

VESZÉLYES ANTROPOGÉN HULLADÉK KEZELÉSÉNEK ÁLTALÁNOS ÉS KÖRNYEZETFÖLDTANI TANULSÁGAI DEBRECENBEN

McIntosh Richárd¹ - Maján György² - Kozák Miklós¹ - Püspöki Zoltán¹

Bevezetés

Magyarországon az elmúlt évtizedekben bekövetkezett erőltetett iparosodást nem kísérte korszerű környezetvédelmi szabályozás. Az 1989. évi rendszerváltást követően a károsodott környezetek rehabilitációját - felelős jogutód híján - nagyrészt az állam vállalta fel. Az ezzel kapcsolatban született középtávú intézkedési terv megvalósítására pénzügyi okok miatt csak 1995 után kerülhetett sor. A regionális környezetvédelmi felügyelőségek 1995-től országosan felmérték a tartós szennyezőanyagokat, súlyos veszélyforrásokat. Az eurorégiós törekvések erősödésével növekedett az államilag ösztönzött környezetvédelmi tevékenység, így 1996-tól a kormány elindította az Országos Környezetvédelmi Kármentesítési Programot, amely a Nemzeti Környezetvédelmi Program része. Ezzel párhuzamosan fejlődött az intézményi háttér és a törvényi szabályozás. A földtani közeg védelméről szóló kormányrendeletek azonban csak 2000-ben jelentek meg. A kárfelmérések eredményeként nyilvántartásba került 200 objektum, melyek közül 1997-ben 17-nek indult meg a kármentesítése. Egyik ilyen szennyezőforrás az ország második legnagyobb városának Debrecennek a DNy-i peremén az 1960-as évektől működő veszélyeshulladék lerakó telep volt (1. ábra).

A debreceni veszélyeshulladék kezelő telep és környezete

A település kommunális hulladékait és szennyvizeit az 1920-as évektől kezdve a város DNy-i szegélyén kialakított hulladékkezelő övezetben helyezik el.

A veszélyeshulladék lerakó a város térségének mélypontján a Tócsa-patak jobb partján került kialakításra. Itt érintkezik és fogazódik össze a tőle ÉK-re húzódó negyedidőszaki futóhomok terület és a tőle Ny-ra húzódó infúziós löszhát (Kozák, 1976; MGSZ, 1992; Garber - Dalmatiner, 1992). A felső homokos, közetlisztes rétegek szivárgási tényezője $6,0 \times 10^{-5}$, $5,0 \times 10^{-6}$ cm/s. Az évi 650 mm átlagos csapadékmennyiségből történő beszivárgás a K-i homokterületen kb. 17 %, a Ny-i löszös területen nem éri el a 15 %-ot, amelyből a rétegvizekbe mindössze 5-7% jut le.

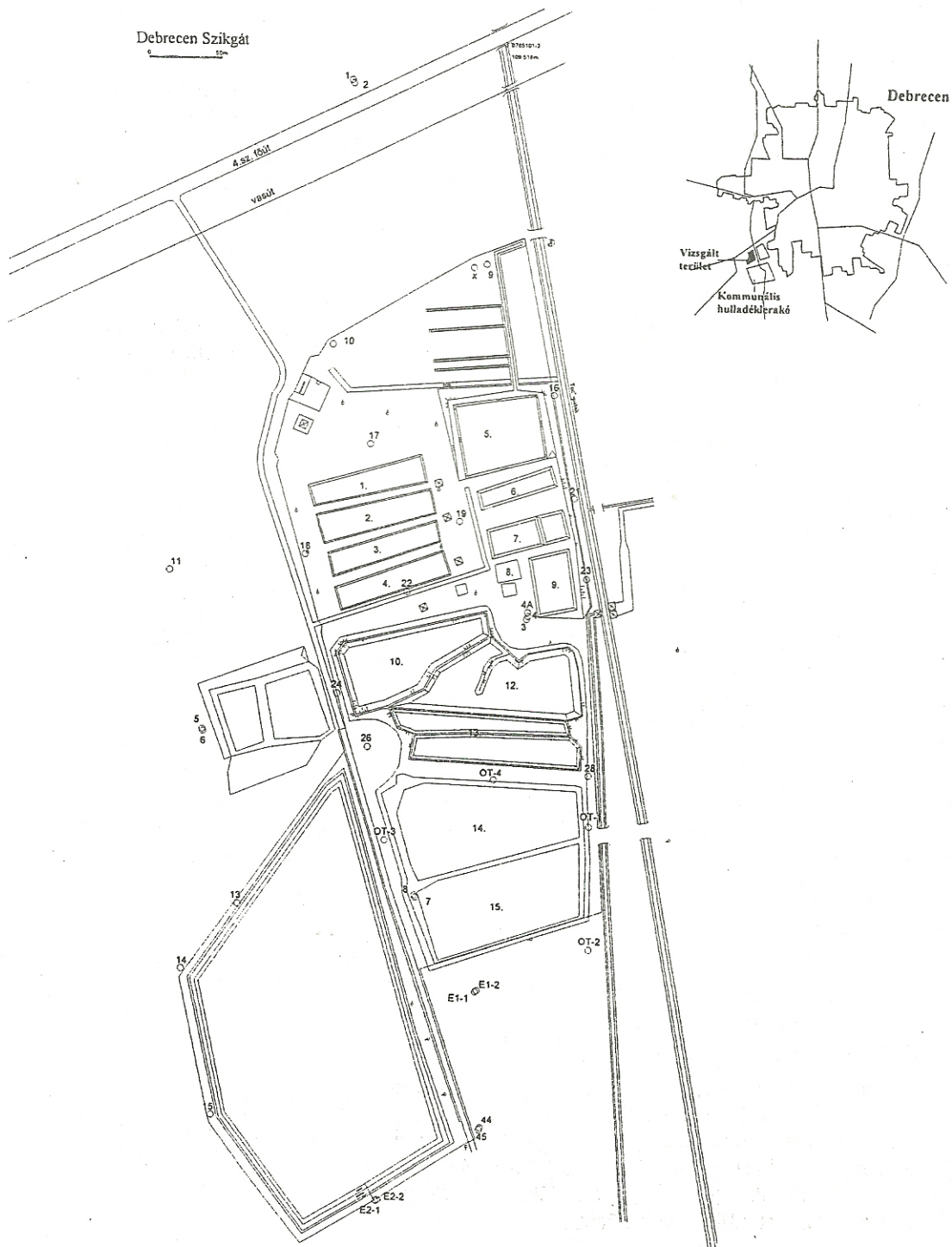
Az iszaplerakó területén jellemző infúziós lösz közettanilag aleuritós homoklisztnek minősül, amelyhez középszemű, vagy annál durvább homok csak helyenként keveredik. A 0.002 mm-nél kisebb kolloidméretű agyagfrakció mennyisége max. 3-5% ennek 2/3-a DTA elemzés alapján nem duzzadóképes illit. Az agyagásványok között az illit kationcserélő képessége (KAK) közepesnek nevezhető, kb. 20-50 mmol. eq./100g (Czurda, 1996). A felszínközeli rétegek CaCO_3 tartalma szintenként változó, leggyakrabban 5-35% közötti, a löszös eredetű üledékben az átlagos értéknél magasabb. A talajvízmozgás zónájában helyenként kialakuló konkréciós szintek dúsulásaiban lokálisan akár az 50%-ot is meghaladhatja. A rétegek vízdoldékony szulfátot nem tartalmaznak (Maján et al., 2000b).

1 Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszék, 4010 Debrecen, Egyetem tér 1. Pf. 4.

2 Környezetvédelmi Fejlesztési Intézet, 1051 Budapest Vörösmarty tér 4

Debrecen Szíkgát

0 5 10m



1. ábra A Debrecen-Székelyi hulladéklerakó helyszínrajza és a figyelőkutak helyzete

A talajvíz a patak medrétől enyhén emelkedő egyenletes térszín topográfiáját kismértékben követi, így a mértékadó talajvízszint mélysége 1.5 m mélységtől kezdődően nyugat felé fokozatosan növekszik. A nívófelület lejtésének megfelelően a hidraulikus gradiens a telep területén DDK-i irányba mutat. A talajvízszint magasságát évszakos rendszerességgel 34 figyelőkútban mértük. A becült *várható maximális talajvízszinteket* az előzetes hatásvizsgálat kapcsán a TIVIZIG törzserőkre támaszkodva, terület középső részén 107,5 m mBf szintben állapították meg. Mérési eredményeink alapján az elmúlt csapadékosabb időszak hatására a talajvíztükör szintje ezt az értéket 1998-2000-ben megközelítette, 2001-ben pedig el is érte. A terület mélyfekvésű részein tehát a talajvíz maximális szintje közvetlenül a felszín közelében várható. Az előzetes hatásvizsgálatok során a várható maximális talajvízingadozást a területen 1,7 - 2 m körül becsülték, az elmúlt 5 év mérési adatai alapján azonban ez nem haladta meg az 1 m-t.

A telep környezetének felszínközeli természetes állapotú rétegszelvényében a talajvizek és sekélyrétegvizek ICP módszerrel kimutatható természetes Cr koncentráció értéke 35 elemzés adatai alapján 0.005 mg/l értékű, eloszlása egyenletes.

A hulladéklerakó környezetében található természetes állapotú talajok felső 1m-ének nehézfém koncentrációja (Co, Cu, Cr, Cd, Ni, Pb, Zn, Hg stb.) Lakonen-Erviő oldattal feltárt talajkivonatokat ICP és AAS módszerrel történt elemzése alapján a szabványokban megadott veszélyességi határértékeket nem éri el. A Cr természetes koncentrációja 1.5-10.5 mg/kg között változik, általában 1.5-5 mg/kg.

A sérült, vagy különösen veszélyeztetett területek kármentesítésének folyamata több fő vizsgálati és intézkedési szakaszra tagolódik. A debreceni szikgáti veszélyeshulladék lerakó kármentesítésének tapasztalatai alapján e folyamat egyszerűsített vázlatát a 2. ábra mutatja be. Mint látható a felső keretben foglalt lépések egy olyan előkészítő intézkedéssorozatot mutatnak be, amelyek az államapparátus környezetvédelmi kérdésekkel foglalkozó kormányzati, illetve regionális hatósági egységeinek feladatait tartalmazzák. A középső nagyobb keret a tényleges megvalósítás menetének fázisait tükrözi. Ennek alapvető állomásai a *tényfeltárás*, majd az ennek alapján készített tervek szerint történő *gyakorlati kármentesítés*.

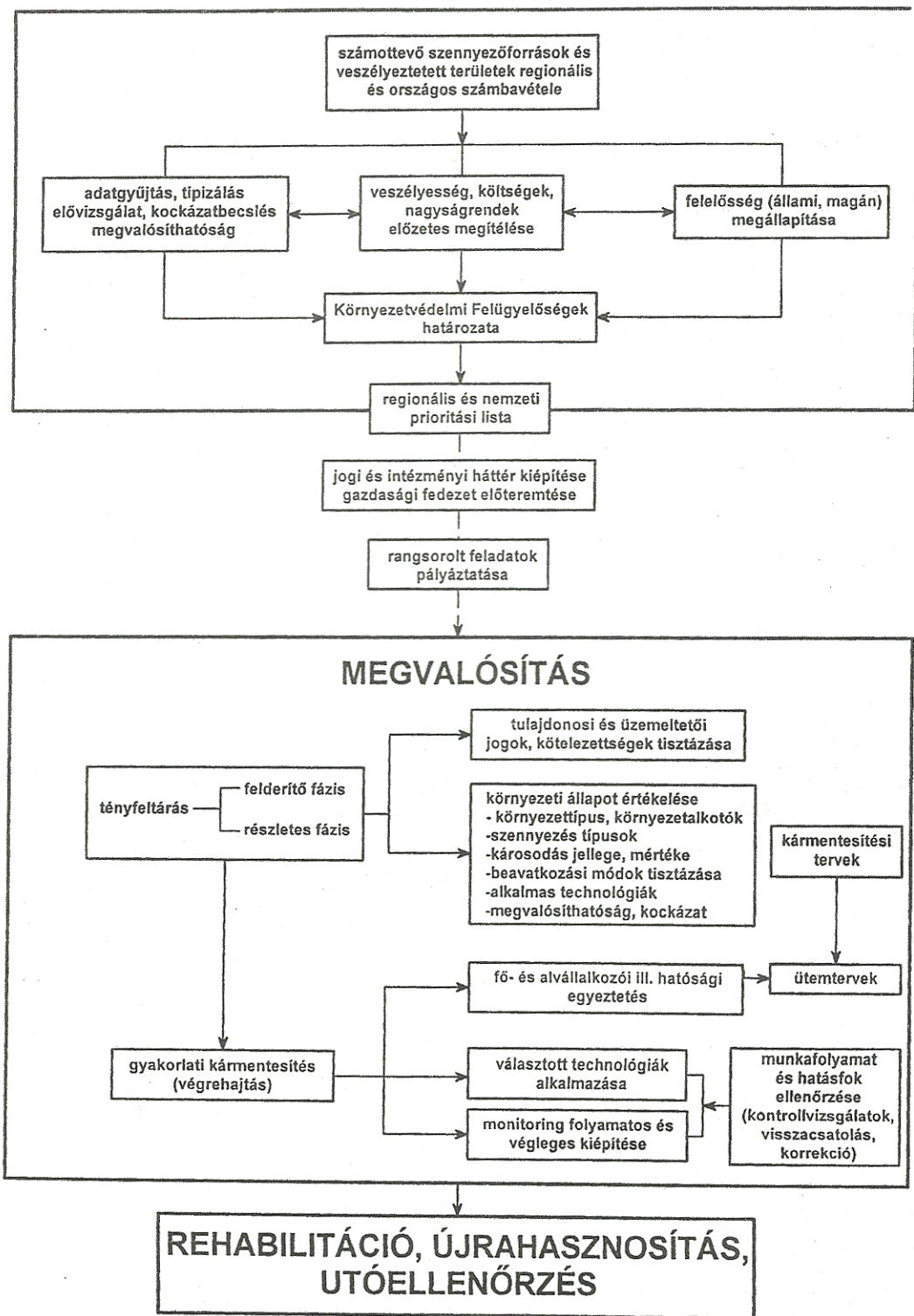
A földtani alapú szennyezésérzékenységi térképek a felszínközeli képződmények litológiai karakterét, szivárgási tényezőjét, illetve a talajvíz mélységét és ingadozását veszik figyelembe. Ez csupán általános tájékozódásra ad lehetőséget és számos egyéb lehetséges szempontot figyelmen kívül hagy. Ipari eredetű folyékony hulladék, esetében a kármentesítést megelőzően célszerű elkészíteni a szennyezőforrás típusának megfelelő, célspecifikus környezetföldtani-szennyezésérzékenységi térképet. Ennek elkészítése a későbbi munkálatok költségét esetenként 10-40%-al is csökkentheti.

Tényfeltárás

Környezetvédelmi Felügyelőség 1996-ban a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium (KTM) által indított Országos Környezeti Kármentesítési Program (OKKP) keretében javasolta a szikgáti területen felhalmozott veszélyeshulladékok kármentesítését. A Kármentesítési Programiroda által szervezett tényfeltárási munkákat, pályázat alapján, az ELGOSCAR KFT. (1997) végezte el.

A hulladéklerakó beton- és földmedencéiben kommunális hulladékok, nehézfém iszapok (galvániszapok, járműipari, börgyári, fémipari stb. hulladékok), valamint gyógyszervegyészeti, konzervgyári és egyéb hulladékfajták kerültek elhelyezésre (1. ábra). A tényfeltárás kiterjedt a medencék és környezetük sekélyföldtani, hidrogeológiai, valamint pontszerű szennyezésgeokémiai vizsgálatára. Kialakították a talajvíz és sekély rétegvíz megfigyelő kúthálózatot, elvégezték ennek alapállapot vizsgálatát (McIntosh, 2001).

A tényfeltárás során mélyített talajfúrások és sekély geofizikai szondafelvételek a veszélyeshulladék lerakó telep közvetlen felszínközeli aljzatának földtani adottságaira vonatkozóan új, értékes adatokat szolgáltattak. A fentieknek megfelelően a szempontunkból



2. ábra A sérült vagy veszélyeztetett területek kármentesítési folyamata

kiemelkedő jelentőségű felső 10 m felépítését tekintve két üledéktelepülési alaptípus szelvény különíthető el:

1. A rétegsor változó vastagságú, eolikus eredetű, kőzetlisztes homok - homok réteggel indul. A szemeloszlásokban uralkodó a finom és aprószemcsés homok. A képződmény vízvezető, számított hidraulikus vezetőképessége a kőzetliszt frakció mennyiségétől függően 10^{-3} - 10^{-4} cm/sec körüli. Alatta nagy vastagságú finomkőzetlisztes durvakőzetliszt, néhol agyagos kőzetliszt települ. A különböző szemcsafrakciók aránya a helytől és mélységtől függően erősen ingadozik (mechanikai agyag 8-22 %, finomkőzetliszt 15-35 %, durvakőzetliszt 35-60 %, homok 5-8 %).

Ez a réteg vízrekesztőnek tekinthető, a számított hidraulikus vezetőképesség értéke jellemzően 10^{-6} - 10^{-7} cm/sec között alakul. A terület nagyobb részén ez a típus ismerhető fel.

2. A rétegsort szinte teljes egészében finom és aprószemcsés homok alkotja, melyet vékony durvakőzetlisztes homokbetelepülések tagolnak. A vízvezető képesség 10^{-3} cm/sec, a több finomfrakciót tartalmazó képződményben 10^{-4} cm/sec. Ez a típus a relatíve magasabb helyzetű dombokra és azok környezetére jellemző.

Az I. veszélyességi osztályba tartozó iszapok nehézfémtartalmára vonatkozóan tájékoztatásul állítottunk össze néhány összehasonlító diagramot, ahol a medencékben tárolt hulladék néhány kitüntetetten fontos nehézfémre (Pb, Ba, Cd, Zn, Ni, Cr) vonatkoztatott szennyezési értéke látható. Összehasonlításul föltüntetettünk néhány meghatározó átlagértéket, úm. a földkéreg átlagértékét (Clark érték) (Greenwood - Earnshaw, 1997), a hazai ártéri üledékek átlagát (Ódor et al., 1995), Debrecen környékének átlagos értékét és a Szikgát természetes talajának jellemző értékét (háttérszennyezés) (3/a és 3/b ábra). Mind a hat nehézfém esetében megfigyelhetők kiugróan magas, a C_3 veszélyességi határértéket (10/2000, Magyar Közlöny) is meghaladó koncentrációk. A Ni esetében a B határértéket meghaladó Clark érték az óceáni és kontinentális kéreg közötti lényeges különbségből adódik, ahol a környezetvédelmi értékek nyilvánvalóan a kontinentális környezetekre vonatkoznak. E kiugró értékek bár figyelemfelkeltők, nem reprezentatívak a kármentesítés egészének szempontjából, mivel elsősorban pontszerű minták elemzésén alapszanak.

A későbbiekben a vizsgálatok reprezentatív átlagminták elemzésére támaszkodtak. Ekkor a deponált anyagot mintavételi körzetekre osztottuk (4. ábra) ügyelve arra, hogy az egyes körzetek lehetőleg homogén anyagot reprezentáljanak. Az így kapott elemzési értékek a reálshoz közelebb álló koncentrációt mutattak. A 4. ábra vázlatos rétegszelvényt mutat be mintavételi pontokkal és a rétegek anyagának makroszkópi jellemzőivel. A kanalas kotróval 3 m mélységig kimélyített kutatógödör eredeti települési rétegzett olajosiszapot tárt fel

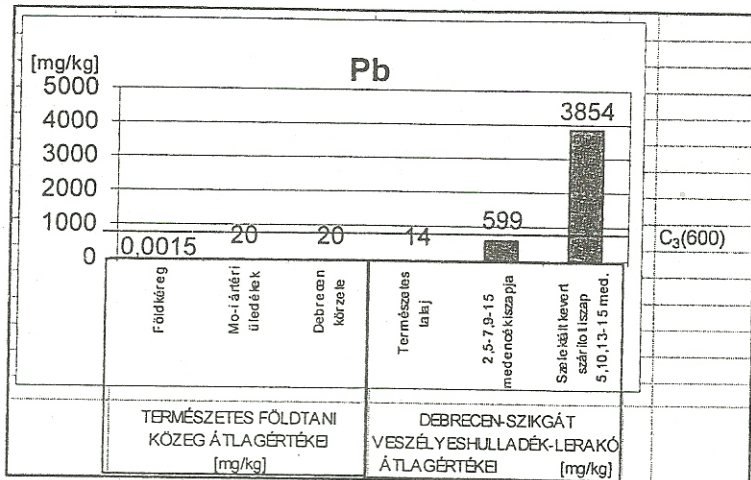
Az itt kimélyített szelvény a pillérekben visszamaradt eredeti rétegzésű medencekitöltés anyagának egyik legjobb feltárása. A gyakran 0,5-1 méter vastagságú olajosiszap szintek között mikro- és vékonyrétegzett nagy fémtartalmú iszapok települnek, amelyek anyagába részben átitatásként szintén behatoltak a migráló szénhidrogén származékok. A mindössze néhány cm vastag rétegek heterogenitására jellemző, hogy esetenként 10-60 cm-nyi rétegekötegekben szeszélyesen változó összetételű és színű iszaprétegeket találtunk. Ezek között képviselve voltak nagy szénhidrogén tartalmú króm iszapok éppúgy, mint kiugró Ba koncentrációt mutató fehér karbonátiszapok, szürke és lilásfekete színű vegyes toxikus fém tartalmú rétegek. Ezek szétválasztása esetenként megoldhatatlan feladatot jelentett.

Mivel a króm bizonyos oxidációs állapotban, illetve egyes vegyületekben különösen veszélyes környezetszennyező, így indokoltnak látszott e kérdés kiemelt vizsgálata és a potenciális, vagy valószínű anomáliák kimutatása, minősítése.

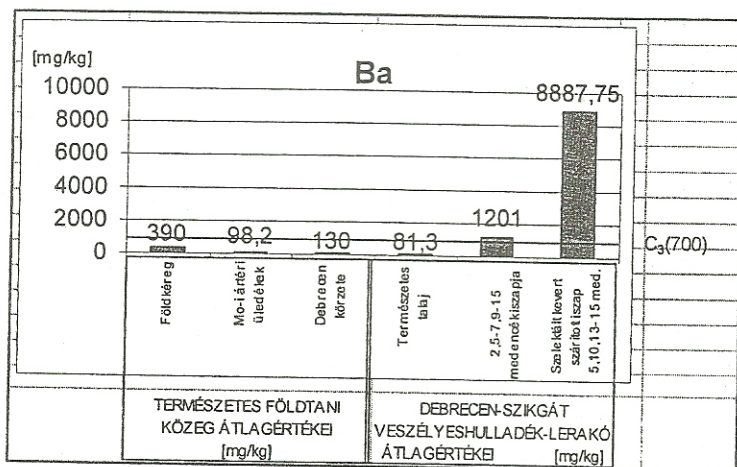
A króm a földtani környezetben

Az amfoter jellegű fémek természetes szállító közege kémiaiag lúgos, oxidatív víz. Az ezzel szemben álló csapda geokémiai szerepe alapvetően kettős lehet. Egyrészt az oldhatósági viszonyok megváltozásával a befogadó közeg redukzív, vagy szulfidgazdag jellege előidézhetheti az

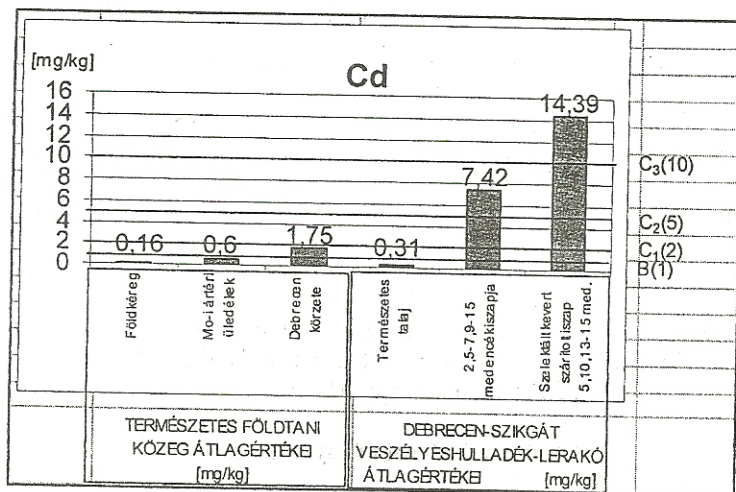
A



B

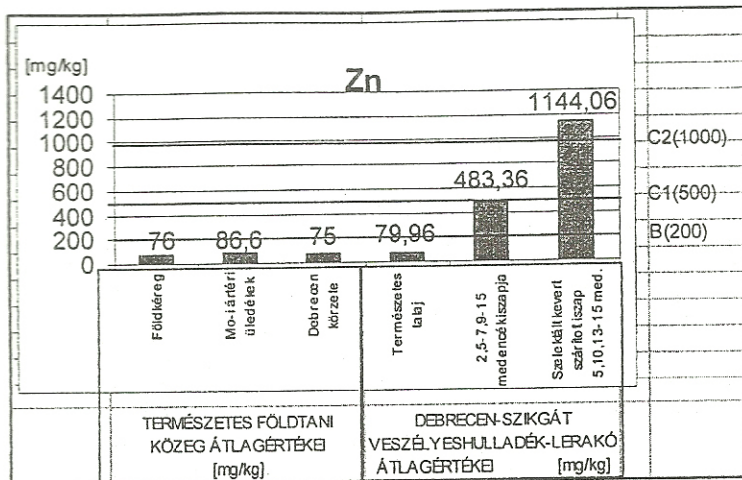


C

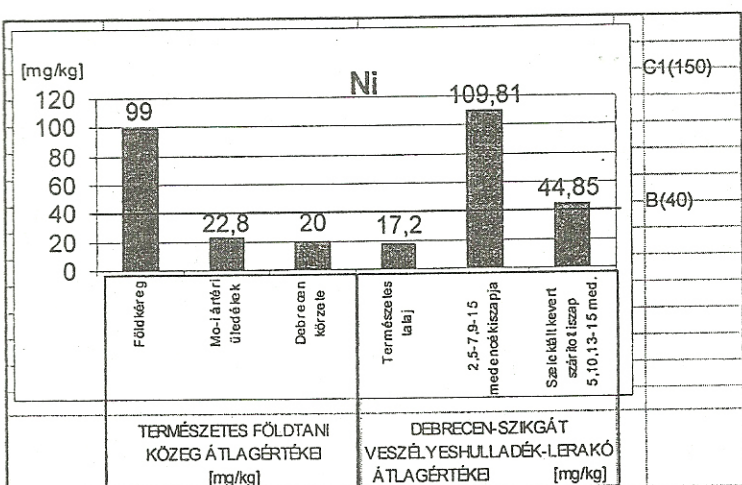


3/a ábra Nehézfém-tartalom természetes és mesterséges környezetekben

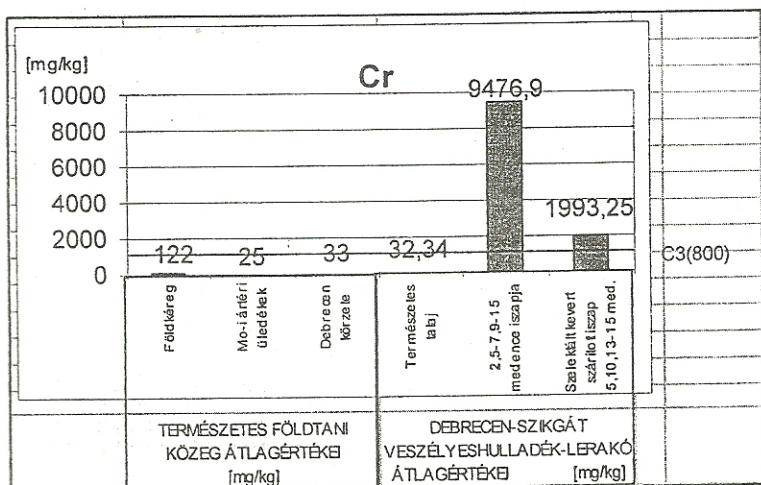
D



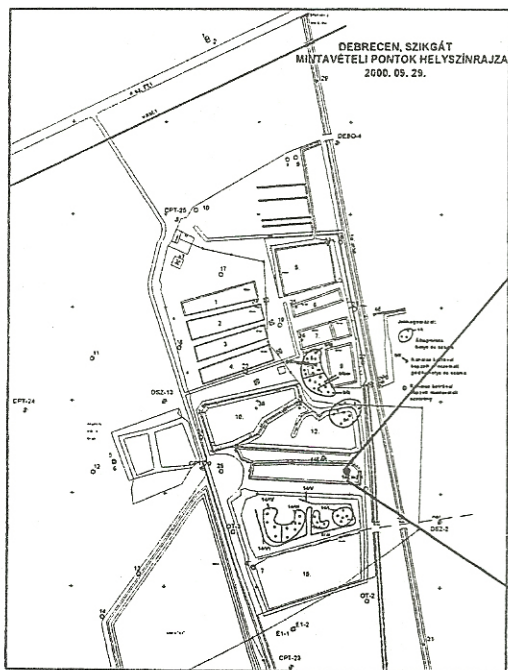
E



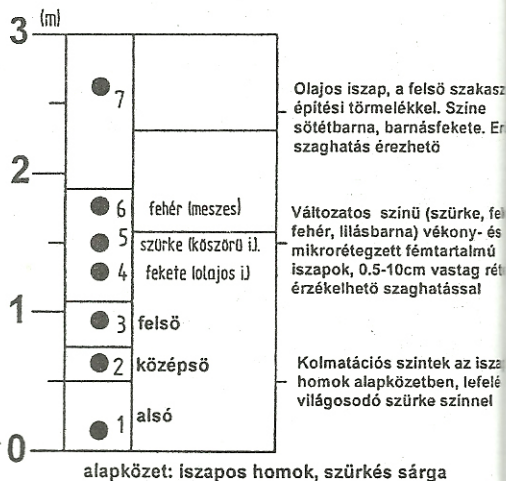
F



3/b ábra Nehézfém tartalom természetes és mesterséges környezetekben



14 Ém2 számú mintavételi pont kanalas kotróval kiképzett gödrének vázlatos rétegszelvénye a mintavételi pontok feltüntetésével



A 14 Ém2 sz. mintavételi pont iszapszelvényének elemzési eredményei

Elem ppm	1	2	3	4	5	6	7
As	6,86	8,20	6,73	6,68	< 2,5	2,58	9,28
Ba	8762	9561	8264	14207	14334	14209	9461
Cd	15,2	14,1	13,9	28,4	28,5	26,0	12,1
Co	14,6	14,7	11,6	25,1	23,9	26,3	4,13
Cr	2350	1934	1663	8815	11778	9731	652
Ni	66,7	59,7	52,0	94,7	78,3	95,1	17,9
Pb	2439	2657	2255	5266	5535	6252	2046
Sr	201	179	150	239	263	252	87,8
Zn	1204	1335	1316	1260	1098	1206	1351

4. ábra A 2000. 09.29-én történt mintavételezés és a minták eredményei

oldatban szállított ionok átmeneti fixációját. Másrészt az adszorptív közegek (pl. agyagásványok, humuszsavak) ugyancsak megkötik a vándorló ionok egy részét.

Magyarország Geokémiai Atlasza (Ódor et al. 1995) szerint a folyami ártéri üledékek anyagából salétromsavas kioldással készült elemzési értékek alapján Debrecen tágabb környezetére a 15-51 mg/kg természetes koncentráció értékek jellemzőek. Tájékoztatásul közöljük, hogy a magyar kőszénfajták erőművi hamujának Cr koncentrációja általában 50 mg/kg-nál kisebb és csupán néhány esetben ér el 100-400 mg/kg közötti értéket.

Füle (1994) laboratóriumi körülmények között természeteshez közelálló közetoszlopokon végzett kísérletek során vizsgálta a Cr megkötődését (1. táblázat). A vertikális átmosás közben figyelték a Cr^{3+} és a CrO_4^{2-} -ion kicsapódását és mozgását. A CrO_4^{2-} -ion kitűnő migrációs képessége folytán különösen veszélyes a környezetre. Humuszos talajréteg kromátot redukáló hatása kedvezően befolyásolhatja egy terület szennyezésérzékenységét. A Cr^{3+} -ion savas körülmények között marad oldatban, míg CaCO_3 jelenlétében kicsapódik. Így megállapítható, hogy a 3-as oxidációs állapotban lévő Cr szorpciója a szivárgási tényezővel és a karbonáttartalommal együtt változik. A CrO_4^{2-} -ion a szerves anyag jelenlétében (pl. humuszsavas közeg, talaj stb.) redukálódik és 3-as oxidációs alakba megy át. Az öntésiszapokban leginkább ez a viselkedés jellemző. Ebben az értelemben tehát a szerves anyag és a karbonát jelenléte kedvező hatással van a króm megkötődésére és a transzportáció megakadályozására. A kísérleti eredmények alapján bemutatjuk azokat a kőzetfajtákat, amelyek Debrecen környékén is domináns felszínalkotók.

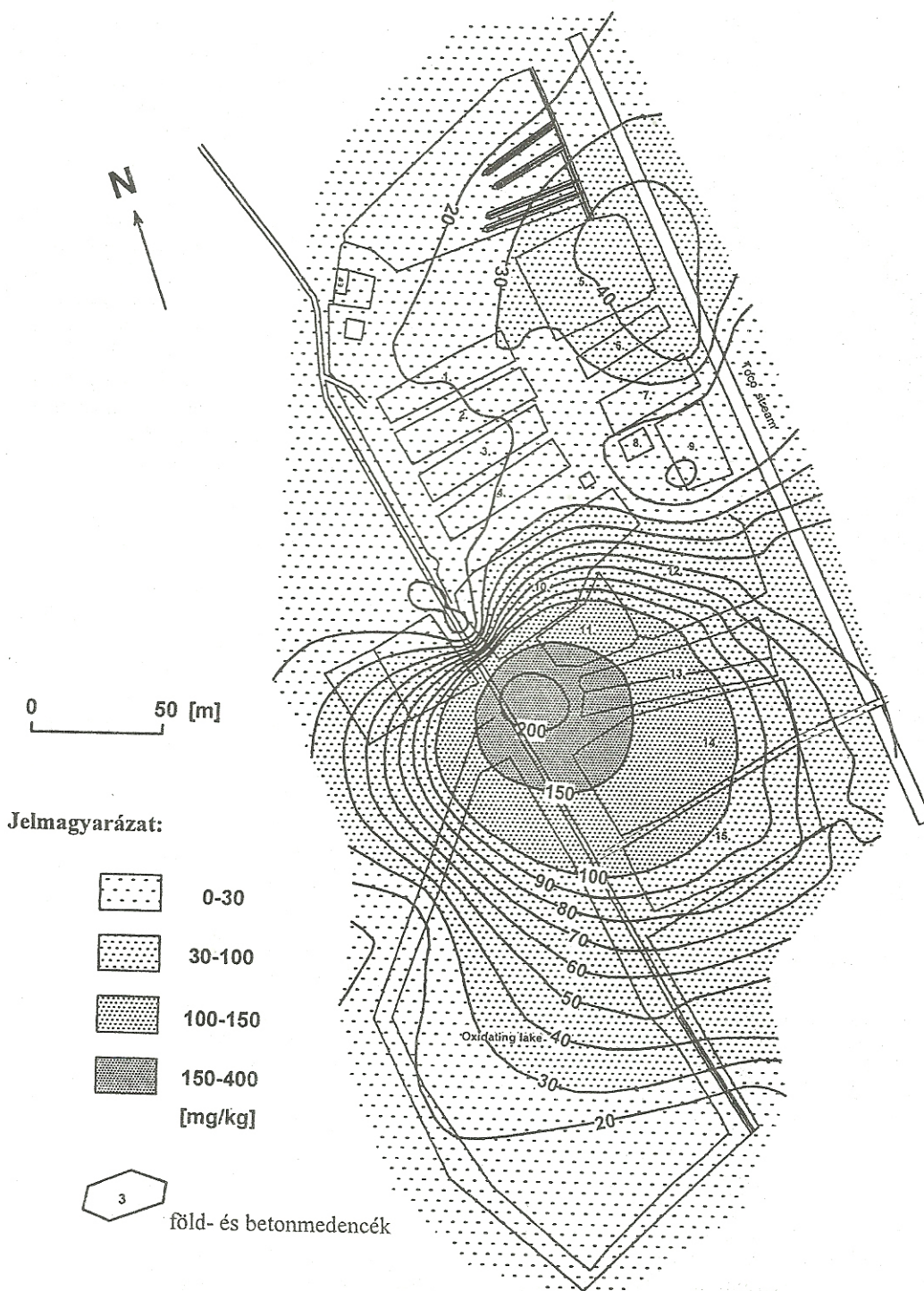
1. táblázat Cr^{3+} , valamint CrO_4^{2-} megkötődése üledékekben adott szivárgási tényező és mésztartalom mellett (Füle, 1995 alapján)

Képződmény neve	Mért k-tényező [cm/s]	Mésztartalom %	Szorpciós képesség Cr^{3+} -ra [mg/kg]	Szorpciós képesség CrO_4^{2-} -ra [mg/kg]
Slír	$5.1-5.3 \times 10^{-7}$	32.7	45.0	8.80×10^{-4}
Álfoldi lösz	$1.6-1.7 \times 10^{-6}$	20.0	32.5	$7.80 \times 10^{-2} (\text{Cr}^{\text{III}})$
Homok	$4.1-4.2 \times 10^{-6}$	18.2	27.5	4.16×10^{-4}
Öntésiszap	$1.8-1.9 \times 10^{-5}$	10.2	9.7	$2.20 \times 10^{-2} (\text{Cr}^{\text{III}})$

A króm mobilitását bizonyos elemek és vegyületek hátrányosan befolyásolhatják. Ilyenek például a mangán 3-4 vegyértékű oxidjai (Sparks, 1995), melyek 5-ös pH mellett oxidálják a Cr^{3+} -iont Cr^{6+} -ionná, mivel a mangán redukcióra vonatkozó p_e értéke nagyobb, mint a Cr^{6+} -ioné. Hulladéklerakók esetében ez reális veszélyt jelenthet, ha magas Fe, Mn tartalmú üledék, vasas talajvíz, vagy fém-és bőripari hulladék van jelen a rendszerben (Maján et al., 2001a).

A króm esetében a hulladékból származó pontszerű minták igen magas koncentrációt mutatnak (pl. 10200 mg/kg a 10-es medencében), míg az iszapok átlagkoncentrációja 1993,25 mg/kg. A terület nagy részén a talaj Cr tartalma a 2-3m-es mélységben alatta marad a 30 mg/kg határértéknek. Nagyobb koncentrációt (max. 400 mg/kg) a 10-es medencétől délre mértek. E koncentráció maximum kialakulása a 10-es medencében tárolt iszap rendkívül magas krómtartalmával magyarázható. Az 5. ábrán látható, hogy a talajvíz áramlási viszonyainak megfelelően a szennyezés DNy felé, a Tócsó-patak felé nyúlik. Ellenben 6-8 m-es mélységben már nem mutatható ki jelentősebb szennyezés. Ennek magyarázata a földtani felépítésben rejlik. Az egymásba fogazódó durvaszemű homok és finomszemű álföldi típusú löszös üledékek szendvics rétegsora természetes gátat jelentenek a Cr. számára (Maján et al., 2000a; 2001a).

Összehasonlításként közöljük, hogy a talajok Cr szennyeződésére vonatkozó holland referenciaérték 100, a beavatkozási határérték 380 mg/kg. Például Nordheim-Észak-Rajna-Westfalia tartomány háztartási hulladékaiból kioldható összes króm tartalom mennyisége átlagosan 100 mg/kg (Czurda, 1996). A szikgáti lerakó esetében a köszörű iszapok, járműipari



5. ábra Debrecen-Szigát talajának krómszennyezettsége 2-3 m-es mélységben (szerkesztve az ELGOSCAR adatai alapján)

és bányai hulladékok bizonytalan mennyiségű jelenléte miatt előzetesen számolni lehetett egy szeszélyes eloszlású fokozott krómszennyezéssel.

Kárfelszámolás

A kárfelszámolási munka műszaki irányítását a Környezetvédelmi Fejlesztési Intézet Kármentesítési Irodája végzi, fővállalkozó kiírt pályázat alapján a TERSZOL Szövetkezet.

A hulladékok ártalmatlanítása hulladékfajtatól és szennyeződés mértékétől függően történik. A folyékony olajos iszapokat (2000 t.) égetőbe szállították, a magas olaj- és nehézfém tartalmú iszapok (31000 m^3) nem helyben történő, a kommunális hulladékból származó iszapok (14000 m^3) helyben történő biodegradációval kerültek ártalmatlanításra. Az ártalmatlanított nehézfém tartalmú iszapok, valamint a szennyezett talaj (max. 45000 m^3) a területen épülő aljzatszigetelt veszélyeshulladék tároló prizmába kerül elhelyezésre. A földmedencékben felhalmozódott szennyezett vizet (23000 m^3) kezelés után a városi szennyvíztelep fogadta be (Maján et al., 2001b).

A szükséges szelekció helyett a gyakorlatban a hulladékfajták részleges keveredése következett be, ami jól látható a fenéki iszapok szelvényének inhomogenitásában. A kiszáritott rétegzett iszapok egyes szintjei érzékszervileg és konzisztenciálisan is különböztek egymástól. Kitermelésük során a keverés viszonylag homogén állapotúvá tette a depóniákba halmozott anyagot. Az így képzett prizmák anyagából, átlagolással nyert reprezentatív minták nehézfém (Cr, Cd, Pb, Ba) szennyezést mutattak (átlagban: Cd: 3-6 ppm, Pb: 1000-2000 ppm, Cr: 800-2000 ppm, Ba: 600-900 ppm) (Maján et al., 2000a).

A nehézfém tartalmú szennyvíziszapok és a szennyezett talaj a rekultivált helyszínen kialakított kettős aljzatszigetelésű hulladéklerakó prizmában nyert elhelyezést (6. ábra). A biztonság fokozása érdekében ennek alapozási síkja a maximális talajvízszint zárt kapilláris zónája felett lett kialakítva. Ezt az indokolta, hogy az ionadszorpciós folyamatok a geokémiai környezet változása esetén reverzibilisek lehetnek.

A depónia jellemzői

A lerakó 9850 m^2 alapterületű, kapacitása a becsült készleteknek megfelelően 45000 m^3 , ami 5%-os tartalék tárolókapacitást biztosít. Aljzatszigetelési rendszerének kialakítása a 102/1996. (VII. 12.) Korm. rendelet figyelembevételével történt. Mivel a területen nincs meg a $k < 10^{-8} \text{ m/s}$ szivárgási tényezőjű réteg a depónia 2 rétegű aljzatszigetelést kapott, ahol egy réteget a bentofix szigetelés, a geotextília és a HDPE fólia hármasa alkot. Továbbá mivel a terület mély fekvésű és közel van a talajvízhez $30 \times 20 \text{ cm}$ -es agyag szigetelőréteg feltöltést alkalmaztak. A fólia esetleges sérülését a mindkét fólia alatt beépített (alsó, felső) szenzorok figyelik, melyek részét képezik a lerakó hosszú távú monitoring rendszerének is. A szenzorokat egy-egy kavicsos szivárgó rétegbe ágyazták. Az alsó és felső szivárgóból származó csurgalékvizet műanyag csövekkel vezetik el három helyen, majd a lerakó É-i oldalában kiépített műanyag kiképezésű aknába (KEVIÉP szabadalom), onnan pedig a fő műanyagcsöveken keresztül a központi beton csurgalékvízgyűjtő aknába kerül a szivárgó víz.

A depónia 9 szintre tervezett, melyből eddig három szint készült el. Az egyes szinteket álcázó töltések biztosítják. Az álcázó töltés lényegében a tárolótér gátját jelenti, mely szintén szennyezett földből épül fel, azonban itt a szennyezett anyagot sokkal jobban tömörítik mint a tárolótér belsejében. A gátak tömörségét folyamatosan vizsgálták. Az álcázó töltés rézsűjének dőlésszöge 45° .

A depónia végleges lezárásakor a szennyezett földre egy kiegyenlítő talajréteg kerül, melynek anyaga valószínűleg az 1-4-es kazetták komposztált iszapja lesz. Erre kerül egy geotextília védőréteg, majd egy 30 cm vastag gázgyűjtő szivárgó réteg (homok, kacsics). A felső bentofix szigetelés (1 cm , $k = 5 \times 10^{-11} \text{ m/s}$) alá még elhelyeztek egy geotextília védőréteget. A bentofix szigetelés fölött a $2,5 \text{ mm}$ vastag HDPE fóliaszigetelés hivatott megátolni a

csapadékvíz bejutását a depóniába. A felső kavicsszivárgó réteg (30 cm) a csapadék elvezetését szolgálja. Fölötte még egy geotextília zárja a depóniát. A stabilizálás és a környezetbe való beolvadást - már amennyire egy 9 szintes dombszerű objektum esetében egy alföldi tájban ez elérhető - az 50 cm vastag humuszos termőtalaj telepítése és befűvesítése szolgálja.

A szikgáti kármentesítés tanulságai

A több mint három éve tartó debreceni kármentesítés rávilágított néhány helyi sajátosságra, regionális egyediségre, de ugyanakkor leszűrhetővé tett olyan tapasztalatokat amelyeknek tanulságai a kármentesítés általános folyamatának revideálását teszik lehetővé (3. ábra). E korrekcióra alkalmas tapasztalatok:

- Egy adott objektum kármentesítési folyamatának megindításához az előzetes adatgyűjtés és kockázatbecslés, valamint megvalósíthatóság relatíve magas színvonala szükséges, a szükségtelen túlmunkák elkerülése, vagy az alultervezésből adódó módosítások költségnövelő hatásának megelőzése érdekében.
- A tényfeltárás felderítő fázisára egy az eddig alkalmazott szintnél elmélyültebb vizsgálat sorozat szükséges. A szikgát esetében ez azt jelenti, hogy a felderítésre szánt keretösszeg akár duplájára, vagy másfélszeresére is növelhető lett volna rugalmasabb feltételek biztosítása esetén. Ezzel a kivitelezési költség és időtartam terén megtakarítható ráfordítások messzemenően kompenzálhatják a felderítő fázis többletkiadásait, sőt 10-30%-os megtakarítást jelenthetnek.

A kármentesítés során több helyen került elő hulladékanyag ott, ahol erre előzetesen nem lehet számítani (a medencéket elválasztó gátak anyagának egy részében, vagy a betonmedencék feltöltésében), s ez a pontos készletszámítást és tervezést nehezíti. Ez a tény is a körültekintőbb, részletesebb tényfeltárást igazolja.

- A lokális állapotfelméréseknél fokozott nehézséget jelent, ha a környezetről nem készült regionális építésföldtani, hidrogeológiai és környezetföldtani térképsorozat, amely Debrecen esetében különösen hiányzik a településgazdálkodási tervezésből. Ezek híján a helyi adottságok megítéléséhez hiányzik a tágabb összefüggések értelmezéséhez szükséges regionális háttérismeret.
- A reális kárfelmérés, ill. a veszélyességi fokozat felmérése szorosan összefügg a mintavételek reprezentativitásával. A szélsőértékek meghatározása jól definiált, rétegszelektív pontmintavételekkel oldható meg, ahol azonban az egyes rétegek dominanciáját, gyakoriságát ill. előfordulásának sporadikusságát egzakt módon rögzíteni kell. Tapasztalataink szerint ez a telepítési jelleg miatt fúrásos mintavételezéssel nem minden esetben oldható meg. Ilyenkor célszerű az előre szikkasztott anyagon (ld. alább) kanalas kotróval kutatóárkot készíttetni.

A kármentesítés szempontjából azonban legalább ilyen fontos a reprezentatív kevert minták (átlagminták) gyűjtése és elemzése, mivel a hulladékkezelés és deponálás közelítő költségei csak ezek birtokában becsülhetők reálisan úgy a technológia kiválasztása, mint az elvégzendő munkamennyiség szempontjából.

- Többfázisú rendszerek (pl. víz + szénhidrogén + zagy) esetén a hulladéktípusok mennyiségének és minőségének pontos definiálásához már a tényfeltárás stádiumában célszerű elvégezni az iszapmedencék szikkasztását, vizének eltávolítását, kezelését, szárítóárkok kanalas kotróval történő kiképzését. Így még sokkal pontosabban becsülhető lett volna az egyes elemekre, vegyületekre vonatkoztatott szennyezés eloszlás, ezek esetleges anomáliája, megítélhető lett volna a hulladéktípusok szétválasztásának és kezelésének lehetősége.

- A területtulajdonosi struktúra pontos felderítése nélkülözhetetlen kiindulási alap, amely meggyorsíthatja a munkafolyamatokat, illetve az engedélyeztetési eljárásokat, mivel a területtulajdonosok hozzájárulása szükséges bizonyos beavatkozások esetén. A szikgáti tapasztalatok világítottak rá arra, hogy a munkálatok beindítása előtt célszerű lett volna a károsodott terület egészét kisajátítani, vagy államilag megvásárolni, hogy az egységes kataszteri lapon szerepeljen és egyetlen leendő tulajdonos számára kezelhetővé tegye az utókezelési fázis munkálatait.
- A helyi önkormányzat nagyobb szerepvállalása a munkák koordinálása terén azért is kívánatos, mert távolilag a városgazdálkodás és területhasznosítás kérdéseihez nagymértékben hozzájáruló kármentesítés számos elemét közvetlenül gazdaszemlélettel építhetné be saját fejlesztési terveibe.

A 2. ábrán foglaltuk össze saját tapasztalataink alapján a kármentesítés folyamatának optimális menetét és kapcsolódós munkafázisait, amely így ebben a formában a hasonló típusú kárfelszámolások esetében modellértékű lehetne.

A dolgozat a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

- CZURDA, K.** 1996. Die Funktionen eines Multibarrierensystems für die Basis und die Oberfläche von Deponieabdichtungen. In: Czurda K.-Szabó I.: Das Multibarrierensystem in der Deponiebautechnik, Schr. Angew. Geol. Karlsruhe, p. 29
- ELGOSCAR KFT.** 1997. Tényfeltáró előzetes hatástanulmány. Kézirat I. II. és mellékletek
- FÜLE, L.** 1994. Pollution Sensitivity studies in the Dunakeszi-Mogyoród-Csomád area. Hidrológiai Közöny (Journal of the Hungarian Hydrological Society), Vol. 74., No. 6.
- GARBER, E. - DALMATINER, J.** 1992. Talajmechanikai szakvélemény a debreceni hulladéklerakó környezetéről. Kézirat, Graz, p. 17. és mellékletek
- GEOHIDROTERV KFT.** 1998. Részletes Környezeti Hatástanulmány Debrecen Szikgát Kármentesítésére. Kézirat, p. 77., és 33db. melléklet
- GREENWOOD, E.L. - EARNSHAW, A.** 1997. Chemistry of elements 2nd ed. III.; Butterworth-Heinemann
- KOZÁK, M.** 1976. Talajmechanikai szakvélemény a 33-as számú főút korszerűsítéséhez. Kézirat Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszék p. 19. és mellékletek
- MAGYAR ÁLLAMI FÖLDTANI INTÉZET GEOLÓGIAI SZOLGÁLATA (MGSZ)** 1992. A Debrecen városi új szeméttelep környezetföldtani kutatásának zárójelentése. Kézirat Budapest p. 38. és mellékletek
- MAJÁN, GY. - KOZÁK, M. - PÜSPÖKI, Z. - MCINTOSH, R. - MIKÓ, L.** 2000a. Environmental geological aspects of chromium contamination at Debrecen-Szigat - Environmental Chromium Contamination and Remediation; 18th European Conference of the Society for Environmental Geochemistry and Health, Glasgow
- MAJÁN, GY. - KOZÁK, M. - PÜSPÖKI, Z. - MCINTOSH, R. - MIKÓ, L.** 2000b. A debreceni veszélyeshulladék-lerakó felszámolásának tapasztalatai. Területfejlesztés és környezetvédelem-energiahatékonyság Északkelet-Magyarországon; Perfekt Rt. - szakmai kiadvány; pp. 36-41.
- MAJÁN, GY. - KOZÁK, M. - PÜSPÖKI, Z. - MCINTOSH, R. - MIKÓ, L.** 2001a. Environmental Geological examination of chromium contamination in Eastern Hungary. Environmental Geochemistry and Health, megjelenés alatt
- MAJÁN, GY. - MCINTOSH, R. - KOZÁK, M. - PÜSPÖKI, Z.** 2001b. Ipari hulladékkal veszélyeztetett artéri környezet kárfelszámolása. Bányász-Kohász-Földtan konferencia; Csiksomlyó
- MCINTOSH, R.** 2001. A Debrecen Szikgáti veszélyeshulladék-lerakó környezetföldtani vizsgálata és kármentesítése. Diplomamunka, DE Ásvány- és Földtani Tanszék
- ÓDOR, L. - HORVÁTH, I. - FÜGEDI, U.** 1995. Magyarország geokémiai térképsorozata. A Magyar Állami Földtani Intézet kiadványa
- SPARKS, D.L.** 1995. Environmental Soil Chemistry. Academic Press San Diego, pp. 192-200.