszereken keresztül a füstölt, vagy megsütött ételekből, margarinokból, pörkölt kávéból, kolbászból, gabonákból, többször felhasznált étolajból, lisztből, tengeri ételekből, gyümölcsökből kerülhetnek a szervezetbe. A naftalin a szervezetbe kerülhet az anyag érintésével vagy naftalinnal szennyezett ruháról is. A szervezeten belül károsítja a vörösvérsejteket. A szervezetből való kiürülése vizelettel történik, amely folyamat során átalakul más vegyületekké.

A PAH vegyületek közül a gyakran előforduló daganatkeltők, így a benz(a)antracén, krizén, benz(b)-fluorantén, benz(k)fluorantén, benz(a)pirén, indenol(1,2,3cd)-pirén, dibenz(a,h)antracén daganat- okozó képességét a benz(a)pirénre (BaP) vonatkoztatott ekvivalencia tényezővel szokták kifejezni.

A daganatkeltő hatáson kívül több PAH vegyület károsítja az immunrendszert is. Ha a születés körüli időszakban jutnak be a szervezetbe, életre szólóan megváltoztathatják a hormonok termelését.

Az egészségkárosító hatások megismerése érdekében számos vizsgálatot végeztek kísérleti állatokon. Ezek alapján állatokban a benz[a]antracén papillomákat (a laphám jóindulatú daganatai, amelyek többnyire papillomavírus-fertőzés következtében alakul ki) okozott a gyomorban, továbbá tüdő-adenómákat (tumort) idézett elő. Helyileg adagolva a benzo[j]fluorantén a bőr felszínén papillomát és karcinómát (tumort) okozott nőstény egerekben. A tüdő szöveteiben nőstény patkányoknál, a benzo[j]fluorantén és benzo[k]fluorantén laphámrákot indukált. A benzo[a]pirén kitettség szintén tüdő papillomát és tüdőrákot okoz, továbbá bőr karcinómát. Belégzéssel légsző papillomát és karcinómát okoz hörcsögökben, pikkelysejt karcinómát patkányokban. Amikor vemhes egereknek a vemhesség 11. 13. és 15. napján benzo[a]pirén injekciót adtak, nőtt a tüdőadenóma gyakorisága és az utódokban a bőrrákra való hajlam (*U.S. Department of Health and Human Services 14th Report on Carcinogens, 2016*).

A naftalin belélegzése okozhat fejfájást, hányingert, hányást, kiterjedt izzadást, és dezorientációt. Elsődleges reakció a vérszegénység, láz, sárgaság, valamint vese- vagy májkárosodás, de éren belüli hemolízis is előfordulhat tünetként. A vesetubulusok blokkolásával kicsapja a hemoglobint. Májnekrózis (szövetelhalás) alakulhat ki. Hemolízis nagyobb valószínűséggel fordul elő olyan egyéneknél, akik örökletesen glükóz-6-foszfát dehidrogenáz hiányosak vagy sarlósejtes vérszegénységben szenvednek. Lenyelés esetén mérgező. Okozhat fejfájást, bő izzadást, levertséget, sötét vizeletet, hányingert, hányást és dezorientációt a belégzés során. Súlyos esetben okozhat kómát, görcsöket, vagy veseelégtelenséget, ami végső esetben halálos is lehet. A naftalin irritálhatja a bőrt, a tartós érintkezés okozhat bőrkiütést és allergiát. A "fényérzékeny" egyének súlyos bőrgyulladást

szenvedhetnek. Szembe kerülve gőz illetve szilárd formájában irritációt, fájdalmat okoz. A nagyon magas expozíció károsíthatja a szem idegeit.

TPH

Az összes alifás szénhidrogének (továbbiakban: TPH) csoportjába azok a nyíltláncú szénhidrogén vegyületek tartoznak, amelyek szénatom száma 5-40-ig terjed. A TPH vegyületeket mind a kőolajban, mind a kőolaj származékokban megtaláljuk, a kőolaj kitermelése, szállítása, feldolgozása, a kőolajipari termékek (benzin, kerozin, gázolaj, fűtőolajok, kenőolajok, stb.) mozgatása, raktározása, forgalmazása, használata során és hulladékaik (pl. fáradt olajok, olajos szennyvizek és iszapok) révén szinte bárhol a környezetünkbe kerülhetnek. Az alifás szénhidrogének illékonyaságuk alapján két csoportba oszthatók. Az egyik csoportba az illékony TPH vegyületek (VPH) tartoznak, ezek 5-10 szénatom számúak. Ilyenek vannak nagy arányban a gázolinban (gáz-kondenzátumok), benzinben, kerozinban. A 10 szénatom szám feletti pedig a kevésbé illékony vagy nem illékony TPH vegyületek (EPH), melyek a gázolajok, fűtőolajok, kenő- és hidraulikaolajok zömét alkotják.

Az 5-10 szénatom számú illékony TPH vegyületek az emberi szervezetre, az ökoszisztémára nézve mérgezőbbek, jobban oldódnak a felszín alatti vízben, így időegység alatt messzebbre juthatnak a talajvíz áramlásával, mint a nem illékonyak.

A felszín alatti közegekből kipárolgó szénhidrogének a bőrön, a nyálkahártyákon, a tüdőn keresztül is felszívódhatnak, irritáló, szenzibilizáló, ill. toxikus hatásúak. A TPH vegyületek nagy része nem sorolható az emberi rákkeltő vegyületek közé.

Néhány TPH vegyület befolyásolhatja a központi idegrendszert. Egyes vegyületeknek a levegőben lévő magas koncentrációi fejfájást és szédülést, más vegyületek idegi rendellenességet, úgynevezett „perifériás neuropátia-t” okozhatnak, ez a lábfejek és lábak zsibbadásával jár. Vannak olyan TPH vegyületek, amelyek káros hatással vannak a vérre, az immunrendszerre, a tüdőre, a bőrre, és a szemre. Állatkísérletek során néhány TPH vegyületnél azt is kimutatták, hogy károsan befolyásolják az állatok szaporodását és a fejlődő magzatot.

Az alifás szénhidrogének vizes oldatainál abban a tartományban, amikor a szennyeződés szag és íz alapján már nem kimutatható, emberre gyakorolt heveny toxicitásról nem beszélhetünk. A leggyakoribb alifás kőolajtermékek szagküszöb-értékei ugyanis olyan kicsik, hogy a szénhidrogének okozta akut egészségkárosító hatás lehetősége emberre kizárható.

Klórozott alifás szénhidrogének

(kloroform, széntetraklorid, triklóretén, tetraklóretén, vinil-klorid)

A klórozott alifás szénhidrogének az alifás szénhidrogének olyan származékai, melyekben a hidrogénatomok egy részét klór atomok helyettesítik. Az ipari felhasználás mértékét, környezeti hatásait, toxikus- és potenciális rákkeltő tulajdonságait tekintve legjelentősebb képviselőik az 1-2 szénatomot, illetve 1-4 klóratomot tartalmazó vegyületek. Széles körben használták őket a szerves szintetikus vegyiparban, ipari- és háztartási oldószerként, és a

mezőgazdaságban. Kedvező fizikai tulajdonságaik miatt (vízzel nem elegyednek, illékonyak, jó zsíroldó hatásúak) az ipar számos területén használták őket zsírtalanításra, extraháló szerként, vagy vegytisztításra. Legnagyobb mértékű hazai felhasználásuk az 1950-2000 közötti évekre tehető.

Közös jellemzőjük, hogy stabilak, nehezen bomlanak, akkumulálódásra hajlamosak. Vízben kevésbé oldódnak, kétfázisú rendszert alkotnak. Víznél nagyobb sűrűségük miatt a vizes fázis alatt helyezkednek el. Porózus talajban a szemcsék közötti kapillárisokból a vizet kiszorítják, ahonnan csak lassan oldódva távolíthatók el, ezáltal hosszú ideig elhúzódó szennyezést okoznak.

Környezetkárosító hatásuk mellett jelentős humán-egészségügyi hatásokkal bírnak. Gőzeiket belélegezve, bőrön keresztül felszívódva, illetve szájon át is bejuthatnak az emberi szervezetbe, ahol felhalmozódhatnak a zsírszövetekben, károsíthatják a központi idegrendszert, a májat és a vesét. A szervezetből lassan ürülnek ki, felezési idejük hosszú. Minden klórozott alifás szénhidrogén toxikus, a vinil-klorid bizonyítottan karcinogén.

A klórozott alifás szénhidrogének lebontására számos mikroorganizmus rendelkezik megfelelő enzimmérettel. A biológiai lebontás első lépése rendszerint a dehalogénezés, a klór atomok eltávolítása a molekulából. A lebontás a környezeti feltételektől függően végbemehet oxidatív vagy anaerob redukzív módon.

5.8. A szennyezettség, károsodás okának, eredetének, körülményeinek bemutatása

A vizsgálati eredmények és a szennyezők eloszlását bemutató ábrák alapján megállapítható, hogy a vizsgált terület a talajban és a talajvízben talált szennyezőanyagok több forrásból származhatnak.

Talaj esetében a szennyezés egy része egyértelműen a terület feltöltésére használt anyagokhoz (építési törmelék, salak) köthető, másik része technológiai eredetű.

A 2020 évi állapotfelmérés során policiklusos aromás vegyületek (PAH) a gyárterület északi részén vett talajmintákban fordultak elő az 1 mg/kg-os (B) határértéket meghaladó vagy ahhoz közeli mennyiségben (0,92-7,86 mg/kg). Az érintett fúrások a TFM-1, TF-1, TF-2, TF-4, TF-15, TF-16, TF-31 voltak. A magasabb értékek egyértelműen az építési törmeléket is tartalmazó rétegekből vett mintákra voltak jellemzők. Ugyanazon fúrásokból származó minták eredményeit összehasonlítva megfigyelhető volt, hogy az építési hulladékot, salakot, törmeléket tartalmazó rétegben a PAH vegyületek mennyisége legalább egy nagyságrenddel nagyobb, mint a természetes módon települt homokos-kavicsos rétegekben.

Tényfeltárásunkban a volt veszélyes-hulladék égető melletti területet részletesen vizsgáltuk. A területet reprezentáló I/1 – I/5. jelű talajminták vizsgálatának eredményei szerint a hulladékégető épületétől délre eső területen (I/3, I/4, I/5) jellemző a magas (7,48-37,39 mg/kg) PAH tartalom. A fúrási, mintavételi jegyzőkönyvek szerint ezeken a területrészekon salakos feltöltés található a talaj felső 1,0-1,5 m-es rétegében.

A 85-ös és 87-es épületek és a Főti út közötti területen 2001-ben végzett igen részletes talajvizsgálat megállapította, hogy a gyárterület ezen részén a talaj felső rétegében több fém mennyisége is meghaladja a szennyezettségi határértéket. Ezt a területet a 2020-as állapotfelmérés TF-3, TF-4 és TF-5 jelű fúrásai érintették. A kapott eredmények nem cáfolták a korábbi megállapításokat, a szennyezettség, elsősorban a törmelékes, feltöltött talajban továbbra is fennáll. A terület nagy része térburkolattal fedett, ahol a csapadék beszivárgása korlátozott, emiatt a szennyezők koncentrációjának természetes csökkenése (kimosódás) elhanyagolható mértékű. Így a terület állapotáról korábban tett megállapítások továbbra is érvényesnek tekinthetők.

A tényfeltáró munkák során ezen a Főti úttal párhuzamosan húzódó szennyezett talajú területen az NA-13 és NA-14 jelű fúrásokból vett talajminták analitikai vizsgálatára került sor. A vizsgálat célja a talajvízben talált molibdén esetleges talaj eredetének tisztázása volt. A vizsgált minták molibdén tartalma nem érte el a szennyezettségi határérték felét sem, azonban az NA-13 jelű fúrás mintáiban (B) határértéket meghaladó mennyiségű higany volt. A rendelkezésre álló archív információk szerint az üzemi területnek ezen a részén termelő tevékenység nem folyt és épület sem állt, a szennyezés forrása vélhetően az itt felszínen tárolt vagy lerakott anyag lehetett.

Ugyancsak a terület feltöltéshez használt anyagok lehetnek a forrásai a II. és VII. jelű vizsgálati területen talált talajszennyezésnek is.

Technológiai eredetű szennyezés valószínűsíthető a volt galvánüzem és galvánüzemi szennyvíztisztító területén. A szennyezettségi határérték feletti mennyiségben talált fémek mindegyikét használták a galvanizálási technológiában, a szennyezést nagy valószínűséggel a kifolyt, elszivárgott galvanizáló oldatok okozták. A beszivárgás történhetett a padlóburkolat vagy a galvanizáló szennyvizeit elvezető csatornák sérülésein keresztül is.

Bár a galvánüzemben, épületen belül mélyített fúrások mélysége nem haladta meg az 1,5 m-t, a felszínről a talajba jutó vízben oldott szennyezőanyagok terjedésének jellemzői és a TF-24 fúrás kapilláris zónából vett mintájának fémvizsgálati eredményei alapján feltételezhető, hogy a galvánüzem helyiségei alatt található talaj a padlószinttől a talajvízig terjedően szennyezett.

A felszínen kifolyt és a talajba beszivárgó folyadék ugyanis a nehézségi erő hatására lefelé mozog. A gravitációs erők hatására létrejövő folyadékmozgás a talajban csak az úgynevezett szabad hézagterben lehetséges, mert az ennél kisebb átmérőjű pórustérben erők a folyadék mozgását gátló felületi erők. Az 50 µm-nél nagyobb pórusokban, ahol a vonzóerő < 0,05 bar, a víz gyorsan szivárog lefelé, a kisebb pórusokban azonban visszamarad. Ha a beszivárgott folyadék mennyisége meghaladja a szivárgási tartomány visszatartó képességét, akkor a folyadék egészen a talajvízig hatol. Elegendő mennyiség esetén az elszivárgási hely alatt behatolhat a talajvízbe. Vízben oldódó szennyezőanyagok mozgását, illetve a szennyezés térbeli helyzetét porózus közegben alapvetően az advekcio (konvekció), azaz az oldott anyagok tömeges áramlása, illetve a diszperzió, azaz az oldott szennyezőanyagok térbeli szóródása (szétkenődése) határozza meg.

A talajban visszatartott szennyezőanyagok mennyiségét a lebontási és kimosódási folyamatok csökkenthetik. Fémes szennyezőanyagok esetében – bár vannak kivételek – a lebontási folyamatok nem jellemzőek. Kimosódás esetén a felszínről beszivárgó „tisztá” víz kioldja a talajban visszamaradt vízoldható anyagokat és konvekcióval a talajvízbe „mossa” azokat. A „tisztá” ebben az esetben azt jelenti, hogy a beszivárgó víz az adott szennyezőanyagot a kapillárisokban visszatartott víznél kisebb koncentrációban tartalmazza. Ebben az esetben ugyanis a koncentrációkülönbség hatására megindul a pórusvízben oldott anyagok áramlása (diffúziója) a beszivárgó víz felé.

A galvánüzemi helyiségekben folyadék beszivárgás a padló és a csatornák sérülésein keresztül történhetett, csapadékkal vagy tiszta vízzel történő kimosódás nem feltételezhető. Az itt vett talajmintákban mért magas fémtartalmak és a TF-24 fúrás talajvizének (B) határértéket meghaladó nikkel, cink és kadmium koncentrációja alapján feltételezhető, hogy a galvánüzem helyiségei alatt található talaj a padlószinttől a talajvízig terjedően szennyezett.

Az egykori fémhulladék tároló területének szennyezettségét szintén technológiai eredetűnek kell tekintenünk.

A 2020-as állapotfelmérés és a jelen tényfeltárás során vizsgált talajminták közül több is a (B) határérték feletti mennyiségben tartalmazott higanyt. Mivel a higany természetes előfordulása a területen nem ismert, a határérték felét meghaladó mennyiségű higanyt tartalmazó minták esetében antropogén hatást kell feltételezni. Ismeretes, hogy a gyárban történt a termelőberendezések – többek között a higanygőz lámpákat gyártó gépek – fejlesztése és

gyártása, valamint az elkészült gépek kipróbálása, tesztelése is. Ennélfogva a gyár területén nem volt ismeretlen a higannyal vagy a selejtes higanygőz lámpákkal végzett tevékenység.

A csapadékvíz szikkasztók medrében talált szennyezés esetében is valószínűsíthető a technológiai eredet mind a fémek, mind pedig a szénhidrogének tekintetében.

A talajvíz szennyezőanyagainak forrását és eredetét tekintve ugyancsak több lehetőség valószínűsíthető.

A szulfát- és bór koncentrációk eloszlását szemléltető ábrákon látható, hogy azok a részterületek, ahol a koncentrációk meghaladják a határértéket, nem egybefüggőek, hanem egymástól elkülönülve, foltszerűen helyezkednek el. A Fóti út melletti sávban a szennyezés forrásaként nagy valószínűséggel a terület feltöltésére használt anyagok, elsősorban a széntüzelés maradékai (salak, hamu) jelölhetők meg. Más helyszíneken szerzett tapasztalataink azt mutatják, hogy ahol nagyobb mennyiségben raktak le, vagy használtak feltöltésre széntüzelési maradékot, a lerakott anyag mállásának eredményeként szulfát és bór kerül a talajvízbe magas koncentrációban. A telephely előtörténetéből pedig tudjuk, hogy a Fóti út melletti területrészt sokáig a kazánokban használt szén és a tüzelési maradékok tárolására szolgált.

A gyárterület déli határánál tapasztalt magasabb szulfát koncentrációk esetében a háttérterületek felől érkező szennyezés valószínűsíthető, és ugyanez mondható el a telephelyen belüli talajvíz klorid- és nitrát szennyezettségének eredetével kapcsolatban is.

A nagyobb területre kiterjedő talajvíz szennyezések közül a molibdén esetében a technológiai eredet valószínűsíthető. A szennyezés forrása nem ismert, a területhasználat történetéből azonban tudjuk, hogy a telephelyen hosszú ideig tároltak, raktároztak a Váci úti Budapesti Fényforrásgyár számára szükséges nyersanyagokat, ahol viszont történt technológiai célú molibdén felhasználás.

A klórozott alifás szénhidrogén szennyezések esetében is kézenfekvőnek tűnik a technológiai eredet, azonban a kloroform és szén-tetraklorid szennyezés gócpontja és a szennyezéssel érintett terület legnagyobb része a Vákuumtechnikai Gépgyár telephelyén kívül, a Fóti úttól északra lévő lakott területen található. Az NA-35 jelű mintavételi ponton a talajvíz szén-tetraklorid koncentrációja legalább egy nagyságrenddel nagyobb, mint bármely másik ponton mért érték. A szennyezés lehetséges eredetével kapcsolatban nincsenek ismereteink, de a kapott kép alapján egy ismeretlen, külső területen található szennyezőforrást kell feltételeznünk. Ezt a feltételezést több dolog is alátámasztja:

- A transzportmodell szerint a szén-tetraklorid szennyezés helyzete a következő húsz évben nem változik, csak lassan és fokozatosan csökkenő koncentrációkkal feloszlik. A szennyezés viselkedése a múltban sem lehetett más, a forrásnak tehát az NA-35 pont közelében kell lennie.
- Amennyiben a szén-tetraklorid nem az NA-35 pont környezetében került a talajvízbe, hanem a talajvíz áramlása juttatta oda, akkor a feltételezett forrásnak a talajvíz áramlásával ellentétes irányban, az NA-35 ponttól délkeleti irányban kellene lennie. Ez a terület jelenleg

a Schiller Karambolos Centrum parkolója, ahol az ERM Hungária Kft. húsz évvel ezelőtt, 2001-ben végzett alapállapot felmérést. Az akkori vizsgálat szerint az itt készült kutak vizében volt kloroform és szén-tetraklorid, de korántsem az NA-35 ponton mért koncentrációban.

- Amennyiben a szén-tetraklorid nem az NA-35 pont környezetében került a talajvízbe, hanem a talajvíz áramlása juttatta oda, akkor a szennyezés lassú mozgása miatt a forrás és az NA-35 pont között egy fokozatosan szélesedő, markáns szennyezettséget mutató zónának kellene lennie. A vizsgálati eredmények ilyen szennyező csóvát nem mutatnak.
- A tetraklór-etilénnel (PCE) és triklór-etilénnel (TCE) szennyezett csóván belül is az NA-35 ponton található egy lokális koncentráció maximum, ami azzal magyarázható, hogy a szén-tetraklorid és a kloroform biocid hatása miatt az NA-35 pont környezetében megakadt a PCE és a TCE lebomlása. Amennyiben a szén-tetrakloridot a talajvíz áramlása juttatta volna az NA-35 pont közelébe, az áramlási pálya mentén a környezetükhöz képest magasabb PCE és TCE koncentrációknak kellene lenni. A vizsgálati eredmények ezzel ellentétes képet mutatnak.

Mindezek alapján kijelenthető, hogy a Fóti úttól északra eső lakott területen, NA-35 gócponttal feltárt klórozott szénhidrogén szennyezés forrása a Vákuumtechnikai Gépgyár telephelyétől független, a szennyezettség nem hozható kapcsolatba a Vákuumtechnikai Gépgyárban folytatott tevékenységgel. A gyárat ezzel összefüggésben felelősség és kötelezettség nem terheli.

Technológiai eredetű a legnagyobb területet érintő tetraklór-etilén szennyezés, melynek kiindulópontja az egykori festőműhely környezete (NA-06 mintavételi pont), ahol a perklór-etilén zsírtalanító berendezés üzemelt.

A tetraklór-etilén szennyezéshez köthető a két, viszonylag kis kiterjedésű területet érintő triklór-etilén szennyezés. Ezek egyike a volt festőműhely közelében (NA-06 fúráspon) található, ahová a tetraklór-etilén kísérő anyagaként vagy bomlástermékeként kerülhetett, a másik pedig a Fóti út mellett, az NA-23 és NA-24 jelű pontok környezete.

Mind a molibdén, mind pedig a klórozott szénhidrogének használata jó ideje megszűnt a gyárban még működő technológiákban, a szennyező anyagok forrása, illetve utánpótlása megszűntnek tekinthető.

6. KOCKÁZATELEMZÉS

A környezeti kockázatelemzés célja, hogy meghatározza az ismert kémiai, fizikai, biológiai expozíció környezetkárosító hatását és bekövetkezésének valószínűségét. Amikor a kockázatelemzés végpontjában az ember áll, humán-egészségügyi kockázatelemzést végzünk, ilyen esetben azt vizsgáljuk, hogy az adott esemény milyen valószínűséggel okoz egészségkárosodást az érintett személyek körében.

A kockázat értelmezéséhez három tényező: a szennyezőanyag, az expozíciós útvonal és a receptorok térbeli és időbeli egybeesése szükséges, bármelyik elem hiánya esetén a kockázat nem értelmezhető.

A Vákuumtechnikai Gépgyár területén feltárt szennyezés humán-egészségügyi kockázatát a következő lépéseken keresztül elemeztük:

1. A probléma megfogalmazása
2. Szennyező anyagok szűrése
3. Receptorok (érintettek) szűrése
4. Expozíciós (terjedési) útvonalak meghatározása
5. A kockázatelemzés koncepciójának, modelljének kialakítása
5. A kockázatok meghatározása
6. A kockázatok értékelése

6.1. A probléma megfogalmazása

A Tungsram Real Estate Kft. Budapest, Főti út 141. alatti telephelyén (Vákuumtechnikai Gépgyár) elvégzett tényfeltárás eredményei azt mutatják, hogy a telephely talajában és talajvizében több komponens koncentrációja meghaladja a 6/2009 (IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet szerinti (B) szennyezettségi határértéket.

A telephelyen jelenleg használatban lévő épületekben tárolási, raktározási tevékenység, karbantartó és állagmegóvási tevékenység folyik. Termelő tevékenység két épületben történik, ahol világítástechnikai kerámia alkatrészeket állítanak elő alumínium-oxid és szilícium-dioxid tartalmú por alapanyagból préseléssel. A területen tartózkodók, és ott munkát végzők veszélyeztetettségét mindenképpen szükséges vizsgálni.

A telephely bármilyen célú jövőbeni hasznosítása építési, bontási, területrendezési munkával fog járni, melynek során a munkát végző személyek kapcsolatba kerülhetnek a szennyezett talajjal és/vagy talajvízzel. Meg kell tehát vizsgálni, hogy milyen mértékű kockázatot jelent a talaj- és talajvíz szennyezettsége az építési munkát végzők számára.

Mivel nincsenek ismereteink a terület jövőbeni használatáról, a terület átépítését követően várható kockázatokat nehéz megbecsülni, ezzel kapcsolatban csak közelítő előrejelzések tehetők.

A gyár területén feltárt talajvíz-szennyezés különböző transzportfolyamatok révén kilépett az ingatlan területéről, a feltárás eredményei szerint az attól északra, illetve nyugatra található

lakóterületek alatti talajvíztestben is kimutathatók egyes szennyezőanyagok. A telephelyről kijutott szennyezőanyagok kockázatot jelenthetnek az itt élők számára, a veszélyeztetettség mértékét meg kell határozni.

A lakott területen végzett vizsgálatok olyan szennyezettséget is feltártak, ami nem a gyár területéről származik, erre vonatkozóan külön számításokat végeztünk a humán-egészségügyi kockázatok meghatározására.

6.2. A szennyező anyagok szűrése

A vizsgálati eredmények szerint a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről kiadott 6/2009.(IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet szerinti (B) határértéket meghaladó mennyiségben előforduló komponensek a talajban a következők voltak:

Arzén, Kadmium, Króm, Króm (VI), Réz, Higany, Molibdén, Nikkel, Cink, Szelén, Ón, Bárium, Ólom, Ezüst, Antimon, PAH és TPH vegyületek.

A talajvízben (B) határérték feletti koncentrációban talált alkotók a következők voltak:

Klorid-ion, Szulfát-ion, Nitrát-ion, Nátrium, Cink, Molibdén, Bór, Kloroform, Szén-tetraklorid, Triklór-etilén, Tetraklór-etilén, Vinil-klorid.

A talajvízben azonosított szennyezőanyagok közül a telephelyen folytatott tevékenységhez köthető molibdén és klórozott alifás szénhidrogének előfordulásának kockázatait vizsgáltuk.

A (B) határérték feletti koncentrációban előfordult komponensek közül a vizsgálat során elhagytuk a klorid-, szulfát-, nitrát- és nátrium-ionokat, egyrészt mivel ezek jelenléte és magasabb koncentrációja nagyvárosi környezetben általánosnak tekinthető, másrészt egészségügyi és környezeti veszélyességük is jóval csekélyebb, mint az egyértelműen ipari tevékenységből származó szennyezőké.

Ugyancsak nem vizsgáltuk a cink és a bór jelentette kockázatokat. Határérték feletti cink koncentrációt mindössze egyetlen, az üzemi területtől távoli mintavételi ponton találtunk, míg a legmagasabb mért bór koncentráció ($1070 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) is alig haladta meg az ivóvízben megengedett 1 mg/L ($1000 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) értéket.

6.3. Receptorok (érintettek) szűrése

Receptorként alapvetően a Vákuumtechnikai Gépgyár területén tartózkodó, és ott munkát végző személyeket vettük figyelembe, mivel ők kerülhetnek közvetlen kapcsolatba a talaj-, illetve talajvíz szennyezőanyagaival a területen.

A talajvíz oldott komponenseit a felszín alatti áramlás ÉNY-i irányba, a Főti út északi oldalán található családi házas beépítésű lakóövezet felé szállítja, ezért a lehetséges érintettek körét ki kellett terjeszteni a telephely környezetében található családiházas beépítésű területen élőkre is.

6.4. Expozíciós (terjedési) útvonalak meghatározása

A szennyező anyagok emberi szervezetbe bejutásának három lehetséges útja van:

1. belégzés útján
2. tápcsatornán át
3. bőrkontaktus útján

6.4.1. A gyár területén dolgozók esetében figyelembe vett expozíciós útvonalak és receptorok

A telephely jelenlegi használatának megfelelő termelő-, raktározási-, karbantartó- és állagmegóvási tevékenységet folytató dolgozók a szennyezett környezeti elemekkel (talaj, talajvíz) nem, vagy csak korlátozott mértékben kerülhetnek kapcsolatba.

A szennyezett talajjal a telephelyen építési, mélyépítési munkákat végzők kerülhetnek közvetlen kapcsolatba. Esetükben legnagyobb valószínűsége a szennyezett talajból kiporzás útján levegőbe került szálló por belégzésének van. A tápcsatornán keresztül történő szennyezőanyag felvétel (szennyezett talaj véletlen lenyelése) és a bőrön keresztüli felszívódásból eredő veszélyeztetettség a munka-, egészség- és biztonságvédelmi előírások betartásával (munkaruha, védőeszközök, védőfelszerelések használata, tisztálkodási lehetőség biztosítása) minimálisra csökkenthető, illetve az elviselhető szint alatt tartható.

A gyár területén belül felszín alatti víz kivétel, vagy egyéb célú hasznosítás nem történik. Az ingatlanon belül a szennyezett talajvízhez való hozzáférés korlátozott, a telephelyen tartózkodók nem kerülhetnek kapcsolatba a talajvíz szennyezőanyagaival. A vízszintmérési eredmények szerint a telephely területén a talajvíz a felszín alatt 4,5-5,0 m mélységben található, ami jóval mélyebben van, mint a legtöbb közmű 1,0-1,5 m fektetési mélysége. A szennyezett talajvízzel való érintkezés mélyalapozások során, vagy talajvízszint csökkentéssel járó tevékenység esetén fordulhat elő. Ilyen jellegű munkák során a szennyezett víz lenyelésének valószínűsége és a víz szennyezőanyagainak bőrön keresztüli felszívódása a munka-, egészség- és biztonságvédelmi előírások betartásával (munkaruha, védőeszközök, védőfelszerelések használata, tisztálkodási lehetőség biztosítása) minimálisra csökkenthető, az ebből eredő kockázat az elviselhető szint alatt tartható.

Az azonosított szennyező komponensek jelentős része nem illékony, az illékony komponensek pedig a 4-4,5 m mélyen található talajvízben fordulnak elő. A talajvízből elpárolgó anyagok mennyiségét jelentősen korlátozza a talajvíz 14-16 C°-os hőmérséklete, azonban a talajvízből belégzés útján történő szennyező anyag felvétel lehetősége nem zárható ki teljesen.

A területen tartózkodók, vagy ott építési tevékenységet végzők esetében legnagyobb valószínűsége a belégzés útján történő expozíciónak van, így a továbbiakban ezt vizsgáljuk részletesebben.

6.4.2. A lakott területen élők esetében figyelembe vett expozíciós útvonalak és receptorok

A gyárterülettől északra eső területen feltárt talajvíz-szennyezettségnek kitett állandó lakosokra vonatkozóan az alábbi expozíciós útvonalakat feltételeztük:

- A talajvízben lévő, kipárolgó szennyezőanyagok belégzése miatt kültéri és beltéri inhalációs útvonallal is számoltunk. Ezen expozíció esetében évi 350 napos gyakoriságot határoztunk meg bel- és kültéren egyaránt, amivel évi maximum 2 hetes távollétet feltételeztünk a szennyezett területtől.
- A talajvízzel történő kerti locsolás során lehetséges a szennyezett vízzel való érintkezés (bőrfelületen) és a vízpermet belégzése. Az expozíció gyakoriságára évi 60 napot vettünk fel, amivel azt feltételeztük, hogy a júniustól szeptember végéig (120 nap) tartó locsolási időszakban minden másnap locsolnak.
- A legkedvezőtlenebb esetet feltételezve figyelembe vettük azt a lehetőséget is, hogy a kerti medencék feltöltése és fürdővíz utánpótlása a saját használatú talajvíz kutak vizével történik. Ezt az expozíciót a Risc5 beltéri fürdésre (zuhanyzásra) készített modelljével közelítettük. A modellben fürdésre a szennyezett talajvizet használtuk, a fürdés gyakorisága a nyári szezont figyelembe véve évi 60 nap. Az expozíciót, vagyis az illékony komponensek belégzését tekintve a beltéri zuhanyzás a kültéri medencében való fürdéshez képest sokkal kedvezőtlenebb, ezért, hogy közelítsünk a reális körülményekhez, a modell paramétereit előzetesen kalibrálnunk kellett.
- Az öntözővízként használt szennyezett talajvízből növényekbe felszívódó és az elfogyasztott növényekkel a receptor szervezetekbe kerülő szennyezőanyagok hatását is vizsgáltuk.

A saját használatú talajvíz kutakból történő vízfogyasztást (ivóvízként vagy főzésre) nem feltételeztük, a terület ivóvízellátása a Fővárosi Vízművek ivóvízhálózatáról biztosított. A szennyezett víz nagy mennyiségű véletlen lenyelését túlzóan konzervatív megközelítésnek tartjuk, ezzel az expozíciós úttal nem számoltunk.

Az érintett állandó lakosok esetében külön vizsgáltuk a felnőtt és gyermek receptorokat, mivel utóbbiak a szennyezőanyagok egészségkárosító hatásaira legérzékenyebb csoport.

6.5. Az alkalmazott kockázatelemzési modellek és számítások

6.5.1. A gyárterületen belül feltárt szennyezőanyagok okozta humán-egészségügyi kockázatok számítása

A gyár területén belül a talajban és a talajvízben feltárt (B) szennyezettségi határértéket meghaladó koncentrációjú szennyezőanyagok a jelenlegi és jövőbeli területhasználatok során csak az ott dolgozókra, illetve az építési munkákat végzőkre jelenthetnek egészségügyi kockázatot. Mivel a területen felszín alatti vízhasználat nincsen, ezért a talajból kiporzás útján, a felszín alatti vízből pedig kipárolgással levegőbe jutó szennyezőanyagok lehetséges maximális mennyiségét számoltuk ki, és vetettük össze a vonatkozó határértékekkel.

6.5.2. A gyárterületen kívüli talajvíz-szennyezettség okozta humán-egészségügyi kockázatok számítása

Az **5.3. fejezetben** bemutatott talajvíz-szennyezettségi állapotok alapján feltételezhetjük, hogy a lakott területen detektált felszín alatti víz-szennyezettség egy része nem a gyárterületen folytatott tevékenységből származik, ezért a külső, lakott területet érintő kockázatokat két külön modellben vizsgáltuk:

- (1) Az első modellben a gyárterületről kilépő talajvíz szennyezettségéből adódó kockázat mértékét vizsgáltuk. Ennek során abból a tényből indultunk ki, hogy a feltárt szennyezőanyagok használata a gyárterületen belül már évekkel ezelőtt megszűnt, aktív szennyezőforrás nincsen a területen. Mivel a szennyezőanyagok utánpótlása megszűnt, így feltételezhető, hogy a gyárterület határán kialakult koncentrációknál nagyobb mértékben szennyezett talajvíz nem jut ki a lakott területre a forrásterületről. Ennek megfelelően a gyárterület nyugati és északi határán mért maximális koncentrációkkal, és a **6.4.2. fejezetben** ismertetett expozíciókat figyelembe véve végeztük el a számításokat.
- (2) A második modellben a külső, lakott területen lévő mintavételi pontokról származó talajvíz mintákban mért legnagyobb koncentrációkat vettük figyelembe a számítások során. Így külön vizsgáltuk a külső forrásból származó, ismeretlen eredetű szennyeződés okozta humán-egészségügyi kockázatot.

Fenti két esetet vizsgálva, egymástól elkülönítve tudtuk értékelni a Vákuumtechnikai Gépgyár területén korábban folytatott tevékenység okozta szennyeződés, valamint a gyárterületen kívül feltárt, egyéb ismeretlen forrásból származó talajvíz-szennyezettség okozta kockázatokat.

6.6. A kockázatok meghatározása

6.6.1. A gyár területén munkát végzők egészségügyi kockázata

A receptorok és expozíciós útvonalak vizsgálata során megállapítottuk, hogy a szennyezett talajjal a telephelyen építési, mélyépítési munkákat végzők kerülhetnek közvetlen kapcsolatba. Esetükben legnagyobb valószínűsége a szennyezett talajból kiporzás útján levegőbe került szálló por belégzésének van.

A belégzéssel szervezetbe jutó szennyezőanyag mennyiségének meghatározása során a rövid idejű, közepes aktivitású tevékenység során belélegzett levegőmennyiség 95%-os gyakoriságú értékei közül a legnagyobbat, az 50-60 éves korosztályhoz tartozó $4,0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{perc}$ értéket² vettük figyelembe. A szálló por koncentrációjaként konzervatív becsléssel $226 \mu\text{g}/\text{m}^3$ értéket³ vettünk fel. A szálló por szennyezőanyag tartalmát – a legrosszabb esetet feltételezve – a vizsgált mintákban mért legnagyobb értékekkel jellemeztük:

Komponens	Koncentráció [mg/kg]		
	2020	2021	Maximális
Arzén	21,0	16	21,0
Kadmium	24,4	4,9	24,4
Króm	125	111	125
Króm(VI)	5,6	-	5,6
Réz	206	3800	3800
Higany	6,74	235	235
Molibdén	7	15	15
Nikkel	1400	124	1400
Cink	511	3450	3450
Szelén	-	1,1	1,1
Ón	-	341	341
Bárium	-	393	393
Ólom	-	224	224
Ezüst	-	2,1	2,1
Antimon	-	13,1	13,1
Összes PAH	7,86	37,39	37,39
TPH	-	1110	1110

² Exposure Factors Handbook: 2011 Edition; EPA/600/R-090/052F; 2011. szeptember

³ Levels of respirable dust and respirable crystalline silica at construction sites (2011); Health and Safety Laboratory for the Health and Safety Executive; <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr878.pdf>

A porkoncentráció, a por szennyezőanyag tartalma és a belélegzett levegő mennyisége alapján meghatározhatók a levegőben kialakuló koncentrációk, valamint egy 8 órás műszakban a receptor szervezetébe belégzés útján bekerülő szennyezőanyagok mennyisége:

Szennyező	Koncentráció a levegőben [mg/m ³]	AK ⁴ [mg/m ³]	CK ⁵ [mg/m ³]	Szervezetbe került mennyiség [mg/8 óra]
Arzén	4,75×10 ⁻⁶	0,01		9,11×10 ⁻⁵
Kadmium	5,51×10 ⁻⁶	0,004		1,06×10 ⁻⁴
Króm	2,83×10 ⁻⁵	0,5	2	5,42×10 ⁻⁴
Króm (VI)	1,27×10 ⁻⁶	0,01		2,43×10 ⁻⁵
Réz	8,59×10 ⁻⁴	0,1	0,2	1,65×10 ⁻²
Higany	5,31×10 ⁻⁵	0,02		1,02×10 ⁻³
Molibdén	3,39×10 ⁻⁶	5		6,51×10 ⁻⁵
Nikkel	3,16×10 ⁻⁴	0,01		6,07×10 ⁻³
Cink	7,80×10 ⁻⁴	1		1,50×10 ⁻²
Szelén	2,49×10 ⁻⁷	0,1	0,2	4,77×10 ⁻⁶
Ón	7,71×10 ⁻⁵	0,02		1,48×10 ⁻³
Bárium	8,88×10 ⁻⁵	0,5		1,71×10 ⁻³
Ólom	5,06×10 ⁻⁵	0,1		9,72×10 ⁻⁴
Ezüst	4,75×10 ⁻⁷	0,1		9,11×10 ⁻⁶
Antimon	2,96×10 ⁻⁶	0,5		5,68×10 ⁻⁵
Összes PAH	8,45×10 ⁻⁶	0,002*		1,62×10 ⁻⁴
TPH	2,51×10 ⁻⁴	5		4,82×10 ⁻³

* Az 5/2020.(II.6.) ITM rendelet 1. mellékletében benzo(a)pirénre megadott érték

A kapott eredmények azt mutatják, hogy a munkahelyek kémiai biztonságáról szóló 5/2020.(II.6.) ITM rendelet 1. sz. mellékletében meghatározott, a munkahelyi levegőre vonatkozó követelmények teljesülnek, a szálló por belégzéséből eredő egészségügyi kockázat az elviselhető szintet nem lépi túl. Ettől függetlenül, az építési munkák kivitelezőjének meg kell tennie minden lehetséges intézkedést a kiporzás mértékének és a szálló por koncentrációjának csökkentésére (pl.: földmunkák minimalizálása, szállítási útvonalak hosszának csökkentése, útfelületek locsolása, gépjárművek sebességének korlátozása, deponált talaj nedvesítése vagy takarása, stb.)

A talajvízből elpárolgó illékony komponensek levegőben kialakuló koncentrációja számos környezeti paraméter értékétől függ (a víz és a levegő hőmérséklete, levegővel érintkező vízfelület mérete, szélesebbség, légnyomás, stb.). Hogy elkerüljük a modellekben meglévő

⁴ Munkahelyi levegőben megengedett átlagos koncentráció az 5/2020.(II.6.) ITM rendelet szerint.

⁵ Munkahelyi levegőben megengedett csúcskoncentráció az 5/2020.(II.6.) ITM rendelet szerint.

becslési bizonytalanságokat, a kockázat meghatározásához a zárt térben kialakuló egyensúlyi koncentrációkat számoltuk ki.

Zárt térben a vizes oldat fölött telítődik a gáztér az elegy gőzével, az elegy gőznyomása (tenziója) határozott érték, ami a hőmérsékleten kívül az elegy összetételétől is függ. Mivel az elegy gőze elvileg valamennyi összetevőt tartalmazza, gőznyomása az egyes komponensek által szolgáltatott részekből, a parciális nyomásokból tevődik össze. Ideális elegyekben az egyes összetevők parciális nyomása ($p_1, p_2, \dots$) megegyezik a tiszta összetevők gőznyomásának ($p_1^0, p_2^0, \dots$) és móltörtjének ($x_1, x_2, \dots$) szorzatával. Ez az ún. *általános Raoult-féle törvény*, amely szerint többkomponensű elegyekben az i komponens parciális nyomása (p_i), móltörtje (x_i) és gőznyomása (p_i^0), valamint az összes nyomás (P) között az alábbi összefüggések érvényesek:

$$p_i = x_i \cdot p_i^0, \quad P = \sum x_i \cdot p_i^0$$

A *Raoult-törvény* felhasználásával a tiszta komponensek gőznyomásának ismeretében tehát kiszámolható az elegy gőznyomása. Mivel az Avogadro-törvény szerint állandó hőmérsékleten a gőznyomás arányos a mólszámmal (azonos térfogatban), az i komponens móltörtje a gőztérben (x_i') az

$$x_i' = p_i/P$$

összefüggéssel kiszámolható.

A vizes oldatban lévő klórozott alifások mennyiségét – a legrosszabb esetet feltételezve – a vizsgált mintákban mért legnagyobb értékekkel jellemeztük:

Komponens	Koncentráció [$\mu\text{g}/\text{dm}^3$]
Kloroform	8,4
Széntetraklorid	169
Triklór-etilén	22,4
Tetraklór-etilén	467
Vinil-klorid	1,4

A számítások elvégzése után a zárt térben kialakuló koncentrációk:

Komponens	Mól-tömeg	Móltört a vízben	Gőznyomás 20 C°-on [kPa]	Parciális nyomás [kPa]	Móltört a gőztérben	Koncentráció a gőztérben [mg/m^3]
Víz	18,01	0,999999925	2,33854	2,338539824	0,999999673	
Kloroform	119,40	$1,26633 \times 10^{-9}$	212	$2,68462 \times 10^{-7}$	$1,14799 \times 10^{-7}$	0,569
Szén-tetraklorid	153,82	$1,97764 \times 10^{-8}$	12,2	$2,41272 \times 10^{-7}$	$1,03172 \times 10^{-8}$	0,659
Triklór-etilén	131,4	$3,06849 \times 10^{-9}$	7,8	$2,39343 \times 10^{-8}$	$1,02347 \times 10^{-8}$	0,056
Tetraklór-etilén	165,83	$5,06905 \times 10^{-8}$	1,9	$9,63119 \times 10^{-8}$	$4,11846 \times 10^{-8}$	0,284
Vinil-klorid	62,498	$4,0321 \times 10^{-10}$	334	$1,34673 \times 10^{-7}$	$5,75886 \times 10^{-8}$	0,149

A kapott eredményeket összevetve a munkahelyek kémiai biztonságáról szóló 5/2020.(II.6.) ITM rendelet 1. sz. mellékletében meghatározott, munkahelyi levegőre vonatkozó követelményekkel, láthatjuk, hogy még zárt térben sem alakulnának ki a dolgozók egészségét veszélyeztető koncentrációk.

VOCI vegyület	Koncentráció zárt térben [mg/m ³]	AK ⁶ [mg/m ³]	CK ⁷ [mg/m ³]
Kloroform	0,569	10	–
Széntetraklorid	0,659	6,4	32
Triklór-etilén	0,056	54,7	164,1
Tetraklór-etilén	0,175	138	275
Vinil-klorid	0,149	2,6	-

A nyílt téren kialakuló koncentrációk a számítottnál nagyságrendekkel kisebbek, mert a folyadék felszínéről kilépő molekulákat már minimális légmozgás is eltávolítja a folyadék közeléből, és az elmozduláshoz csaknem korlátlan tér áll rendelkezésükre.

A kapott eredményekből levonható következtetés az, hogy a jelenlegi területhasználat mellett a gyárterület talajának és talajvizének szennyezettségéből eredő humán-egészségügyi kockázat nem haladja meg az elviselhető mértéket a területen munkát végzők számára.

6.6.2. A területen tartózkodók kockázata építés utáni időszakban

Mindennemű építési tevékenység során a talaj felső rétege van kitéve a legnagyobb igénybevételnek, ezt a felszíni réteget éri a legtöbb fizikai behatás és változás. Emiatt a kivitelezést lezáró lépésekben kerül sor a terep rendezésére, a roncsolt területek helyreállítására, parkosításra, zöld felületek kialakítására. Ennek során az építési területen a terep felszínét a tervek szerinti magasságra hozzák, kialakítják a gyalogosok és a gépjárművek közlekedéséhez szükséges járdákat, utakat, illetve növények telepítéshez megfelelő termőtalajt terítenek a zöld felületek kialakítására szánt területre.

Az épületek, a térburkolatok és az újonnan kialakított zöldfelületek az átalakított terület felszínére kerülnek, ami azt jelenti, hogy a területen tartózkodó személyek már nem kerülhetnek közvetlen kapcsolatba az építés előtt a felszínen vagy a felszín közelében elhelyezkedő szennyezett talajrétegekkel, ami a talaj szennyezettségéből eredő kockázatot jelentős mértékben csökkenti, illetve megszünteti.

Felszín alatti víz kivétel vagy hasznosítás a gyár területén jelenleg sincsen, a későbbi területhasználat során sem valószínű, mert az ivóvíz ellátás a Fővárosi Vízművek hálózataról

⁶ Munkahelyi levegőben megengedett átlagos koncentráció az 5/2020.(II.6.) ITM rendelet szerint.

⁷ Munkahelyi levegőben megengedett csúcskoncentráció az 5/2020.(II.6.) ITM rendelet szerint.

biztosítható. Amennyiben a megváltozott területhasználathoz kapcsolódóan mégis szükségessé válik a talajvíz használata (zöld terület locsolása, takarító- vagy öblítővíz biztosítása, látványtő, stb.), abban az esetben a felhasznált víz mennyiségét, minőségi állapotát és a felhasználás jellegét figyelembe vevő kockázatelemzést kell készíteni.

6.6.3. A talajvíz szennyezettség kockázata a külső területen

A talajvíz oldott komponenseit a felszín alatti áramlás ÉNY-i irányba, a Főti út északi oldalán található családi házas beépítésű lakóövezet felé szállítja. Az ott élők ivóvíz ellátása a Fővárosi Vízművek hálózatáról biztosított, ismert azonban a kertekben fűrt saját használatú talajvíz kutakból történő vízkivétel és felhasználás.

A szennyezett felszín alatti vízben feltárt szennyezőanyagokhoz kapcsolódó kockázatok meghatározására a Risc5 nevű szoftvert alkalmaztuk, amely a szennyezett területek potenciális környezeti- és egészségügyi kockázatának meghatározására szolgál. A program segítségével a potenciális negatív (karcinogén, nem karcinogén és egyéb) egészségügyi hatásokat becsülhetjük 14 lehetséges kitettségi útvonal követésével. A szoftverbe integrált állapot- és transzport modellek segítségével megbecsülhetjük a szennyezett talajvíz okozta környezeti kockázatot, a rákkeltő anyagok okozta egészségügyi kockázatot, a nem rákkeltő anyagok egészségkárosító hatását jellemző veszélyességi index értékét, valamint meghatározhatjuk az elviselhető kockázati szintekhez szükséges (D) kármentesítési célállapot határértéket.

A kockázat elemzésének leglényegesebb eleme a receptorokhoz eljutott szennyezőanyag mennyiség (dózis) és a vegyület toxikus potenciáljának összehasonlítása. A vizsgálat során azt elemezzük, hogy az adott vegyületből milyen mennyiség juthat el a modellben feltüntetett receptorig. Az expozíció (kitettség) a szennyezőanyag és a szervezet érintkezésével, annak mértékével, időtartamával, gyakoriságával jellemezhető.

Az expozícióelemzés megadja az adott szennyezőnek különböző környezeti közegek útján a receptorok által naponta felvett mennyiségét testsúlyra vonatkoztatva. Az elemzés elvégzéséhez meg kell becsülni a receptor közvetlen környezetében a szennyezők koncentráció értékét, melyből dózis értéket kell számolni.

Külső, vagy potenciális dózissnak nevezzük a receptor közvetlen környezetébe eljutott szennyezőanyag-koncentrációt, belső dózissnak pedig a szervezetbe ténylegesen beépülő koncentrációt tekintjük.

A szennyező anyag lenyeléssel, belélegzéssel vagy bőrön keresztüli felszívódással szervezetbe jutott mennyisége, más szóval a bevitel adja meg az átlagos napi dózist (ÁND), amelynek kiszámítása az alábbi tényezők figyelembevételével történik:

$$\text{ÁND} = \frac{C_k \cdot B_m \cdot E_g \cdot E_h}{T_t \cdot t},$$

ahol C_k az anyag koncentrációja a szennyezett közegben /talajban, talajvízben, levegőben/

B_m lenyelt/belélegzett/bőrön át felszívódott mennyiség (mg/nap)

E_g az expozíció gyakorisága (nap/év)

E_h az expozíció időtartama (év)

T_t testtömeg (kg)

t vonatkoztatási idő (év $\times$ nap/év)

Az expozíció (a kitettség) mértékegysége a mg/kg/nap.

A humán-egészségügyi kockázatok számszerűsítésére a számított átlagos napi dózist a toxicitás szempontjából megengedhető (referencia) dózisokkal, illetve koncentrációkkal vetjük össze. Az egészségkárosodást nem okozó referencia dózisokat, koncentrációkat (RfD, RfC) nemzetközi szervezetek ellenőrzött toxikológiai adatbázisai tartalmazzák.

A Risc5 (az EPA értelmezésének megfelelően) különbséget tesz az ún. karcinogén kockázat és a veszélyesség között.

Eszerint rákkeltő (karcinogén) anyagokra vonatkozóan a kockázatot a vizsgált egyed egész élete során kialakuló rákos megbetegedés valószínűségének növekedéseként értelmezzük. Azaz, azt határozzuk meg, hogy mennyivel nő meg annak a valószínűsége, hogy a szennyezőanyag(ok)nak való kitettség következtében a vizsgált populációhoz tartozó egyedben élete során daganatos megbetegedés fejlődik ki. Ez a kockázati érték az adott egyedre vonatkozó daganatos megbetegedési kockázat többlet, vagy egyszerűen karcinogén kockázat.

A kémiai anyagokra vonatkozó publikált karcinogén toxicitási értékekből (*slope factor*) a daganatos megbetegedési kockázat többletet az alábbi összefüggéssel számoljuk:

$$IELCR_{ij} = SF_{ij} LADD_{ij}$$

ahol

$IELCR_{ij}$ = az i-edik kémiai anyaghoz és a j-edik beviteli útvonalhoz tartozó daganatos megbetegedési kockázat többlet [dimenziómentes]

SF_{ij} = az i-edik kémiai anyaghoz és a j-edik beviteli útvonalhoz tartozó karcinogén toxicitási érték [mg/kg-nap]⁻¹

$LADD_{ij}$ = az i-edik kémiai anyagból a j-edik beviteli útvonalon felvett várható életkorra számított átlagos napi dózis [mg/kg-nap]

A kockázatbecslésnek ez a megközelítése a karcinogén kockázat alacsony dózisú lineáris modelljén alapszik, amelyet az Egyesült Államok Környezetvédelmi hivatala (EPA) 1989-ben tett közzé és a 0,01 kockázati érték alatti tartományban tekintenek érvényesnek. A modell azt feltételezi, hogy a kockázatos anyag legcsekélyebb felvett mennyisége is növeli a daganatos megbetegedés kockázatát, vagyis nincsen biztonságos vagy „küszöb” dózisérték. Ez alapvetően különbözik a nem rákkeltő anyagokra vonatkozó megközelítéstől, amelyeknél létezik egy biztonságos ún. referencia dózis érték.

A különböző beviteli útvonalakhoz és vegyi anyagokhoz tartozó karcinogén kockázatok a feltételezések szerint additívak, így a teljes kockázat az alábbiak szerint becsülhető:

$$IELCR = \sum IELCR_{ij}$$

ahol

$$\begin{aligned} IELCR &= \text{teljes kockázat [dimenziómentes]} \\ IELCR_{ij} &= \text{az i-edik kémiai anyaghoz és a j-edik beviteli útvonalhoz tartozó} \\ &\quad \text{kockázat [dimenziómentes]} \end{aligned}$$

A szennyezőanyagok okozta karcinogén kockázatot a gyakorlatban akkor tekintjük elviselhetőnek, ha az adott expozícióra visszavezethető daganatos megbetegedés előfordulási gyakoriságának növekedése nem haladja meg a társadalmilag elfogadott 1×10^{-6} értéket. Ez azt jelenti, hogy egymillió ember közül egy esetben valószínűsíthető adott kitettségéből eredő rákos megbetegedés. Munkaterületen – összhangban a nemzetközi gyakorlattal – 10^{-5} kockázati szint tekinthető elfogadhatónak a foglalkozási eredetű rákkeltő anyagok elleni védekezésről és az általuk okozott egészségkárosodások megelőzéséről szóló 26/2000. (IX.30.) EüM rendelet szerint.

Azon vegyületek esetében, amelyeknek nem ismert rákkeltő hatása, nem kockázatról, hanem veszélyességről beszélünk. A veszélyesség mértékét a feltárt expozíciós útvonalakon keresztül a szervezetbe jutott szennyezőanyag és a megengedhető napi bevitel hányadosa alapján értékeljük.

Egy adott kémiai anyag adott beviteli útvonalon az emberi szervezetbe jutott mennyiségének, és ugyanezen anyag mérgező hatásának (toxicitásnak) a megengedhető napi bevittel kifejezett hányadosát veszélyességi hányadosnak nevezzük. A veszélyességi hányadosokat rendszerint kémiai anyagonként és beviteli útvonalanként összegezzük, és ilyen módon képezzük a veszélyességi indexet.

A veszélyességi hányados képzésének ezen módszere abból a feltételezésből indul ki, hogy a szervezetbe jutott kémiai anyagok mennyiségének van egy olyan alsó szintje, amely még a legérzékenyebb populációban sem eredményez kimutatható egészségkárosító hatást. Ez az ún. referencia dózis (*RfD*) vagy megengedhető napi bevitel (*Tolerable Daily Intake – TDI*) a toxicitás mértéke a nemkarcinogén veszélyesség számszerűsítése során. Mértékegysége a naponta testtömeg kilogrammonként bevitt anyagmennyiség, és azt mondjuk, hogy ha a napi bevitel nem éri el a referencia dózis mértékét (vagyis a veszélyességi hányados < 1), akkor nem következik be egészségkárosodás, még akkor sem, ha a receptor akár teljes élethosszúságig van kitéve ilyen mértékű hatásnak. A referencia dózison általában két típusa használatos. A szubkrónikus *RfD* a rövid idejű kitettség esetére és a krónikus *RfD* a hosszú idejű hatások értékelésére. Az általunk elvégzett számítások során a krónikus *RfD* értékeket vettük figyelembe.

A veszélyességi hányados értékét egy adott kémiai anyagra és egy adott beviteli útvonalra a következők szerint számoljuk:

$$HQ_{ij} = CADD_{ij} / RfD_{ij}$$

ahol

- HQ_{ij} = az i-edik kémiai anyaghoz és a j-edik beviteli útvonalhoz tartozó veszélyességi hányados [dimenziómentes]
 $CADD_{ij}$ = az i-edik kémiai anyagból a j-edik beviteli útvonalon felvett tartós napi dózis [mg/kg-nap]
 RfD_{ij} = az i-edik kémiai anyaghoz és a j-edik beviteli útvonalhoz tartozó referencia dózis [kg]

A veszélyességi indexet a kémiai anyagokhoz és a beviteli útvonalakhoz tartozó veszélyességi hányadosok összegzésével kapjuk:

$$HI = \sum \sum HQ_{ij}$$

ahol

- HI = veszélyességi index [dimenziómentes]
 HQ_{ij} = az i-edik kémiai anyaghoz és a j-edik beviteli útvonalhoz tartozó veszélyességi hányados [dimenziómentes]

Általánosságban azt mondhatjuk, hogy minél nagyobb a veszélyességi index, annál nagyobb figyelmet érdemel. Az egynél nagyobb veszélyességi indexek általában az egészségkárosodás lehetőségét jelzik és további vizsgálatok elvégzésének, vagy beavatkozási intézkedések meghozatalának szükségességét jelentik.

A Risc5-ben végzett számítások elvégzéséhez a felszín alatti víz szennyezettségi adatait, az elvégzett hidraulikai és talajmechanikai vizsgálatok eredményeit, a fúrások során feltárt vízföldtani adatokat, a szoftver alapértelmezett adatbázisát, illetve a U.S. EPA szennyezőanyagokra vonatkozó adatbázisát használtuk. Az állandó lakók expozíciójára vonatkozó fontosabb bemeneti paramétereket a **6.6.3-1. táblázatban** foglaltuk össze.

6.6.3-1. táblázat A külső területek kockázatának meghatározására használt expozíciós paraméterek

Paraméter	Egység	Felnőtt lakos	Gyermek lakos
Testtömeg	kg	71.8	19
Kitettség időtartama karcinogén anyagok esetén	év	70	70
Expozíció időtartama	év	10	10
Házkerti növények fogyasztása	Egység	Felnőtt lakos	Gyermek lakos
Növények fogyasztásának gyakorisága	alkalom/év	100	100
Gyökérnövények fogyasztásának mértéke	g/nap	87.5	48.5
Felszínen termő növények fogyasztásának mértéke	g/nap	127	55.8
Szennyezett területen termelt növények aránya a fogyasztásban	-	0.1	0.1
Kültéri fürdőzés (bőrfelülettel való érintkezés, inhaláció) beltéri fürdés modelljével közelítve	Egység	Felnőtt lakos	Gyermek lakos
Fürdés gyakorisága	alkalom/év	60	60
Szennyezett vízzel érintkező testfelület	cm ²	1.94E+04	7.00E+03
Fürdés időtartama	óra/nap	0.04	0.04
Párolgással érintett térfogat	m ³	60	60
Fürdővíz hőmérséklet	°C	28	28
Belégzési sebesség	m ³ /óra	0.625	0.35
Locsolás (bőrkontaktus, inhaláció)	Egység	Felnőtt lakos	Gyermek lakos
Öntözés gyakorisága	alkalom/év	60	60
Öntözés időtartama	óra/nap	0.5	0.5
Öntözővízzel történő érintkezés időtartama	óra	0.0833	0.0833
Szennyezett locsolóvízzel érintkező testfelület	cm ²	2.28E+03	3.60E+03
Vízpermettel érintett terület szélessége	m	10	10
Belégzési zóna magassága	m	2	2
Átlagos szélesebbesség	m/s	3.5	3.5
Öntözővíz hőmérséklete	°C	15	15
Öntözés intenzitása	l/perc	8	8
Vízcsepp átmérője	cm	0.2	0.2
Vízcsepp levegőben tartózkodási ideje	sec	5	5
Belégzési sebesség	m ³ /óra	1.6	1.2
Beltéri inhaláció	Egység	Felnőtt lakos	Gyermek lakos
Expozíció gyakorisága	alkalom/év	350	350
Beltérben töltött idő	óra/nap	18.3	19.6
Belégzési sebesség	m ³ /óra	0.625	0.35
Kültéri inhaláció	Egység	Felnőtt lakos	Gyermek lakos
Expozíció gyakorisága	alkalom/év	350	350
Kültéren töltött idő	óra/nap	1.1	2.2
Belégzési sebesség	m ³ /óra	1.6	1.2

Amint azt a **6.4.2. fejezetben** említettük, a kerti medencék használatából eredő expozíciót a Risc5 beltéri zuhanyozásra kidolgozott modelljével számoltuk. Ez a modell az expozíciót tekintve több okból is kedvezőtlenebb a kültéri medencében való fürdéshez képest. Egyrészt, mert a zárt térben történő zuhanyozás során az illékony vegyületek magasabb koncentrációja alakul ki, mint a nyílt téri medence feletti légtérben. Másrészt pedig a zuhanyozáshoz használt vízben a szennyezőanyagok koncentrációja állandó, míg a valóságban sokkal inkább jellemző, hogy a medencék vizét csak időszakosan cserélik (adott esetben egy szezonban egyszeri feltöltéssel), és a feltöltést követően az illékony komponensek viszonylag hamar kipárolognak (akár már a feltöltés során, majd ezt követően folyamatosan a medence vízfelületén keresztül). Ennek megfelelően a fürdés közben a bőrön át felszívódó és a belégzéssel felvehető szennyezőanyagok mennyisége az idő előrehaladtával jelentős mértékben csökken.

Hogy elkerüljük a kockázatok beltéri zuhanyozás modelljének használatából adódó túlbecslését, a modell paramétereit előzetesen kalibrálnunk kellett. Ennek során az ivóvízben megengedett triklór-etilén és tetraklór-etilén koncentrációkkal futtattuk a modellt (más egyéb szennyező nélkül) és addig módosítottuk a modellben változtatható paramétereket, amíg a bőrön keresztüli felszívódásból és a belégzésből eredő kockázat értéke a tolerálható érték 30%-ára csökkent. (A tolerálható érték 30%-ának alkalmazásával azt vettük figyelembe, hogy léteznek más expozíciós utak is a triklór-etilén és tetraklór-etilén felvételére.) Az így kapott expozíciós paraméterek kerültek be a **6.6.3-1. táblázatba**.

6.6.3.1. Az 1. modellel kapott eredmények

A Vákuumtechnikai Gépgyár területét elhagyó szennyezett talajvíz okozta kockázatok számításához a gyárterület nyugati és északi határán mért maximális koncentrációkkal, a **6.4.2. fejezetben** ismertetett expozíciókat figyelembe véve, és a **6.6.3-1. táblázatban** feltüntetett expozíciós paraméterekkel végeztük el a számításokat. A számításokhoz használt koncentráció értékeket az alábbi táblázat mutatja:

Vizsgált paraméter	Mértékegység	(B) határérték	Iparterületről kilépő maximális koncentráció
Molibdén (oldott)	µg/dm ³	20	699
Kloroform	µg/dm ³	5	8.4
Szén-tetraklorid	µg/dm ³	2	169
Triklóretén	µg/dm ³	10	15
Tetraklóretén	µg/dm ³	10	72.6
Vinil-klorid	µg/dm ³	0.5	0.5

A felnőtt korú állandó lakosra kapott (nem karcinogén) veszélyességi hányadosokat és veszélyességi index értékeket a **6.6.3.1-1. táblázatban**, a gyermek korú hatásviselőkre számolt értékeket a **6.6.3.1-2. táblázatban** mutatjuk be.

Látható, hogy a valamennyi szennyezőanyagot és expozíciós útvonalat figyelembe véve sem haladja meg a veszélyességi index az elfogadható 1 értéket, még a nagyobb veszélynek kitett gyermekkorú hatásviselők esetén sem.

A **6.6.3.1-3. táblázatban** a daganatos megbetegedések valószínűségének növekedését jelző kockázati értékek láthatók felnőtt korú lakosokra, szennyezőanyagonként és beviteli utak szerint, míg a **6.6.3.1-4. táblázat** ugyanezen értékeket mutatja gyermek korú lakosok esetén. A kapott kockázati értékek felnőtt és gyermek korú hatásviselők esetén is meghaladják az elfogadható 10^{-6} értékű kockázati szintet.

Ezek az értékek akkor adódnak, ha a legkedvezőtlenebb feltételeket vizsgáljuk, tehát a helyi lakosok minden lehetséges expozíciós útvonalon keresztül ki vannak téve a veszélyes anyagok toxikus hatásainak és a gyár területéről kilépő talajvízben mért maximális koncentrációkat feltételezzük minden vízkivételi helyen.

Ezt a konzervatív megközelítést némileg finomítva, azt is kiszámítottuk, hogy ha a talajvizet nem használják fürdésre, vagy a kerti medencéket nem a szennyezett talajvízzel töltik fel, akkor hogyan alakulnak a karcinogén kockázati értékek. A kapott eredmények a **6.6.3.1-5. táblázatban** láthatók.

A számítások eredménye azt mutatja, hogy abban az esetben, ha a szennyezéssel érintett területen a talajvíz használatának korlátozása előírásra kerül, azaz a kerti talajvízes kutakból kivett vizet fürdési célra nem ajánlott használni, a daganatos megbetegedések kockázata még mindig nagyobb, mint az elviselhető referenciaérték.

A karcinogén kockázati értékeket szennyező komponensenként vizsgálva megállapítható, hogy a figyelembe vett koncentrációk és expozíciók mellett a legnagyobb humán-egészségügyi kockázatot a tetraklór-etilén és a szén-tetraklorid jelenti. Felnőtt korú hatásviselők esetén a tetraklór-etilénhez rendelhető a teljes kockázat 61%-a, míg a szén-tetrakloridhoz rendelhető a kockázatok 37%-a. Gyermek korú hatásviselők esetében a kockázatok 70%-a a tetraklór-etilén szennyezés következménye, és 29% a szén-tetrakloridhoz rendelhető kockázat.

6.6.3.1-1. táblázat: Felnőtt lakos esetén kapott veszélyességi indexek expozíciós útvonalak és szennyező komponensek szerint

Szennyezőanyag	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
	Bőr- kontaktus	Inhaláció	Bőr- kontaktus	Inhaláció				
Szén-tetraklorid	1,6E-03	4,7E-05	3,8E-04	4,8E-06	2,4E-03	4,6E-03	8,9E-06	9,0E-03
Kloroform	1,3E-05	2,5E-06	3,0E-06	2,6E-07	1,2E-05	3,7E-05	7,2E-08	6,8E-05
Molibdén	0,0E+00	ND	0,0E+00	ND	4,0E-05	ND	ND	4,0E-05
Tetraklór-etilén	6,0E-04	7,1E-06	1,4E-04	7,3E-07	3,6E-04	4,0E-04	7,8E-07	1,5E-03
Triklór-etilén	1,2E-02	ND	2,8E-03	ND	1,6E-03	ND	ND	1,6E-02
Vinil-klorid	2,1E-06	2,0E-07	4,9E-07	2,0E-08	1,5E-06	1,6E-05	3,2E-08	2,1E-05
Összesen	1,4E-02	5,7E-05	3,3E-03	5,8E-06	4,4E-03	5,1E-03	9,8E-06	2,7E-02

6.6.3.1-2. táblázat: Gyermek korú lakosra számolt veszélyességi indexek expozíciós útvonalak és szennyező komponensek szerint

Szennyezőanyag	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
	Bőr- kontaktus	Inhaláció	Bőr- kontaktus	Inhaláció				
Szén-tetraklorid	2,2E-03	4,7E-05	2,3E-03	7,2E-06	5,0E-03	4,9E-03	1,8E-05	1,4E-02
Kloroform	1,8E-05	2,5E-06	1,8E-05	3,9E-07	2,5E-05	4,0E-05	1,4E-07	1,0E-04
Molibdén	0,0E+00	ND	0,0E+00	ND	7,4E-05	ND	ND	7,4E-05
Tetraklór-etilén	8,1E-04	7,1E-06	8,4E-04	1,1E-06	7,6E-04	4,3E-04	1,6E-06	2,9E-03
Triklór-etilén	1,6E-02	ND	1,7E-02	ND	3,4E-03	ND	ND	3,6E-02
Vinil-klorid	2,9E-06	2,0E-07	3,0E-06	3,0E-08	3,0E-06	1,8E-05	6,3E-08	2,7E-05
Összesen	1,9E-02	5,7E-05	2,0E-02	8,7E-06	9,3E-03	5,4E-03	2,0E-05	5,4E-02

6.6.3.1-3. táblázat: Felnőtt lakos esetén kapott karcinogén kockázati értékek expozíciós útvonalak és szennyező komponensek szerint

Szennyezőanyag	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
	Bőr-kontaktus	Inhaláció	Bőr-kontaktus	Inhaláció				
Szén-tetraklorid	6,5E-08	4,1E-09	1,5E-08	4,2E-10	9,6E-08	4,0E-07	7,7E-10	5,8E-07
Kloroform	5,8E-10	8,2E-10	1,4E-10	8,4E-11	5,2E-10	1,2E-08	2,3E-11	1,4E-08
Molibdén	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0E+00
Tetraklór-etilén	4,6E-07	1,6E-09	1,1E-07	1,7E-10	2,8E-07	9,3E-08	1,8E-10	9,5E-07
Triklór-etilén	5,1E-09	1,3E-10	1,2E-09	1,3E-11	6,9E-10	4,0E-09	7,8E-12	1,1E-08
Vinil-klorid	1,4E-09	2,5E-11	3,2E-10	2,6E-12	9,3E-10	2,1E-09	4,0E-12	4,7E-09
Összesen	5,4E-07	6,7E-09	1,3E-07	6,8E-10	3,8E-07	5,1E-07	9,8E-10	1,6E-06

6.6.3.1-4. táblázat Gyermek korú lakosra számolt karcinogén kockázatok expozíciós útvonalak és szennyező komponensek szerint

Szennyezőanyag	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
	Bőr-kontaktus	Inhaláció	Bőr-kontaktus	Inhaláció				
Szén-tetraklorid	8,8E-08	4,1E-09	9,1E-08	6,3E-10	2,0E-07	4,3E-07	1,5E-09	8,1E-07
Kloroform	7,9E-10	8,2E-10	8,1E-10	1,3E-10	1,1E-09	1,3E-08	4,7E-11	1,7E-08
Molibdén	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0E+00
Tetraklór-etilén	6,3E-07	1,6E-09	6,6E-07	2,5E-10	5,9E-07	9,9E-08	3,6E-10	2,0E-06
Triklór-etilén	6,9E-09	1,3E-10	7,1E-09	1,9E-11	1,4E-09	4,3E-09	1,6E-11	2,0E-08
Vinil-klorid	1,9E-09	2,5E-11	1,9E-09	3,8E-12	2,0E-09	2,2E-09	8,0E-12	8,0E-09
Összesen	7,3E-07	6,7E-09	7,6E-07	1,0E-09	7,9E-07	5,5E-07	2,0E-09	2,8E-06

6.6.3.1-5. táblázat Karcinogén kockázatok a talajvízes fürdési célú használata esetén, és ezen expozíció hiányában

	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
Hatásviselő	Bőr-kontaktus	Inhaláció	Bőr-kontaktus	Inhaláció				
Valamennyi expozíciós utat figyelembe véve								
Felnőtt	5,4E-07	6,7E-09	1,3E-07	6,8E-10	3,8E-07	5,1E-07	9,8E-10	1,6E-06
Gyermek	7,3E-07	6,7E-09	7,6E-07	1,0E-09	7,9E-07	5,5E-07	2,0E-09	2,8E-06
Medence fürdővíz talajvízből történő utánpótlása nélkül								
Felnőtt	-	-	1,3E-07	6,8E-10	3,8E-07	5,1E-07	9,8E-10	1.0E-06
Gyermek	-	-	7,6E-07	1,0E-09	7,9E-07	5,5E-07	2,0E-09	2.1E-06

6.6.3.2. A 2. modellel kapott eredmények

Abban az esetben, ha a lakott területen a gyárterületen kívül feltárt, ismeretlen eredetű talajvíz szennyezettséget vesszük figyelembe a számítások során, akkor a **6.6.3.1-6 – 6.6.3.1-9. táblázatokban** összesített értékeket kapjuk. Ebben a modellben az alábbi táblázatban látható – a külső területen mért legnagyobb – szennyezőanyag-koncentrációkkal számoltunk:

Vizsgált paraméter	Mérték-egység	(B) határérték	Lakott területen mért maximális koncentráció
Molibdén (oldott)	µg/dm ³	20	80.8
Kloroform	µg/dm ³	5	19
Szén-tetraklorid	µg/dm ³	2	1700
Triklóretén	µg/dm ³	10	316
Tetraklóretén	µg/dm ³	10	131
Vinil-klorid	µg/dm ³	0.5	0.1

A **6.6.3.1-6 – 6.6.3.1-9. táblázatokban** feltüntetett eredmények alapján megállapítható, hogy a gyárterületen kívül detektált szennyezőanyag koncentrációk maximum értékeit feltételezve egy adott vízkivételi ponton, a szennyezettség jelentős humán-egészségügyi kockázatot jelent.

A kapott eredmények tükrében a feltárt szennyezés tartós fennmaradása esetén az érintett lakóingatlanok területén teljeskörű talajvíz-használati korlátozás bevezetése szükséges – ezeken az ingatlanokon már nem elégséges önmagában a fürdővíz használat korlátozása, a locsolási és öntözési célú vízhasználat sem javasolt.

Ez az intézkedés – csakúgy, mint a külső területen feltárt ismeretlen eredetű szennyezés – nem tartozik a tényfeltárással kötelezett Tungsram Real Estate Kft. felelősségi körébe.

6.6.3.1-6. táblázat: Felnőtt lakos esetén kapott veszélyességi indexek expozíciós útvonalak és szennyező komponensek szerint (külső területi maximum koncentrációkat figyelembe véve)

Szennyezőanyag	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
	Bőr-kontaktus	Inhaláció	Bőr-kontaktus	Inhaláció				
Szén-tetraklorid	1,6E-02	4,7E-04	3,8E-03	4,9E-05	2,4E-02	4,6E-02	8,9E-05	9,1E-02
Kloroform	2,9E-05	5,7E-06	6,9E-06	5,8E-07	2,7E-05	8,4E-05	1,6E-07	1,5E-04
Molibdén	0,0E+00	ND	0,0E+00	ND	4,7E-06	ND	ND	4,7E-06
Tetraklór-etilén	1,1E-03	1,3E-05	2,6E-04	1,3E-06	6,6E-04	7,4E-04	1,4E-06	2,8E-03
Triklór-etilén	2,5E-01	ND	5,9E-02	ND	3,4E-02	ND	ND	3,4E-01
Vinil-klorid	4,2E-07	3,9E-08	9,9E-08	4,0E-09	2,9E-07	3,3E-06	6,3E-09	4,1E-06
Összesen	2,7E-01	4,9E-04	6,3E-02	5,0E-05	5,9E-02	4,7E-02	9,1E-05	4,4E-01

6.6.3.1-7. táblázat: Gyermek korú lakosra számolt veszélyességi indexek expozíciós útvonalak és szennyező komponensek szerint (külső területi maximum koncentrációkat figyelembe véve)

Szennyezőanyag	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
	Bőr-kontaktus	Inhaláció	Bőr-kontaktus	Inhaláció				
Szén-tetraklorid	2,2E-02	4,7E-04	2,3E-02	7,3E-05	5,0E-02	5,0E-02	1,8E-04	1,5E-01
Kloroform	4,0E-05	5,7E-06	4,1E-05	8,8E-07	5,6E-05	9,0E-05	3,3E-07	2,3E-04
Molibdén	0,0E+00	ND	0,0E+00	ND	8,6E-06	ND	ND	8,6E-06
Tetraklór-etilén	1,5E-03	1,3E-05	1,5E-03	2,0E-06	1,4E-03	7,9E-04	2,8E-06	5,2E-03
Triklór-etilén	3,4E-01	ND	3,5E-01	ND	7,2E-02	ND	ND	7,7E-01
Vinil-klorid	5,7E-07	3,9E-08	5,9E-07	6,0E-09	6,1E-07	3,5E-06	1,3E-08	5,3E-06
Összesen	3,7E-01	4,9E-04	3,8E-01	7,6E-05	1,2E-01	5,0E-02	1,8E-04	9,2E-01

6.6.3.1-8. táblázat Felnőtt lakos esetén kapott karcinogén kockázati értékek expozíciós útvonalak és szennyező komponensek szerint (külső területi maximum koncentrációkat figyelembe véve)

Szennyezőanyag	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
	Bőr-kontaktus	Inhaláció	Bőr-kontaktus	Inhaláció				
Szén-tetraklorid	6,5E-07	4,1E-08	1,5E-07	4,2E-09	9,6E-07	4,0E-06	7,7E-09	5,8E-06
Kloroform	1,3E-09	1,8E-09	3,1E-10	1,9E-10	1,2E-09	2,7E-08	5,3E-11	3,2E-08
Molibdén	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0E+00
Tetraklór-etilén	8,5E-07	3,0E-09	2,0E-07	3,1E-10	5,1E-07	1,7E-07	3,3E-10	1,7E-06
Triklór-etilén	1,1E-07	2,7E-09	2,5E-08	2,7E-10	1,5E-08	8,5E-08	1,6E-10	2,3E-07
Vinil-klorid	2,7E-10	5,0E-12	6,4E-11	5,1E-13	1,9E-10	4,2E-10	8,0E-13	9,5E-10
Összesen	1,6E-06	4,8E-08	3,8E-07	5,0E-09	1,5E-06	4,3E-06	8,3E-09	7,8E-06

6.6.3.1-9. táblázat Gyermek korú lakosra számolt karcinogén kockázatok expozíciós útvonalak és szennyező komponensek szerint (külső területi maximum koncentrációkat figyelembe véve)

Szennyezőanyag	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
	Bőr-kontaktus	Inhaláció	Bőr-kontaktus	Inhaláció				
Szén-tetraklorid	8,9E-07	4,1E-08	9,1E-07	6,3E-09	2,0E-06	4,3E-06	1,5E-08	8,2E-06
Kloroform	1,8E-09	1,8E-09	1,8E-09	2,8E-10	2,5E-09	2,9E-08	1,1E-10	3,8E-08
Molibdén	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0,0E+00
Tetraklór-etilén	1,2E-06	3,0E-09	1,2E-06	4,6E-10	1,1E-06	1,8E-07	6,5E-10	3,6E-06
Triklór-etilén	1,5E-07	2,7E-09	1,5E-07	4,1E-10	3,0E-08	9,1E-08	3,3E-10	4,2E-07
Vinil-klorid	3,7E-10	5,0E-12	3,8E-10	7,6E-13	3,9E-10	4,5E-10	1,6E-12	1,6E-09
Összesen	2,2E-06	4,8E-08	2,3E-06	7,4E-09	3,1E-06	4,6E-06	1,7E-08	1,2E-05

6.7. Környezeti kockázat

Klasszikus értelemben egy hatásviselő (élő receptor szervezet) védelme oly módon biztosítható, hogy az expozíció helyén, azaz a hatásviselőnél a tolerálható mértékűre csökkentik a kockázatos anyag koncentrációját, illetve bevitelét (pl. lenyelés, belégzés) és ezáltal a kockázatot. Az élőlények /receptorok védelme mellett elsődleges szempont a felszín alatti víz minőségének védelme. A felszín alatti vizek megelőző jellegű védelmének egyik eszköze az, ha a kockázatfelmérések során potenciális hatásviselőket képeznek, amelyek, mint megfelelési pontok szerepelnek a számításokban. Amennyiben tényleges receptor nem, vagy csak a szennyezettség forrásától nagy távolságban lelhető fel, elvileg előállhatna az az eset, hogy "hagyományos" kockázati megközelítéssel élve a felszín alatti víz és földtani közeg jelentős volumenű elszennyeződése is tolerálhatóvá válna. Ennek elkerülése érdekében, szem előtt tartva a hazai vízföldtani sajátosságokat, a jövőbeli területhasználat korlátozásának elkerülését, valamint az elővigyázatosság elvét, a kockázatfelmérés során megfelelési pontokat kell alkalmazni. A felvett megfelelési pontban pedig teljesíteni kell a kívánatos vízminőségi (pl. ivóvíz, felszín alatti víz (A) vagy (B) érték) kritériumot. A megfelelési pontok alkalmazásával biztosítható, hogy ne csak a tényleges hatásviselők esetlegesen nagy távolságban történő elhelyezkedése határozza meg a kockázatos anyagok migrációjának földrajzi kereteit. A megfelelési pont helyét tehát úgy kell megválasztani, hogy az alábbi szempontok teljesüljenek:

- a szennyezettség ne tevődjön át a szennyezett közegről másik környezeti elemre,
- a szennyezőanyagok terjedését korlátok között kell tartani, vagyis a szennyezetlen környezeti közegek elszennyeződése nem megengedett.

A vizsgált területen feltárt felszín alatti vízben jelen lévő szennyezettség potenciális mobilizálódását, a szennyeződés terjedését a terület vízföldtani adottságainak, valamint az egyes szennyezőanyagok feltárt koncentráció értékeit és transzport paramétereit figyelembe véve az **5.5 fejezetben** részletesen bemutatott hidrodinamikai és transzportmodellezés során vizsgáltuk. **Az ott kapott eredmények szerint a következő húsz évben beavatkozás nélküli esetben sem várható a feltárt talajvíz szennyezés jelentős mértékű elmozdulása.**

A talajban feltárt szennyezések környezeti kockázata csekély, a talajban azonosított szennyező komponensek a talajvízben nem jelentek meg, aminek többféle oka lehet. Egyik lehetséges ok, hogy erősen kötődnek a talaj anyagaihoz (pl. PAH vegyületek a talaj szerves anyagaihoz). Másik lehetséges ok, hogy normál környezeti körülmények között vízdoldhatatlan formában találhatók a talajban, mint például szennyezőnek minősülő ötvözőanyagok (Cr, Ni) a talajmintába kerülő nemesacél részecskéiben, melyek azonban az analitikai vizsgálatot megelőző talajfeltárás során oldott, ezáltal mérhető formába kerülnek. Harmadik lehetőség, hogy a szennyezett talajréteg fölé került épület vagy térburkolat megakadályozza a csapadék beszivárgását, ezzel meggátolva a szennyezőanyagok migrációját a talajban. Bármelyik mechanizmus is érvényesül egy adott ponton, a szennyezők transzportjának minimális mértéke a környezeti kockázat csökkenését vonja maga után.

6.8. Kármentesítési határértékek meghatározása

A vizsgálati eredmények szerint a Főti út 141. alatti telephely talajában több komponens mennyisége is meghaladja a (B) szennyezettségi határértéket. A területhasználatok ismételten elvégzett kockázatelemzés eredménye szerint azonban a feltárt talajszennyezés nem igényel beavatkozást. Emiatt a talaj szennyezettségére vonatkozó (D) kármentesítési célállapot határértékként megengedhető az azonosított szennyező komponensek talajmintákban mért legnagyobb értéke. Az ennek megfelelő, talajra javasolt (D) határértékeket a **6.8-1. táblázat** tartalmazza.

6.8-1. táblázat Talajra javasolt (D) kármentesítési célállapot határértékek

Komponens	Maximális koncentráció [mg/kg]	(B) határérték [mg/kg]	Javasolt (D) határérték [mg/kg]
Arzén	21,0	15	21,0
Kadmium	24,4	1	24,4
Króm	125	75	125
Króm(VI)	5,6	1	5,6
Réz	3800	75	3800
Higany	235	0,5	235
Molibdén	15	7	15
Nikkel	1400	40	1400
Cink	3450	200	3450
Szelén	1,1	1	1,1
Ón	341	30	341
Bárium	393	250	393
Ólom	224	100	224
Ezüst	2,1	2	2,1
Antimon	13,1	5	13,1
ÖsszesPAH	37,39	1	37,39
TPH	1110	100	1110

A talajvíz szennyezettsége a telephelyen belül nem jelent veszélyt az ott tartózkodó és/vagy munkát végzők számára, ezért a telephelyen belül talajvízre vonatkozó kármentesítési célállapot határértékként a **6.8-2. táblázatban** látható, komponensenként mért legnagyobb koncentráció értékek adhatók meg.

A telephelyen kívüli területre kijutott szennyezett talajvíz egészségügyi kockázata meghaladja az elviselhető mértéket, ezért a telephely határán kilépő talajvíz szennyezőanyag tartalmára vonatkozóan is (D) kármentesítési határérték meghatározása szükséges.

A (D) határérték megállapításához a kockázatok vizsgálatához és értékeléséhez használt modellt és számítási környezetet használtuk, melyben a bemenő paraméterek közül a szennyező anyagok koncentrációját változtattuk (csökkentettük) addig, míg a kapott kockázati értékek a megengedhető (1×10^{-6}) érték alá csökkentek. Az ilyen módon meghatározott (D) határértékek a **6.8-3. táblázatban**, az ezen koncentrációkkal számolt kockázati értékek a **6.8-4.** és a **6.8-5. táblázatban** láthatók. A javasolt (D) határértékeknek a telephely határán, a telephelyről kilépő talajvízben kell teljesülniük.

6.8-2. táblázat A telephelyen belül talajvízre javasolt (D) kármentesítési célállapot határértékek

Komponens	(B) határérték [µg/dm ³]	(D) határérték [µg/dm ³]
Molibdén	20	699
Kloroform	5	8,4
Szén-tetraklorid	2	169
Triklór-etilén	10	22,4
Tetraklór-etilén	10	467
Halogénezett alifás szénhidrogének összesen	40	68,4
Vinil-klorid	0,5	1,4

6.8-3. táblázat A telephely határán kilépő talajvízre javasolt (D) kármentesítési célállapot határértékek

Komponens	(B) határérték [µg/dm ³]	(D) határérték [µg/dm ³]
Molibdén	20	699
Kloroform	5	8,4
Szén-tetraklorid	2	25
Triklór-etilén	10	15
Tetraklór-etilén	10	20
Halogénezett alifás szénhidrogének összesen	40	68,4
Vinil-klorid	0,5	0,5

6.8-4. táblázat Gyermekek korú lakosra számolt karcinogén kockázatok a (D) határértékek teljesülése esetén

Szennyezőanyag	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
	Bőr-kontaktus	Inhaláció	Bőr-kontaktus	Inhaláció				
Szén-tetraklorid	1,3E-08	3,3E-10	2,7E-08	9,2E-11	3,0E-08	6,3E-08	2,3E-10	1,3E-07
Kloroform	7,9E-10	4,5E-10	1,6E-09	1,3E-10	1,1E-09	1,3E-08	4,7E-11	1,7E-08
Molibdén	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetraklór-etilén	1,8E-07	2,5E-10	3,7E-07	7,0E-11	1,6E-07	2,8E-08	9,9E-11	7,4E-07
Triklór-etilén	6,9E-09	7,0E-11	1,4E-08	1,9E-11	1,4E-09	4,3E-09	1,6E-11	2,7E-08
Vinil-klorid	1,9E-09	1,4E-11	3,9E-09	3,8E-12	2,0E-09	2,2E-09	8,0E-12	1,0E-08
Összesen	2,0E-07	1,1E-09	4,1E-07	3,1E-10	2,0E-07	1,1E-07	4,0E-10	9,2E-07

6.8-5. táblázat Felnőtt korú lakosra számolt karcinogén kockázatok a (D) határértékek teljesülése esetén

Szennyezőanyag	Fürdés		Locsolás		Házkerti növények fogyasztása	Beltéri inhaláció	Kültéri inhaláció	Összesen
	Bőr-kontaktus	Inhaláció	Bőr-kontaktus	Inhaláció				
Szén-tetraklorid	9,6E-09	4,7E-10	2,3E-09	6,2E-11	1,4E-08	5,9E-08	1,1E-10	8,5E-08
Kloroform	5,8E-10	6,4E-10	1,4E-10	8,4E-11	5,2E-10	1,2E-08	2,3E-11	1,4E-08
Molibdén	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetraklór-etilén	1,3E-07	3,6E-10	3,0E-08	4,7E-11	7,8E-08	2,6E-08	5,0E-11	2,6E-07
Triklór-etilén	5,1E-09	9,9E-11	1,2E-09	1,3E-11	6,9E-10	4,0E-09	7,8E-12	1,1E-08
Vinil-klorid	1,4E-09	2,0E-11	3,2E-10	2,6E-12	9,3E-10	2,1E-09	4,0E-12	4,7E-09
Összesen	1,5E-07	1,6E-09	3,4E-08	2,1E-10	9,4E-08	1,0E-07	2,0E-10	3,8E-07

7. LEHETSÉGES BEAVATKOZÁSI VÁLTOZATOK BEMUTATÁSA, JELLEMZÉSE

A Vákuumtechnikai Gépgyár telephelyének határán kilépő talajvízben javasolt (D) kármentesítési célállapot határértékek a tényfeltáró vizsgálatok idején két részterületen nem teljesültek:

- 1) A telephely Blaha Lujza utcai határánál, az NA-22 és NA-08 jelű mintavételi pontok környezetében, ahol a tetraklór-etilén koncentrációk ($72,6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, ill. $50,3 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) magasabbak, mint a javasolt (D) határérték ($20 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).
- 2) A telephely Főti úttal határos észak-keleti részén, az NA-23 és NA-25 mintavételi pontok környezetében, ahol a szén-tetraklorid koncentrációk ($60,4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, ill. $169 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) magasabbak, mint a javasolt (D) határérték ($25 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

A szennyező anyagok fizikai-, kémiai-, környezeti-, és ökotoxikus tulajdonságait, a szennyezett területről szerzett ismereteket, valamint a remediációs technológiák bonyolultságát és időigényét figyelembe véve, a beavatkozásra szóba jöhető alternatívák közül az illékony szennyezők kilevegőztetését (sztrippelés), a klórozott etilének in-situ permanganátos kémiai oxidációját és a szennyező anyagok növényekkel történő lebontását (fitoremediáció) tartjuk megfontolásra és megvalósításra érdemesnek.

7.1. A beavatkozási változatok technológiai és költségei

7.1.1. Beavatkozás nélküli változat

A szennyezés terjedésének modelljével kapott eredmények azt mutatták, hogy beavatkozás nélkül a szennyezés a térségben a következő 20 évben a területen megmarad. Az alacsony szivárgási sebeségek miatt a szennyező anyagok gyakorlatilag helyben maradnak, a koncentrációcsökkenés ugyanakkor nem olyan mértékű, hogy a komponensek által elszennyezett terület nagysága érdemben lecsökkenjen.

Ez azt jelenti, hogy a gyár területét elhagyó talajvíz szennyezettségéből adódó humán-egészségügyi kockázat mértéke sem csökken érdemben, az továbbra is meghaladja az elviselhető mértéket. Emiatt mindenképpen indokolt a beavatkozás, a beavatkozás nélküli változat további vizsgálat vagy értékelés nélkül elvethető.

7.1.2. Sztrippelés

A sztrippelés kihajtáson alapuló környezetvédelmi technológia, melyet illékony szerves szennyezőanyagok eltávolítására alkalmaznak ipari szennyvizek, szennyezett felszíni és felszín alatti vizek kezelésekor. Ex situ megoldás esetén a kiszivattyúzott kezelendő szennyezett vizet levegőztető (sztrippelő) toronyba vagy tartályba vezetik, ahol porlasztással, töltettel vagy tálcákkal növelik meg az illékony komponenseket magával ragadó levegő és a szennyezett víz érintkezési felületét. A levegőztető berendezéseknek van fix és mobil formájuk, működtethetőek szakaszosan, vagy folytonosan. A töltetes sztrippelő torony tetején fűvókán

porlasztják be a kezelendő vizet, ez gravitációsan lefelé csurogva találkozik az alulról befűvott ellenáramú levegővel. Tálcsás sztrippelőkben az egymás fölé helyezett tálcsákon vékony rétegben áramlik lefelé a kezelendő víz, miközben nagy felületen érintkezik az ellenáramú levegővel. A szénhidrogén gőzöket tartalmazó levegőt aktívszén töltetű szűrőn keresztül, kibocsátási határérték alá tisztítva engedik a szabadba. Az illékony szennyezőktől megtisztított víz a kibocsátási feltételektől függően további tisztításra, vagy befogadóba kerül.

A sztrippelési technológia elemei általános esetben a szennyezett víz kitermelését biztosító kutak, közbenső tartályok, a kezelésre kerülő víz alakos elemeinek eltávolítását biztosító szűrő, az illékony komponensek eltávolítását végző sztrippelő berendezés, a kilépő levegő tisztítását biztosító aktívszenes szűrő, illetve a kezelt víz szükség szerinti utótisztítását biztosító egységek.

A beavatkozási technológia fő költségelei:

- Tervezés
- Engedélyeztetés
- Termelő kutak kialakításának költségei
- Sztrippelő berendezés költségei
- Tisztított talajvíz elhelyezés költségei
- Üzemeltetési és monitoring költségek

7.1.3. In-situ kémiai oxidáció

Az *in-situ* (azaz a helyszínen alkalmazott) tisztítási technológiák a talajvizet kitakarás és eltávolítás nélkül, a szennyezés helyszínén kezelik. Ezek a módszerek elsősorban a nagyobb területeket érintő szennyeződések esetén, különösen a gazdagságosság oldaláról lehetnek előnyösek. Az *in-situ* technológiák további előnye, hogy a terület felszíne a mélyebb rétegek kezelése során zavartalanul használható.

Az *in-situ* kémiai oxidációs eljárások (*in-situ chemical oxydation* = ISCO) többnyire erős oxidálószer (ózon, hidrogén peroxid, Fenton reagens, perszulfát és permanganát) felhasználásával a gyakorlatban is többször bizonyították alkalmasságukat a klórozott oldószerek és származékaik, fenolok, PAH vegyületek stb. hatékony lebontásában.

A kémiai kezelés során a talaj szennyezett rétegébe juttatjuk az oxidálószer. Az oxidálószer hatására a szennyezőanyagok elbomlanak ártalmatlan vagy biológiailag könnyen (könnyebben) bontható komponensekre, a teljes oxidatív sor megvalósulása esetén pedig víz és széndioxid keletkezik. Halogénezett szénhidrogének bomlása során halogenidek (adott esetben klorid-ion) is megjelenik, ennek mennyisége függ a szennyezőanyag minőségétől és mennyiségétől. A kémiai kezelés előnye, hogy a reakció gyorsan végbemegy és eléri a végső bomlástermékeit.

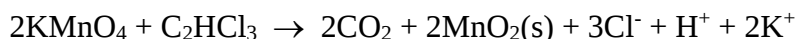
A talajvíz szennyezés sikeres kémiai kezelésének két legfontosabb tényezője az oxidálószer teljes elterjedése a szennyezett zónában és a gyors reakciója a szennyező komponensekkel. Az oxidálószer elterjedését alapvetően a vízáradó réteg fizikai jellemzői határozzák meg, ezért fontos ismerni a terület hidrogeológiai, geológiai, áramlási jellemzőit.

A halogénezett szénhidrogének lebontási folyamatai közvetlen elektrontranszfert igényelnek, ezért ilyen típusú szennyezések esetén a permanganát alkalmazása előnyösebb, mint például hidrogén-peroxid, perszulfát vagy ózon felhasználás. A gyakorlatban a permanganátnak alapvetően két formáját használják, kálium-permanganátot (KMnO_4) és/vagy a nátrium-permanganátot (NaMnO_4). Mindkét vegyület elérhető kellően tiszta formában és az alkalmazhatóságuk is azonos. A KMnO_4 a kereskedelemben kristályos formában kapható, ebből készíthetünk a gyakorlati alkalmazás során 4% (w/w) körüli oldatot, akár talajvíz, akár hálózati víz felhasználásával. A következő egyenletek bemutatják a KMnO_4 sztöchiometrikus reakcióit néhány halogénezett szénhidrogénnel.

Tetraklór-etilén



Triklór-etilén



Diklór-etilén



Vinil klorid



A fenti egyenletek alapján megállapítható, hogy a lebontáshoz szükséges permanganát mennyisége csökken a molekulában lévő klór relatív mennyiségének növekedésével.

A permanganátos oxidáció hátrányaként jelentkezik, hogy csak telítetlen kötést is tartalmazó szénhidrogének esetében hatékony. A stabil, szimmetrikus molekulaszervezetű klórozott szénhidrogéneket, mint például a szén-tetraklorid vagy tetraklór-etán a permanganát nem tudja eliminálni. Emiatt alkalmazása a csak klórozott etilénnel szennyezett területen javasolt. Előnye ugyanakkor, hogy a permanganátos oxidáció leggyorsabban a klórozott etilén leginkább veszélyesnek tartott tagját, a vinil-kloridot távolítja el.

A permanganátos in-situ kémiai oxidációval kapcsolatban a szakirodalom – szinte kivétel nélkül – két potenciálisan káros hatást említ. Az egyik, hogy bizonyos körülmények között az oxidációs reakciók termékeként keletkező mangán-dioxid és szén-dioxid csökkentheti a földtani közeg permeabilitását, ami korlátozhatja az oxidálószer transzportját és ronthatja a kezelés hatásosságát. A másik, hogy a permanganát mobilizálhatja a talajban lévő fémeket azáltal, hogy megváltoztatja környezetük pH-ját és redox állapotát, bár a gyakorlati tapasztalatok szerint ez a jelenség átmeneti, csak közvetlenül a kezelt területen belül jelentkezik, és a megnövekedett fémkoncentrációk idővel lecsökkennek.

Az in-situ kémiai oxidációnak két alapvető módszere alakult ki. Az egyikben az oxidáló szert a szennyezett terület határán injektálják a felszín alá, miközben a szennyezett terület másik határán szivattyúzzák a talajvizet. A szivattyúzás következtében kialakuló depresszió felgyorsítja a talajvíz mozgását a szennyezett zónában, így az oxidálószer rövidebb idő alatt jut keresztül szennyezett zónán. A másik módszer szerint az injektálást nem kíséri szivattyúzás, a bejuttatott oxidálószer a vízzel együtt áramlik a szennyezett zónában.

Az in-situ kémiai oxidációs beavatkozási technológia fő költségelemei:

- Tervezés
- Engedélyeztetés
- Injektáló/elnyelető kutak kialakításának költségei
- Oxidálószer beszerzési költsége
- Adagoló rendszer berendezéseinek költsége
- Üzemeltetési és monitoring költségek

7.1.4. Fitoremediáció

A fitoremediáció olyan környezetvédelmi biotechnológia, mely növények felhasználásával csökkenti elfogadható mértékűre a vegyi anyagokkal szennyezett terület, környezeti elem vagy fázis környezeti kockázatát.

A nemzetközi szakirodalomban számos publikáció található klórozott szénhidrogénnel szennyezett területek eredményes fitoremediációjára, az eredményes beavatkozásokat ismertető cikkek a legtöbb esetben nyárfákkal végzett kísérletekről és kármentesítésről számolnak be. Az egyéb remediációs technológiákkal összehasonlítva a nyárfás talajvíztisztítás számos potenciális (gazdasági, esztétikai, ökológiai) előnnyel jár, társadalmi megítélése és elfogadottsága is kedvezőbb, továbbá fenntarthatósági és az egyre inkább előtérbe kerülő klímavédelmi szempontból is kedvezőbb.

Nyomjelzéses laboratóriumi vizsgálatokkal, üvegházi- és ellenőrzött körülmények között végzett terepi mérésekkel igazolták, hogy a nyárfák képesek felvenni és lebontani klórozott szénhidrogéneket, köztük olyanokat is mint a szén-tetraklorid, amelynek nincsen ismert aerob lebontási útja. A nyárfák bizonyítottan képesek a Vákuumtechnikai Gépgyár területén talált klórozott szénhidrogének mineralizálására. A nyárfás fitoremediáció a klórozott szénhidrogének lebontása mellett más módon is hozzájárulhat a szennyezés kockázatának csökkentéséhez, egyebek mellett a fák vízfelvétele a szennyezett felszín alatti víz mozgását is csökkenti.

A fitoremediáció alkalmazásának korlátját jelenti, ha a szennyezett víz a fák gyökérzónájánál mélyebben helyezkedik el, vagy ha a szennyezett terület nem alkalmas fák telepítésére. Ilyen esetekben a szennyezett víz kitermelése és öntözővízként történő felhasználása lehet megoldás, a fák számára megfelelő területen és mélységben. Tekintve, hogy a Vákuumtechnikai Gépgyár területén a talajvíz szintje 4,5-5 m mélyen a felszín alatt húzódik, a beavatkozás eredményességéhez szükséges idő csökkentése érdekében a szennyezett víz kitermelése és a gyökérzónában (1-1,5 m mélységben) történő elszikkasztása szükséges.

A fitoremediációs beavatkozási technológia fő költségelemei:

- Tervezés
- Engedélyeztetés
- Termelő kutak kialakításának költségei
- Elnyelető drén rendszer kialakításának költsége
- Nyárfák telepítésének költsége
- Üzemeltetési és monitoring költségek

7.2. A javasolt technológiai elemek megfelelőségének igazolása

7.2.1. Sztrippelés

Az illékony komponensek levegőztetéssel történő eltávolítása vízből jól ismert fizikai-kémiai elveket alkalmazó eljárás, melynek alapja a komponensek eltérő illékonyasága. A Rault-törvény értelmében többkomponensű elegyek feletti gőztérben az illékonyabb komponensek koncentrációja nagyobb, mint a folyadékban. Ha a gőztérbe került összetevőket folyamatosan eltávolítjuk (elszívjuk), akkor a folyadék az illékonyabb komponensben egyre szegényedik.

Az eltávolítandó szennyezőanyagok és a víz 20 C°-on mért gőznyomását (7.2.1-1. táblázat) összevetve megállapítható, hogy a levegővel történő kihajtás a tetraklór-etilén esetében kevésbé hatékony megoldás, a többi anyag gyorsan és hatékonyan eltávolítható a vízből. Természetesen ez nem azt jelenti, hogy a sztrippelés nem csökkenti a tetraklór-etilén koncentrációját a vízben, csupán azt jelzi, hogy többi komponenshez képest kisebb lesz a hatékonysága.

7.2.1-1. táblázat Gőznyomás értékek 20 C°-on

Anyag	Gőznyomás 20 C°-on [kPa]
Víz	2,34
Tetraklór-etilén	1,9
Triklór-etilén	7,8
Vinil-klorid	334
Kloroform	212
Szén-tetraklorid	12,2

A sztrippelés a kármentesítésben régóta ismert és alkalmazott eljárás, több évtizede sikeresen alkalmazzák az illékony szénhidrogén-származékokkal szennyezett vizek kezelésében. Ilyen technológiával történik pl. az Abasár községi vízmű termelő kútjaiban kimutatott halogénezett alifás szénhidrogének eltávolítása is, ahol a két helyszínen kiépített tisztító kapacitás 300, illetve 400 m³/nap.

7.2.2. In-situ kémiai oxidáció

Tudomásunk szerint in-situ kálium-permanganátos kémiai oxidációt kármentesítési céllal Magyarországon ez idáig nem alkalmaztak, külföldi tapasztalatok azonban bőségesen rendelkezésre állnak. Valós talajvíz mintákkal végzett laboratóriumi kísérleteink igazolták, hogy megfelelő mennyiségű permanganát rendelkezésre állása esetén a klórozott etilének oxidációja néhány napon belül lejátsszódik.

Az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatalának (US-EPA) Technology Innovation and Field Services Divíziója által üzemeltetett Contaminated Site Clean-Up Information (Szennyezett Területek Tisztítási Információi) internetes oldalán számos esettanulmány található kálium-permanganáttal megvalósított eredményes beavatkozásokról (https://clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/in_situ_oxidation/cat/Application/#5). A tanulmányok között a laboratóriumi méretű kísérletektől a terepi teszt (pilot) méretű beavatkozásokon át, a

nagyléptékű tényleges kármentesítésekig terjedő példák találhatók. Az eltávolított szennyezőanyagok elsősorban tetra- és triklór-etilén, illetve bomlástermékeik, a kezelt területek között vegytisztítók, üzemi területek, katonai légibázis, csővezeték nyomvonal, stb. találhatók.

Európai alkalmazási példaként a Züblin Umwelttechnik GmbH által „In-situ Chemical Oxidation (ISCO) Experiences from a successful source remediation project” címmel publikált tanulmány szolgálhat, ami az első németországi, permanganátos kémiai oxidációs technológiával megvalósított nagyléptékű beavatkozás tapasztalatait foglalja össze. A beavatkozás során, ami egy autógyár telephelyén zajlott, 2005 szeptembere és 2008 májusa között közel 30 tonna oxidálószer juttattak a szennyezés gócpontjába. A 90 éve ipari jellegű területen a beavatkozás előtt az illékony klórozott vegyületek mennyisége elérte az 50 mg/l-t a talajvízben. A kármentesítést követő monitoring eredmények szerint, két és fél évvel a beavatkozás után a klórozott szénhidrogének koncentrációja a szennyezés központi részén 90%-kal csökkent, míg az áramlás irányába eső szennyezett csóvában kb. 85%-os csökkenés volt megfigyelhető. Az analitikai vizsgálatok szerint ártalmas lebontási termékek nem keletkeztek, az oxidációval eltávolított klórozott szénhidrogének mennyiségét a szakértők 7500-10000 kg-ra becsülték.

Az in-situ kémiai oxidáció kiforrott technológia, amelynek tervezését és alkalmazását segítő könyvek, útmutatók és tervezési segédletek is széles körben elérhetők, ezek közül néhány példa:

- In Situ Chemical Oxidation for Groundwater Remediation; Siegrist, R. L., Crimi, M, Simpkin, T. J. (ed.); Springer (2011)
- Xpert Design and Diagnostics’ In Situ Chemical Oxidation Process Using Potassium Permanganate (KMnO₄); Innovative Technology Evaluation Report (2007); US-EPA
- Technology guide: In-situ chemical oxidation; CRC for Contamination Assessment and Remediation of the Environment (2018)
- Engineering Issue In-Situ Chemical Oxidation; Huling, S.G., Pivetz, B.E.; US-EPA (2005)
- Technical and Regulatory Guidance for In Situ Chemical Oxidation of Contaminated Soil and Groundwater; Interstate Technology & Regulatory Council (2005)

7.2.3. Fitoremediáció

Magasabb rendű növények alkalmazása szennyezett területek kármentesítésére viszonylag új terület, ennek ellenére az Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala (US-EPA) által üzemeltetett Contaminated Site Clean-Up Information (Szennyezett Területek Tisztítási Információi) adatbázisában 2016-ban 92 példa szerepelt az USA-ban és 12 másik országban folyamatban lévő kísérleti vagy tényleges fitoremediációra.⁸ A példák szerint a fitoremediációt számos esetben alkalmazták összetett szennyezések, több szennyezőanyag együttes kezelésére.

⁸ USEPA (2016) Contaminated site clean-up information (CLU-IN), phytotechnology project profiles. Technology Innovation and Field Services Division, US Environmental Protection Agency, Washington, DC. <https://clu.in.org/products/phyto/>. Accessed 31 Jan 2019

A nyárfák alkalmasságát klórozott szénhidrogének eltávolítására, illetve lebontására az 1990-es évek óta vizsgálják:

L. Newman és munkatársai 1999-ben publikálták cikküket⁹, amelyben három évig tartó vizsgálat eredményeit ismertetik. A konténeres kísérletben nyárfák triklór-etilén felvételét és lebontó képességét vizsgálták. A fák a vegetációs időszakban a triklór-etilénnel szennyezett talajvízből a triklór-etilén 99%-át eltávolították, melyből kevesebb, mint 9% volt az a mennyiség, amit transzspirációval a levegőbe juttattak.

Wang és munkatársai 2004-ben publikált cikke¹⁰ ellenőrzött körülmények között végzett kísérletek eredményeit mutatja be, melyek révén igazolták, hogy nyárfákban a szén-tetraklorid eltávolítás elsődleges mechanizmusa a növényi szövetekbe történő felvétel és az ott végbemenő deklórozás.

2009-ben jelent meg C. A. James cikke¹¹, aki munkatársaival ellenőrzött körülmények között végzett kísérletekben anyagmérleg alapján vizsgálta a nyárfák tetraklór-etilén (PCE) eltávolítását talajvízből. Az öntözésre használt víz 7-14 mg/l PCE-t tartalmazott, az elfolyó vízben a tetraklór-, triklór- és cisz-diklór-etilén koncentrációk átlagos értékei 0,12 mg/l, 3,9 mg/l és 1,9 mg/l voltak. A klórozott etilének együttes mennyisége 99%-kal csökkent a vízben, a vegyületekben bevitt klór 95%-a klorid-ionként a talajban jelent meg, ami csaknem teljes dehalogénezésre utalt. A transzspiráció, párolgás és a növényi akkumuláció mértéke elhanyagolható volt. Mindezekkel szemben a növények nélküli kísérleti rendszerben a bevitt PCE 98%-a megjelent az elfolyó vízben és a levegőben. Az eredmények alapján a szerzők arra megállapításra jutottak, hogy a nyárfás fitoremediáció hatékony lehet a PCE-vel szennyezett talajvíz kezelésében.

7.3. A változatok által elérhető célállapotok

Végeredményben mindhárom változat célja azonos, (D) határérték alá csökkenteni a szennyezőanyagok koncentrációját. A változatok között különbség az eltávolítható szennyezőanyagok körében, a beavatkozás időtartamában, a beavatkozással érintett terület nagyságában és a technológia bonyolultságában van.

Sztrippeléssel és fitoremediációval a telephelyet elhagyó talajvízben valamennyi (D) határérték elérhető. A permanganátos kémiai oxidáció a szén-tetraklorid szennyezés csökkentésére nem megfelelő, ezért alkalmazása az NA-22 – NA-08 pontok környezetében, illetve a tetraklór-etilén szennyezés forrásának környezetében – annak felszámolására – vehető figyelembe.

⁹ Newman L & all (1999) Remediation of Trichloroethylene in an Artificial Aquifer with Trees: A Controlled Field Study. Environ Sci Technol 1999 (33):2257-2265

¹⁰ Wang X, Dossett MP, Gordon MP, Strand SE (2004) Fate of carbon tetrachloride during phytoremediation with poplar under controlled field conditions. Environ Sci Technol 2004 (21):5744-5749

¹¹ James C. A. A mass balance study of the phytoremediation of perchloroethylene-contaminated groundwater. Environ Pollut. 2009 Aug-Sep; 157(8-9): 2564-2569.

7.4. A célállapotoknak megfelelő területhasználatok

A szennyezés jelenlegi kiterjedésében üzemi- és lakott területet érint. A szennyezés legnagyobb mértékben a lakott területen élők egészségét veszélyezteti, a (D) célállapot határértékek ennek elviselhető mértékűre csökkentése érdekében kerültek meghatározásra. A célállapot elérése esetén az érintett ingatlanokon a talajvíz szennyezettsége – az ivóvízként való felhasználás kivételével – nem korlátozza a terület jellegének megfelelő használatát.

7.5. A célállapotok elérésével elkerült kármentesítési mennyiségi kockázat

A **6. fejezetben** található kockázatelemzés eredménye szerint a Vákuumtechnikai Gépgyár területét elhagyó talajvíz konzervatív megközelítéssel meghatározott karcinogén kockázata a jelenlegi szennyezettség mellett felnőttek esetén $1,6 \times 10^{-6}$, gyermekek esetén $2,8 \times 10^{-6}$.

A gyár területéről kilépő talajvízben meghatározott (D) értékek teljesülése esetén ugyanezek az értékek $3,8 \times 10^{-7}$, illetve $9,2 \times 10^{-7}$.

A kapott eredmények alapján a (D) határértékeknek megfelelő célállapot elérésével elkerült mennyiségi kockázati érték felnőttek esetében $1,22 \times 10^{-6}$, gyermekek esetében $1,88 \times 10^{-6}$.

Más szavakkal, a (D) határértékek teljesülése esetén a felnőttek karcinogén kockázata negyedére, a gyermekeké harmadrésznnyire csökken.

7.6. A javasolt változat bemutatása és indoklása

A Vákuumtechnikai Gépgyár területének további használatával, hasznosításával kapcsolatban még nem született döntés, ezért a beavatkozási alternatíva kiválasztását meghatározó tényezők közül kettő, a jövőbeli területhasználat módja és a beavatkozásra rendelkezésre álló idő nem ismert.

Mivel a kockázatelemzés eredménye azt mutatta, hogy a szennyezéssel érintett területen jelenleg is fennáll az egészségkárosodás lehetősége, a kockázatok mielőbbi csökkentése érdekében azt a változatot javasoljuk megvalósításra, ami az adott területen a legrövidebb idő alatt eredményezheti a (D) értékeknek megfelelő koncentrációk elérését.

Beavatkozásra két területen van szükség:

- 1) A telephely Blaha Lujza utcai határa mentén, ahol az NA-22 és NA-08 jelű mintavételi pontok környezetében a tetraklór-etilén koncentrációk ($72,6 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, ill. $50,3 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) magasabbak, mint a javasolt (D) határérték ($20 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).
- 2) A Schiller Karambolos Centrum parkolójának területén, a Fóti úttal határos északkeleti részen, ahol az NA-23 és NA-25 mintavételi pontok környezetében a szén-tetraklorid koncentrációk ($60,4 \mu\text{g}/\text{dm}^3$, ill. $169 \mu\text{g}/\text{dm}^3$) magasabbak, mint a javasolt (D) határérték ($25 \mu\text{g}/\text{dm}^3$).

7.7. Blaha Lujza utca melletti terület

A szennyezett talajvízű terület nagysága kb. 70×50 m, amit nyugatról a Blaha Lujza utca, délről a sportpálya, keleti irányból a 65. épület, északról pedig a 79. épület határol. A (D) határértéket meghaladó komponens a tetraklór-etilén. A szennyezés kis kiterjedése és a tetraklór-etilén kevésbé illékony tulajdonsága miatt ezen a területen beavatkozásra a kálium-permanganáttal végzett in-situ kémiai oxidációt javasoljuk.

A szennyezett talajvíz mennyisége ezen a területen 3850 m^3 , az ebben található tetraklór-etilén mennyisége kb. 270 g (0,27 kg). A kémiai oxidációhoz szükséges kálium-permanganát elméleti mennyisége $89,1 \text{ mg}/\text{m}^3$, összesen 343 g (0,34 kg). Az eredményes és gyors beavatkozáshoz ezt a 0,34 kg kálium permanganátot kell minél rövidebb idő alatt bejuttatni és eloszlatni a felszín alatt elhelyezkedő 3850 m^3 -nyi talajvízbe.

A kálium-permanganát oldhatósága ($64 \text{ g}/\text{l}$) és a talajvíztartó jó víznyelő- és vízvezető képessége előnyös, a talajvízmozgás alacsony sebessége hátrányos a technológia alkalmazhatósága szempontjából. A beavatkozással érintett területen a talajvíz természetes áramlási sebessége a vízszintek és a talajjellemzők alapján $0,09 \text{ m}/\text{nap}$ -ra becsülhető, ami azt jelenti, hogy a háttér felőli határon elhelyezett injektálási ponton bejuttatott oxidálószer kb. 556 nap alatt érheti el a beavatkozási terület másik szélét. A technológia megvalósításában a ténylegesen megoldandó feladat az, hogy a kálium-permanganátot minél gyorsabban érintkezésbe hozzuk a talajvízben oldott tetraklór-etilénnel a beavatkozás teljes területén. Ahhoz, hogy ez sikerüljön, vagy sok ponton kell bejuttatni nagy mennyiségű vízben feloldva a

kálium-permanganátot, vagy a talajvíz áramlását kell felgyorsítani olyan módon, hogy a terület egyik szélén szivattyúzott vizet a másik szélén elnyelve hozzuk létre az áramlás felgyorsításához szükséges szintkülönbséget. Tekintve, hogy az érintett terület jelentős hányada térburkolattal fedett, előnyösebbnek tűnik a talajvíz áramlás felgyorsítása, mint nagyszámú injektálási pont kialakítása.

A beavatkozási terület határainak közelében kialakítandó termelő, illetve nyelető kutak számát és optimális elhelyezését a beavatkozás tervezési fázisában hidraulikai és hidrodinamikai számításokkal kell meghatározni.

A beavatkozás során a kálium-permanganátot több részletben, maximum 4%-os oldat formájában kell bejuttatni a felszín alatti térbe, a kezelés eredményességét a beavatkozás ideje alatt és azt követően is ellenőrizni kell.

A beavatkozás becsült költsége, ami az engedélyezés, telepítés és egy éves üzemeltetés költségeit foglalja magában, ezen a részterületen 40 MFt.

7.8. Schiller Karambolos Centrum parkolója

A szennyezett talajvízü terület nagysága kb. 120×50 m közvetlenül a Főti út déli oldalán, az NA-13 és NA-25 mintavételi pontok közötti szakaszon. A (D) határértéket meghaladó komponens a szén-tetraklorid. A szennyezés kiterjedése és a szén-tetraklorid illékonysága miatt ezen a területen beavatkozásra a talajvíz kitermelését és sztrippeléssel történő kezelését (pump-and-treat) javasoljuk.

A szennyezett talajvíz mennyisége ezen a területen kb. 6600 m^3 , a szén-tetraklorid szennyezéssel érintett szakaszon a Főti út irányába áramló talajvíz mennyisége $61,5 \text{ m}^3/\text{nap}$. Ahhoz, hogy megszűnjön a külső területek veszélyeztetettsége, legalább ennyi talajvizet ki kell emelni. A szennyezés felszámolásához a szennyezett víztömeg megközelítőleg háromszoros mennyiségét kell kitermelni és kezelni. A kezelés $100 \text{ m}^3/\text{nap}$ teljesítményű sztrippelő esetén 198 működési napot, $200 \text{ m}^3/\text{nap}$ teljesítmény mellett 99 napot, $300 \text{ m}^3/\text{nap}$ teljesítménnyel 66 napot igényel. Az ebben a teljesítménytartományban működő sztrippelő berendezések mérete még nem haladja meg a konténerbe telepíthető nagyságot. A kezeléshez szükséges berendezés paramétereit, működési jellemzőit a tisztítási hatásfok és a kezelhető vízmennyiség alapján kell meghatározni a tervezés fázisában.

A kezelt víz elhelyezése a telephelyen belül, szikkasztással történhet, amire a parkoló mellett nyugati és déli irányban található beépítetlen területeken van lehetőség. A területet felépítő kavicsos homok, illetve homokos kavics talaj jó víznyelő- és vízvezető képessége kedvező a kezelt víz elhelyezhetősége szempontjából.

A beavatkozás becsült költsége, ami az engedélyezés, telepítés és egy éves üzemeltetés költségeit foglalja magában, ezen a részterületen 135 MFt.

7.9. A tetraklór-etilén szennyezés forrásának felszámolása

A szennyezőanyagok mozgásának modellezése azt mutatta, hogy beavatkozás nélkül a telephelyen feltárt talajvíz szennyezés csökkenésére hosszabb távon sem lehet számítani. A szennyezettség következtében fennálló kockázatok hosszú távú fennmaradása korlátozhatja a telephely majdani hasznosítását, ezért javasoljuk a tetraklór-etilén szennyezés forrásaként azonosított területen történő beavatkozást is. Tekintve, hogy ezen a területen meghatározó szennyezőanyag a tetraklór-etilén, beavatkozásra a kálium-permanganátos in-situ kémiai oxidációt javasoljuk.

A szennyezett terület nagysága kb. 100×40 m, a szennyezett talajvíz mennyisége ezen a területen belül kb. 4400 m^3 . Az itt található kb. 1,76 kg tetraklór-etilén oxidációjához szükséges kálium-permanganát elméleti mennyisége 510 mg/m^3 , összesen 2,25 kg. A forrásterület környezetében a felszínen épületek és térburkolt felületek találhatók, ezen területen a talajvíz áramlásának felgyorsításához szükséges kutak kialakítása jelentős többletköltséggel járna. Mivel a forrásterület az ingatlan határaitól távol helyezkedik el, és a kálium-permanganát a felszín alatti térben sokáig megőrzi hatékonyságát, célszerűbb a szükséges mennyiségű oxidálószer néhány jól meghatározott injektálási ponton, jelentősebb mennyiségű vízzel bejuttatni a talajvízbe.

A kezelés eredményességét természetesen ebben az esetben is mind a beavatkozás ideje alatt, mind pedig azt követően ellenőrizni kell.

A beavatkozás becsült költsége, ami az engedélyezés, telepítés és egy éves üzemeltetés költségeit foglalja magában, ezen a részterületen 30 Mft.

8. A TÉNYFELTÁRÁS KERETÉBEN ÜZEMELTETETT KÁRMENTESÍTÉSI MONITORING

Az elvégzett tényfeltárási feladatokhoz további monitoring tevékenység nem kapcsolódott.

9. MONITORING TERV A TÉNYFELTÁRÁST KÖVETŐ SZAKASZRA

A telephely talajában feltárt szennyezőanyagok korlátozott mobilitása, valamint a talaj szennyezettségéből eredő kockázat hiánya miatt talaj monitoring vizsgálatok végzését nem tartjuk szükségesnek, sem indokoltnak.

A felszín alatti víz minőségének további nyomon követésére kármentesítési monitoring rendszer kialakítását és üzemeltetését javasoljuk a következőkben bemutatásra kerülő formában.

9.1. A javasolt monitoring rendszer létesítményei

A talajvíz állapotának ellenőrzését biztosító monitoring rendszer a meglévő kutak és az ismételt mintavételre alkalmas talajvíz mintavételi pontok felhasználásával alakítható ki:

- A telephely felé a háttér irányából érkező talajvíz mintavételét biztosító pontok:
NA-01; NA-02; NA-05; TF-16; TF-30; NA-26
- A telephelyről kilépő talajvíz mintavételét és ellenőrzését biztosító pontok:
NA-22; NA-08; NA-17; TF-1; NA-16; NA-15; NA-14; NA-13; NA-23; NA-24; NA-25
- A telephelyen belül kiemelt figyelmet igénylő helyszínek ellenőrzésére szolgáló mintavételi pontok:
TF-29; MW-1; NA-18; NA-03; NA-04; TF-19; NA-06; NA-07; NA-09; TF-33; NA-21; MW-6; NA-19

A monitoring rendszerbe bevont mintavételi pontokat, mivel azok a kármentesítést követően is alkalmasak a talajvíz minőségének és a beavatkozások eredményességének ellenőrzésére, vízjogi létesítési engedélyezési eljárás lefolytatását követően monitoring kúttá kell alakítani. A monitoring rendszerbe bevonni nem kívánt mintavételi pontokat a beavatkozás lezárásáig célszerű fenntartani és védelméről gondoskodni. A beavatkozást követően a szükségtelenné vált mintavételi pontokat szakszerűen fel kell számolni (el kell tömedékelni).

A javasolt monitoring rendszer elemeinek elhelyezkedése a **10.1-1. ábrán** látható.

9.2. A vizsgálandó paraméterek köre

A talajvíz állapotának nyomon követéséhez az alábbi komponensek vizsgálata szükséges:

Általános vízkémiai paraméterek: pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, KOI_{ps} , lúgosság, hidrogén-karbonát, karbonát, fluorid, klorid, szulfát, ammónium, nitrit, nitrát, ortofoszfát, kalcium, magnézium, nátrium, kálium, vas, mangán.

Fémek-félfémek a 6/2009.(IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet 2. mellékletének 1. táblázata és a 3. melléklet B részének 1. táblázata szerint.

Halogénezett alifás szénhidrogének a 6/2009.(IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet 2. mellékletének 8. táblázata szerint.

9.3. Vizsgálati gyakoriság

Mivel a transzport modell szerint beavatkozás nélkül a szennyezettségben érdemi változás és a szennyezettség számottevő elmozdulása a következő húsz évben nem várható, a monitoring vizsgálatok elvégzését a műszaki beavatkozás megkezdéséig évente két alkalommal (tavasszal és ősszel) tartjuk szükségesnek.

9.4. A mérések és mintavételek módszertana

A monitoring feladatokat a mintavételi programok és mintavételi technikák tervezésére, a mintavételi technikák előírásaira, a vízminták tartósítására és kezelésére, valamint a felszín alatti vizek mintavételére vonatkozó MSZ EN ISO 5667 szabványsorozat ajánlásainak figyelembe vételével, továbbá a vizsgáló laboratórium mintavételre, minta előkészítésre és mintakezelésre vonatkozó előírásai szerint kell végrehajtani.

A mintavételt és az analitikai vizsgálatokat csak akkreditált szervezet végezheti. A mintavétel és a minták analitikai vizsgálata során alkalmazott módszereknek meg kell felelniük a 6/2009.(IV.14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet 4. mellékletében megfogalmazott követelményeknek.

Mintavétel előtt minden kútban meg kell mérni a vízszintet és a talpmélységet, melyet a mintavételi jegyzőkönyvben rögzíteni kell. Szükség esetén gondoskodni kell a kiülepedett iszap eltávolításáról.

9.5. A mérési adatok és eredmények nyilvántartása és feldolgozási rendje

A monitoring során született mérési eredményeket, mintavételi- és laboratóriumi vizsgálati jegyzőkönyveket a telephely környezetvédelmi szervezeténél kell tárolni és nyilvántartani. Az eredményekről éves jelentést, valamint a környezetvédelmi hatóság által meghatározott időközönként összefoglaló értékelő jelentést kell készíteni.

9.6. Az értékelés és adatszolgáltatás rendje

A monitoring során született eredményekről éves értékelő jelentést kell készíteni, melynek tartalmaznia kell a mintavételi- és mérési jegyzőkönyvek másolatát is. Az értékelő jelentés részeként ismertetni kell:

- Az elvégzett vizsgálatokat,
- A vizsgálati eredményeket táblázatos formában és grafikonokon,
- A vizsgálati eredmények értékelését a határértékekkel és a korábbi eredményekkel összehasonlításban,
- Az eredményekben felismerhető tendenciákat, trendeket,
- A monitoring rendszer elemeinek állapotát,
- A monitoring tevékenységgel kapcsolatos javaslatokat.

A monitoring eredmények adatszolgáltatását a felszín alatti víz és földtani közeg információs rendszer (FAVI) adatszolgáltatásáról szóló 18/2007.(V.10.) KvVM rendelet szerinti FAVI-MIR-K adatlapok kitöltésével és beküldésével is teljesíteni kell a környezetvédelmi hatóság felé.

9.7. Szükséges dokumentációk, engedélyek

A monitoring rendszerbe bevonni kívánt mintavételi pontokat monitoring kúttá kell alakítani, melyhez előzetesen le kell folytatni a vízjogi létesítési engedélyezési eljárást.

A kutak kialakítását követően vízjogi üzemeltetési engedélyt kell kérni a monitoring rendszer egészére.

A FAVI rendszerben monitoring azonosítót kell kérni, majd a monitoring kutakat regisztrálni kell/be kell jelenteni.

10. EGYEBEK

10.1. Az elvégzett kármentesítési szakaszok költsége

Az állapotfelmérés költsége	9 500 000 Ft
Részletes tényfeltárás költsége	16 701 000 Ft

Budapest, 2021. november 25.


Bagyinszki György
okl. vegyészmérnök


Czinkota Zsuzsanna
okl. hidrogeológus mérnök


Zámbo Attila
környezetmérnök