

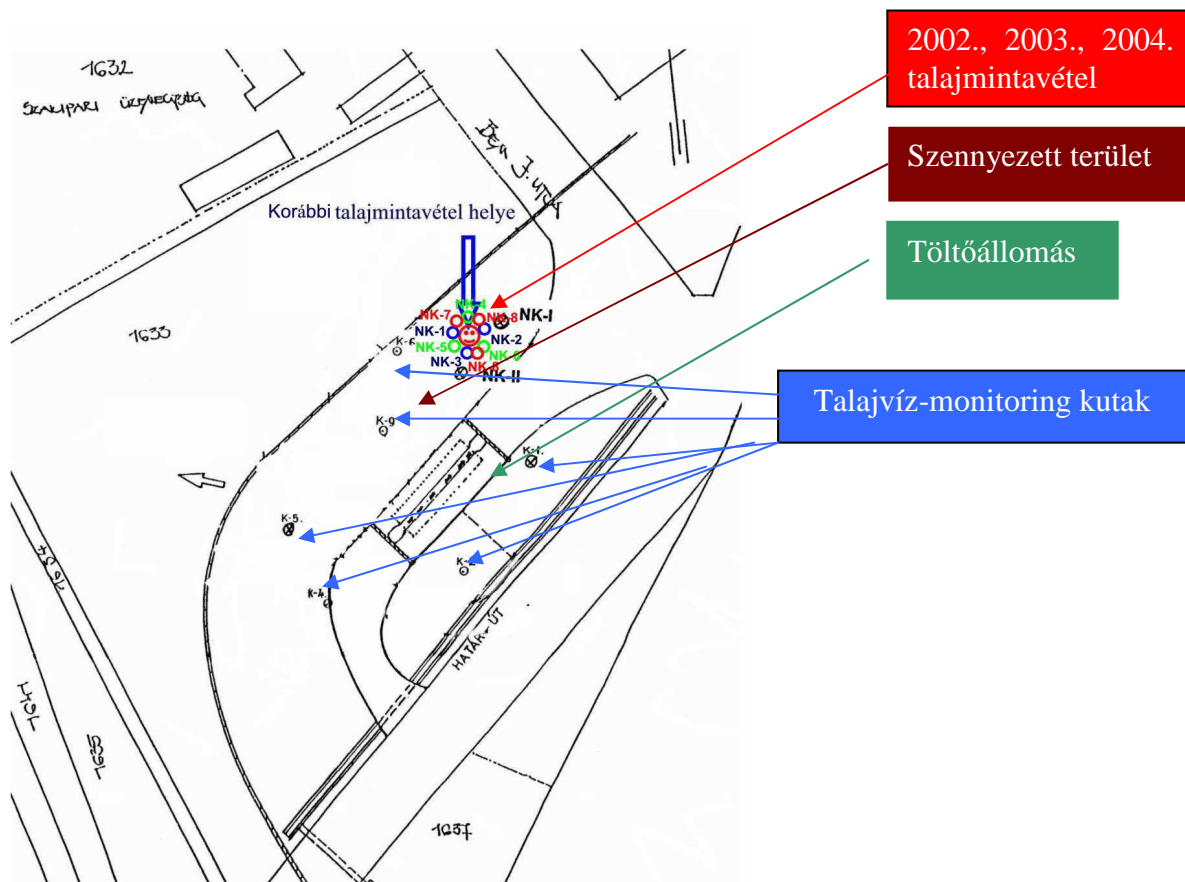
Technológiai módszeregyüttes: biodegradáción alapuló spontán remediáció  
követése: Nádudvar, töltőállomás

1.2. A monitoring terve .....	3
2. A talajvíz-monitoring eredményei .....	4
2.1. Talajvíz szénhidrogéntartalma, 2002–2004 .....	5
2.2. A szennyezett talajvíz redoxviszonyaival összefüggő kémiai jellemzők.....	7
2.3. A talajvíz mikrobiológiai és toxikológiai jellemzése .....	8
3. A nádudvari terület szennyezett talajának monitoringja .....	8
3.1. Előzmények .....	8
3.2. Az alkalmazott monitoringrendszer .....	9
3.3. A talaj 2002-es és 2003-as állapotfelmérése .....	9
3.4. A természetes folyamatok nyomon követése a TalajTesztelőTriáddal .....	12
3.4.1. Kémiai vizsgálatok eredményei .....	13
3.4.2. Biológiai vizsgálatok eredményei .....	19

A természetes szennyezőanyag-csökkenés kézenfekvő és gazdaságos remediációs alternatíva minden olyan esetben, amikor a terület gazdátlan vagy hasznosítatlan, a tulajdonos a területet "elfekteti", illetve nem tervez olyan változtatást a területhasználatban, amely gyors kockázatcsökkenést igényelne.

A természetes szennyezőanyag-csökkenés jelensége igen elterjedt a talajokban. 10–15 évvel korábban felmért és erősen szennyezettnek mutakozó területek ismételt felmérésekor szennyeződés nem vagy alig volt kimutatható. Ez főként a telítetlen talajok felső 1–2 méteres rétegei esetében (jó levegőellátás) és egyes, biodegradációra és alternatív légzésre képes mikroflórával és körülményekkel rendelkező talajvizek esetében gyakori.

A természetes folyamatok megfigyelésére kiválasztott terület: Nádudvar, a benzinkút mögötti, jelenleg használaton kívüli terület.



- ☺ Korábbi talajmintavételek helye 2003.05.06; 2003.10.07.
- Talajmintavételek helye 2003.12.16.
- Talajmintavételek helye 2004.04.15.
- Talajmintavételek helye 2004.11.17.

1. ábra: Nádudvar, a természetes szennyezőanyagbomlás monitorozására kiválasztott terület

### **1.1. A szennyezett terület: Nádudvar, benzinkút**

A benzinkút területe funkcionálisan két részre tagozódik. Maga a töltőállomás és a töltőállomás mögötti, jelenleg használaton kívüli terület.

A benzinkút 1998-at megelőzően szimplafalú felszín alatti tartályokban tárolt üzemanyagot árusított és hordós olajtárolás is folyt a szóban forgó területen. 1998-ban modernizálták a benzinkutat, a szimplafalú tartályokat duplafalúakra cserélték és megszüntették a hordós üzemanyag tárolást.

A benzinkút modernizálását követően 1998 és 2000 között remediálták a területet. A talajvíz kezelésére *ex situ* fizikai-kémiai kezelést alkalmaztak: a kiszivattyúzott talajvizet fázisszétválasztás után aktívszenes adszorbereken tisztították. A felszíni hordós tárolásból eredő és a felszín alatti tartályok által igen heterogénean szennyezett területről összegyűjtötték a legszennyezettebb talajtérfogatot és bizonyított biodegradáción alapuló prizmás kezelésnek vetették alá. A prizmás biológiai kezelés sikeres befejezése után a kezelt talajt kb. 50 cm vastagságban szétterítették a területen. Feltáratlan szennyeződés és a kezeletlen talajhányad jelenléte miatt a területen a szennyezettség kismértékű és heterogén.

A területen 1998 óta figyelőkút-rendszer működik. Ennek alapján követhető a területen a szennyezettség alakulása és valószínűsíthető a természetes biodegradáció folyamatának megléte. Egy alapos felméréssel és 2002-ben indított monitorozással terveztük bizonyítani a természetes szennyezőanyag-bomlás jelenlétét. A monitorozás mind a talajvíz, mint a felszíni (telítetlen) talajzóna megfigyelését jelenti, egy erre a célra kidolgozott TalajTesztelőTriád (fizikai-kémiai, biológiai és ökotoxikológiai módszereket magába foglaló integrált mérési metodika) alkalmazásával.

A területen a talajvízszint 1,5 és 2 méter között változik. A figyelőkutakból a remediációs munkálatok alatt és azóta is rendszeres vízmintavétel és szennyezettség-vizsgálat történik.

A talajvíz szennyezettsége a területre érvényes küszöbérték (1000 µg/ml) alatt van, de a szennyezettségi (B) határérték felett, ami azt jelenti, hogy a terület csak korlátozottan használható, csakis ipari területként. Amennyiben a területhasználatot idővel változtatni szeretnék, azt a jövőbeni használatnak megfelelő értékre, pl. bármilyen használatot megengedő B értékre (100 µg/liter) kell csökkenteni. Ugyanez vonatkozik a talajszennyezettségre. Ipari terület esetében, főleg, ha az egy használaton kívüli terület, ami még a dolgozók egészségét sem veszélyezteti, akár 5000 mg/kg EPH (extrahálható petróleum szénhidrogén) tartalom is megengedhető, de igényesebb területhasználatok esetében ennek az értéknek 1000 vagy akár 500 mg/kg érték alá kell csökkennie.

### **1.2. A monitoring terve**

A monitoringot 2002, 2003 és 2004 során folytattuk a nádudvari szennyezett területen.

Mivel a szennyezettséget elsősorban a felszíni 1,5–2 méteres magasságban terveztük monitorozni, a hangsúlyt kezdetben a talajra helyeztük.

A talajt integrált fizikai-kémiai-biológiai monitoringgal vizsgáltuk. Rendszeresen vett minták analízise és tesztelése alapján megállapítottuk a trendeket és előrejeleztük a tisztulás sebességét, lefolyását és az elfogadható kockázatú állapot beállításának időpontját.

A metodika 2003-as felülvizsgálata során megállapítottuk, hogy a felszíni talajréteg hely szerinti heterogenitása miatt pusztán a háromfázisú talaj monitorozása nem alkalmas a természetes folyamatok monitorozására, követésére és értékelésére. Később az is bebizonyosodott, hogy a felső réteg szennyezettsége friss, azaz a kísérlet időszakában rendszeres utánszennyezés történt. Emiatt kénytelenek voltunk koncepciót váltani és megpróbáltuk a módszeregyüttest és kezdetben a természetes folyamatok követésére tervezett

integrált monitoringot oknyomozásra, az eltérő eredetű szennyeződések megkülönböztetésére alkalmazni.

Így ez a fejezet a kezdeti időszakot leszámítva, amikor még tetten lehetett érní a természetes bontási folyamatokat (2002–2003), sokkal inkább az eredeti és az utólagos szennyezettség megkülönböztetésére és a párhuzamosan folyó folyamatok elkülönítésére igyekeztünk felhasználni.

A talajvíz monitoringját is megpróbáltuk felhasználni a folyamatok követésére alkalmas adatok nyerésére, de a talajvíz minősége megfelelő, szennyezettséget nem mutat, megállapítható, hogy gyakorlatilag nem függ a felszíni réteg történéseitől.

### **Talaj integrált monitoringjára alkalmazott módszerek**

Kémiai analitikai módszerek: komplex jellemzés, szennyezettség emelt hőfokú gázkromatográfiás mérése, tápanyagállapot

Mikrobiológiai állapot: összsejt- és olajbontó sejtkoncentráció

Toxicitás: szárazföldi ökoszisztémák jellemző tagjai 3 trófikus szintről (mikroorganizmus, növény, állat).

### **Talajvíz integrált monitoringjára alkalmazott módszerek**

Kémiai analitikai módszerek:

Redox-állapotot mutató kémiai jellemzők: szulfát, nitrát, vas III.

Szennyezettség: illó és nem illó szénhidrogének gázkromatográfiás vizsgálata

Mikrobiológiai állapot: összsejt- és olajbontó sejtkoncentráció

Toxicitás: *Vibrio fischeri* lumineszcenciagátlás

## **2. A talajvíz-monitoring eredményei**

A terület talajvizére vonatkozóan több évre visszamenőleg vannak szennyezettségi adatok.

Ezen adatok alapján látszik, hogy a talajvízben 2002-ben még folyik szennyezőanyag-csökkenés természetes biodegradációval. A vízben folyó természetes biodegradáció bizonyítására 2002-ben részletes felmérést végeztünk és további monitorozást indítottunk.

A felméréshez biológiai módszerekkel kiegészített fizikai-kémiai analízist használtunk:

- a talajvíz fizikai jellemzőinek mérésére ionkromatográfiát, kolorimetriás méréseket, IPC-t (MSZ EN ISO 10304-1:1998, MSZ ISO 7150-1 és MSZ 1484-3:1998),
- a szennyezettség jellemzésére gázkromatográfiás szénhidrogén-meghatározást (MSZ 1484-4:1998 és EPA 8270 C),
- a biológiai állapot jellemzésére élősejt- és olajbontó-sejtkoncentráció méréseket [1].

A szennyezett talajvíz EPH-tartalmának 1998–2001 közötti változását mutatja az 1. táblázat.

---

[1] Gruiz K., Horváth B. És Molnár M.: Környezettoxikológia, Vegyi anyagok hatása az ökoszisztémára, Műegyetemi Kiadó, 2001

1. táblázat: A szennyezett talajvíz EPH tartalmának változása 1998-2001 során

		EPH-tartalom változása a talajvízben [ $\mu\text{g/l}$ ]*
Mintavételi időpont		Központi üzemanyagtöltő
Indulás	1998.	1850
	10 hónap vízkezelés után 1999.	1390
	11 hónap vízkezelés után 1999.	690
	12 hónap vízkezelés után 1999.	2150
	24 hónap vízkezelés után 2000.	730

\*Több kútból vettünk mintát. A legnagyobb értékeket tüntettük fel a táblázatban.

A táblázat adatai egy kiugrástól eltekintve folyamatos szennyezőanyag-koncentráció csökkenést mutatnak. Az ex situ vízkezelést 2000-ben befejezték.

## 2.1. Talajvíz szénhidrogéntartalma, 2002–2004

A talajvízben lévő szénhidrogén teljes egészében oldott állapotban van. A kutakban mérhető EPH tartalmat a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Nádudvar, monitoring: talajvíz EPH tartalma ( $\mu\text{g/l}$ )

Időpont	NK-I	NK-II	K-1	K-5	K-6
2001. 03.	120	300	<100	<100	-
2001. 09.	140	110	<100	<100	-
2002. 03.	<100	<100	-	<100	<100
2002. 09.	120	240	-	<100	<100
2003. 03.	190	240	-	120	24
2003. 05.		550			
2003. 09.	170	280	-	40	11
2003. 10.		220			
2004. 03.	250	360	-	50	15
2004. 04.		410			

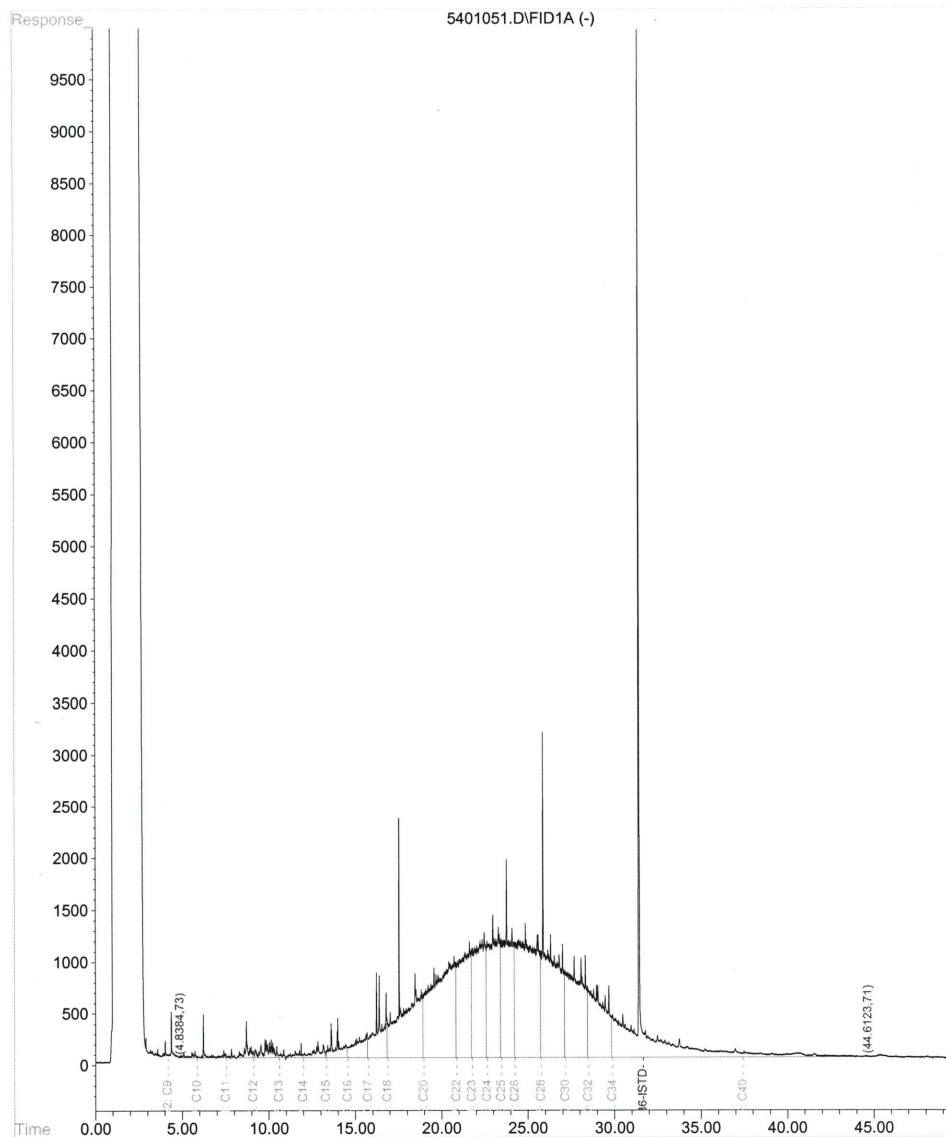
A legszennyezettebb a II. számú kút vize, így a folyamatokat ennek alapján követtük. A 2000-ben mért 730  $\mu\text{g/l}$  koncentráció 2001-re 300 majd 110  $\mu\text{g/l}$ -re, 2002 tavaszára 100  $\mu\text{g/l}$  alá csökkent valamennyi kútban. A folyamatos csökkenés okaként spontán biodegradáción alapuló természetes szennyezőanyag-csökkenést feltételeztünk, lévén, hogy mesterséges beavatkozás, vízkezelés ebben az időszakban már nem volt. A biodegradáció meglétének bizonyítására a monitorozott időszakban került sor a mikrobiális tevékenységgel összefüggő jellemzők mérésén keresztül. A biodegradációt végző sejtek koncentrációját mikrobiológiai módszerekkel, a biodegradáció eredményeképpen bekövetkező jellegzetes szénhidrogén-összetétel-változásokat gázkromatográfiával, a mikroorganizmusok alternatív légzésével összefüggő jellemzőket (nitrát-nitrit, szulfát, vasformák) pedig kolorimetriás és UV spektrometriás módszerrel.

2003 során ismét nőni kezdett a kút vizében a szénhidrogén-szennyezettség. A kismértékű vízszennyezés oka ismeretlen maradt, feltételezhető a felületről történt szennyezés és beszivárgás, de távolabbi területekről is érkező szennyezett talajvíz. A kútban valószínűsíthető aktív biodegradációt próbáltuk követni a talajvíz-monitoring segítségével 2003 és 2004 során.

## A talajvíz szénhidrogén összetétele

A talajvíz-mintából kétféle gázkromatográfias vizsgálat történt: gőztéranalízissel az illékony, extrakció után pedig (MSz 1484-4:1998 és EPA 8270 C), a nem illékony szénhidrogének összetételét mértük. A szennyeződés nagy része a C15-C40 szénatomszámú tartományba esik. A kromatogram tipikus, mikrobiológiailag bontott dízelolaj és motorolaj keverék szennyeződést mutat. A lineáris n-alkán szénhidrogének már jórészt hiányoznak a biodegradáció következtében. A dízelolaj tartományban (C10-C22) csak néhány maradék komponenst találunk. Ezek a vegyületek bonthatóak és illékonyak, el is párolghatnak az évek során, de a felszín alatt sokkal valószínűbb, hogy biodegradációval csökkent a koncentrációjuk.

File name : D:\11-30506\5401051.D  
Sample name: Nadudvar-1 0,5ml ism 03-220/6  
Misc. Info : CYCLOLAB:Kaba Kutrica  
Acquired : 8 May 2010 3 125:5 using Acqmethod OLAJ.M  
Vial number: 54



2. ábra: A nádudvari talajvíz-minta gázkromatogramja

A kromatogram jól szemlélteti a biodegradáció eredményeképpen eltolódott szénatomszámot és megjelennek a mikrobiológiai degradációt egyértelműen jelző, a dizelolajból visszamaradt fitán és prisztán nevű, igen nehezen biodegradálható komponensek is.

## 2.2. A szennyezett talajvíz redoxviszonyaival összefüggő kémiai jellemzők

A vízben élő mikroorganizmusok a légzéshez és a biodegradációhoz szükséges oxigént oldott oxigén formájában képesek felvenni. Oldott oxigén jelenléte és utánpótlódása a talaj telített zónájában nem jellemző folyamat, ilyenkor a mikroorganizmusok alternatív légzési formákhoz nyúlnak, leggyakrabban a nitrátlégzéshez és a szulfátlégzéshez. Az alternatív légzésformáknál a redukált szubsztrátok oxidációjakor keletkező hidrogént nem a légköri (vagy az oldott oxigén) veszi át, hanem a nitrát vagy a szulfát oxigénje, miközben nitrit/nitrogéngáz, illetve szulfid keletkezik. A légzés kötődhet a vas III. redukciójához is negatív redoxpotenciálokon. Ezért fontos az alternatív légzésben szerepet játszó, vízben oldott vegyületek monitorozása is.

A részletes monitoring 2003-as és 2004-es induló eredményeiből az alternatív légzésformákkal összefüggő jellemzőket mutatja a 3. táblázat.

3. táblázat: A monitoring során vett talajvízminták kémiai vizsgálatának eredményei:

<b>A vizsgált jellemző</b>	<b>2003. május</b>	<b>2003. október</b>	<b>2004. április</b>	<b>2004. november</b>
TPH [ $\mu\text{g/l}$ ]	550	219	405	37,5
$\text{NO}_2^-$ -tartalom kolorimetriásan [ $\text{mg/l}$ ]	0,21	0,05	0,1	40
$\text{NO}_3^-$ -tartalom kolorimetriásan [ $\text{mg/l}$ ]	11	11	21	820
$\text{NO}_3^-$ -tartalom UV 202 nm-n [ $\text{mg/l}$ ]	25	26	58	>1000
$\text{SO}_4^{2-}$ -tartalom	535	660	691	254
pH	7,7	7,7	7,9	6,4
Vezetőképeség [ $\text{mS/cm}$ ]	-	3,1	1,9	3,4
UV-elnyelés [ $\lambda=300$ ]	-	0,43	0,96	0,26

Az, hogy van utánpótlódás nagyon valószínű, különben nem lehetne viszonylag magas nitrattartalom. Közeleli területek és a Kabán végzett monitoring is azt mutatja, hogy ezeken a mezőgazdasági területeken állandóan kerül kisebb-nagyobb nitrátmennyiség a magas vízállású kutakba. Ma már nem számít eretnek gondolatnak az, hogy a talajvíz nitráttartalmát fakultatív anaerob mikroorganizmusok által könnyen bontható szénforrás adagolásával nitrátmentesítsük.

A talaj redoxviszonyaira jellemző, hogy a szulfát magas érték, tehát nem fogyasztották el a fakultatív anaerob mikroorganizmusok és a vas sem játszik szerepet az alternatív légzésben és energianyerésben, tehát a nitrátlégzés dominál.

Össz Fe (ICP):	0,1 mg/l
FeII (kolorimetriával):	<0,2 mg/l
FeIII (kolorimetriával):	<0,2 mg/l

Az adatok alapján mérsékelt anaerob légzést és ezzel járó biodegradációt lehet tetten érni a talajvízben. A 2003. májusában megjelenő 550  $\mu\text{g/literes}$  EPH koncentráció szépen lecsökkent októberre, anélkül, hogy mesterségesen beavatkoztunk volna. Az őszi lecsökkent érték tavaszra ismét

megnőtt, tehát egyértelmű, hogy külső forrásból folyamatos utánszennyeződés történik a vizsgálat tárgyát képező területen.

### 2.3. A talajvíz mikrobiológiai és toxikológiai jellemzése

A talajvíz integrált monitoringja fizikai-kémiai és biológiai vizsgálatokat foglal magába. A biológiai és toxikológiai jellemzőkkel kiegészítjük a kémiai adatokat, hogy világosabb képet nyerjünk a bonyolult, gyakran egymás eredményét kioltó folyamatokról, mint amilyen a szénhidrogén utánpótlódás és biodegradáció vagy a nitrát utánpótlódás és fogyasztás.

4. táblázat: talajvízminták biológiai és ökotoxikológiai vizsgálatainak eredményei:

A vizsgált jellemző	2003. május	2003. október	2004. április
Aerob heterotróf telepképző sejtek száma [sejt/ml]	800*10 <sup>2</sup> / ml	935*10 <sup>2</sup> / ml	660*10 <sup>2</sup> / ml
Szénhidrogénbontó sejtek koncentrációja [sejt/ml]	460 / ml	75 / ml	750 / ml
Toxicitás jellemzése <i>Vibrio fischeri</i> tesztorganizmussal rézgyenérték: Σ Cu20 [mg Cu/l talajvíz]	Nem toxikus <80	Nem toxikus <80	Nem toxikus <80

A telepképző sejtek száma szennyezett vizekre jellemző közepes érték, a szénhidrogénbontó sejtek száma az aktuális szennyezettséggel arányos. Tehát a terület talajvizében öntisztító folyamatok zajlanak, a talajvíz saját mikroflórája a kismértékű szennyezettségnek megfelelően kismértékben aktív. A mikroflóra képes a változó mértékű szennyezettséghez igazodni.

A talajvíz, amint ez a koncentráció-eredmények alapján sejthető volt, nem toxikus, nem éri el azt a szintet, ami a közepesen érzékeny luminobaktérium tesztorganizmust fénykibocsátásában gátolná.

### 3. A nádudvari terület szennyezett talajának monitoringja

#### 3.1. Előzmények

Egy 1998-as első felmérés eredményeként a területen talajszennyezettséget detektáltak. A szennyezett talaj térfogata 300 m<sup>3</sup> volt, vastagsága kb. 1 m. Ezt a szennyezett talajmennyiséget bioágyas kezelésnek vetették alá 1998–2000-ben. Ebben az időszakban a monitoringkutakból vett vízminták eredményei szerepeltek az előző fejezetben.

5. táblázat. Az 1998–2000-ben működött bioágy jellemzői

	Bioágy térfogata [m <sup>3</sup> ]	Induló TPH [mg/kg]
Központi üzemanyagtöltő	289	9 000

6. táblázat. A szennyezett talaj EPH tartalmának változása a bioágyas kezelés során

	EPH-tartalom* változása a talajban [mg/kg]
Mintavételi időpont	Központi üzemanyagtöltő
Indulás, 1998.	9 000
12 hónap elteltével, 1999.	4 223
13 hónap elteltével, 1999.	1 812
23 hónap elteltével 2000.	1 513

\*Az EPH-tartalom mérése MSZ EN 45001 számú szabvány szerint történt infravörös spektroszkópiával.



A bioágynban kezelt talajt két éves kezelés elteltével a kitűzött határérték alá (1000 mg/kg) tisztult, ezután szétterítették az érintett területen. Tehát az általunk 2003-tól monitorozott terület részben prizmás biológiai módszerrel már kezelt szennyezett talajt, részben eredetileg is a helyszínen lévő szennyezett talajt tartalmaz. Ez heterogén eloszlást eredményez, mely a monitoringot nehezíti, de jól modellezi a valóságos szennyeződési és tisztulási folyamatokat, melyek szinte mindig heterogén eloszlású szennyeződést produkálnak.

### 3.2. Az alkalmazott monitoringrendszer

A talajvízhez hasonlóan a talajmonitorozáshoz is a TalajTesztelőTriád elemeit használjuk fel:

#### - Fizikai-kémiai módszerek:

A talaj pH és redoxviszonyait és tápanyagellátottságát az MSZ-08-0206-2:1978 számú szabvány szerint mértük, elemtartalmát ICP-vel MSZ EN ISO 10304-1:1998 szabvány szerint határoztuk meg.

A talaj szennyezettségét az extraktumtartalommal (hexán-acetonos kivonást követő gravimetriás mérés) és az EPH-tartalommal jellemezzük. A gázkromatográfiás körülményeket a 21470-94:2001 szabvány szerint állítottuk be (injektor/detektor 280/300 °C, kolonna hőfokprogram 50-300 °C). Régi szennyeződések és nehezebb olajokkal szennyezett talajok esetében a hosszabb szénláncúak kimutatása módosított eljárással (saját módszer: injektor/detektor 340/340 °C, kolonna hőfokprogram 50-315 °C) történt.

#### - Biológiai módszerek:

A szennyezett talaj összsejtkoncentrációját hígításos lemezöntéssel, az olajbontó sejtek koncentrációját határhígításos eljárással határoztuk meg.

#### - Ökotoxikológiai módszerek:

A talaj toxicitásának követésére és a kockázat ellenőrzésére ökotoxikológiai talajtesztelést is végeztünk három trófikus szintről származó tesztorganizmussal:

*Vibrio fischeri* (lumineszcencia-gátlás)

*Azobotacter agile* (dehidrogenáz aktivitás gátlás)

*Sinapis alba* (gyökér- és szárnövekedés-gátlás)

*Folsomia candida* (letalitás).

### 3.3. A talaj 2002-es és 2003-as állapotfelmérése

#### **A 2002-ben vett talajminta kémiai és biológiai jellemzői:**

A mintavétel helyét az 1. ábrán bemutatott térképen nyíllal jelöltük. A mintát a talaj felső 20 cm-éből vettük. Az eredmények az alábbiak:

Extraktum-tartalom gravimetriás meghatározással: 6 700 mg/kg

EPH-tartalom gázkromatográfiás méréssel: 4 700 mg/kg

Aerob heterotróf sejtkoncentráció:  $98,9 \cdot 10^5$  db/g (kissé átlag alatti érték)

Olajbontó sejtkoncentráció:  $7 \cdot 10^4$  db/g (magas érték)

Ezek az eredmények egyértelműen bizonyítják a talajszennyezettséget és az olajbontó mikroorganizmusok jelenlétét, és egyértelműen jelzik a természetes biodegradációs folyamatok meglétét. Megjegyezzük, hogy ez a talajszennyezettség nem haladja meg a terület jelenlegi használatához illeszkedő, kockázatfelmérésen alapuló D értéket (5000 mg/kg), de a terület jövőbeni, igényesebb területhasználatánál akadályt jelenthet, hiszen a küszöbkövetelmény 1000 mg/kg érték is lehet.

#### A 2003-as részletes felmérés

2003-ban a terület talajának felső rétegét részletes vizsgálatnak vetettük alá acélból, hogy a természetes biodegradációs folyamatok meglétét bizonyítsuk, mértékét megállapítsuk és előre jelezhessük a remediáció lefolyását és a környezeti kockázat elfogadható szint alá csökkenését, a terület korlátozás nélküli használatra alkalmassá válásának időpontját.

7. táblázat. Általános talajkémiai jellemzők

<i>Minta</i>	<i>pH(H<sub>2</sub>O)</i>	<i>pH(KCl)</i>	<i>Humusz%</i>	<i>CaCO<sub>3</sub>%</i>	<i>Só%</i>
Nádudvar	7,98	7,29	2,86	7,09	0,14

8. táblázat. Felvehető elemtartalom (mg/kg)

<i>Minta</i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>NH<sub>4</sub>-N</i>	<i>NO<sub>3</sub>+ NO<sub>2</sub>-N</i>	<i>NO<sub>3</sub>N</i>
Nádudvar	377	388	5,5	2,75	0,123

9. táblázat. Összes elemtartalom

<i>Elemek</i>	<i>Nádudvar [mg/kg]</i>
As	6,34
B	35,0
Ba	213
Ca	29 770
Cd	0,136
Co	10,8
Cr	51,4
Cu	20,2
Fe	28 170
Hg	<KH
Mg	10 750
Mn	682
Mo	0,24
Ni	32,7
P	878
Pb	18,0
Se	<KH
Sn	1,27
Sr	38,6
Zn	124

KH = kimutathatósági határ

8. táblázat: 2003-ban és 2004-ben rétegenként vett talajminták általános fizikai-kémiai jellemzői

8a. táblázat: Nedves talajok jellemzői

Mintavétel	pH	redox	nedv.	EC	pH	C	hu	Ca	leisza-	AL-	AL-	AL-	össz.	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>
2003.	Nedv.	nedv.	tart.		H <sub>2</sub> O		musz	CO <sub>3</sub>	plhtó	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	N	N	N
		mV	%	mS/cm		%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg
május/0.0	7,56	53	11	0,58	7,23	3,00	5,17	6,9	24,8	268	322	1,2	2 167	25	11
május /0.5	7,45	60	21	0,80	8,14	1,37	2,36	9,0	50,2	245	288	1,7	1 177	28	7
május /1.0	8,00	67	21	0,78	8,55	0,85	1,47	4,1	53,4	115	202	1,8	891	14	11
május /1.5	7,81	-16	29	0,94	8,66	1,00	1,72	4,9	51,6	141	364	3,6	1 006	14	7
május /2.0	7,06	-102	44	1,52	8,34	1,28	2,20	5,7	56,2	716	535	4,2	1 430	21	14
okt/0.0	8,03	241	18	0,28	7,88	2,75	4,74	6,3	24,6	270	365	1,4	1 333	6	8
okt/0.5	8,17	243	21	0,28	7,93	2,76	4,76	5,4	45,8	238	370	1,4	1 543	5	8
okt/1.0	7,94	25	22	0,28	7,84	3,00	5,16	5,4	53,9	276	403	1,3	1 786	5	10
okt/1.5	7,97	224	23	0,29	7,86	2,98	5,14	5,0	52,6	262	364	1,3	1 595	6	10
okt/2.0	7,65	257	23	0,27	7,90	2,99	5,13	5,0	46,9	293	408	1,2	1 710	7	10

8b. táblázat: A 2004-es részletes fizikai-jellemzés eredményei

Mintavétel	pH	redox	nedv.	EC	pH	C	hu	Ca	leisza-	AL-	AL-	AL-	össz.	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>
2004. nov.	Nedv.	nedv.	tart.		H <sub>2</sub> O		musz	CO <sub>3</sub>	plhtó	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	N	N	N
		mV	%	mS/cm		%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg
NK-7/0.0	7,38	253	14	0,36	7,73	2,09	3,61	2,1	24,8	192	199	0,84	140	4	7
NK-7/0.5	7,74	246	20	0,22	8,11	2,13	3,67	4,2	50,2	259	300	2,52	160	7	0
NK-7/1.0	7,53	308	29	0,26	8,08	2,03	3,50	4,2	53,4	242	289	1,92	180	7	0
NK-7/1.5	7,46	291	26	0,34	7,94	1,49	2,57	8,0	51,6	79	231	3,82	140	4	14
NK-7/2.0	7,44	298	30	0,42	8,24	0,56	0,97	12,6	56,2	7	159	5,05	60	4	45
NK-8/0.0	7,52	301	14	0,36	7,72	2,13	3,67	1,3	24,6	195	223	0,98	140	7	11
NK-8/0.5	7,56	316	30	0,24	8,08	1,93	3,33	5,0	45,8	226	259	2,44	150	7	0
NK-8/1.0	7,29	338	18	0,40	7,53	2,23	3,83	0,8	53,9	73	310	0,46	190	4	7
NK-8/1.5	7,44	310	27	0,38	7,90	1,81	3,11	5,0	52,6	87	266	2,22	140	7	18
NK-8/2.0	7,79	328	29	0,66	8,06	0,44	0,75	14,6	46,9	2	152	5,47	70	4	129
NK-9/0.0	7,62	311	19	0,27	7,95	2,25	3,88	5,0	43,8	291	392	1,70	190	14	11
NK-9/0.5	7,69	325	24	0,23	8,07	2,18	3,75	5,4	49,8	252	262	1,91	160	11	4
NK-9/1.0	7,35	349	27	0,27	7,44	2,39	4,11	0,4	52,0	75	295	0,40	180	14	4
NK-9/1.5	7,33	312	18	0,37	7,90	1,93	3,33	6,7	43,8	106	305	2,49	210	14	14
NK-9/2.0	7,48	324	28	0,51	8,09	0,48	0,82	14,6	44,0	3	154	4,98	50	0	80

A Nádudvar központi üzemanyagkútnál 2003-ban két, 2004-ben három szelvényt vételeztünk fel, 0,0–2,5 m mélységben.

A mért redoxpotenciálok alapján a tavaszi minták redoxpotenciálja negatív a mélyebb rétegekben a magas talajvízszint miatt, ősszel viszont a talajszelvények levegőzöttek tekinthetőek. A szelvényekben a humusztartalomból számított széntartalom jelentős mértékben kisebb a 2,0–2,5 m-es talajrétegben, a 0,0–2,0 m-es talajrétegben pedig a 14 900–23 900 mg/kg közötti tartományba esik. A talaj foszfor és kálium ellátottsága kiegyensúlyozott, a közepes–jó tartományba esik. Csak két talajszelvény legalsó szintjében mértünk kiugró  $\text{NO}_3\text{-N}$  értéket.

A vizsgált szelvények tulajdonságai egy beállt egyensúlyt jeleznek, melyben csak néhány talajtulajdonság kismértékű eltérését tapasztaltuk a talajszelvény fő tendenciáitól.

A tápanyagellátottság, a humusztartalom pH és más jellemzők alapján a terület talaja megfelelő élőhely a talajmikroorganizmusok számára, a talaj minősége heterogén ugyan, de extrém értékek és az életkilátásokat csökkentő értékek nem mérhetőek.

### **3.4. A természetes folyamatok nyomon követése a TalajTesztelőTriáddal**

A 2003-as részletes felmérés során a szétterített talaj különböző rétegeiből vettünk mintákat. A májusi és októberi mintavétel helye az 1. ábrán (ld. fent) jelzett, 2002-ben vett felső talajréteg mintavételi helyével azonos.

A minták jellemzésére a TalajTesztelőTriádot használtuk: kémiai, biológiai és ökotoxikológiai módszerek célszerű együttesét.

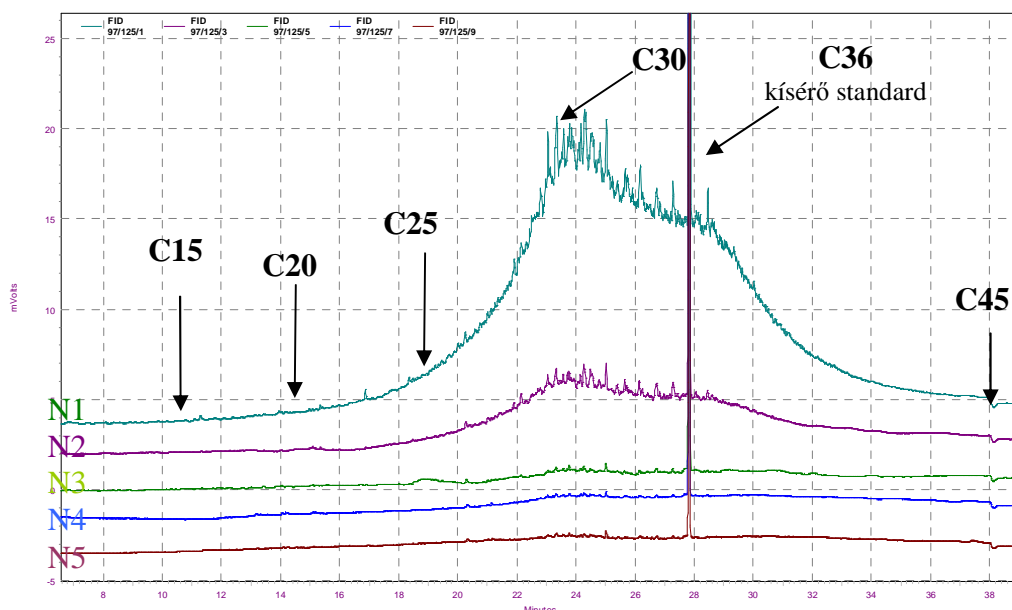
#### ***Gázkromatográfiás analízis***

Mivel a területen régi szennyeződésről van szó, a szabvány szerinti gázkromatográfiás körülményeket nem tartottuk megfelelőnek egy biodegradáción már átesett koros szénhidrogén-szennyezettség monitorozására, ezért módosítottuk a gázkromatográfiás körülményeket: a szokásos 280 °C helyett 340 °C-ig emeltük a GC-s injektor hőfokát és ennek megfelelően növeltük a detektor hőmérsékletét is.

A magasabb hőfokon felvett gázkromatogram a szabvány szerinti módszerhez képest sokkal több hosszúláncú és nagymolekulájú komponenst mutat ki és nagyobb EPH\*-gal jelölt értéket ad, mint a szabványos módszer EPH értéke.

A mi esetünkben például az EPH 4 700 mg/kg érték volt, az EPH\* pedig 6 000 mg/kg, ami jelentős különbség egymáshoz képest, de még jelentősebb az eltérés az extraktum-tartalomhoz (11 800 mg/kg) képest. Ez a példa is jól mutatja, hogy a fizikai-kémiai módszerek és az alkalmazásukat megelőző kivonási eljárások ab ovo szelekciót okoznak a talajban lévő összes komponenshez képest. Ezért is igen fontos a fizikai-kémiai módszerek kiegészítése a biológiai és ökotoxikológiai vizsgálatokkal, amelyek az aktuális állapotot, szennyeződésen illetve hatásokon alapuló válaszokat adnak.

A 3. ábrán a nádudvari benzinkút területéről származó talajminta EPH\* meghatározásához készített gázkromatogram látható. A gázkromatogram jól demonstrálja a megnövelt oszlophőmérséklet következményében kialakult jellegzetes kétpupú kromatogramot, melynek egyik maximuma a 30-as szénatomszám, a másik a 36-os szénatomszám környékén van.



3. ábra: 2003. májusában vett talajminta rétegeinek gázkromatogramjai: EPH\*

Az egy évvel korábbi kromatogrammal összehasonlítva nem csak a mért szénatom-számtartomány eltéréseit láthatjuk, azt is, hogy elfogytak a C10-C20 szénatomszám-tartományba eső komponensek.

#### ***A természetes folyamatok nyomon követése a TalajTesztelőTriáddal 2003–2004 során***

A természetes lebomlás nyomon követésére 2003. december, 2004. április és novemberében a központi szennyezett területen félméterenként 0–2 m talajmintákat vettünk. A minták jellemzésére a TalajTesztelőTriádot használtuk: kémiai, biológiai és ökotoxikológiai módszerek célszerű együttesét. A monitoring során továbbra is a módosított gázkromatográfiai körülményeket alkalmaztuk: 280 °C-ról 340 °C-ra emeltük a GC-s injektor hőfokát és ennek megfelelően növelve a detektor hőmérsékletét is.

#### **3.4.1. Kémiai vizsgálatok eredményei**

##### ***Gravimetriás extraktum-tartalom az egyes talajrétegekben***

A térképen ábrázolt központi mintavételi területről 2003. májusában, októberében és decemberében, valamint 2004 áprilisában és novemberében 5–5 talajmintát vettünk 0,5 méterenként, ezt egyesítés és homogenizálás után extraháltuk hexán-aceton eleggyel. Az extraktum-tartalmat gravimetriásan mértünk és gázkromatográfiával elemeztük.

9a. táblázat: Gravimetriás extraktum-tartalom [mg/kg] 2003. májusi átlagmintában

<b><i>Talajminta rétegei</i></b>	<b><i>2003. május 6.</i></b>	<b><i>2003. október 7.</i></b>
<b><i>0 m</i></b>	11 800	11 600
<b><i>0,5 m</i></b>	4 700	10 600
<b><i>1 m</i></b>	2 400	11 500
<b><i>1,5 m</i></b>	2 300	12 200
<b><i>2 m</i></b>	2 500	11 300

A 2003. decemberi minta a 2003. októberi központi mintavételi pont körül 60 cm távolságra NK I–II.–III. jelű mintákat vettünk, 5–5–5 pontból vett átlagtalajmintát (0,5 méterenként) extraháltunk és határoztuk meg gravimetriásan extraktumtartalmukat.

9b. táblázat: Gravimetriás extraktum-tartalom [mg/kg] 2003. decemberi átlagmintákban

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>I. pont</i>	<i>II. pont</i>	<i>III. pont</i>
<i>0 m</i>	437	383	333
<i>0,5 m</i>	7 785	283	295
<i>1 m</i>	223	265	158
<i>1,5 m</i>	335	268	290
<i>2 m</i>	395	160	268

2004. április 15.-én a 2003. októberi mintavételi pont körül 60 cm-re NK IV.–V.–VI. mintavételi pontból 5–5–5 talajmintát (0,5 méterenként) vettünk és ezek homogenizált átlagából mértük a gravimetriás extraktum-tartalmat [mg/kg].

9c. táblázat: Gravimetriás extraktumtartalom [mg/kg] 2004. áprilisi átlagmintákban

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>IV. pont</i>	<i>V. pont</i>	<i>VI. pont</i>
<i>0 m</i>	15 980	15 300	13 960
<i>0,5 m</i>	4 300	4 670	3 410
<i>1 m</i>	3 110	3 560	3 770
<i>1,5 m</i>	3 560	2 920	3 400
<i>2 m</i>	3 635	3 470	3 170

2004. november 17.-én a 2003. októberi központi mintavételi pont körül 60 cm-re az NK VII.–VIII.–IX. mintavételi pontból 5–5–5 talajmintában (0,5 méterenként) mért gravimetriás extraktum-tartalmat a 9d. táblázat tartalmazza [mg/kg].

9d. táblázat: Gravimetriás extraktum-tartalom [mg/kg] 2004 novemberi átlagmintákban

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>VII. pont</i>	<i>VIII. pont</i>	<i>IX. pont</i>
<i>0 m</i>	5 010	4 760	2 705
<i>0,5 m</i>	2 500	2 160	3 685
<i>1 m</i>	3 280	1 305	1 150
<i>1,5 m</i>	1 555	1 550	1 770
<i>2 m</i>	380	475	655

A különböző időpontokban, eltérő helyekről vett minták extraktumtartalma nagymértékű heterogenitást tükröz. A hely szerinti eltérések lényegesen nagyobbak, mint a kísérlet által átfogott időintervallumban bekövetkezők, így nem lehet a szennyezőanyag-változás időfüggését ezen eredmények alapján felvenni és irányát vagy sebességét megbecsülni. A gázkromatográfiás szénhidrogéntartalom hasonló jellegzetességeket mutat.

### ***Gázkromatográfiás EPH-tartalom az egyes talajrétegekben***

Központi mintavételi pontból 2003. májusi és októberi 5–5 talajmintában (0,5 méterenként) mért gázkromatográfiás EPH-tartalmat [mg/kg] mutatja a 10a. táblázat.

10a. táblázat: Gázkromatográfiásan meghatározott EPH tartalom (mg/kg) 2003-ban

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>2003. május 6.</i>	<i>2003. október 7.</i>
<i>0 m</i>	6 000	7 900
<i>0,5 m</i>	2 000	7 500
<i>1 m</i>	300	6 100
<i>1,5 m</i>	400	6 000
<i>2 m</i>	300	6 000

A 2003-ban vett talajminták szénhidrogéntartalma és annak mélység szerinti eloszlása ellentmond a terület történetének, annak a korábban már ismertetett ténynek, hogy a prizmás kezeléssel 5000 mg/kg érték alá tisztított talajt 50–60 cm magasságban szétterítették a kezeletlen felszínen. Ez az előzmény kétféle eloszlást engedne meg: az alsó réteg szennyezettebb voltát (1 és 2 m között) vagy az 50–60 cm-es felső réteg szennyezettebb voltát egy lefelé növekvő gradienssel. Sem a májusi, sem az októberi minta nem ilyen. A mért eloszlás felszínről történt újraszennyezésre utal, mely a májusi mintavételi területen a felületet érinti, nem szívódott be lényegesen, az októberi mintavételi pontban viszont egyenletesen beszívódott, egészen 2 méterig.

Az előző megállapítást támasztotta alá a 2003. decemberi mintavétel, mellyel egy extrán kis szénhidrogéntartalmú részterületet „találtunk el”, amint azt az extraktumtartalom eredmények már mutatatták.

10b. táblázat: Gázkromatográfiásan meghatározott EPH tartalom (mg/kg) 2003. decemberben

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>I. pont</i>	<i>II. pont</i>	<i>III. pont</i>
<i>0 m</i>	<50	<50	<50
<i>0,5 m</i>	463	<50	<50
<i>1 m</i>	<50	<50	<50
<i>1,5 m</i>	<50	<50	<50
<i>2 m</i>	<50	<50	<50

10c. táblázat: Gázkromatográfiásan meghatározott EPH tartalom (mg/kg) 2004 áprilisában

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>IV. pont</i>	<i>V. pont</i>	<i>VI. pont</i>
<i>0 m</i>	9 270	9 880	12 620
<i>0,5 m</i>	183	330	13
<i>1 m</i>	16	41	63
<i>1,5 m</i>	69	12	8
<i>2 m</i>	4	6	7

Az áprilisi mintavételi terület ismét jelentős felszíni szennyezettséget mutat, míg a novemberi csak kismértékű, a 4 évvel korábban szétterített kezelt talaj maradék szennyezettségéből adódó indokolt mértékű, nem jelentős szennyezettséget. Tulajdonképpen az egész területen ehhez hasonló értékeket vártunk és ennek folyamatos csökkenését szerettük volna kimérni, de ezt megghiúsították a területet felelhetően hulladék olajokkal szennyezők.

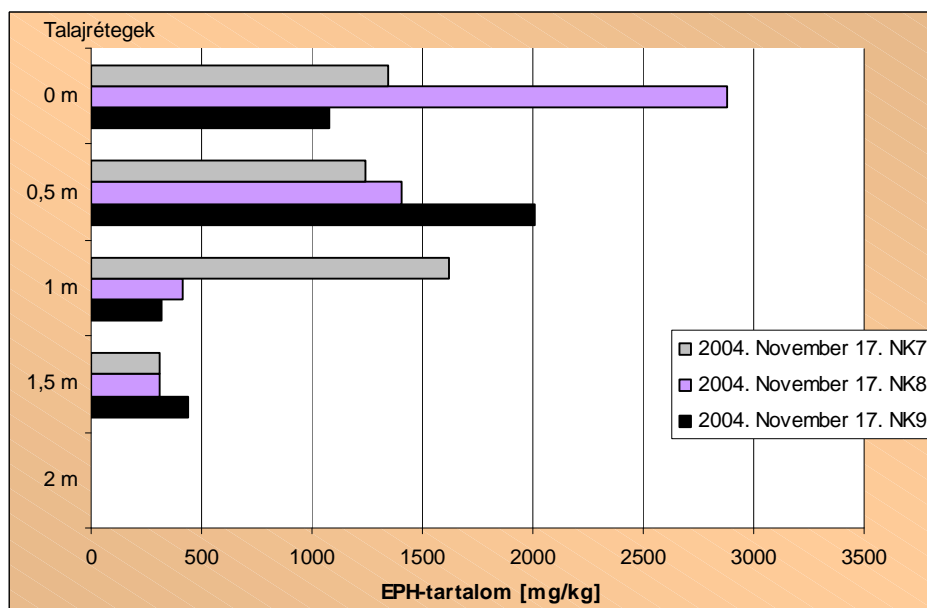
10d. táblázat: Gázkromatográfiás EPH\*-tartalom (mg/kg) 2004 novemberében

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>VII. pont</i>	<i>VIII. pont</i>	<i>IX. pont</i>
<i>0 m</i>	1 349	2 879	1 074
<i>0,5 m</i>	1 239	1 409	2 009
<i>1 m</i>	1 618	414	321
<i>1,5 m</i>	308	310	439
<i>2 m</i>	9	5	3

EPH\*: az MSZ 21470-94 számú magyar szabványhoz képes magasabb hőmérsékleten (injektor/detektor hőfoka 340 °C) történő GC méréssel kapott eredmény

A magas hőmérsékletű gázkromatográfiával meghatározott EPH\*-tartalom a 0,5 m alatti rétegekben egy kivétellel (2003. októberben vett minta) igen kis érték, kockázatot nem jelent. A felső rétegben mért érték a terület jelenlegi használata mellett nem képvisel jelentős mértékű kockázatot, de amennyiben a jövőben igényesebb területhasználatra számítunk, az

EPH\* értékek legalább 3000 mg/kg alá kell csökkennie ipari vagy kereskedelmi használat esetén és 1000 mg/kg alá rekreációs használatnál.



4. ábra. EPH\*-tartalom különböző talajrétegekben 2004. november 17.

A gázkromatográfias EPH-tartalom nagymértékű hely szerinti heterogenitás és jó összefüggést mutat az extraktumtartalommal.

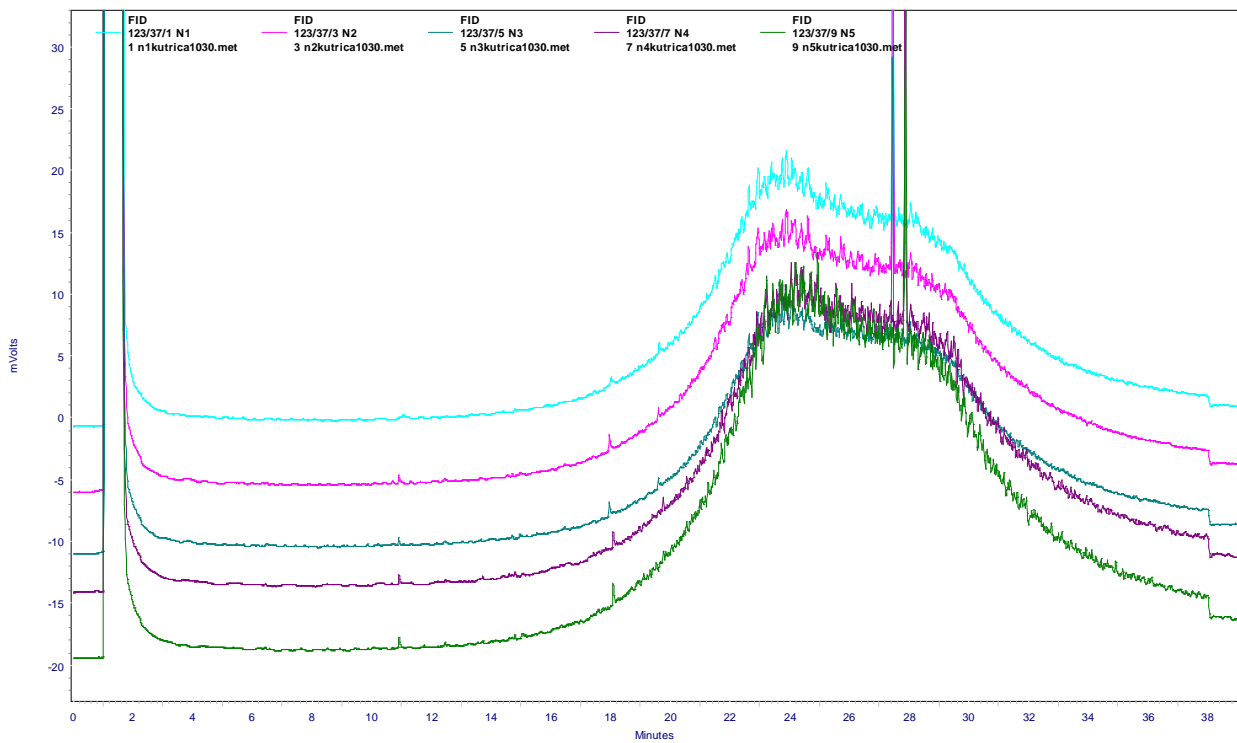
A minták egy részének szennyezettsége a felszínen igen kis érték, a felszín alatti rétegekben (0,5–1,0) magasabb. Tulajdonképpen alapvetően ezt az eloszlás-típust vártuk a területen, hiszen egy korábbi alkalommal kezelésen már átesett talaj maradék szénhidrogéntartalmának a felszínen a leginkább aerob talajrétegben magától is meg kellett volna történnie. Ezzel szemben a legtöbb minta szennyezettsége felülről lefele mutat gradienst, ami egyértelmű újraszennyezésre utal. Ez azt igazolja, hogy a kerítés és a felügyelet ellenére folyamatosan újraszennyezik a területet. Ez azt jelenti, hogy a talajminták analízise alapján nem tudtuk követni a természetes szennyezőanyag-lebomlást, viszont egyértelműen meg tudtuk állapítani a felülszennyezést.

#### ***Nyomozás a kromatogramok segítségével***

A 2003. májusi kromatogramokat már bemutattuk a 3. ábrán, a rétegenkénti kromatogramok jól mutatják a felső rétegben megjelenő nagy motorolaj-szennyezettséget, mely még a 0,5 méteres rétegben is megtalálható, lejjebb viszont nincs.

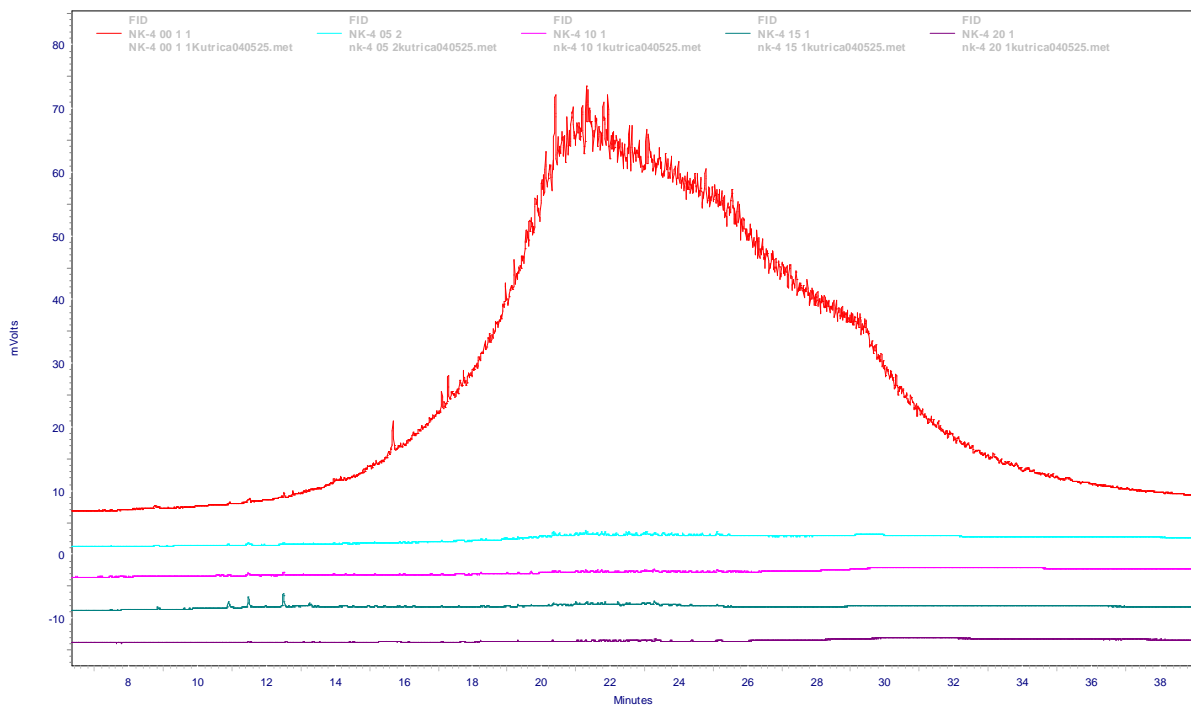
Hasonló képet mutat az októberi minta szennyezettsége azzal a különbséggel, hogy itt a motorolaj minden talajrétegbe beszivárgott, amint azt az 5. ábra mutatja.





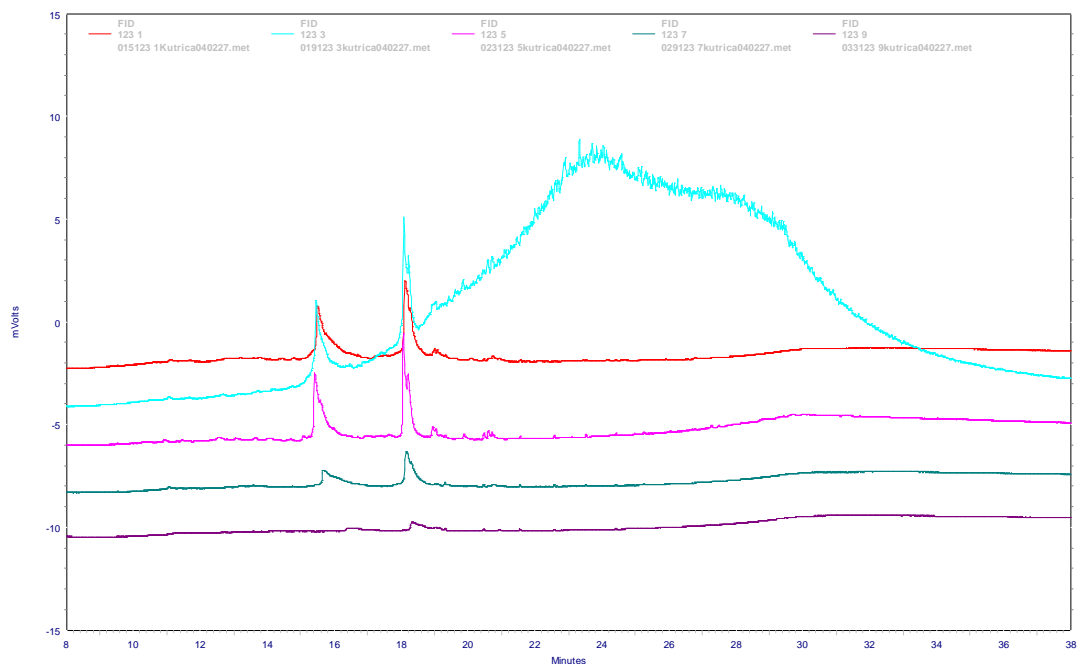
5. ábra: Gázkromatogramok rétegenként: 2003 októberi talajminta szennyezettsége

A 2003-as mintákhoz hasonló, de élesen elváló felületi szennyeződést mutat a 2004. áprilisi minta, melynek rétegenkénti gázkromatogramját a 6. ábrán láthatjuk. A 30-as szénatomszám körüli púp viszonylag friss szennyezettségre utal

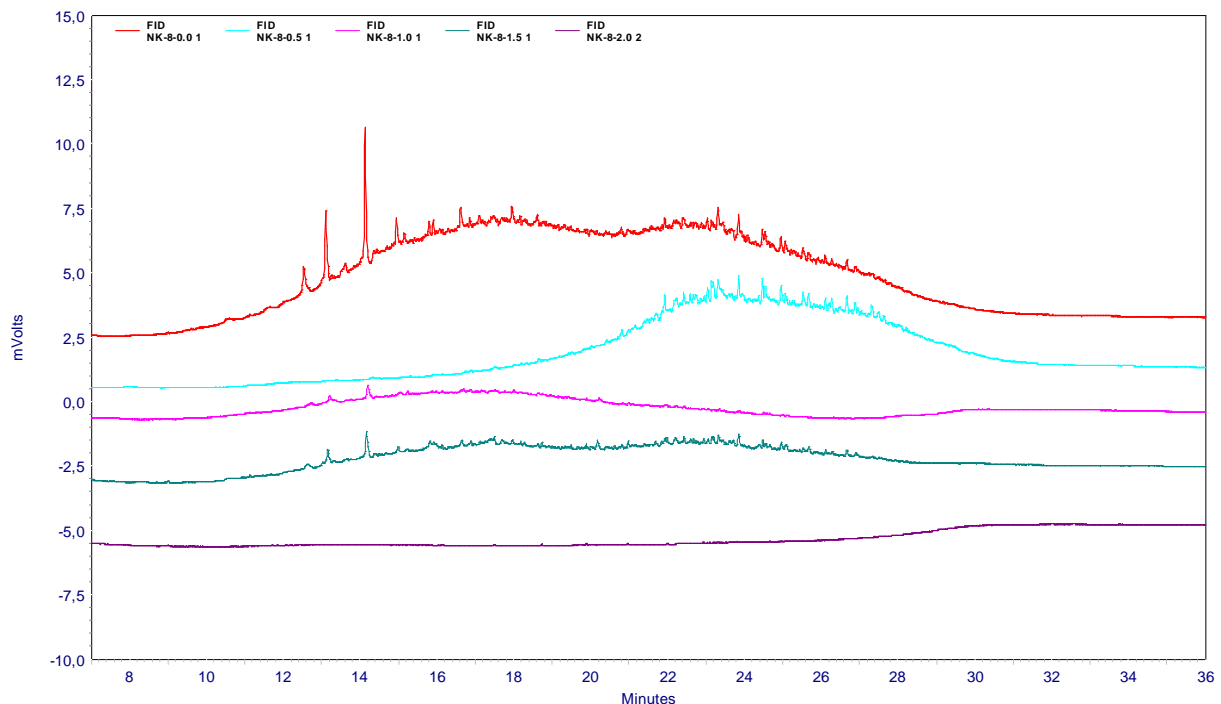


6. ábra: 2004. áprilisában vett minta felületi rétegének kiugró szennyezettsége a gázkromatogramon

A 6. ábrán látható szennyezettség teljes mértékben eltér a bioágyas remediációval kezelt talaj szennyezettségétől, illetve maradék szennyezettségétől, melyet a 7. ábrán és a 8. ábra kromatogramjai közül a piros színűn láthatunk.



7. ábra: A decemberi talajminta rétegenkénti gázkromatogramja



8. ábra: 2004. novemberi minta rétegeinek szennyezettsége

A felső 50 cm-es réteg eltér az alatta lévőktől: a felső, bioágyban kezelt majd szétterített réteg maradék szennyezettségét a kromatogram elején megjelenő 17-es és 18-as szénatomszámú izomerek jelzik és az utánuk megjelenő lapos púp. A második elhúzó púp a

C30–40 tartományban régi motorolaj szennyezettségre utal. Ez a szennyezettség a szétterített réteg alatt található, feltételezzük, hogy a szétterítést megelőzően került a szabad felületre.

Mindezekből az következik, hogy ezt a területet használt motorolaj illegális „elhelyezésére” használták és használják ma is. Benzinkút szomszédságában vagyunk, ez sajnos megerősíti ennek valószínűségét. Nem egyedülálló ez az eset, azt lehet mondani, hogy jellemző, hogy a remediálás alatt, közben és után ugyanúgy szennyezik a területet, mint előtte, sokszor maga az a tulajdonos, aki megrendelte és kifizette a remediációt.

### 3.4.2. Biológiai vizsgálatok eredményei

A biológiai vizsgálatoktól azt várjuk, hogy megerősítsék eddigi feltételezésünket és segítsék a tisztánlátást a területen történetekkel kapcsolatban. Ennek érdekében mértük az átlagtalajminták aerob heterotróf és olajbontó sejtkoncentrációját.

#### *Aerob heterotróf telepképző sejtkoncentráció változása hely szerint és az időben*

A központi mintavételi pontból 2003. májusi és októberi 5–5 talajminta (0,5 méterenként) aerob heterotróf telepképző sejtszámát a szokásos lemezöntéses technikával határoztuk meg. Ez nem a talaj összes sejtszáma, hanem csupán azoké, amelyek tenyészthetők.

11a. táblázat: Aerob heterotróf telepképző sejtkoncentráció 2003-ban az egyes talajrétegekben [ $*10^7$  sejt/g talaj]

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>2003. május 6.</i>	<i>2003. október 7.</i>
<b>0 m</b>	5,2	1,1
<b>0,5 m</b>	1,1	2,2
<b>1 m</b>	1,3	2,2
<b>1,5 m</b>	1,2	2,6
<b>2 m</b>	2,3	2,2

A közepesen szennyezett talajok sejtszáma normális, a szénhidrogén-szennyezettség nem gátolja a sejtek működését, helyesebben a talajmikroflóra könnyen alkalmazkodik ehhez a szennyezőanyag-típushoz. A májusi mintánál a szokásos különbség tapasztalható a felszín és a mélyebb rétegek sejtszáma között (felül nagyobb), az októberi minta viszont rendellenes ilyen szempontból, hiszen rétegenként kb. azonos a sejtszám. Mivel ez frissen szennyezett pont, elképzelhető, hogy ez a sejtszám a szennyezettséggel függ össze. A 2003. decemberi minta teljesen szennyeztelen alterületről származik, ennek sejtszáma a felületen nem különbözik lényegesen az átlagostól, lefele haladva egy jól értelmezhető sejtszámcsökkenés lép fel; az alsó rétegekben egy nagyságrend különbség van, ami nem a szennyezettséggel függ össze, hanem inkább az életfeltételekkel.

11b. táblázat: Aerob heterotróf telepképző sejtkoncentráció 2003. decemberben az egyes talajrétegekben [ $*10^7$  sejt/g talaj]

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>I. pont</i>	<i>II. pont</i>	<i>III. pont</i>
<b>0 m</b>	3,6	1,2	1,7
<b>0,5 m</b>	1,1	0,8	0,4
<b>1 m</b>	0,1	0,1	0,1
<b>1,5 m</b>	0,2	0,2	0,1
<b>2 m</b>	0,1	0,5	0,2

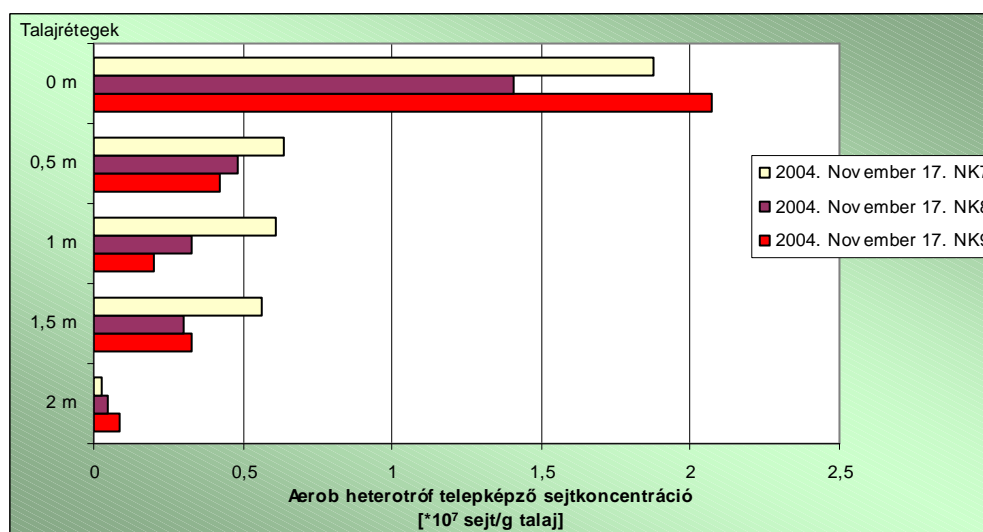
11c. táblázat: Aerob heterotróf telepképző sejt koncentráció 2004. áprilisában az egyes talajrétegekben [ $*10^7$  sejt/g talaj]

Talajminta rétegei	IV. pont	V. pont	VI. pont
0 m	4,0	3,3	6,2
0,5 m	1,8	1,7	4,8
1 m	0,6	0,4	0,3
1,5 m	0,4	0,4	0,1
2 m	0,04	0,1	0,03

11d. táblázat: Aerob heterotróf telepképző sejt koncentráció 2004. novemberében az egyes talajrétegekben [ $*10^7$  sejt/g talaj]

Talajminta rétegei	VII. pont	VIII. pont	IX. pont
0 m	1,9	1,4	2,1
0,5 m	0,6	0,5	0,4
1 m	0,6	0,3	0,2
1,5 m	0,6	0,3	0,3
2 m	0,03	0,05	0,1

Mind az áprilisi, mind a novemberi mintánál megtalálható az egészséges gradiens a felszíntől lefele haladva, a tavaszi és a téli minták között pedig a szintén logikus különbség: télen felére-harmadára csökken a sejtszám.



8. ábra. Aerob heterotróf telepképző sejtszám [ $*10^7$  sejt/g talaj] a különböző talajrétegekben 2004. november 17.

### Szénhidrogénbontó sejt koncentráció az egyes talajrétegekben

A szénhidrogének bontására képes mikroorganizmusok szelektív indikátorok szennyezettség és a bontás kimutatására. Amint a nádudvari minták mindegyikénél, most is hangsúlyozni kell, hogy a terület szennyezettségének heterogenitása miatt az időbeni eltéréseket messze meghaladják a hely szerinti, így a különböző időpontokban vett minták jellemzőinek időfüggését nem elemezzük.

12a. táblázat: Szénhidrogénbontó sejtek koncentrációja [ $*10^2$  sejt/g talaj] a 2003. májusi és októberi mintákban

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>2003. május 6.</i>	<i>2003. október 7.</i>
<b>0 m</b>	2 500	290
<b>0,5 m</b>	2 400	120
<b>1 m</b>	11	210
<b>1,5 m</b>	46	150
<b>2 m</b>	4,6	210

A májusi minta szénhidrogénbontó sejtkoncentrációja tökéletesen arányos a gázkromatográfiás szénhidrogéntartalommal. Az októberi minta minden szempontból rendellenes, minden rétege azonosan szennyezett, ennek ellenére nincs arányosan nagy sejtszám, ez két dolgot jelenthet: az egyik, hogy friss szennyezettségről van szó, amelyhez még nem volt ideje alkalmazkodni a mikroflórának, vagy toxikus szennyezőanyagról, pl. fémekkel is szennyezett használt motorolajról, mely mérgezi a talajmikroflórát, lehetséges, hogy a két ok együttesen áll fenn.

A decemberi talajok meglepetést okoztak, mert kis szénhidrogéntartalmuk nem indokolná még ezt a közepes sejtszámot sem. Tehát a kis szénhidrogéntartalmú talajban is ott vannak a működőképes mikroorganizmusok: ez azt is jelentheti, hogy éppen azért kicsi a minták szénhidrogéntartalma, mert folyamatos bontás történik. A magyarázat a kromatogramok ismeretében adható meg: ebben a talajmintában nem volt nehezen bontható motorolaj csak a bioágyas kezelés utáni dízelolaj-maradék. Ez lényegesen könnyebben bontható, mint az utánszennyezett minták fáradt motorolaja.

12b. táblázat: Szénhidrogénbontó sejtek koncentrációja [ $*10^2$  sejt/g talaj] a 2003. decemberi mintákban

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>I. pont</i>	<i>II. pont</i>	<i>III. pont</i>
<b>0,0 m</b>	460	2 100	1 100
<b>0,5 m</b>	75	2 400	460
<b>1,0 m</b>	210	4,6	24
<b>1,5 m</b>	75	11	11
<b>2,0 m</b>	4,6	46	4,6

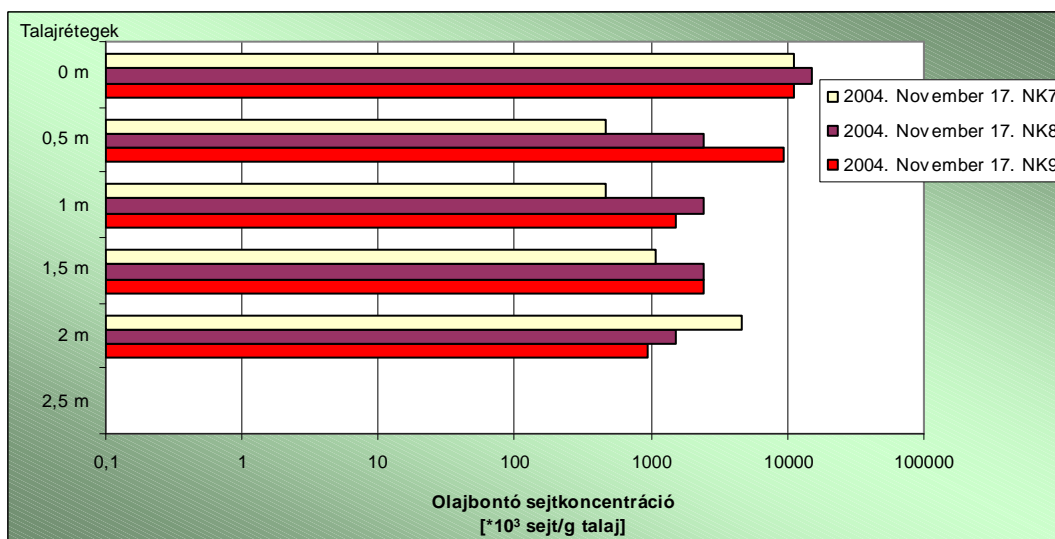
12c. táblázat: Szénhidrogénbontó sejtek koncentrációja [ $*10^2$  sejt/g talaj] a 2004. áprilisi mintákban

<i>Talajminta rétegei</i>	<i>IV. pont</i>	<i>V. pont</i>	<i>VI. pont</i>
<b>0 m</b>	3 500	1 100	1 500
<b>0,5 m</b>	46	46	460
<b>1 m</b>	24	150	24
<b>1,5 m</b>	46	460	15
<b>2 m</b>	24	24	2,4

Az áprilisi minták a kromatogramok alapján nagymértékű felületi szennyeződést mutattak, ehhez képest a sejtszám a felszíni rétegben csak kismértékben emelkedett érték. Valószínűleg friss és nehezen bomló szennyezettséggel van dolgunk.

12d. táblázat: Szénhidrogénbontó sejtek koncentrációja [ $*10^2$  sejt/g talaj] a 2004. novemberi mintákban

Talajminta rétegei	VII. pont	VIII. pont	IX. pont
0 m	11 000	15 000	11 000
0,5 m	460	2 400	9 300
1 m	460	2 400	1 500
1,5 m	1 100	2 400	2 400
2 m	4 600	1 500	930



9. ábra. Olajbontó sejttség [ $*10^2$  sejt/g talaj] a különböző talajrétegekben 2004. november 17.

A szénhidrogénbontó sejtek koncentrációja tökéletesen illeszkedik a szénhidrogéntartalomhoz: jól bontható szénhidrogén kizárólag a felületi rétegben. Milliós nagyságrend az olajbontó sejttségben aktív biodegradációt jelent. A 9. ábra logaritmikus skálán ábrázolja az olajbontó sejtstígek a mélység függvényében.

Az aerob heterotróf sejtek száma jó állapotú, élő talajra utal. Az olajbontó sejtstígek értékek eltérnek a kromatogramokon megfigyelhető kétféle szennyezettség függvényében. A maradék dízelolaj szennyezettséghez nagy szénhidrogénbontó sejtstígek tartoznak, a motorolaj-szerű, többnyire friss szennyezettséghez pedig csökkent sejtstígek. Valószínűleg gátló hatású, nehezen bontható szennyezettségről van szó, például fáradt olajról.

### Ökotoxikológiai vizsgálatok eredményei

#### Talajtoxicitás vizsgálat *Vibrio fisheri* tesztorganizmussal

A különböző rétegekből vett minták toxicitását különböző trófikus szintekről származó tesztorganizmusokkal vizsgáltuk. A bakteriális bioteszt eredményei általában enyhe toxicitást mutattak, de a növényi és állati tesztek eredményei alapján a vizsgált minták nem toxikusak (13–16. táblázat).

13a. táblázat: A 2003. májusi és októberi minták toxicitásának jellemzése *Vibrio fischeri* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	2003. május 6. Összegzett gátlás $\Sigma$ CU20 [mg Cu/kg talaj]	JELLEMZÉS	2003. október 7. Összegzett gátlás $\Sigma$ CU20 [mg Cu/kg talaj]	JELLEMZÉS
0 m	157	Enyhén toxikus	<80	Nem toxikus
0,5 m	209	Enyhén toxikus	<80	Nem toxikus
1 m	242	Enyhén toxikus	<80	Nem toxikus
1,5 m	189	Enyhén toxikus	<80	Nem toxikus
2 m	193	Enyhén toxikus	<80	Nem toxikus

13b. táblázat: A 2003. decemberi minták toxicitásának jellemzése *Vibrio fischeri* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Összegzett gátlás és jellemzés					
	I. pont $\Sigma$ Cu20 [mg Cu/kg talaj]		II. pont $\Sigma$ Cu20 [mg Cu/kg talaj]		III. pont $\Sigma$ Cu20 [mg Cu/kg talaj]	
0 m	<80	Nem toxikus	107	Nem toxikus	282	Enyhén toxikus
0,5 m	<80	Nem toxikus	<80	Nem toxikus	371	Enyhén toxikus
1 m	128	Nem toxikus	<80	Nem toxikus	107	Nem toxikus
1,5 m	<80	Nem toxikus	<80	Nem toxikus	<80	Nem toxikus
2 m	<80	Nem toxikus	132	Nem toxikus	<80	Nem toxikus

13c. táblázat: A 2004. áprilisi minták toxicitásának jellemzése *Vibrio fischeri* tesztorganizmussal

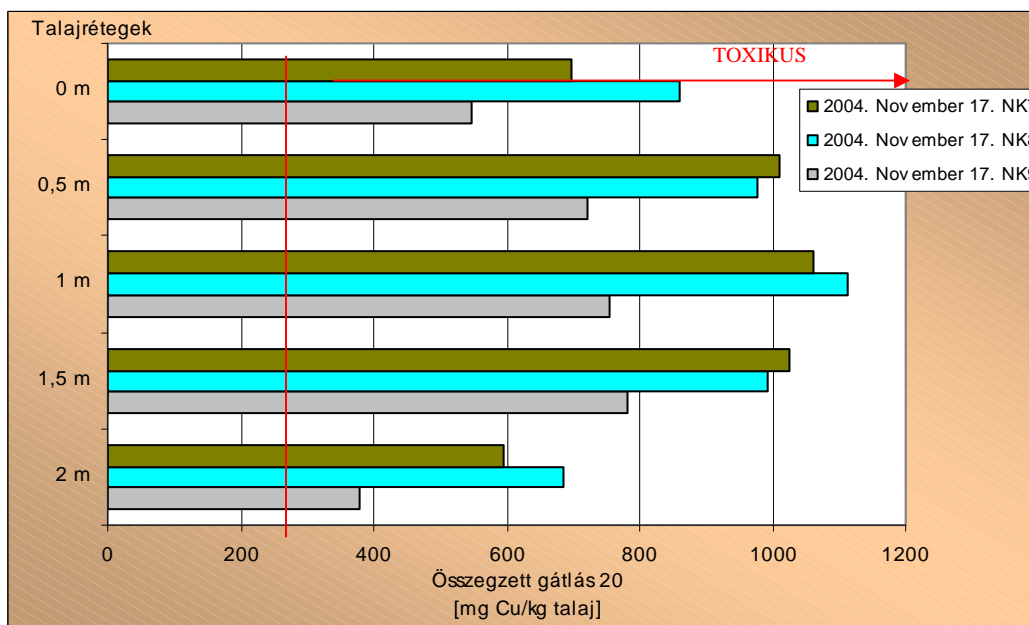
Talajminta rétegei	Összegzett gátlás és jellemzés					
	IV. pont $\Sigma$ Cu20 [mg Cu/kg talaj]		V. pont $\Sigma$ Cu20 [mg Cu/kg talaj]		VI. pont $\Sigma$ Cu20 [mg Cu/kg talaj]	
0 m	204	Enyhén toxikus	467	Toxikus	<80	Nem toxikus
0,5 m	244	Enyhén toxikus	189	Enyhén toxikus	153	Enyhén toxikus
1 m	<80	Nem toxikus	402	Toxikus	383	Toxikus
1,5 m	1 041	Nagyon toxikus	165	Enyhén toxikus	642	Nagyon toxikus
2 m	114	Nem toxikus	116	Nem toxikus	235	Enyhén toxikus

13d. táblázat: A 2004. novemberi minták toxicitásának jellemzése *Vibrio fischeri* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Összegzett gátlás és jellemzés					
	VII. pont $\Sigma$ Cu20 [mg Cu/kg talaj]		VIII. pont $\Sigma$ Cu20 [mg Cu/kg talaj]		IX. pont $\Sigma$ Cu20 [mg Cu/kg talaj]	
0 m	697	Nagyon toxikus	859	Nagyon toxikus	547	Toxikus
0,5 m	1 011	Nagyon toxikus	978	Nagyon toxikus	721	Nagyon toxikus
1 m	1 061	Nagyon toxikus	1 114	Nagyon toxikus	756	Nagyon toxikus
1,5 m	1 026	Nagyon toxikus	993	Nagyon toxikus	782	Nagyon toxikus
2 m	594	Nagyon toxikus	686	Nagyon toxikus	378	Toxikus

A *Vibrio fischeri* toxicitási teszt további különbségeket mutat az egyes talajok olajszennyezettsége között. Még a gázkromatográfiásan hasonlóknak tűnő szennyezettségek is eltérnek hatásukban, pl. a 2003. októberi elhúzódó nagy szénatomszámú púp nem toxikus, de

a decemberi minta második rétegében látható motorolaj-szennyezettség enyhén toxikus. Hasonlóan „csak” enyhén toxikus az áprilisi hatalmas szennyezettség a felső rétegben. A decemberi minta rövid-szénláncú, bontható (hozzáférhető) szennyezettsége viszont nagyon toxikus erre a tesztorganizmusra. Az ökotoxikológiai tesztek árnyaltabb megítélést tesznek lehetővé.



10. ábra. *Vibrio fischeri* biolumineszcencia gátlás teszt eredményei a különböző talajrétegekben, 2004. november 17.

### Toxicitás vizsgálat *Azotobacter agilis* tesztorganizmussal

14a. táblázat: 2003. októberi talajminta toxicitásának jellemzése *Azotobacter agilis* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Dehidrogenáz aktivitás		Jellemzés
	ED20 [g talaj]	ED50 [g talaj]	
0 m	0,060	0,066	Nagyon toxikus
0,5 m	0,060	0,066	Nagyon toxikus
1 m	0,020	0,045	Nagyon toxikus
1,5 m	0,060	0,066	Nagyon toxikus
2 m	0,043	0,094	Nagyon toxikus

14b. táblázat: 2003. decemberi talajminta toxicitásának jellemzése *Azotobacter agilis* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Dehidrogenáz aktivitás gátlás és jellemzés					
	I. pont ED20 [g talaj]		II. pont ED20 [g talaj]		III. pont ED20 [g talaj]	
0 m	>0,5	Nem toxikus	>0,5	Nem toxikus	>0,5	Nem toxikus
0,5 m	>0,5	Nem toxikus	>0,5	Nem toxikus	>0,5	Nem toxikus
1 m	>0,5	Nem toxikus	>0,5	Nem toxikus	>0,5	Nem toxikus
1,5 m	0,09	Nagyon toxikus	>0,5	Nem toxikus	>0,5	Nem toxikus
2 m	0,19	Toxikus	0,19	Toxikus	0,43	Enyhén toxikus



A 2003. októberi minta, a C30–40-es púppal nem volt toxikus a *Vibrio fischerire*, de toxikus az *Azotobacter agilére*. Ez magyarázható a két organizmus érzékenységében és szelektivitásában meglévő, ismert különbségekkel. A decemberi minta egy-két mélyebb réteg kivételével nem toxikus az *A. agile* mikroorganizmusra.

14c. táblázat: 2004. áprilisi talajminta toxicitásának jellemzése  
*Azotobacter agile* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Dehidrogenáz aktivitás gátlás és jellemzés					
	IV. pont <i>ED</i> <sub>20</sub> [g talaj]		V. pont <i>ED</i> <sub>20</sub> [g talaj]		VI. pont <i>ED</i> <sub>20</sub> [g talaj]	
0 m	0,09	Toxikus	0,25	Enyhén toxikus	0,11	Toxikus
0,5 m	0,04	Nagyon toxikus	0,02	Nagyon toxikus	0,05	Nagyon toxikus
1 m	0,05	Nagyon toxikus	0,09	Nagyon toxikus	0,06	Nagyon toxikus
1,5 m	0,05	Nagyon toxikus	0,04	Nagyon toxikus	0,01	Nagyon toxikus
2 m	0,02	Nagyon toxikus	0,04	Nagyon toxikus	0,05	Nagyon toxikus

14d. táblázat: 2004. novemberi talajminta toxicitásának jellemzése  
*Azotobacter agile* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Dehidrogenáz aktivitás gátlás és jellemzés					
	VII. pont <i>ED</i> <sub>20</sub> [g talaj]		VIII. pont <i>ED</i> <sub>20</sub> [g talaj]		IX. pont <i>ED</i> <sub>20</sub> [g talaj]	
0 m	0,09	Toxikus	0,09	Toxikus	0,04	Nagyon toxikus
0,5 m	0,06	Nagyon toxikus	0,05	Nagyon toxikus	0,06	Nagyon toxikus
1 m	0,06	Nagyon toxikus	0,04	Nagyon toxikus	0,06	Nagyon toxikus
1,5 m	0,06	Nagyon toxikus	0,02	Nagyon toxikus	0,06	Nagyon toxikus
2 m	0,06	Nagyon toxikus	0,02	Nagyon toxikus	0,06	Nagyon toxikus

A talajok felületi rétege a nagyobb szénhidrogéntartalom ellenére kevésbé toxikus erre a tesztorganizmusra, mint az alsó rétegek, melyek kivétel nélkül „nagyon toxikus” minősítést kaptak.

#### Toxicitás vizsgálat *Sinapis alba* tesztorganizmussal

15a. táblázat: 2003. márciusi és októberi minta toxicitása *Sinapis alba* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	2003. május 6. GYÖKÉRNOVEKEDÉS S GÁTLÁS <i>ED</i> <sub>20</sub> [g]	JELLEMZÉS	2003. október 7. GYÖKÉRNOVEKEDÉS S GÁTLÁS <i>ED</i> <sub>20</sub> [g]	JELLEMZÉS
0 m	>5	Nem toxikus	>5	Nem toxikus
0,5 m	>5	Nem toxikus	>5	Nem toxikus
1 m	>5	Nem toxikus	>5	Nem toxikus
1,5 m	>5	Nem toxikus	>5	Nem toxikus
2 m	>5	Nem toxikus	>5	Nem toxikus
Talajminta rétegei	SZÁRNOVEKEDÉS GÁTLÁS <i>ED</i> <sub>20</sub> [g]	JELLEMZÉS	SZÁRNOVEKEDÉS GÁTLÁS <i>ED</i> <sub>20</sub> [g]	JELLEMZÉS
0 m	>5	Nem toxikus	>5	Nem toxikus
0,5 m	>5	Nem toxikus	>5	Nem toxikus
1 m	>5	Nem toxikus	>5	Nem toxikus
1,5 m	>5	Nem toxikus	>5	Nem toxikus
2 m	>5	Nem toxikus	>5	Nem toxikus

15b. táblázat: 2003. decemberi minta toxicitása *Sinapis alba* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Gyökér- és szárnövekedés gátlás és jellemzés					
	I. pont ED20 [g talaj]		II. pont ED20 [g talaj]		III. pont ED20 [g talaj]	
0 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
0,5 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
1 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
1,5 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
2 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus

15c. táblázat: 2004. áprilisi minta toxicitása *Sinapis alba* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Gyökér- és szárnövekedés gátlás és jellemzés					
	IV. pont ED20 [g talaj]		V. pont ED20 [g talaj]		VI. pont ED20 [g talaj]	
0,0 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
0,5 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
1,0 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
1,5 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
2,0 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus

15d. táblázat: 2004. novemberi minta toxicitása *Sinapis alba* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Gyökér- és szárnövekedés gátlás és jellemzés					
	VII. pont ED20 [g talaj]		VIII. pont ED20 [g talaj]		IX. pont ED20 [g talaj]	
0,0 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
0,5 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
1,0 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
1,5 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus
2,0 m	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus	> 5	Nem toxikus

Növénytoxicitás nem jelentkezik a talajoknál, tehát a talajrétegek eltérő olajtartalmai közül egyik sem növénytoxikus. Ez azt jelenti, hogy a terület betelepítése növényzettel, pl. füvesítése lehetséges. A növénytakaró stabilizálhatná a felületi réteget, aktívan tartaná a talaj bontóképességét és talán megakadályozná a fáradt olaj talajra locsolásában az embereket.

### Toxicitás vizsgálat *Folsomia candida* tesztorganizmussal

16a. táblázat: 2003. májusi és októberi minta toxicitása *Folsomia candida* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	2003. május 6. ED <sub>20</sub> [g]	JELLEMZÉS	2003. október 7. ED <sub>20</sub> [g]	JELLEMZÉS
0 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus
0,5 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus
1 m	>20	Nem toxikus	0,7	Nagyon toxikus
1,5 m	>20	Nem toxikus	0,3	Nagyon toxikus
2 m	>20	Nem toxikus	1,2	Nagyon toxikus

16b. táblázat: 2003. decemberi minta toxicitása *Folsomia candida* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Mortalitás és jellemzés					
	I. pont ED20 [g talaj]		II. pont ED20 [g talaj]		III. pont ED20 [g talaj]	
0 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus
0,5 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus
1 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus
1,5 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus
2 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus

16c. táblázat: 2004. áprilisi minta toxicitása *Folsomia candida* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Mortalitás és jellemzés					
	IV. pont ED20 [g talaj]		V. pont ED20 [g talaj]		VI. pont ED20 [g talaj]	
0 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	4,5	Toxikus
0,5 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	10,7	Toxikus
1 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	10,7	Toxikus
1,5 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	10,4	Toxikus
2 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	19,4	Nem toxikus

16d. táblázat: 2004. novemberi minta toxicitása *Folsomia candida* tesztorganizmussal

Talajminta rétegei	Mortalitás és jellemzés					
	VII. pont ED20 [g talaj]		VIII. pont ED20 [g talaj]		IX. pont ED20 [g talaj]	
0 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	4,5	Toxikus
0,5 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	10,7	Toxikus
1 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	10,7	Toxikus
1,5 m	>20	Nem toxikus	>20	Nem toxikus	10,4	Toxikus
2 m	>20	Nem toxikus	11.2	Toxikus	19,4	Nem toxikus

Mivel a szennyezettség nem nagymértékű és a szennyezőanyag nem kiemelkedően toxikus és biodegradálható anyag, a természetes bioremediáció jó megoldás lehet ebben az esetben. A monitorozáshoz a jövőben a legérzékenyebb tesztorganizmust fogjuk használni, amely biztonsággal mutatja az esetleg megjelenő toxicitást vagy már a hatásokat is befolyásoló változást.

Ha sikerül az utánszennyezést megakadályozni, ez a terület spontán meg fog tisztulni a talajban meglévő természetes bontó aktivitás felhasználásával. Meggyorsíthatja ezt a folyamatot a terület felszínének vegetációja, mely jelenleg gyér és gondozatlan. Ha füvesítjük, és megfelelően műveljük, megnő a talaj biológiai aktivitása, homogénebbé válik, mely a szénhidrogénbontó közösségnek is kedvez. Az összefüggő gyepek izoláló hatása is van, mely korlátozza a a talajjal való közvetlen emberi érintkezés esélyét, tehát a füves területet korlátozás nélkül lehet használni.

