

XXXII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia
Had- és Rendészettudományi Szekció
Gödöllő, 2015. április 15-17.
Szent István Egyetem Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar
Nemzeti Közzolgálati Egyetem

**Katonai eredetű barnamezős területek
szénhidrogén szennyezettségének
kármentesítési folyamatai**

Jelige:

Hass_Alkoss_Mentesíts!

Pályamunka lezárásának időpontja: 2014. július

2015.

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	3
Téma aktualitása.....	3
Célkitűzés.....	3
Módszertan.....	4
1. Magyarországi katonai eredetű barnamezős területek helyzetének áttekintése	5
1.1 Magyarországi katonai eredetű barnamezős területek országos szintű jellemzése.....	5
1.2 Katonai eredetű barnamezős területekkel kapcsolatos problémák.....	9
1.3 Katonai eredetű barnamezős területek problémakörének megoldásával foglalkozó főbb szervezetek	10
2. A talaj és szennyezettségének jellemzői, azok mentesítési módszerei	13
2.1 A talaj általános tulajdonságainak jellemzése	13
2.2 A talaj szénhidrogén szennyezettségének jellemzői	17
2.2.1 Olajszennyezések talajokban előforduló formái	18
2.3 A talajok kőolaj és kőolajszármazékok szennyezettségének mentesítési módjai	23
2.3.1 A kőolaj és a kőolajszármazékok lebomlásának folyamatai	23
2.3.2 Talaj és talajvíztisztítás biológiai és fizikai, kémiai kárelhárítási technológiái	24
3. Kármentesítés Ócsa példáján.....	50
3.1 Az ócsai vizsgálati terület kármentesítésének folyamatai.....	51
Eredmények, következtetések	54
Összefoglalás.....	55
Mellékletek.....	57
Felhasznált irodalom	65

Bevezetés

TDK dolgozatomban a katonai eredetű barnamezős területek szénhidrogén szennyezettségének kármentesítési folyamataival foglalkozom. Áttekintésre kerül ezen területek országos szintű jellemzése, azokhoz kötődő problémakörének kifejtése valamint ezek megoldásával foglalkozó programok, továbbá a talaj és talajvíz szennyezettség mentesítését megalapozó tulajdonságaik kifejtése, ezek ismeretében pedig a kármentesítési technológiák bemutatására kerül sor. A technológiák ismeretében egy választott területen, a jelenleg is mentesítés alatt álló területen mutatom be az együttesen alkalmazott technológiákat.

Téma aktualitása

Magyarország egy Európai Unió pályázaton elnyerte annak lehetőségét, mellyel az unió kimondottan a hazai katonai eredetű barnamezős területek kármentesítését támogatja. Jelenleg ezen a projekten belül 5 egykori katonai terület újul meg, melyek mind üzemanyag tároló és raktározó bázisként funkcionáltak, ez az 5 terület Szolnokon, Székesfehérváron, Tarnaszentmárián, Felcsúton és Ócsán található. Közös jellemzőjük, hogy területükön nagymértékű szénhidrogén szennyezettség van jelen, ebből adódóan kármentesítésük azonos problémáik kezelésére keres megoldást.

Dolgozatomban az öt mintaterület közül, Ócsa példáján mutatom be ezek főbb kármentesítési munkálatait és az érintett környezeti közegek mentesítési eljárásait, folyamatait. Az országos kármentesítésben résztvevő öt terület kiválasztásakor fontos szempont volt, hogy a területek szennyezettsége mennyire veszélyezteti a közvetlen környezetüket, a lakossági ivóvizet, felszín alatti vízkészletet. Az ócsai terület kiválasztásakor meghatározó szempont volt, hogy a szennyezett terület szomszédságában az Ócsai Tájvédelmi Körzet található, melyet a talajvízmozgások útján történő átszennyeződés folyamata veszélyeztet.

Célkitűzés

A dolgozatom céljaul tűztem ki, hogy egy átfogó képet adjak a magyarországi katonai eredetű barnamezős területek szénhidrogén szennyezésének kármentesítésére. Ennek érdekében országos szintű jellemzést, a talaj és talajvíz tulajdonságainak jellemzését, valamint a kármentesítési technológiák bemutatását végeztem el. Mindezek elméleti megalapozásul szolgálnak a vizsgálati, ócsai terület kármentesítésének bemutatásához. Végül láthatóvá válik, hogy az addig kifejtett mentesítési technológiák a gyakorlatban mindig együttesen és

összetetten kerülnek alkalmazásra. Az ócsai terület mentesítési folyamatainak egymásra épülésének bemutatásával a kitűzött cél, azaz a katonai eredetű területek szénhidrogén mentesítésére adott átfogó ismertetés így válik teljessé.

Módszertan

Először a barnamezős területek országosan számba vett állapotát a VÁTI Magyar Regionális Fejlesztési és Urbanisztikai Nonprofit Kft. segítségével tekintetem át. Ennek kiegészítéseképpen pedig a katonai eredetű barnamezős területekkel foglalkozó nemzetközi és országos szervezetekről végeztem kutatást.

Ezt követően a talaj és a talajvíz általános tulajdonságait foglaltam össze. Majd a szennyezések előfordulási formáit, valamint a szennyezések a talajjal és a talajvízzel kapcsolatos tulajdonságait jellemeztem.

Mindezek után a kőolaj és származékainak lebomlási folyamatait írtam le, melyek a további mentesítési technológiák alapjait képezik. A mentesítési technológiákat csoportosítva, kategóriákba sorolva kifejtésre kerültek. Külön választottam a két nagy csoportot a talaj és a talajvíz mentesítésére alkalmazott technológiákat, majd ezeken belül in situ és ex situ kategóriákba soroltam a folyamatokat, végül pedig biológiai és fizikai, kémiai mentesítési módokra bontottam.

A dolgozat ócsai mintaterületét bemutató harmadik fejezetet a Honvédelmi Minisztérium Védelemgazdasági Hivatal, Infrastrukturális Igazgatóság, Ingatlanfejlesztési és Környezetvédelmi Osztályának adatszolgáltatásának köszönhetően foglaltam össze. A kiviteli tervdokumentációk megtekintésének lehetősége biztosította a terület kármentesítési folyamatainak hiteles összefoglalását.

Végül mindezek ismeretében eredményeket és következtetéseket fogalmaztam meg.

1. Magyarországi katonai eredetű barnamezős területek helyzetének áttekintése

A barnamezős területek fogalmának meghatározását többen többféleképpen definiálták már, de ezek lényegében nem térnek el egymástól. Ezeket összevetve megállapíthatom, hogy a katonai területek olyan barnamezős területeknek számítanak, amelyek elhagyatottak, használaton kívüliek vagy alulhasznosítottak. Általában leromlott fizikai állapotúak, valamint valós vagy vélt környezetszennyezettségi problémákkal terhelt. A katonai területeken kívül ilyen barnamezős területeknek számítanak még az egykori iparterületek, gazdasági területek és vasútterületek. (Barta, 2004)

A barnamezős területeknek három fő csoportja ismert. Megemlítenek átmeneti területet, barnamezős zónát és rozsdaoövet. Ezen kategóriák közül a felhagyott katonai területeket rozsdaoveti besorolásként tartják számon. A rozsdaoövet pedig azon területek, amelyek még nem újultak meg, valamint az egykori intenzív hasznosításukkal is felhagytak, és a rehabilitáció célterületeivé váltak. (Barta, 2004)

Az így célterületté vált területek végeredményeként lehetővé válnak a területek kármentesítése, ezáltal az addig használaton kívüli területek képesek lesznek új területhasználati funkciót betölteni. Sajnos az országban forráshiány miatt ezek a folyamatok háttérbe szorulnak, viszont Európai Unió pályázatok révén lehetőség nyílik a kármentesítések megvalósítására.

A katonai területek felhagyását megelőzően a honvédségnek kötelezettsége, hogy a felhagyandó területet kármentesítse. A kármentesítés mértékét az ezt megelőző kárfelmérés eredményei határozzák meg. Jelenleg Európai Unió beruházás kapcsán öt, már felhagyott egykori katonai üzemanyag tároló újul meg, ezek a kármentesítések jelenleg Szolnokon, Székesfehérváron, Felcsúton, Tarnaszentmárián és Ócsán zajlanak. Dolgozatomban mintaterületként Ócsa kármentesítésének folyamatát is elemzem.

1.1 Magyarországi katonai eredetű barnamezős területek országos szintű jellemzése

A barnamezős területek országos szinten történő vizsgálatát a VÁTI Kht. munkatársai végezték 2003-ban, mely során egyaránt vizsgálta az ipari és katonai hasznosításból fennmaradó barnamezős területek arányát. Az *OKKP és a „Barnamezős Beruházások” kapcsolati rendszerének kialakítását szolgáló stratégiai terv megalapozása* című dokumentum elkészítéséhez a települések önkormányzatainak kiküldött kérdőív segítségével mérték fel

pontosan a barnamezős területek országos helyzetét. Mindez az EU Strukturális Alapok keretében barnamezős rehabilitációra kiírandó pályázat szakmai megalapozásának belüli célja volt. (Nagy et al., 2004a, 2004b)

A következő táblázatok adatait nem tekinthetjük valós és konkrét adatoknak, mert a VÁTI-n kívül más szerv nem készített ilyen jellegű felmérést, valamint a településeknek kiküldött kérdőív kevesebb, mint 70%-a érkezett vissza. Ezáltal az országos felmérési adatok eredményei sokkal inkább tekinthető arány mutatóknak, mintsem tényleges számadatoknak.

Jelenleg Magyarországon mintegy 12.000 hektár barnamezős terület található. Ennek régiónkénti eloszlását az **1. táblázat** mutatja be. Leolvashatjuk, hogy a Nyugat-dunántúli régió az ország leginkább barnamezővel terhelt része, ami főként a felhagyott katonai területekből adódik. A Közép-magyarországi régióról pedig elmondhatjuk, hogy országos viszonylatban ez a második legérzékenyebb régió és egyben megye, amely felhagyott katonai területekkel terhelt. Ugyanakkor Magyarország barnamezőinek csupán 32,2%-a származik katonai felhagyásból, a többi 67,8% ipari eredetű. Tehát a barnamezős területek 1/3-a származik katonai felhagyásból, ennek eredményeként a katonai eredetű barnamezős területek a második legjelentősebb barnamező kategóriába sorolhatóak.

1. táblázat

Régiók	Megyék	Barnamezős iparterületek és katonai objektumok		
		Iparterület (ha)	Katonai obj. (ha)	Összesen (ha)
Észak-magyarországi régió				
	Borsod-Abaúj-Zemplén	365,0	125,0	490,0
	Heves	148,0	62,0	210,0
	Nógrád	113,0	13,0	126,0
	Összesen	626,0	200,0	826,0
Észak-alföldi régió				
	Szabolcs-Szatmár-B.	234,8	31,0	265,8
	Hajdú-Bihar	245,4	120,0	365,4
	Jász-Nagykun-Szolnok	185,3	83,0	268,3
	Összesen	665,5	234,0	899,5
Dél-alföldi régió				
	Bács-Kiskun	106,8	425,7	532,5
	Békés	473,6	57,1	530,7
	Csongrád	463,1	113,2	576,3
	Összesen	1043,5	596,0	1639,5
Közép-magyarországi régió				
	Budapest	4073,7		4073,7
	Pest	13,2	634,0	647,2
	Összesen	4086,9	634,0	4720,9
Közép-dunántúli régió				
	Komárom-Esztergom	200,0	80,0	280,0
	Fejér	470,0	342,0	812,0
	Veszprém	33,2	102,3	135,5
	Összes	703,2	524,3	1227,5
Dél-dunántúli régió				
	Tolna	133,0	27,0	160,0

	Somogy	99,0	56,0	155,0
	Baranya	380,0	15,0	395,0
	Összes	612,0	98,0	710,0
Nyugat-dunántúli régió				
	Győr-Moson-Sopron	118,4	93,5	211,9
	Vas	76,8	649,3	726,1
	Zala	15,2	756,1	771,3
	Összes	210,4	1498,9	1709,3
Régiók összesen		7947,5	3785,2	11732,7

(Nagy et al., 2004a)

A barnamezős területeket települési szinten vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a 12ezer hektárnyi terület összesen 119 településen összpontosul (a magyarországi összes: 3154 településéből). Ennek 1/3-a Budapesten és környékén található, ami így az ország legnagyobb barnamezős területével bíró térsége. A VÁTI tanulmánya során azokat a településeket emelte ki, ahol több mint 100 hektárnyi ipari vagy katonai eredetű barnamezős terület található. Ennek a feltételnek Magyarország 20 települése felelt meg. A **2. táblázat** bemutatja a magyarországi barnamezős területek, VÁTI által tett települési szintű felmérésének eredményét, amiből kiolvashatjuk, hogy mely településeken adódtak a legnagyobb barnamezős területek a katonai felhagyást követően, így kiemelhetjük Lenti, Kenyeri és Kiskunlacháza települését. A táblázat a barnamezős területek összességével foglalkozik, így katonai összefüggésbe nem hozható minden településsel, mint például Tatabánya és Debrecen kapcsán sem, viszont a 20 legnagyobb barnamezős területével rendelkező települések között a katonai területek többsége figyelhető meg, annak ellenére, hogy az országos szinten mért barnamezős területeknek 67,8%-a ipari eredetű. Ez azt bizonyítja, hogy a katonai területek nagyobb arányú egybefüggő területekként létesültek, de ezt a statisztikai előnyét főként a repterek kiterjedésével magyarázhatjuk.

2. táblázat

	Ipari terület (ha)	Katonai terület (ha)	Összes barnamezős terület (ha)
Budapest	-	-	4074
Lenti	0	595	595
Kenyeri	0	540	540
Szeged	415	112	527
Dunaújváros	411	82	493
Orosháza	422	47	469
Kiskunlacháza	0	426	426
Székesfehérvár	59	260	319
Miskolc	235	20	255
Nyíregyháza	199	31	230
Pécs	191	15	206
Szolnok	120	60	180
Tatabánya	180	0	180
Debrecen	169	0	169
Kalocsa	3	160	163
Apaj	0	150	150

Berettyóújfalu	0	120	120
Esztergom	20	80	100
Nagyatád	46	54	100
Mezőkövesd	0	100	100
Összesített	2470	2852	9396

(Nagy et al., 2004a)

A magyarországi barnamezős területek hektár- és települései számának ismeretében kiolvashatjuk a **3. táblázatból**, hogy a 20 kiemelt településen fennmaradt barnamezős területek, az országos barnamezős területeinek 78%-át teszik ki. A fennmaradt 22%, 99 település közt oszlik el. Ezek átlagát számítva a 99 település mindegyikére 26,3 hektárnyi terület jutna, ami jelenleg hasznosítatlan. Ekkora terület minden településszerkezetben problémát tudna okozni, viszont ez az érték csak átlagszám és a valóságban ettől eltérően alakulnak a 99 település barnamezős területeinek aránya.

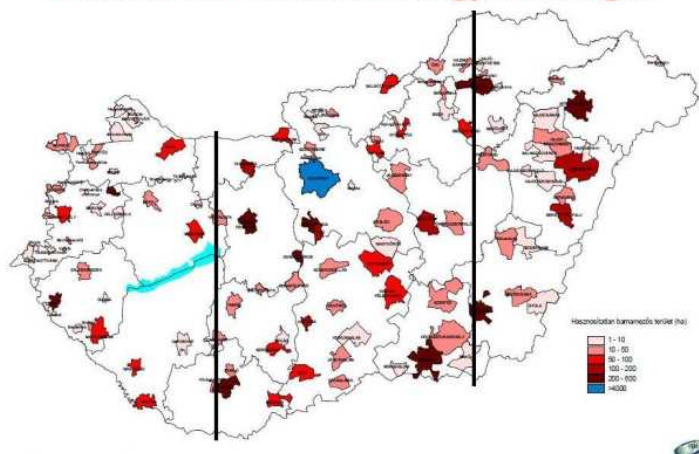
3. táblázat

		Összes barnamezős terület (ha)	Települések száma (db)
Magyarország összesített barnamezős területe		~12000	119
	Ebből 100 ha-t meghaladó egybefüggő területű	9396	20
	Ebből 100 ha-t meg nem haladó kiterjedésű terület	2604	99
Utóbbi elaprózottsági átlaga		26,3	1

Az országosan nyilvántartott barnamezős területeket összefoglalóan az **1. ábra** mutatja be. A hasznosítatlan barnamezős területeket kiterjedésük (ha) szerinti színskála segítségével teszi egyértelművé. (Így 1-10, 10-50, 50-100, 100-200, 200-600, és >4000 ha feletti kategóriák szerint területek besorolásra.)

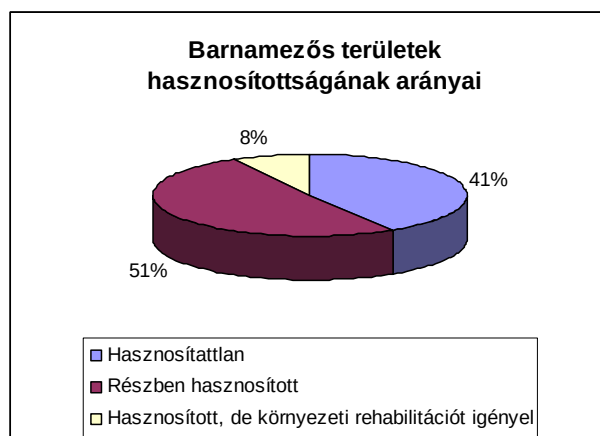
Az **1. ábrán** jól látható, hogy ezek a területek országos szinten változatosan helyezkednek el. Leolvasható, hogy az ország nyugati területein (Siófok határáig) szórtan helyezkednek el a barnamezős területek. Kelet – Dunántúl és Nyugat – Tiszántúl által lehatárolt közép magyarországi rész a leginkább barnamezővel terhelt terület egység, még akkor is, ha nem vesszük figyelembe Budapest központi és túlterhelt jellegét. Az ország keleti felén sokkal jobban érzékelhetőek a területi különbségek változatossága, valamint Hajdú – Bihar megyében, Debrecen környékén csoportosan találhatók a terhelt barnamezős területek.

Barnamezős területek Magyarországon



1. ábra (Nagy et al., 2004a)

A területek hasznosítottságának országos arányait az **2. ábra** foglalja össze. A felhagyás óta a területeknek 41%-a *nem tudott újrahasznosulni*, 51%-uk pedig csak részlegesen, így azok *alulhasznosítottá* váltak, ezalatt azt értjük, hogy az új funkciónak nincs teljes területi igénye, csak a terület egy része hasznosult. Az országos barnamezőnek csupán 8%-a tudott teljes mértékben hasznosulni, de ezek a területek a mai napig rehabilitációt igényelnek.



2. ábra (Nagy et al., 2004b)

1.2 Katonai eredetű barnamezős területekkel kapcsolatos problémák

A katonai eredetű barnamezős területek problémaköre főként a területek hasznosításhoz kapcsolódik, fő céljuk a területek funkció befogadására való alkalmassá tétele. Emiatt a katonai területek kapcsán elsődleges problémának számít a kármentesítés, annak katonai területekhez kapcsolódó speciális feladatköréhez tartozik például a, vegyvédelmi mentesítés,

a lőszer, ill. egyéb tűzszerészeti mentesítés, valamint a környezetvédelmi (szénhidrogén szennyezések) mentesítés.

Általánosságban elmondható, hogy az egykori katonai tevékenység egyaránt hatással volt a talaj-, a víz- és a levegő minőségére. A katonai tevékenység felhagyásával egyenes arányban csökkentek vagy megszűntek a környezeti károk forrásai.

Legjellemzőbb, leginkább előforduló szennyezettségi forma a talaj szennyezettsége. A leggyakoribb talajszennyező anyagok közé tartoznak az illó- és nem illó alifás és aromás szénhidrogének (pl.: kerozin, benzin, gázolaj, poliaromás szénhidrogének.), az illó- és nem illó halogénezett szerves vegyületek (pl.: kenőolajok, oldószerek, tisztítószer, növényvédő és rovarölő szerek). Ezeken kívül a nehézfémek és vegyületei, lőszer, lőszermaradványok, repeszdarabok, valamint a radioaktív anyagok okozzák a talajok szennyezettségét a katonai területeken. Ezek közül a dolgozat későbbi vizsgálata főként a talaj szénhidrogén szennyezettségének, valamint a felszín alatti vízkészletének mentesítési eljárásaival foglalkozik. Hiszen a talajszennyezettség szoros kapcsolatban áll a felszíni és felszín alatti vizek minőségével. Ha a talajszennyezés elérte a talajvíz szintjét, akkor talajvíztisztítási eljárásokat is alkalmazni kell.

A katonai területek légszennyezése a gépjárművek káros anyag kibocsátásából és az illékony anyagok kipárolgásából adódott. Ez a szennyezés forma, a felhagyás következtében teljes mértékben megszűnik.

1.3 Katonai eredetű barnamezős területek problémakörének megoldásával foglalkozó főbb szervezetek

Magyarországon a barnamezős területek problémáinak megoldására az utóbbi évtizedben figyeltek fel igazán, ennek köszönhetően számos szervezet szakmai szempontok alapján segít megoldást találni a felmerülő problémák hatékony kezelésére. Tehát ezek a szervezetek főként a kármentesítésre és a gazdasági célú fejlesztésre összpontosítanak, ezáltal biztosítják a területek hasznosíthatóságának lehetőségét.

Alább, véleményem szerinti legfontosabbnak ítélt szervezeteket mutatom be, melyek meghatározó tevékenységet végeznek a felhagyott katonai területek településszerkezetbe történő hasznosításának céljából.

Az 1948-ban alapított **IUCN** (International Union for Conservation of Nature), azaz a Természetvédelmi Világszövetség fő célja a természet, azon belül pedig különösen a biológiai

sokféleség (diverzitás) megőrzésének biztosítása, valamint a föld természetes erőforrásainak ésszerű és fenntartható használata. Az IUCN olyan nemzetközi intézmény, amelyhez kormányzati testületeken kívül bármilyen természetvédelemmel foglalkozó csoport is csatlakozhat. 1994-ben a szervezet magyar alelnököt választott, ennek köszönhetően Magyarországon négy kiemelt projekt kidolgozásában nyújtott segítséget. Ezek egyike a felhagyott katonai területek rehabilitációjával foglalkozó program volt.

„Az IUCN munkájában az együttműködésre helyezi a hangsúlyt, semleges fórumot kínál, ahol a különböző szektorok szervezetei találkozhatnak, eszmét cserélhetnek és közös munkát tervezhetnek.” (IUCN, 2012) Főként befolyásoló, ösztönöző és támogató szerepe van. Szakmai találkozókkal, konferenciákkal segítette az előbb említett magyarországi projektet is. (Csima et al., 2004) (IUCN, 2012)

A Pannon Novum Nyugat-Dunántúli Regionális Innovációs Ügynökség egyik nemzetközi projektje a **F.A.T.E.** (From Army To Entrepreneurship), melynek célja a katonai eredetű barnamezős területek feltérképezése és hasznosításának elősegítése, melyet főként az adott állam Fejlesztési Programjainak finanszírozásával valósítana meg. Ezáltal a felhagyott katonai barnamezős területek felújítása és a befektetők számára vonzó ingatlanná alakítása a cél, amely a helyi gazdasági növekedést segíthetné elő.

A program a felhagyott katonai területeken meglévő épületek hasznosítására, mint inkubátorházkénti hasznosításra összpontosít. Az inkubátorház célja, hogy megteremtse a szükséges feltételeket a vállalkozói tevékenység elindításához, ezért főként irodák és műhelyek kialakításánál nyújt segítséget. Magyarországi referenciái közé tartozik például Nagykanizsa inkubátorházai (melynek egy része a cég székhelyül is szolgál), valamint Lenti inkubátorházai, amely Lenti Zöld Gazdaság Innovációs Park részét képezi. A Pannon Novum Kft. Magyarországon főként a Nyugat-Dunántúli régióban tevékenykedik, így a vizsgálati területeimmel jelenleg nem hozható kapcsolatba. (F.A.T.E. 2012)

Magyarországon a Nemzeti Környezetvédelmi Program részét képezi az Országos Környezeti Kármentesítési Program (**OKKP**), amely összesíti a környezeti kármentesítéssel kapcsolatos feladatokat. A program „célja felelősségi körtől függetlenül, az elmúlt évszázadban a földtani közegben (talajban) és a felszín alatti vizekben hátramaradt, akkumulálódott szennyezettségek, károsodások felderítése, megismerése, a szennyeződések mértékének feltárása, a veszélyeztetett területeken a szennyezettség kockázatának csökkentése, a

szennyezett területeken a szennyezettség mérséklése, vagy megszüntetésének elősegítése.” (Országos Környezeti Kármentesítési Program, 2012/a)

A program stratégiai szempontból az Európai Unió által nyújtott támogatásból, annak hatékony felhasználásával kívánja megoldani a kármentesítéshez szükséges pénzügyi forrásokat. Ezen a programon keresztül, ennek közreműködésével valósul meg a már említett öt hazai terület.

Az OKKP keretén belül kiemelt fontosságú a tartós környezetkárosodások, szennyezett területek és a szennyező források országos számbavétele. Ennek feltérképezése érdekében létrehozták a **Felszín alatti vizek és a földtani közegek környezetvédelmi nyilvántartási rendszerének (FAVI) részét képező Kármentesítési Információs Rendszert (FAVI-KÁRINFO)**, amely a program információs hátterét biztosítja. A rendszer nem közcélú adatszolgáltató, így használata csak szűk hivatalos intézményi felhasználói kör számára hozzáférhető. (FAVI, 2012) (Országos Környezeti Kármentesítési Program, 2012/b)

Magyarország barnamezős területeinek és ezen belül a katonai eredetű barnamezős területeinek problémakörével számos kormányrendelet, kormányhatározat, országgyűlési határozat, országos koncepció és program foglalkozik. Ezen jogszabályi megalapozottság azt támasztja alá, hogy a barnamezős területeknek a fejlesztése, az újrahazsnosításának problémája, kezelése és felhasználása, valamint felszámolása megoldottnak tekinthető, viszont ezeket csak külső anyagi forrásokból tudjuk megvalósítani.

Fontos megemlíteni, hogy azok a területek, amelyek még a kötelező kármentesítés előtt kerültek felhagyásra, azaz főként a rendszerváltást követően lezajló Honvédség létszámának és területeinek lecsökkenése során felhagyott területek esetében, a mentesítési folyamatok vagy csak felszínesen valósultak meg vagy egyáltalán nem. Több hasonló helyzetű területet vizsgálva elmondhatom, hogy egyik esetben sem sikerült a mentesítésüktől szóló dokumentumot találnom. Ezek hiányában pedig egyértelműen a mentesítések elmaradására lehet következtetni.

2. A talaj és szennyezettségének jellemzői, azok mentesítési módszerei

Ebben a fejezetben átfogó áttekintést adok a talaj és a talajvíz legfontosabb fizikai tulajdonságairól, szénhidrogén szennyezettségének jellemzőiről, mely a későbbi mentesítési eljárások megérését segítik.

Ezt követően a katonai eredetű barnamezős területek szénhidrogén szennyezettségének kármentesítési folyamatainak lehetséges módjait fejtem ki, kizárólag a talaj és a felszín alatti vízbázis, talajvíz szennyezettségének mentesítésére koncentráltan, tehát ezen környezeti közegek mentesítésének megoldását garantáló eljárások jellemzésével.

2.1 A talaj általános tulajdonságainak jellemzése

A **talaj** jellemzése során elmondható, hogy a talaj egy három fázisú polidiszperz rendszer, azaz 50%-ban szilárd (ez 35% ásványi anyagra és 15% szerves anyagra oszlik meg), 40%-ban folyékony és 10%-ban légnemű anyagok találhatók benne diszpergált (aprított, szétszórta) állapotban. A talajt számos szempontból lehet vizsgálni, tulajdonságainak széles köre jellemezhető, viszont ez esetben azokat a tulajdonságait vizsgálom, amelyek célorientáltan a talaj kármentesítéséhez kötődnek, ezeket elkülönítve egymástól a következőkben sorra is veszem. Először a talaj alapvető tulajdonságainak, mint szemcseösszetétel, permeabilitás, pórusvolumen, vízkapacitás, kapillaritás és hőmérséklet jellemzésével kezdem.

A talaj **szemcseösszetétele** (talaj szövete, textúrája) azt mutatja meg, hogy a talajban milyen arányban találhatók meg a különböző méretű, frakciójú szemcsék. Ennek főbb kategóriái a közettörmelék, durva kavics, aprókavics, durva homok, finom homok, humusz, iszap, agyag. A talaj szemcsézettsége és a különböző jellemzőinek függvényében más-más tulajdonságot kölcsönöznek a talajnak. (Kátai, 2011) (Talajtan, 2008)

A talajnak az a képessége, amely megmutatja, hogy a levegő, a víz és más viszkózus folyadékok, mint például az olaj számára milyen mértékben járható át a talaj **permeabilitásának** nevezzük. Ez az érték a pórusvolumentól és a nedvességtartalomtól függ, melyek között fordított arány van jelen. Például permeabilitása nagy a száraz homoktalajban, kicsi a nedves agyagtalajban. (Halász – Földi, 2001)

A talaj **pórusvolumene** szorosan kapcsolódik a talaj szemcsézettségéhez, mivel a különböző méretű szemcsék nem egyenletesen töltik ki a teret, ebből adódóan keletkeznek a pórusok. A

pórusvolumen más néven hézagterefogat, a talajterefogat százalékban kifejezett pórusmennyisége. (Halász – Földi, 2001)

„A talaj **vízkapacitásán** azt a százalékos tömegvesztést értjük, amelyet a talajminta 105°C-on tömegállandóságig történő szárításakor észlelünk. A talaj vízkapacitásának jellemzésére a minimális és a maximális vízkapacitást használják.” (Halász – Földi, 2001) Minimális vízkapacitás azokat a talajokat jellemzi, ahol csak a talaj pórusaiban visszatartott víz mennyisége van jelen. Fontos megjegyezni, hogy a talajszelvényben már nem tud érvényesülni a talaj kapillaritása, ha a vízkapacitás értéke minimális. Maximális vízkapacitás esetén a talaj pórusterét teljes mértékben kitölti a víztartalom. Maximális vízkapacításra példa a talajvízgyűjtő zóna és a tömött agyagtalaj, míg minimálisra a talajvíz-áteresztő zóna. (Halász – Földi, 2001)

A talaj **kapillaritása** alatt a talaj pórusai közötti hajszálvékony erezettséget értjük. Ez függ a pórusok átmérőjének nagyságától, továbbá a nedvességtartalom is befolyásolja. Kis átmérőjű pórusok esetén a kapilláris emelkedés („vízemelés”) nagyobb és lassabban végbemenő folyamat (agyagtalaj esetén 1–2 m vagy ennél több), míg nagy átmérőjű pórusokban alacsonyabb és gyorsabban végbemenő (homoktalajban 30 cm). A kapillaritást a nedvességtartalom úgy befolyásolja, hogy száraz talajban sietteti, addig nedves talajban késlelteti a kapilláris emelkedést. Ebből következően a talajvíz tükör felett helyezkedik el a talajvíz zóna, amelynek igen nagy jelentősége van az olajkár elhárítás szempontjából. (Halász – Földi, 2001)

A talaj **hőmérsékletét** a Nap sugárzása határozza meg. A hő felvétele és leadása is ugyanúgy sugárzás útján történik. A talaj hőmérséklete számos tényezőtől függ, például a beeső sugárzási energia mennyiségétől, amit befolyásol a földrajzi helyzet, éghajlat és lejtésszög. A talaj felületének elnyert sugárzásának mértéke függ annak érdességétől, színétől, szerkezetétől, nedvességtartamától és növényzettel való borítottságától. Ezek függvényében meg lehet állapítani törvényszerűségeket, mint például, hogy könnyebben melegednek fel azok a talajok, amelyek déli, délnyugati kitettségűek, laza szerkezet, levegősség jellemzi valamint sötét színűek. Nehezebben, lassabban melegednek fel azok a talajok, amelyek ezek ellentettjei, továbbá nagy víztartalmúak vagy növényzettel borítottságának mértéke nagyobb. Ezekből következtetve példaként említhető meg, hogy az agyagtalaj hideg talajnak, míg a homoktalaj melegnek tekinthető. (Halász – Földi, 2001) (A harmadik fejezetben bemutatott ócsai mintaterület talaját is homoktalaj jellemzi, azaz gyors felmelegedésre képes és egyúttal szigetelőként is viselkedik, vagyis csökkenti az alsóbb rétegek hőingadozását.)

A talajban a hő általában vezetés útján terjed, ezt legjobban a talaj szilárd halmazállapotú része vezeti. A felszíntől lefelé haladva hőmérsékleti zónákra oszlik. Első a felszíni zóna, amely 0-1,5m mélységig terjed, ez a réteg hőmennyiségét az elnyelt sugárzás energiájából fedezi és a rétegnek nagyobb a hőmérséklet ingadozása, mint a felszín közeli légköré. Második rétege a fagymentes zóna 1,5-2m mélységig terjed, aminek már csak kicsi a hőmérsékleti ingadozása, a légköri változás is 3 hónapos eltolódással mérhető. Ugyanakkor Magyarországon az építésszek 80cm mélységre teszik a fagyhatárt, és az alapozásnál is ezzel a határértékkel számolnak. Harmadik rétege a neutrális zóna, aminek már nincs hőmérsékleti ingadozása, továbbá ettől a rétegtől lentebb haladva világszintű átlagban 35m-enként 1°C-kal nő a hőmérséklet. (Halász – Földi, 2001)

A talajok kármentesítési eljárásai kapcsán vizsgálni kell még a talajvizet, talajlevegőt, talajok mikroorganizmusait, természetes ásványi anyag tartalmát valamint öntisztuló képességét.

A **talajvíznél** ez esetben meg kell említeni, hogy rétegekre osztható, így megkülönböztetünk párolgási, áteresztő, kapilláris, talajvízgyűjtő és impermeábilis zónát. Ez utóbbi lesz érdekes a számunkra, mivel ezen a szinten a víz a talajban nemcsak függőleges irányba mozoghat, hanem irányt változtatva, oldal irányba is elmozdulhat, terjedhet. A kármentesítés során az adott viszonyok mellett ismerni kell a talajvízgyűjtő zónától való távolságát, a talajvízszint ingadozásának mértékét és a talajvízáramlás irányát, melyek meghatározhatják a mentesítés módszerét, ütemezését. (Halász – Földi, 2001)

A **talajlevegő** a talaj pórusaiban található, amely lehet vízgőz vagy különböző bomlási folyamatokból származó gáz például oxigén, szén-dioxid, ammónia, kén-hidrogén, metán, merkaptán, indol, és szkatol. Ezeket a gázokat a talaj szerves anyagainak bomlásából származtathatjuk. (Halász – Földi, 2001)

A talaj által biztosított feltételek nagyon is kedveznek a talajban található **mikroorganizmusok** életben maradásának és szaporodásának. A baktériumok a talaj szervetlen részecskéit körülvevő kolloid környezetben képesek kedvezően szaporodni, mivel ebben a kolloid anyagban a biokémiai folyamatok felgyorsulnak, a baktériumok pedig több táptalajhoz jutnak, valamint bomlási termékeik könnyebben adszorbeálódnak, azaz a talaj szilárd felületén lekötiődnek. A talajban található baktériumok mennyisége és fajtája a talaj fizikai, mechanikai tulajdonságaitól, hő-, levegő-, és vízgazdálkodásától, ásványi anyagtartalmától függ. Szerencsére a kórokozó mikrobák csak kis számban vannak jelen, mivel sem a talaj összetétele, sem hőmérséklete nem kedvez az életben maradásuknak, szaporodásuknak. A

talajnak baktériumszűrő szerepe is van, ugyanis a beszivárgott víz 4-5m mélységben már steril talajvizet eredményezhet. (Halász – Földi, 2001)

A talaj **természetes ásványi anyagai** a Föld szilárd kérgéből származnak. A talaj ásványi anyagaival az emberi szervezet közvetlen vagy közvetett úton állandó kapcsolatban van, vagy talaj – növény, vagy talaj – növény – állat táplálkozási lánc kapcsán, valamint a talaj – talajvíz – ivóvíz kapcsán egyaránt. Ezáltal a talaj és talajvíz védelme nem elhanyagolható, hiszen minden élő szervezet alapját képezik. (Három csoportra oszthatjuk szerepük és emberi szervezet szükséglete szerint, így megkülönböztetünk makroelemeket (Na, K, Ca, P), mikroelemeket (Cu, Fe, Co, I, Mg, S), és ultramikroelemeket (F, Zn, As, Mn, Sr, Se)). (Halász – Földi, 2001)

A talajok **öntisztulásában** egyaránt érvényesülnek a mechanikai, fizikai, kémiai és biológiai folyamatok. Az öntisztulásban hatékonyan vesz részt a napsugárzás baktericid és hőhatása, a kondenzáció (sűrítés, sűrűsödés) és adszorpció (elnyelődés). A talaj öntisztulási képességét befolyásolja annak szemcsézettsége és porozitása, a talajban végbemenő ioncsere folyamatai valamint a mikroorganizmusok aktív jelenléte. (Halász – Földi, 2001) (Barótfi, 2002)

A talajok öntisztulási képessége után meg kell említeni, hogy **szennyeződések beszivárgását, terjedését akadályozó tulajdonságokkal** is bírnak. Ez a talajok önvédelmi funkciója fizikai, kémiai és biológiai folyamatokat kihasználva működik. Fizikai folyamata során a szűrés említendő meg, mely során a vízben oldott szilárd szennyeződést nem engedi beszivárogni, azt kiszűri és visszatartja. Kémiai folyamatai között említendő meg az adszorpció, az ioncsere és a kémiai megkötés. Az adszorpció és az ioncsere egyaránt a kolloidok felületén zajló folyamat, utóbbi az ionok egyenértékű cseréje során, míg az adszorpció ionos vagy elektrosztatikus kötéssel végbemenő ionmegkötődés eredményeképp fejt ki mentesítő hatását. Jótékony biológiai folyamatként említendő meg a biológiai megkötés, a bomlás és a növényi tápanyagfelvétel. A biológiai folyamatok során jellemző, hogy a szennyező anyagot az élő szervezetek beépítik saját szervezetükbe (fito-extrakció / fito-akkumuláció), így biológiai megkötés során a vízben oldott szennyező anyagot a felszín alatti vizekben található mikroorganizmusok építik be, míg a növényi tápanyagfelvétel során ugyancsak a vízben oldott szennyező anyagokat képesek beépíteni szervezetükbe. A bomlás biológiai folyamata során a talaj a szennyezőanyagra jellemző bomlási idejétől függően mentesül. (Halász – Földi, 2001)

2.2 A talaj szénhidrogén szennyezettségének jellemzői

A továbbiakban a talajok szénhidrogén szennyeződésének, azon belül csak a kőolaj és kőolajszármazékok általi szennyeződések módjait, azok jellemzését fejtem ki.

A kőolajszármazékok közül főként a benzin, a középpárlatok és a kenőolajok képesek nagyobb mértékű talajszennyezést okozni. (Hiszen az erősen illékony folyadék halmazállapotúak még a beszivárgást megelőzően java részük elpárolog, a nehéz olajok és a bitumen pedig be sem tud jutni a talajba.) A környezeti ártalmak kiterjedése szempontjából a legveszélyesebbek, amelyek vízben jól oldódó, mozgékony vegyületek, hiszen ezek könnyen a talajvízbe vagy a vízgyűjtőkbe kerülhetnek és fejthetik ki szennyező hatásukat. (Kovács, 2014)

A vizsgált szénhidrogéncsoportnak négy felszín alatti **előfordulási formája** ismert, így például lehet folyékony, szabad fázis a talajban, oldott fázis a felszín alatti vízben, kötött fázis a talajszemcsék felszínén továbbá gáz halmazállapotú a talaj szabad pórusaiban. Ezek előfordulását meghatározzák a talaj, valamint a kőolaj és kőolajszármazékok fizikai, kémiai tulajdonságai, valamint a talaj hidogeológiai adottságai. (Halász – Földi, 2001)

Különböző **mozgékonyaságú formában** fordulhatnak elő a beszivárgó kőolajszármazékok a talajban. Ezek alapján megkülönböztethetünk: a pórustérben önálló folyékony fázisút, az egyes pórustérben elkülönülten jelen levőt, oldott szennyeződésként előfordulhat a talajnedvességben, a talaj levegőben gőz halmazállapotban, a talajvízben úszó lencse formájában valamint a talajvízben oldott szennyeződésként. A kőolajszármazékok, olajok mozgékonyasága a dinamikai viszkozitásuktól függ, értékeit összehasonlítva megállapítható, hogy a dízelolaj, a fűtőolaj és a nyersolaj lassabban, míg a benzin gyorsabban mozog a talajban, mint a víz. (Káta, 2011)

A kőolaj és kőolajszármazékok a talaj felszínére kiömölve szétterül és beszivárog a talaj mélyebb rétegeibe. A beszivárgás mértéke függ a gravitáció hatásától, a talaj típusok jellemzőitől, a beszivárgás sebességétől, az olajszármazék fajtájától és a talaj olajvisszatartó képességétől. Utóbbi a talaj által lekötött olajmennyiséget jelenti, amelyet meghatároz a talajszemcsék és az olajmolekulák között kialakuló molekuláris vonzerő. (Halász – Földi, 2001)

A beszivárgó olajok mozgásának három részfolyamatát különböztethetjük meg. Elsőként az olaj a talajvíz feletti telítetlen zónába szivárog be, második amikor az olaj eléri a talajvízszint feletti kapilláris zónát, ahol az olajlencsét képez, végső részfolyamata, mikor eléri a szennyezés a talajvizet, ebben az esetben a felszín alatti víz felszínén vagy oldott állapotban együtt szivárog. (Halász – Földi, 2001)

A beszivárgási viszonyoknak két alapvető esetét különböztetjük meg aszerint, hogy milyen a talajok olajvisszatartó képessége. Első esetben a talajba jutó olajmennyiség nem haladja meg a talajtest olajvisszatartó képességének határát. Ebben a szerencsés esetben nem kell számolni a szennyezés elvándorlásával. Másik esetében a szennyezés mértéke meghaladja az olajvisszatartó képességét vagy az olajszennyezés utánpótlása folyamatos. Ez esetben a beszivárgó olajok mozgásának harmadik részfolyamat érvényesül, azaz a talajvízzel együtt szivárog, amely lehet függőleges és oldalirányú terjedés is. (Halász – Földi, 2001)

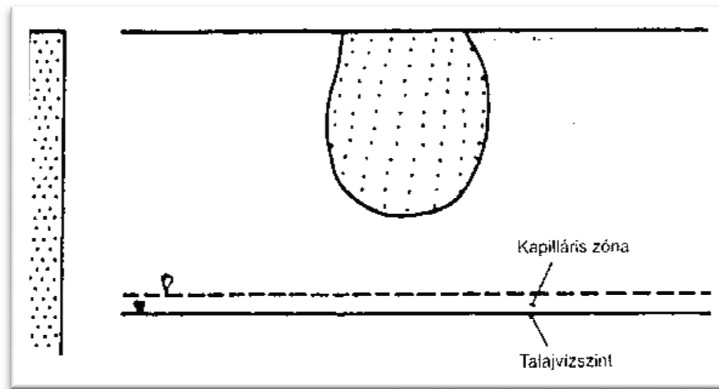
A kőolaj és kőolajszármazékok mozgásában, terjedésében a vízzel telített talajok akadályt képeznek. Hiszen ezek a talajok kapilláris vizet is tartalmaznak, amely a pórusméret és a víztartalom függvényében jelentenek akadályt a szennyezőanyagok függőleges mozgásával szemben. Ez a hatás a pórusméret csökkenésével egyre fokozódik, ezáltal az agyag már áthatolhatatlan a szénhidrogének számára, mint horizontális, mint vertikális irányba. Viszont, ezzel ellentétben, ha a pórusméret nagy (homok, kavics), akkor a szennyezés úszik a talajvíz felszínén és megegyező irányba halad a talajvízzel. (Halász – Földi, 2001)

2.2.1 Olajszennyezések talajokban előforduló formái

Már említésre került, hogy a talajok felszínére kiömlött olaj szétterül, majd függőleges beszivárgással egyre mélyebb rétegekbe képes hatolni, így a talajvizet is elérheti. A talajok migrációs folyamatai során különbséget kell tennünk az olaj szétterülése és a vízben oldott olaj mozgása között. Hiszen az olaj szétterülése során a laza talajokban összefüggő olajtesteket alkothat, míg vízben oldva a szivárgó és talajvízzel együtt vándorolhatnak (ilyen kioldott vegyületei lehetnek például a savak, fenolok és észterek).

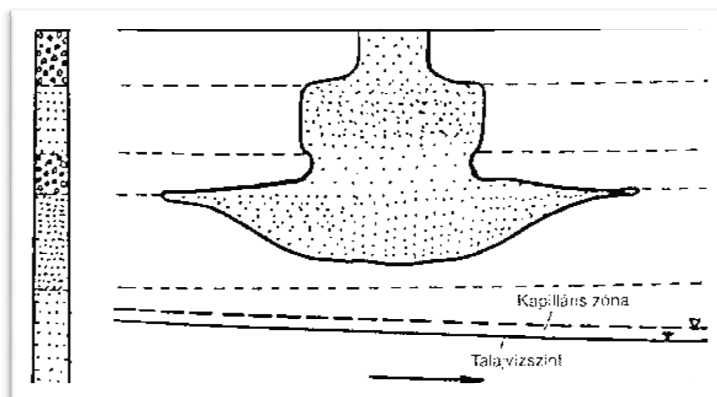
A talajba kerülő olaj beszivárgása során lefelé húzódik, ezekből alakul ki az úgynevezett olajtest, melynek alakja és nagysága a talaj fizikai jellemzőitől és az olaj mennyiségétől függ. (Fetter, 2014) Az olajtestek alakja a következő formákban fordulhat elő:

Olajtest alakja, egynemű talajokban: Szabályos olajtest alakul ki, beszivárgási mélysége tapasztalati úton határozható meg. Ennek a típusnak ritka a természetben való előfordulása. (Lásd 3. ábra) (Lauer et al., 2006)



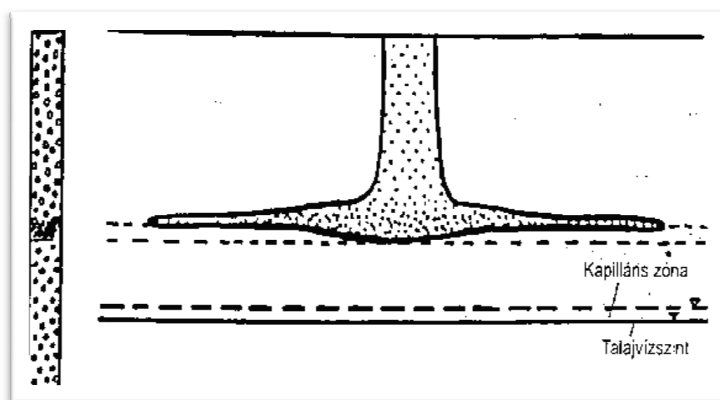
3. ábra, Olajtest alakja, egynemű talajokban (Lauer et al., 2006)

Olajtest alakja különböző áteresztőképességű talajban: A természetben rendszerint előforduló típusa. Az egyes rétegek határainál változik az olajtest alakja, ez azzal a tulajdonsággal magyarázható, hogy a kisebb áteresztő képességű talajréteg a szivárgó keresztmetszet szétterülését eredményezi (lassabban és nehezebben tör át rajta), míg a jobb áteresztő képességű rétegbe történő átszivárgás keresztmetszete közel azonos marad. A kis áteresztőképességű talajhoz érő szennyezés pedig addig fog oldalirányba terjedni, míg egy jól áteresztő réteghez nem ér. (Lásd 4. ábra) (Lauer et al., 2006)



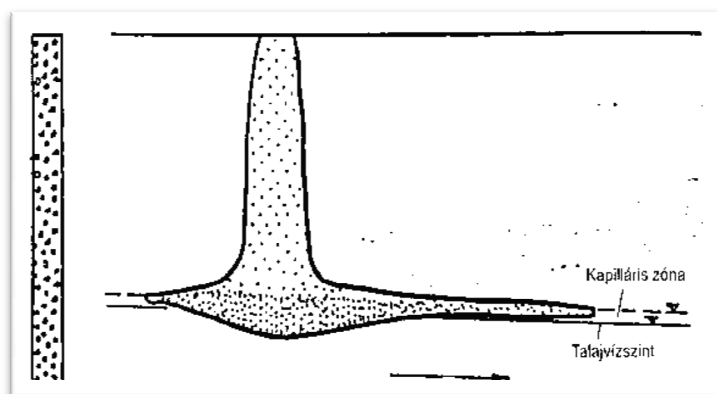
4. ábra, Olajtest alakja különböző áteresztőképességű talajban (Lauer et al., 2006)

Olajtest alakja, olajat át nem eresztő talajoknál: Kis áteresztő képességű, apró pórusméretű, finom szemcsézettségű és vízzel telített talajoknál fordul elő, ilyenek például az agyag, iszapos, agyagos homok, melyek megakadályozzák az olajszenyeződések mélyebbre szivárgását, így a talajvízszintig nem jutnak el. (Lásd 5. ábra) (Lauer et al., 2006)



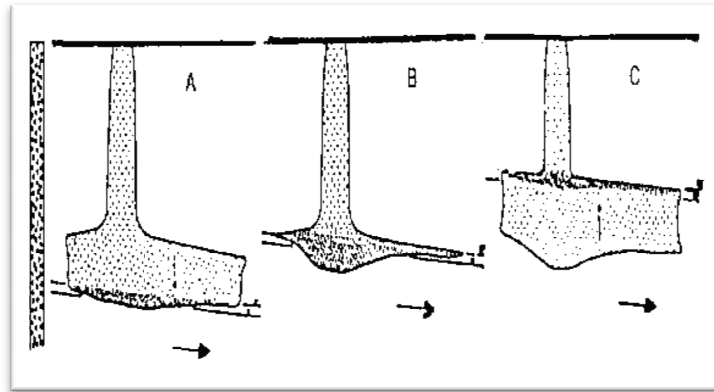
5. ábra, Olajtest alakja, olajat át nem eresztő talajoknál (Lauer et al., 2006)

Olajtest alakja, ha eléri a talajvíz szintet: Ha a beszivárgott olajmennyiség meghaladja a talaj rétegeinek olajvisszatartó képességét, akkor a szennyezés képes a talajvíz szintjéig hatolni. Ez esetben a szennyeződés a talajvíz felszínén vagy oldott állapotában együtt szivárog, melyre hat a talajvíz áramlási iránya. Ennél a típusnál a kapilláris zóna sávja tartósan és jelentősen szennyeződik, ezáltal a kármentesítési feladatok kiemelt zónája. (Lásd 6. ábra) (Lauer et al., 2006)



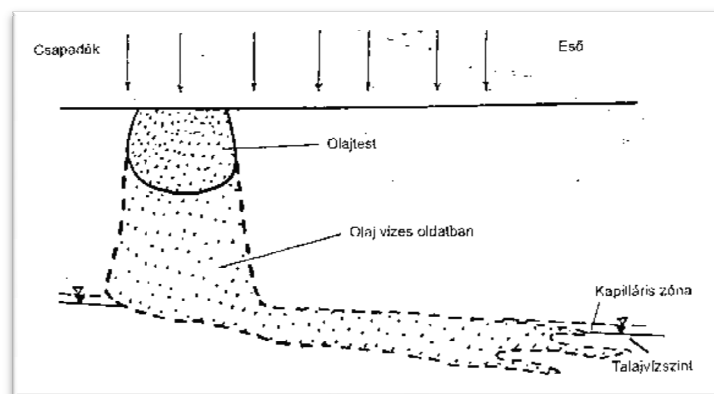
6. ábra, Olajtest alakja, ha eléri a talajvíz szintet (Lauer et al., 2006)

Olajtest alakja, változó talajvízszint esetén: A középső ábra megegyezik az előző esettel, az 'A'-val jelölt talajvízszint süllyedést, a 'C' talajvízszint emelkedést ábrázolja. 'A' esetben az összegyűlt szennyeződés a talajvízszinttel és a kapilláris zónával együtt süllyed le. 'C' esetben pedig a megemelkedő talajvízszint a koncentrált olajtestet felnyomja, helyébe csak a talajvíztükör és az adszorbeált (megkötött) olajnyomok maradnak. (Lásd 7. ábra) (Lauer et al., 2006)



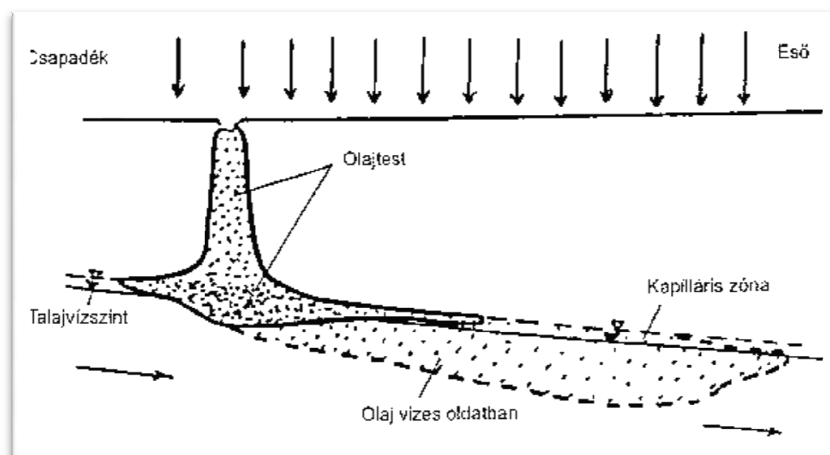
7. ábra, Olajtest alakja, változó talajvízszint esetén (Lauer et al., 2006)

Olajtestből kioldódó olaj útja: Az olajszennyeződések egy része képes oldódni a vízben, így esővízzel vagy a talaj szivárgó vízzel való érintkezése során egyes alkotórészei oldatba mennek át és a vízzel együtt vándorolnak. (Lásd 8. ábra) (Lauer et al., 2006)



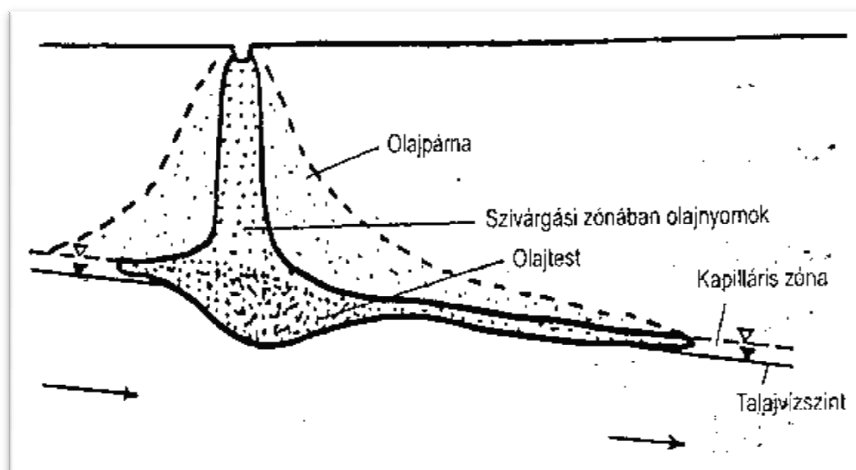
8. ábra, Olajtestből kioldódó olaj útja (Lauer et al., 2006)

Oldott olaj mozgása, a talajvíz áramlási irányába: Ez esetben a szennyeződés állandóan érintkezik az áramló talajvízzel. Ha az olaj fázisa a talajvíz felszíne felett helyezkedik el, akkor a kioldott szennyeződést horizontális irányba, a talajvíz áramlási irányába terjeszti szét. Ha pedig az olajtest a talajvíz tartományáig elér, akkor az áramló talajvíz által kioldott komponenseket magával sodorja. A kioltott mennyiség függ az érintkezési felülettől, a víz áramlási sebességétől és telítettségi fokától, valamint az olajfajta milyenségétől. (Lásd 9. ábra) (Lauer et al., 2006)



9. ábra, Oldott olaj mozgása, a talajvíz áramlási irányába (Lauer et al., 2006)

Olajpárna hatása: Ez esetben az olajtestből kis forráspontú, könnyen illanó kőolajszármazékok a felszín alatt is párolognak, ennek mértéke függ az olajtermék minőségétől, a nyomástól, a hőmérsékletváltozás mértékétől, valamint a talaj áteresztő képességétől. Az olajtestet szénhidrogén gőzök veszik körül, melyek magát az olajpárnát képezik. Ennek helye főként a kapilláris sáv feletti rétegben található. Ezek a gázok képesek vízben oldódni és a szivárgó tartományban vándorolni, mellyel tovább növelik a talaj és talajvíz szennyeződését. (Lásd 10. ábra) (Lauer et al., 2006)



10. ábra, Olajpárna hatása (Lauer et al., 2006)

2.3 A talajok kőolaj és kőolajszármazékok szennyezettségének mentesítési módjai

A kőolaj és kőolajszármazékok lebomlási folyamatai, valamint a talaj és talajvíztisztítás biológiai és fizikai, kémiai kárelhárítási technológiái kerülnek bemutatásra. Ez az elméleti anyag hangsúlyos része, mely a gyakorlati alkalmazás megalapozó ismertetője.

2.3.1 A kőolaj és a kőolajszármazékok lebomlásának folyamatai

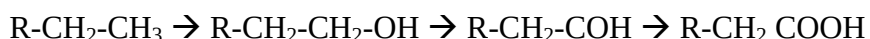
Meg kell említeni, hogy a talajokban jelen levő kőolaj és kőolajszármazékok természetes lebomlás mentesítési technológiája nem azonos a nem beavatkozással. Természetes lebomlási folyamatainak két típusa van a kémiai oxidáció és a mikrobiológiai lebontás. (Halász – Földi, 2001)

Kémiai oxidáció elengedhetetlen tényezője a fényenergia/napfény, ebből adódóan ez a folyamat csak a talaj felszínén vagy felszíni vizek felületén úszó szennyeződés esetén jön létre. A folyamatot elősegítik a szennyeződésekben jelen lévő kéntartalmú vegyületek, fenolok és fémtartalmú szerves komplexek. A kémiai oxidáció reakcióinak eredménye során különféle hidrofil/poláros anyagok keletkeznek (pl.: savak, fenolok és észterek), amelyek vízben jól oldódnak. Ezáltal a kőolaj és kőolajszármazékainak vízben oldódó része mennyiségi és minőségi változáson megy keresztül ezen a bomlási folyamaton belül. (Halász – Földi, 2001)

Mikrobiológiai elbontás már a felszín alatti közegben megy végbe szénhidrogénbontó enzimek és mikroorganizmusok (baktériumok, élesztő- és penészgombák) segítségével. A bomlási folyamat jellegét döntően az oxigén jelenléte vagy hiánya határozza meg. Ennek kapcsán megkülönböztethetünk aerob és anaerob folyamatokat. (Halász – Földi, 2001)

Aerob, oxigén dús környezetben alapvető biokémiai reakciók közül vezető szerepet játszik az egyes szénkötések (C-C) felszakításában a terminális metilcsoport oxidációja az alkilláncban, azaz ω - oxidáció, ezt követi az α -oxidáció, a β -oxidáció és a benzolgyűrű elbomlás folyamata, utóbbi alatt az aromás vegyületek kapcsán orto- és meta-hasítási mechanizmust érthetjük.

„Az alkil gyök ω -oxidációja az alifás szénhidrogének esetén alkohol és aldehid képződésén át karbonsavig tart.

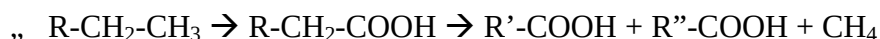


Az α -oxidációkor az ω -oxidáció során képződött karbonsav alkillánca fokozatosan egy szénatommal rövidül, amely CO_2 formájában válik le, míg β -oxidáció esetén az alkillánc fokozatosan két szénatomonként csökken. Az aromások lebontása esetén a benzolgyűrű fenol,

pirokatekin, mandula-sav, benzol-alkohol és benzolsav keletkezési lépcsőkön keresztül átalakul, közbenső végtermékként acetaldehid és piroszölősav keletkezik.” (Halász – Földi, 2001. p. 166).

Összefoglalóan az alifás szénhidrogének, naftének és aromás szénhidrogének oxigénnel való enzinkatalitikus oxidációs folyamataik során végül zsírsavakká alakulnak.

Anaerob, oxigénben szegény környezetben a bomlás bonyolult rendszerben, egymással szimbiózisban élő mikrobacsoportok segítségével következik be. Ez a bomlási folyamatsorozat három fázisra oszlik. Első fázisa anaerob, illetve részleges anaerob körülmények között bekövetkező enzimatis oxidáció jellemzi. Ez a fajta bomlás is az ω -oxidációs mechanizmus alapján megy végbe. Az oxidációs folyamat elején a mikroorganizmusok többsége részt tud venni, viszont az oxigén felhasználásával a fakultatív anaerob (oxigént hasznosítani képesek, de hiányában is megélnek), ill. obligát anaerob (oxigént nem képesek felhasználni, és az ártalmas a számukra) savtermelők kerülnek túlsúlyba. (Halász – Földi, 2001) (Anaerob, 2014)



A második fázisban az úgynevezett acetogén baktériumok a fermentatív savtermelő baktériumok által létrehozott, hidrogénben gazdag vegyületeket ecetsavvá és hidrogénné alakítják.” (Halász – Földi, 2001. p. 167)

Végső harmadik fázisában „a specifikus szerves-sav, illetve hidrogén szubsztrát igényű, obligát anaerob metántermelő baktériumok tevékenysége játszik szerepet.” (Halász – Földi, 2001. p. 167)

A metánbaktériumok képesek hasznosítani a hidrogént, valamint a hidrogén széndioxiddal való oxidálására.

Zárásként említhető meg, hogy ezen mikrobiológiai szénhidrogén lebontás hatékonysága, sebessége csökkenő sorrendben a következő: n-alkánok > elágazó alkánok > aromatis szénhidrogének > cikloparafinek. (Halász – Földi, 2001)

2.3.2 Talaj és talajvíztisztítás biológiai és fizikai, kémiai kárelhárítási technológiái

A kármentesítési eljárásokat először is két nagy csoportba sorolják. Ezáltal beszélhetünk in situ és ex situ kármentesítési eljárásokról. Az **in situ** eljárás annyit jelent – az általam vizsgált környezeti közegekre vonatkozóan –, hogy a szennyezett talajt és talajvizet az eredeti helyén kezelik, kitermelés nélkül. Ezzel ellentétben az **ex situ** eljárás a szennyezett környezeti közegek kezelését az eredeti helyükről elmozdítva, kitermelés útján valósítja meg. Utóbbinak

két típusa ismert, az on site és az off site. Ex situ, **on site** mentesítési folyamata alatt azt értjük, mikor a szennyezett környezeti közeget kiemelve kezelik, viszont a kitermelt talajt, vagy talajvizet a művelet helyszínén tisztítják meg. Míg az ex situ, **off site** mentesítés abban tér el az eddigiektől, hogy a kitermelt közeg elszállításra kerül és azt a kitermelés helyszínétől távol mentesítik.

Azt, hogy melyik kármentesítési technológia lesz a legalkalmasabb az adott szennyezések mentesítésére számos tényezőtől függ, például a szennyező anyag fizikai és kémiai tulajdonságaitól, a szennyeződött terület hidrológiai adottságaitól, a környezeti kockázat vizsgálatának eredményeitől (pl. van e a közelben vízkivételi műtárgy), környezetvédelmi követelményrendszer határértékeinek való megfelelésétől, a mentesítést követő tervezett területhasználatról, jelenlegi területhasználat fenntarthatóságától, valamint hatósági és lakossági véleményektől. (Halász – Földi, 2001)

Ezek függvényében nem csak a mentesítési technológiát választhatjuk ki, hanem a beavatkozás mértékét és célját is. Ez alapján a kárelhárítás három szintre tagolható, első szintjének célja, hogy a mentesítési eljárás megakadályozza a szennyezések továbbterjedését, ez az úgynevezett lokalizáció folyamata. Második a részleges mentesítés, mikor a szennyeződött területet a szennyezőanyagtól mentesítik ugyan, de nem kerül teljes ártalmatlanításra. Harmadik szintjén pedig a szükséges és teljes ártalmatlanítás a cél, a környezetvédelmi szempontoknak is megfelelően. (Halász – Földi, 2001)

Ezek után a kármentesítési technológiák in situ és ex situ eljárások szerint csoportosítva, azokon belül is biológiai, fizikai, kémiai eljárásokra bontva kerül kifejtésre.

TALAJ kármentesítési technológiái

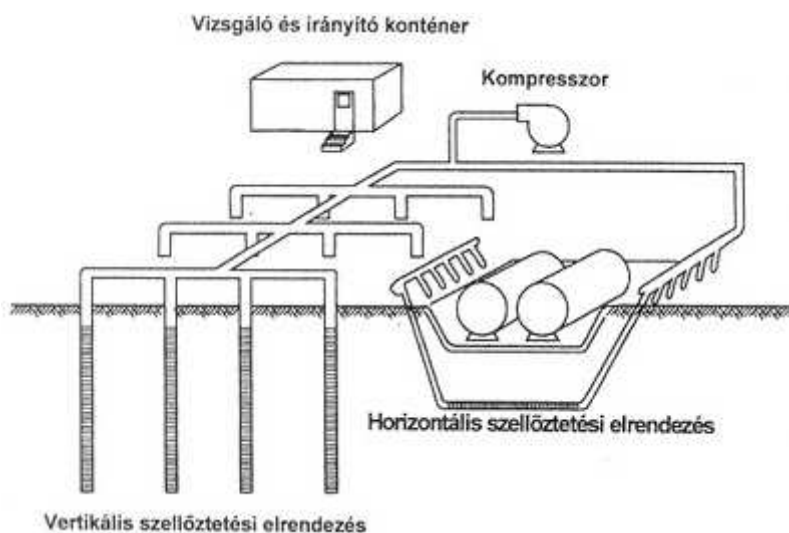
❖ IN SITU:

(azaz a szennyezett talajt az eredeti helyén kezelik, kitermelés nélkül)

• IN SITU, BIOLÓGIAI

Bioventilláció, biológiai levegőztetés

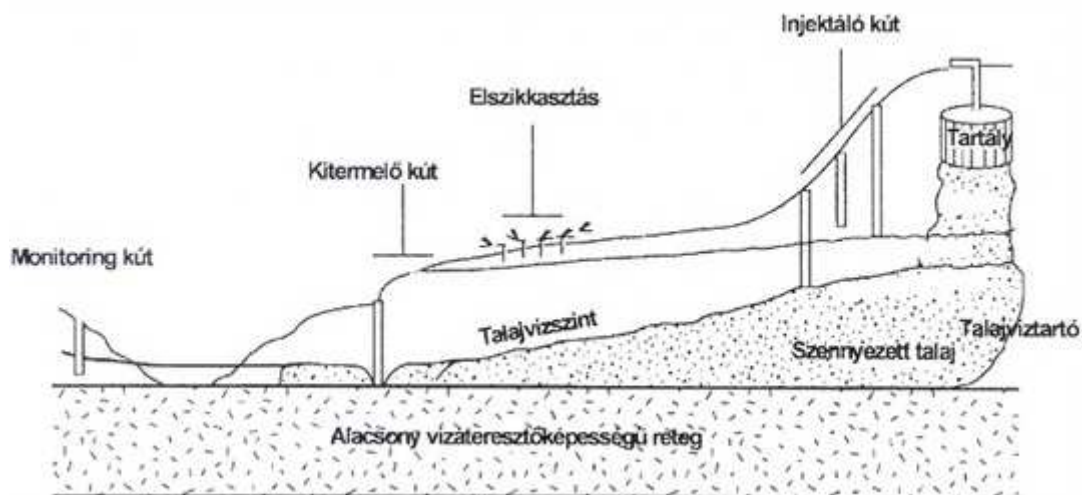
A talajban lévő szennyeződések lebontását oxigénbevitellel segítik elő. Ezt az oxigént vízben oldott formában vagy nyelető kutakon keresztül juttatják be a talaj érintett zónájába. A megnövelt oxigéntartalom a természetesen jelen lévő mikroorganizmusok aktiválásának fenntartásához szükséges. Ezáltal még az adszorbeált üzemanyag maradékok eltávolításán túl az illékony komponensek eltávolítására is sor kerül. (Lásd 11. ábra) (Halász – Földi, 2001) (Kiss, 2014)



11. ábra, A bioventillációs eljárás vázlatos felépítése (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Intenzifikált bioremediáció

Az eljárás a talajban természetesen jelen lévő vagy beoltott mikrobák tevékenységén alapszik szerves szennyezők esetén, szervesetlen szennyező anyagok esetében pedig vizes oldatot keringetnek a szennyezett közegen keresztül. A vizes oldatban plusz tápanyag és megfelelő mennyiségű oxigén segíti a lebontási folyamat felgyorsulását. Aerob környezetben a szerves szennyezőanyag szén-dioxidra és vízre bomlik le. Anaerob környezetben pedig metánra, szén-dioxidra és hidrogén gázra bomlanak le. (Lásd 12. ábra) (Szoboszlai, 2003) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



12. ábra, Az in situ biodegradációs eljárás alkalmazása talaj és talajvíz remediációjára (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Biológiai lebontás, bioremediáció

A talajban élő mikroorganizmusok életfeltételeinek javításával érhető el ez a folyamat. A talajba beszivárgó vízzel együtt bejuttatott oxigénnel és tápanyagokkal (N, P, K) érhetjük el a kívánt hatást. Ezáltal a mikroorganizmusok elvégzik a szerves szennyezőanyagok biológiai lebontását, továbbá elősegítik a szennyező anyagok deszorpcióját (felszabadítását, elkülönítését) a talajszemcsék felszínéről.

A bioremediáció folyamata egyben egy szemléletváltást is magával hozott, hiszen ma már nem csak a szennyezett talaj kitermelésével és deponálásával oldható meg a felmerülő probléma. Ma a bioremediáció feltétele, hogy a kőolaj és kőolajszármazékok lebontása ne okozzon talajkárosodást. (Halász – Földi, 2001) (Lauer, 2006)

Land-farming

A módszer szántással vagy tárcsázással történő talajlazítást jelent. Az eljárás során a talaj felső 60cm-es rétegének kezelése, mentesítése valósítható meg. A lazítás célja, hogy minél több oxigén jusson a talajba, valamint az illékony szénhidrogének könnyebben elpárologhassanak. A lebontási folyamat meggyorsításáért plusz tápanyagot (N, P, K) is beforgathatnak a talajba. (Halász – Földi, 2001)

Enzimes eljárás

Ennek a folyamatnak a lényege, hogy a növényi vagy bakteriális sejtekből kinyert enzimpreparátumok segítségével bontják le, ennek szennyezett talajokhoz adása nem csak in situ módon, hanem ex situ körülmények között is történhet, a folyamat eredményességét nem befolyásolja a mentesítés kivitelezésének helye. (Lauer, 2006)

Fitoremediáció

Fitoremediáció során a szennyezések eltávolítása, átalakítása, megkötése a növények segítségével történik. Mentelési folyamataik szerint megkülönböztetünk a gyökérzónában biodegradációt (a gyökerek közvetlen közelében a mikroorganizmusok aktiválódásával), fito-extrakciót, azaz fito-akkumulációt (szennyezőanyagot felveszik és felhalmozzák a szöveikben), vagy fito-degradációt (a növény enzim termelésével a felvett szennyező anyagot szöveikben átalakítja), vagy fito-stabilizációt (a növények által termelt kémiai elemek hatására, a szennyező anyagok megkötődnek a gyökerek közelében). A folyamatok korlátozó tényezője, hogy csak a gyökérzóna mélységében képes hatást kifejteni. (Szoboszlai, 2003) (Kiss, 2014) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Természetes szénhidrogén szennyezés csökkenése a talajban

Természetes folyamatok közt említhetjük meg a szennyezőanyagok hígulását, kipárolgást, biológiai lebomlását, adszorpciót és kémiai reakciókat, melyek során bizonyos mértékű természetes csökkenés játszódik le. Fontos megjegyezni, hogy a természetes biológiai lebomlás mentelési folyamata nem azonos a nem beavatkozással. Ez a folyamat a felszín közeli és a mélyebb rétegekben eltérő tulajdonságokkal bír. A mélyebb rétegekben a mobil szennyezés a talajgázba vagy a folyadék fázisba diffundálhat, ezzel pedig jó feltételeket biztosít a szennyezőanyagok természetes csökkenéséhez. (Szoboszlai, 2003) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

• IN SITU, FIZIKAI/KÉMIAI

Átlevegőztetés / talajszellőztetés

A mentesítést kitermelő kutak segítségével végzik. Ezeket a kutakat vákuum alá helyezik, amely hatásra az illékony szennyezőanyagok eltávolítható. A vákuum kutakban kialakuló felfelé irányuló légáramlás elősegíti az illékony szennyezőanyagok távozását. Adott körülményekhez igazítottan a kutak különböző mélységig hatolhatnak le, valamint

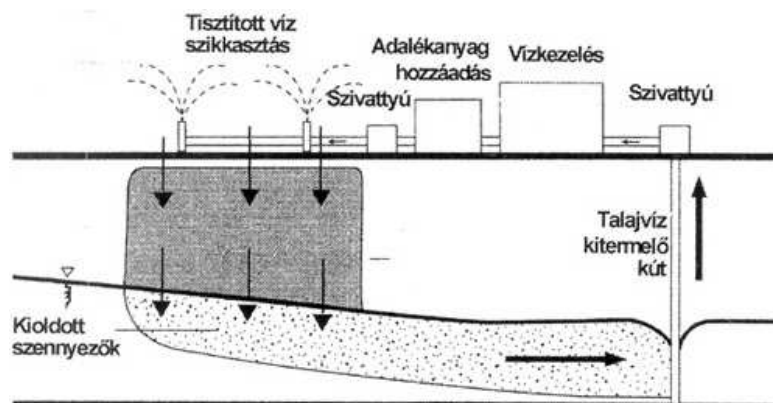
kiegészülhet vízszintes és ferde szellőztető furatokkal. A technológia hatásfoka légbefúvással növelhető, ha a szennyező anyag mélyen helyezkedik el, alacsony áteresztőképességű a talaj vagy a telített zónában is megjelent a szennyezés. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Talajlevegő kiszivattyúzás, átlevégőztetés, talajszellőztetés

A folyamat célja, hogy a talaj telítetlen zónájának szabad pórusaiból kiszívják az illékony szénhidrogénekkel szennyezett póruslevegőt. Ezt vákuum-kutak segítségével végzik, ugyanis vákuum hatására az illékony gáz fázisú szennyezők könnyen eltávolíthatók. Egyedi értékelés alapján szükséges lehet a kitermelt gáz tisztítására, amit aktív szén-sűrűsítőn keresztül végeznek, így tisztítják meg a kiszivattyúzott szennyezett póruslevegőt. (Halász – Földi, 2001) (Kiss, 2014)

Talajmosatás

Az eljárás lényege, hogy vizet vagy adalékanyagokat tartalmazó vizes oldatot juttatnak a talajba a szennyezések kioldása érdekében. Ebben a folyamatban kihasználhatjuk a talajvíz jelenlétét, hogyha a talajvíztükör szintjét megemeljük, ezáltal segítve a szennyezett talajtérből való kioldást. Ezt követően természetesen az így szennyezetté vált talajvíz kitermelésre majd tisztításra kerül. A technológia problémája a recirkuláció megoldása, vagyis a besajtott víz vagy vizes oldat kitermelése és kezelése utáni visszajuttatása a mosató rendszerbe. (Lásd 13. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



13. ábra, In situ talajmosatás (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Repesztéses fellazítás

Ezt akkor alkalmazzák, ha a mentesíteni kívánt közeg áteresztőképessége alacsony vagy nagyon tömör. A folyamat segítségével mesterséges repedéseket, járatokat hoznak létre, amely növeli számos in situ eljárás hatásfokát, valamint segíti a gázok kitermelését.

Ez esetben elsődleges cél a vízszintes hasadékok, repedések kialakítása, amelyet a talaj fellazítását követően vákuum kutas talajpára kiemeléssel történhet. A járatok kialakításának három fő módszere van, a robbantásos repesztés (azaz fúrt lyukakban elhelyezett robbanóanyag használatával alakítják ki a járatokat), a lasagna eljárás (a repedések kialakítása hidraulikus úton történik, elektrooszmózis és a repesztéses fellazítás kombinált technológiájával) és a pneumatikus repesztéses fellazítás (tehát, a fúrt lyukakba préselt sűrített levegő, maga hozza létre a járatokat a nyomás hatására). (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Hőmérséklet növeléssel segített talajpára kitermelés

Hőmérséklet emeléssel az illékony szénhidrogén szennyezők eltávolíthatók. A hőmérséklet növelésre több eljárási mód ismert, mint például a forró levegő vagy gőz befúvás, elektromos fűtés, elektromágneses vagy rádiófrekvenciás melegítés. Az elektromos fűtés folyamata során elektródákat helyeznek a viszonylag kis áteresztőképességű talajokba, ezzel elősegítve a víz és a szennyezőanyagok elpárolgását, valamint a kiszáritott talajokban a repedések képződését. Ezáltal a talaj légáteresztő képessége megnő, így a talajgáz kitermelés hatékonyabbá válik. A rádiófrekvenciás fűtés pedig az az eljárás, amely során az elektromágneses hullámokkal akár 300°C fölé is emelkedhet a talaj hőmérséklete, ez kiváltja, hogy megnő a talajban a párányomás, áteresztő képesség, párolgó képesség, csökken a viszkozitás és a mobilitás. A száradással viszont az áramvezetés is csökken. Lényegében, amikor pedig forró levegőt, gőzt injektálunk a szennyezett terület alá, akkor a melegítés elősegíti a szennyezőanyag kiszabadulását. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

❖ EX SITU:

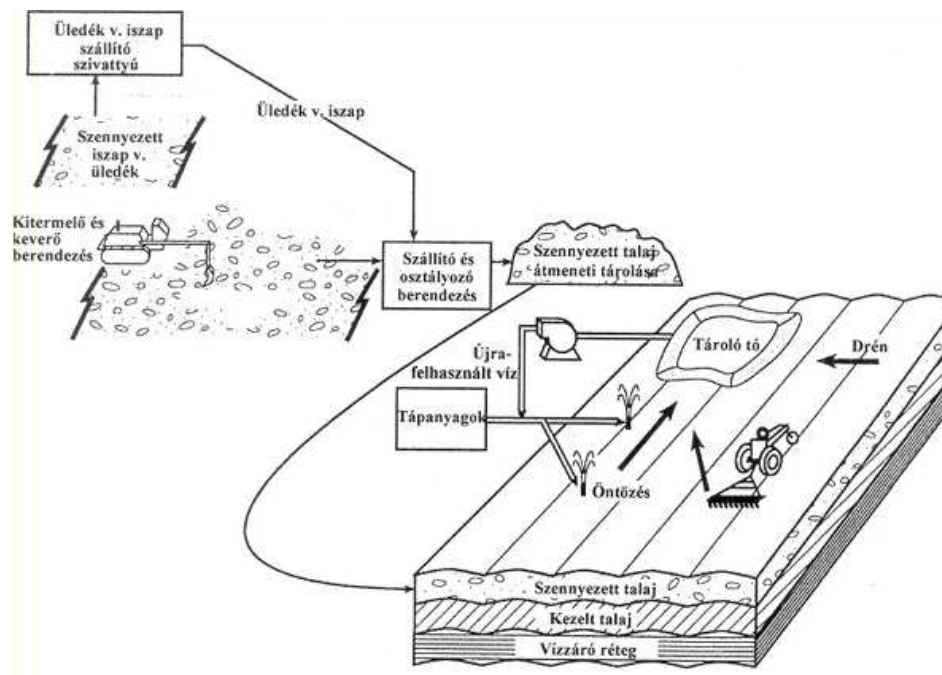
(az **ex situ** eljárás a szennyezett környezeti közegek kezelését az eredeti helyükről elmozdítva, kitermelés útján valósítja meg. Két típusa ismert, az on site és az off site. Ex situ, **on site** mentesítési folyamata során a szennyezett környezeti közeget kiemelve kezelik, viszont a kitermelt talajt a művelet helyszínén tisztítják meg. Míg az ex situ, **off site** mentesítés abban tér el az eddigiektől, hogy a kitermelt közeg elszállításra kerül és azt a kitermelés helyszínétől távol mentesítik.)

- **EX SITU, BIOLÓGIAI**

Bioágyas remediáció

Megfelelő előkészítés után, például alsó szigetelés, csurgalékvíz-gyűjtő és levegőztető rendszer kialakítása után az adalékanyagokkal kevert szennyezett talajt a felszínen szétterítik 2-3m-nél nem magasabb depóniákká. (Szoboszlai, 2003) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

A kezelése céljából mesterségesen előállított kedvező feltételeket teremtenek a szerves szennyező anyagok lebontását végző mikroorganizmusok számára. Eközben a megfelelő oxigén ellátás érdekében forgatják a kitermelt talajt, a mikroorganizmusnak tápanyagot pótolnak, optimális hőmérsékletet biztosítanak és semleges pH értéket állítanak be. (Lásd 14. ábra) (Halász – Földi, 2001)



14. ábra, Ellenőrzött, szilárd fázisú bioágyas talajkezelés (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

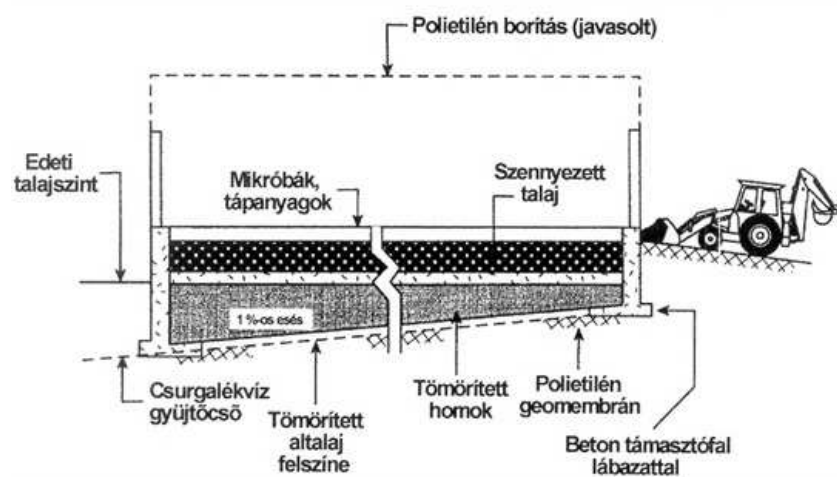
Komposztálás

Olyan ellenőrzött biológiai lebontás, mely során a szerves szennyezők a mikroorganizmusok által veszélytelen alkotó elemekké alakulnak át. A folyamat során a szennyezett talajt térfogatnövelő és szerves anyagokkal keverik, így ehhez felhasználhatnak fakérget, szemet, szerves trágyát, és egyéb zöldhulladékot. Fontos, hogy az adalékok kiválasztásával megfelelő porozitást, szén- és nitrogén tartalmat érjünk el, ezáltal elősegíti a hőtermeléssel járó mikrobiológiai lebontást, amely 54-65°C-on válik optimálissá. Ezt a magas hőmérséklet a szerves anyagok lebomlásából származó hő biztosítja. Ez a folyamat is fokozható

oxigénbevitellel, öntözéssel, nedvességtartalom és hőmérséklet szabályozással. (Szoboszlai, 2003) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Agrotechnikai talajkezelés

A szennyezett talajt kitermelik, deponálják kb. 45cm-es vastagságban terítik szét. Ugyancsak a megfelelő nedvességtartalom, a rendszeres gyakorisággal történő levegőztetéssel (ez esetben szántással), a megfelelő pH érték beállításával (mészkezelés vagy mészsap adagolásával), és egyéb adalékok (tápanyag, lazító adalékok) beállításával fokozható a folyamat hatékonysága. A mentesítési folyamat rotációja során érdemes a szennyezett talajt a már mentesítéssel beoltani, mert a már kialakult aktív baktériumtenyészet gyorsabb lebontást fog eredményezni. (Lásd 15. ábra) (Szoboszlai, 2003) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



15. ábra, Ex situ agrotechnikai talajkezelési eljárás (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Iszapfázisú biológiai kezelés

Első lépésben a szennyezett talajból fizikai eljárás útján eltávolítják a köveket és a közúzalékokat, valamint előzetesen vizes atmoszával különválasztható még a tiszta homok frakció is. Majd a továbbiakban szennyezést felhalmozó finom szemcsésű talajt bioreaktorban vízzel és egyéb adalékokkal keverve vizes zagyot készítenek, valamint a baktériumokkal való intenzív kapcsolat fenntartása érdekében folyamatosan keverik, hogy ne ülepedhessenek le a szilárd részecskék. Végül az iszapot víztelenítik, majd deponálhatják. A technológia az eleveniszapos biológiai szennyvíztisztítás elve alapján lett átültetve a talaj tisztítására. (Szoboszlai, 2003) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Gombák általi lebontás

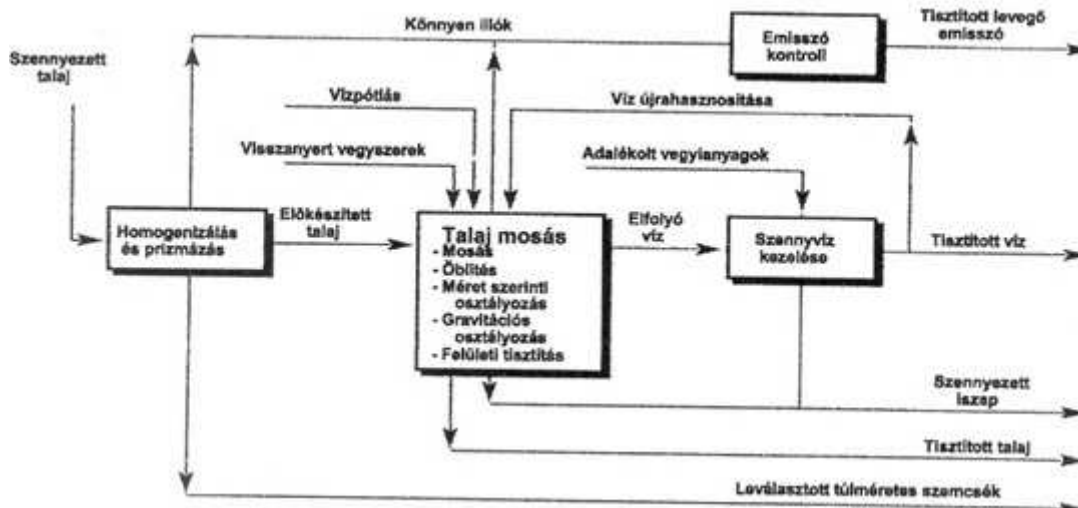
A gombák lignin lebontó és farothasztó enzimeket termelnek, melyek segítségével képesek számos szerves szennyezőt lebontani. A fehér rothasztó gombákat egyaránt lehet alkalmazni in situ és ex situ eljárásban is. Hatékonyak in situ körülmények között és bioreaktorokban, míg az ex situ technológiának eljárása hasonló a komposztálás folyamatához csak itt a mikroorganizmusok szintjén a gombák jelenléte és a gombák általi lebontás hangsúlyosabban vesz részt a folyamatban. Komposztáláshoz hasonló folyamata abban nyilvánul meg, hogy itt is ki kell alakítani egy alsó szigetelést, itt meghatározottan fakérget kevernek a szennyezett talajhoz, valamint ezt is le kell fedni, és figyelni kell a levegőztetésre, nedvességtartalomra. Hőmérsékletét pedig 30-38°C-ra kell optimalizálni. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

- **EX SITU, FIZIKAI/KÉMIAI**

Talajmosatás

A talajmosatás már az előbbieken is ki lett fejtve, de az az in situ eljárásból értelmezett talajmosatás technológiáját mutatta be, most pedig mint ex situ folyamatként lesz értelmezve. Első lépésben adalékanyagokat tartalmazó vizes oldatot juttatnak a szennyezett talajba, a szennyezés kioldásának fokozása érdekében. Ezt követően a szennyezett talajvíz kitermelése, majd tisztítása következik. Tisztítása során cél, hogy a talajszemcsék felületén adszorbeálódott szerves és szervetlen szennyező anyagokat eltávolítsák, lemosásuk a felületükről. Kitermelést követően a szennyezettség függvényében határozzák meg a plusz hozzáadott adalékanyagokat és a mosóvíz hőmérsékletét. (Halász – Földi, 2001) (Kiss, 2014)

A talajmosás során fontos megemlíteni, hogy a szennyezést nem távolítjuk el, hanem csak más hordozóközegbe helyezük át, például vizes oldatba, így ezt az eljárást külön tisztításnak kell alávetni. A talajmosás ezen formája nagyon hatékony technológiájának tekinthető a szerves szennyeződésekkel szemben. (Lásd 16. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



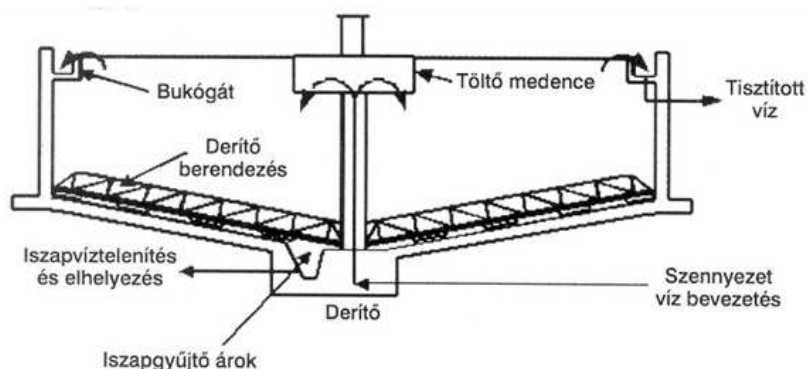
16. ábra, A talajmosatásos eljárás folyamata (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Detoxikálás napfénnel

Ezt a folyamatot talaj pórusaiban jelen lévő szennyező gázok eltávolítására alkalmazzák. Először a szennyezett gázokat vákuum kutas kitermelése és a gázok kicsapata és a gázok kicsapata után félvezető katalizátorokat tartalmazó tartályokba vezetik, ahol a napfény hatására a katalizátor aktivizálódik, mely eredményeképpen a gázok átalakulnak és lebomlanak, általában széndioxidá és a vízzé. A technológia nagy előnye, hogy a zárt tartályok megakadályozzák a légköri emissziót. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Szétválasztás

A technológia megnevezése alatt nem értünk mást, mint a szennyezett talaj szétválasztását, mentesített talajra és szennyezőre. Ez a eljárás igazából mindegyik mentesítési technológia része. A folyamat alkalmazásának módját egy előzetes vizsgálat határozza meg, amely akár speciális beavatkozásokat is előírhat. (Lásd 17. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



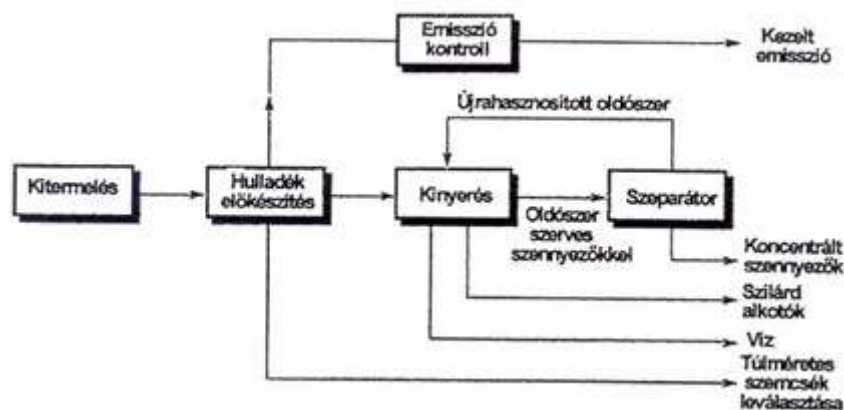
17. ábra, Ülepítési (gravitációs) szétválasztás (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Kémiai kivonás, extrakció

A kémiai kivonás folyamatának lényege, hogy a szennyezett talajt oldószerrel kezelik, ez esetben az oldószer a szennyezőket kioldja a talajból, majd a szennyezett oldatot választják szét oldószerre és szennyező anyagra. A technológia során tehát a szennyezés megmarad, csak a talajból az oldatba megy át, viszont a szennyezett közeg térfogata kisebb lesz, így lényegesen kisebb mennyiség tisztításáról kell gondoskodni. A kémiai kivonásnak az alkalmazott oldószer szerint két fajtáját különböztethetjük meg, így savas- és oldószeres kivonásról beszélhetünk.

Az oldószeres kivonás során szerves oldószereket alkalmaznak. Ezt a folyamatot gyakran alkalmazzák más folyamatokkal együtt, azok részfolyamataként, úgyhogy egy elterjedt technológiának tekinthetjük. Fontos megemlíteni, hogy az oldat kis mennyiségben a talajban maradhat, ezért annak toxicitására figyelni kell.

A szénhidrogén szennyezések mentesítésére megoldást nem nyújt, viszont ezen kategórián belül megemlíthető a savas kivonás is, amelynek lényege, hogy a nehézfémek kivonására sósavat használnak. A reakció befejeztével a sósavas oldatot és a talajt hidrociklonban választják szét. A kivonás végeztével a tisztított talajt átmossák, a talajt víztelenítik, majd mésszel és fertőtlenítővel keverik. A kivont oldat és a mosóvíz pedig regenerálásra kerül. (Lásd 18. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



18. ábra, Kémiai extrakciós eljárás vázlata (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Kémiai oxidáció - redukció

A kémiai oxidáció/redukció során a szennyezőanyagok részben vagy egészben közömbösülnek, valamint mobilitásuk is csökken vagy megszűnik. A talajokba bejuttatott, leggyakrabban alkalmazott oxidálószeres példák az ózon, a hidrogén-peroxid, a hipoklorit és a klór-dioxid.

Ezek közül kiemelhető a hidrogén-peroxiddal történő mentesítés, mely egyaránt biológiai és kémiai folyamatként is besorolható, ugyanis ez a folyamat a talajban jelen lévő mikroorganizmusok segítségével éri el a célt. Ez esetben hidrogén-peroxidos (H_2O_2) oldatot juttatnak a talajvízbe nyelető kutakon keresztül, ezáltal növekszik a talajvíz oxigéntartalma, amely körülmény elősegíti az oldott szerves anyagok aerob lebomlását. A folyamat során végbemenő lebomlás részben kémiai oxidáció, részben a mikroorganizmusok hatására jön létre. (Halász – Földi, 2001)

Átlevegőztetés

A folyamat elvben nem tér el a már in situ folyamatként ismertetett technológiától, hiszen mindkét esetben vákuum hatására az illékony szennyezések kerülnek eltávolításra. In situ eljárásban kutakon keresztül, míg ez esetben a deponált talaj alatt vezetett dréncső rendszeren keresztül. Az ex situ hátránya, hogy az emisszió csökkentése érdekében le kell fedni a depóniát és a távozó gázok tisztításáról külön kell gondoskodni. Előnye viszont az in situ folyamattal szemben, hogy a talaj kitermelése miatt az illékony szennyezés könnyebben tud távozni, így rövidül a mentesítési folyamat időtartama, továbbá a magas talajvízszint nem befolyásolja a folyamatot, a csurgalékvíz összegyűjtése is egyszerűbb, valamint könnyebben ellenőrizhető a folyamat. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Égetés

Az égetés mentesítésnek lényege, hogy nehezen kezelhető olykor veszélyes szennyezőktől is megtisztíthassák a talajt. Ennek a folyamatnak több szintje ismert, melyet a hőmérséklet értéke határoz meg, ezáltal beszélhetünk alacsony és magas hőmérsékletű termikus lebontásról, valamint magáról az égetésről.

Az alacsony hőmérsékletű termikus lebontás célja, hogy a víz és az illékony szerves szennyezők elpárologjanak, ehhez pedig a szennyezett talajt 93-315°C közötti hőmérsékletre hevítik fel. Ezt követően a keletkező gőzt és gázokat tisztítják.

A magas hőmérsékletű termikus lebontás az előzővel megegyező folyamat, mely csak hőmérsékletének mértékében tér el, ugyanis 315-538°C közötti értéken történik a talaj szennyeződéseinek magas hőmérsékletű termikus lebontása.

Az égetés során a szennyezett talajt 871-1204°C hőmérsékleten, oxigén bejuttatása mellett égetik, a folyamat következtében a szennyezők vagy elpárolognak vagy elégnek, a víz pedig elpárolog. Végül távozó gázok és salak keletkezik.

Ezeknek a folyamatoknak a mentesítési hatékonysága a 99,99%-ot is elérheti, megfelelő égés során, amit bizonyos esetekben kiegészítő fűtőanyaggal kell biztosítani. (Halász – Földi, 2001)

Termikus deszorpció

A termikus deszorpció technológiája (TDT) egy sok lépcsőből álló eljárás, mely a szennyezett talaj redukív közegben történő hő bontására alkalmas. Ez a folyamat kifejezetten jól alkalmazható a talaj szénhidrogén szennyeződéseinek mentesítésére is. A technológia nagyon összetett folyamatokat alkalmaz több lépcsőben, ezáltal a fő részegységei a redukív közegben történő szétválasztás, a vákuum alatti gázosítás, valamint a redukív hőkezelés. Az eljárás végtermékei a tisztított talaj, a kigázosított maradék anyag, a termolízisre került anyag valamint a lepárlásból a gőz. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Pirolízis

Oxigénmentes hevítési folyamat, melynek során a szerves szennyező anyagok kémiai lebomlása, átalakulása során következik be. Ezek egy része éghető gázokká (például: szénmonoxidra, hidrogénre, metánra), egy része szilárd anyagokká (szén, hamu) alakul át. Bár a pirolízis lényege az oxigén kizárása, a gyakorlatban ennek biztosítása nem lehetséges. Ez a folyamat nyomás alatt 430°C feletti hőmérsékleten zajlik le. A hagyományos termikus mentesítési módszer berendezései használhatóak a pirolízis során. (Halász – Földi, 2001) (Kiss, 2014)

SZIGETELÉS

Felső lezárás

A felső lezárás egy széles körben alkalmazható eljárás, ezért ez esetben csak a szénhidrogén szennyezésekkel kapcsolatos szerepét említem meg. Ez esetben a szennyezés lefedésének „célja lehet a szennyezés elszigetelése, a szennyezés felszíni kipárolgásának csökkentése, a fizikai hozzáférhetőség csökkentése, a szennyezők mélyebb rétegekbe mosódásának és a csurgalékvíz keletkezésének megakadályozása, valamint a szennyezés biztonságos tárolása, amíg a szennyezés kezelésére nem kerül sor.” (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

EGYÉB

Kitermelés, elszállítás és deponálás talajcserével

Ennek a folyamatnak lényege, hogy a szennyezett talaj kitermelése után, azt kezelés nélkül, erre specifikusan létrehozott szennyezett-talajlerakókba kerül deponálásra. Ekkor a kitermelt talaj helyére talajcsere folyamán új, tiszta talaj kerül.

A lerakók a környezetvédelmi előírásoknak megfelelően kerülnek kialakításra, ami egy külső monitoring kutakból álló rendszerrel egészül ki. A lerakók talajtól való elszigetelésének, a deponált talaj folyamatos szivárgásának megfigyelésére, valamint a csurgalékvíz kezelése és tisztítására egyaránt rendszeres monitoring tevékenységet kell végezni, a további szennyeződések elkerülése érdekében. (Halász – Földi, 2001)

TALAJVÍZ kármentesítési technológiái

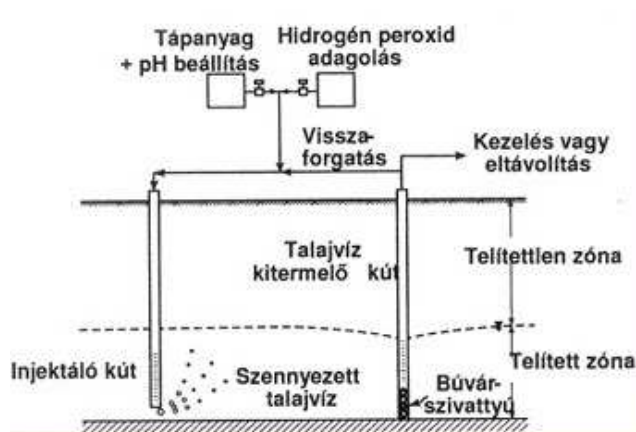
❖ IN SITU:

(azaz a szennyezett talajvizet az eredeti helyén kezelik, kitermelés nélkül)

• IN SITU, BIOLÓGIAI

Identifikált bioremediáció

A technológia ezen közeg mentesítésére is kitér, így a talajvíz, a felszíni víz és a csurgalékvíz mentesítésére nyújt megoldást. A szerves szennyezők biológiai lebontását pedig a tápanyagok pótlásával és úgynevezett elektron akceptorokkal (bomlási folyamatot elősegítőkkel) fokozható. Megkülönböztetünk aerob és az anaerob eljárást. Az aerob biológiai lebontás elektron akceptora az oxigén, míg anaerob esetben a nitrát. Tehát ezek talajvízbe juttatásával felgyorsítható a lebomlási folyamatuk, ugyancsak abból adódóan, hogy a mikrobáknak ideális feltételeket biztosítunk. Az üzemanyagok esetében az aerob lebontási folyamat nyújt megoldást, ezt pedig oxigén befúvással vagy hidrogén-peroxid bejuttatásával érhetjük el. (Lásd 19. ábra) (Szoboszlay, 2003) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



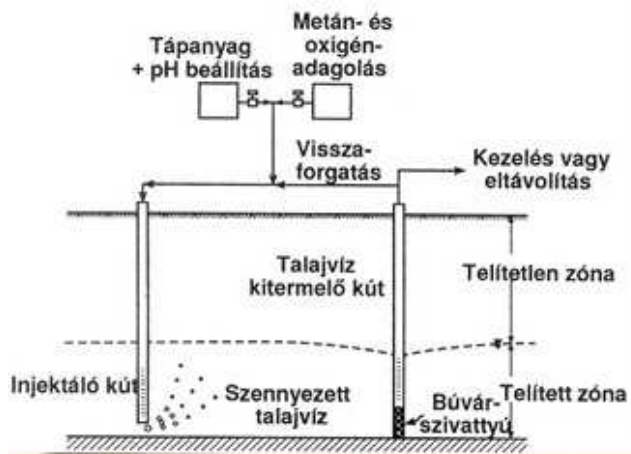
19. ábra, Biológiai kezelés intenzív oxigén hidrogén- peroxid és nitrátbevitellel (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Természetes szénhidrogén szennyezés csökkenése a talajvízben

Ilyen természetes folyamatnak számít a hígulás, a kipárolgás, a biológiai lebomlás, az adszorpció és az egyéb kémiai reakciók. Ennél a környezeti közegeknél is igaz, hogy a természetes lebontás folyamata nem egyenlő a nem beavatkozással. A talajvíz mentesítésekor a szennyezés feltárását követően modell segítségével előre jelezhető, hely és idő függvényében, hogy milyen mértékű lebomlásra lehet számítani. Ezt követően pedig megfigyelőrendszer segítségével ellenőrzik, hogy a bomlási folyamatok a tervezett módon menne végbe. (Szoboszlay, 2003) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Ko-metabolikus lebontás

„A szennyezett talajvízbe metán, toluol hígított oldatát és oxigént injektálnak, amely elősegíti a szerves szennyezők lebontását. Metán vagy metanol hozzáadása elősegíti a lebontás aktivitását, amely fontos a klórozott oldószerek ko-metabolikus lebontásában (vinil-klorid, TCE stb.). Bár a propán, bután, toluol nem metanotrófok mégis alkalmasak a ko-metabolikus folyamatok elősegítésére (pl. TCE lebontása).” (Lásd 20. ábra) (Szoboszlai, 2003) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



20. ábra, Ko-metabolikus in- situ bioremediációs eljárás szennyezett talajvíz megtisztítására

(Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Fitoremediáció

A fitoremediáció folyamata a talaj mentesítési technológiánál már kifejtésre került, az ott leírtak érvényesek itt is, hiszen a növények a már ismertetett módokon képesek szerepet vállalni a szennyezőkkel kapcsolatban.

• IN SITU, FIZIKAI/KÉMIAI

Levegőztetés

A folyamat célja, hogy a levegőztetés során a talajvíz és a levegő felületét növeljük, hogy a biológiai lebontás sebessége felgyorsuljon. Ezért lehetővé kell tenni, hogy a levegő a lehető legnagyobb felületen érintkezzen a vízzel. Ez pedig légbuborékok bevitelével és a víz cseppekre bontásával érhető el. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

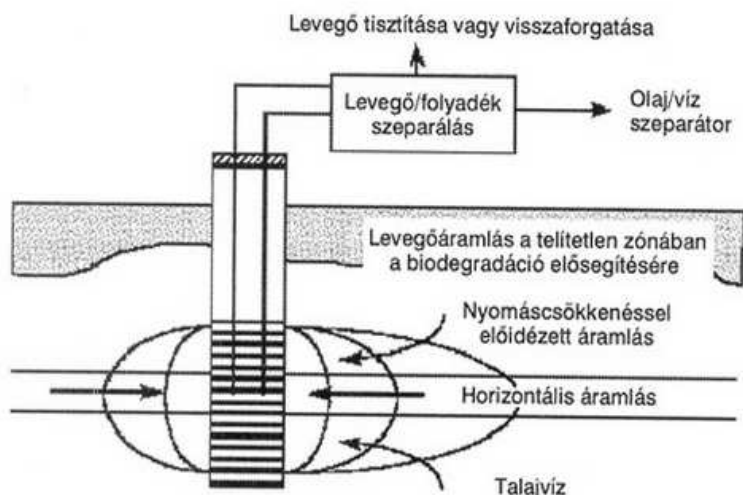
Légbekeverés (air sparging)

A folyamat lényege, hogy az illékony szennyezések eltávolítását a telített talajvízbe levegő befúvással végzik. A technológia in situ sztrippelésnek is értelmezhető, tehát amikor a folyadékból gáz keletkezik, tartva azt az elvet, hogy a talajvíz és a levegő minél nagyobb felületen érintkezzen. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Vákuumos úszó fázis és talajvíz eltávolítás

Ez a folyamat két egymástól függetlenül is alkalmazható mentesítési technológia ötvözte. A bioventilláció és a vákuumos szabadfázis kitermelés együttes alkalmazása. Míg a bioventilláció elősegíti a szénhidrogén szennyezések aerob biológiai lebomlását, addig a vákuumos szabadfázis kitermeléssel a felúszó könnyű szennyezők is eltávolíthatóak a víz felszínéről vagy a kapillárisokból. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

A talajvíz felszínén úszó olajokat leföldrözéssel a legegyszerűbb eltávolítani, ekkor a szennyeződés külön fázist alkot, így lehetőség van arra, hogy a kutakon keresztül akár szűrők alkalmazása nélkül is kiszivattyúzzák. Ez függ az olajlencse paramétereitől, a kutakban pedig több méter magasságban is állhat a szennyező anyag. (Lásd 21. ábra) (Halász – Földi, 2001)

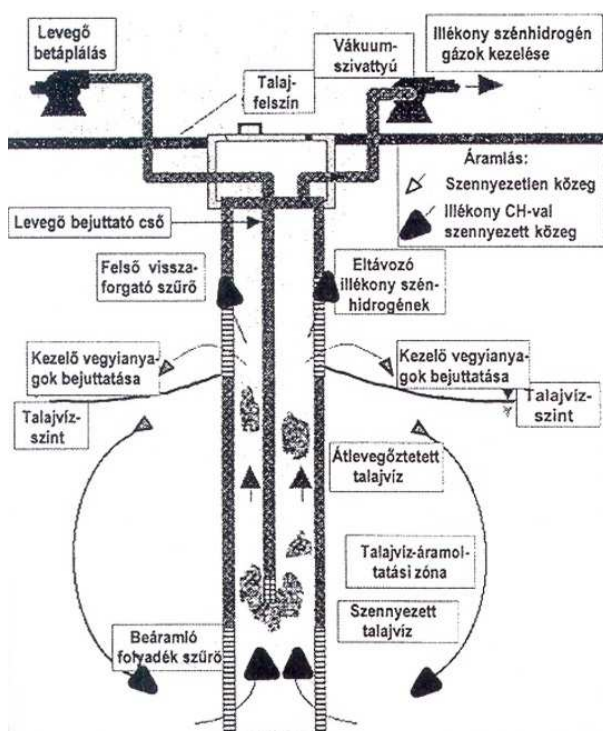


21. ábra, Vákuumos úszófázis és a talajgáz-eltávolítás együttes alkalmazása (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Kúton belüli sztrippelés

Az itt használatos kutakban két szűrő található és a talajvizet alulról felfelé áramoltatják, valamint levegőt injektálnak a vízhez. A levegővel történő keverés hatására az illékony szennyezők oldott állapotból gáz halmazállapotúvá válnak, amit vákuum segítségével termelnek ki. A megtisztított talajvizet felülről a talajba vezetik vissza. A folyamat nemcsak a

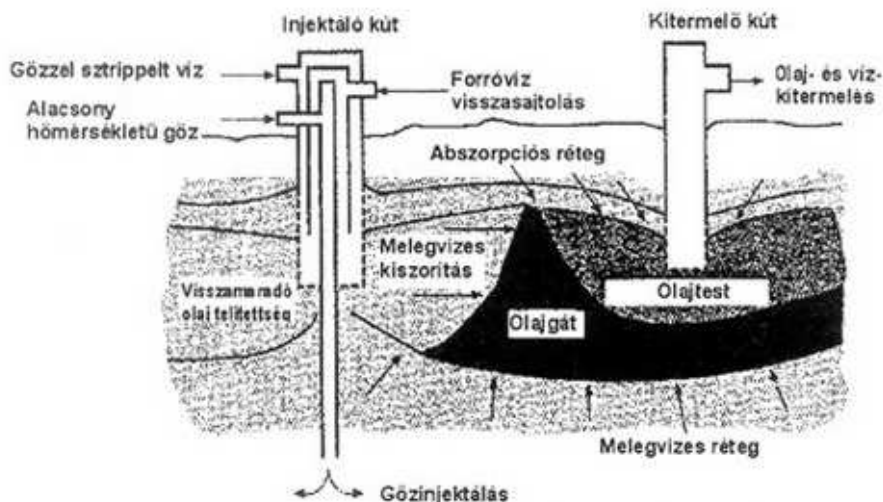
gázokkal szemben hatékony, hanem egyben a talajgáz részleges kitermelése is létrejön. A rendszer hatékonyságának fokozásáért ötvözhető például a bioremediáció folyamatával. (Lásd 22. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



22. ábra, Talajpára sztrippelése injektáló-kitermelő kúttal (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Forró vízzel vagy gőzzel történő átmogatás/sztrippelés

A folyamat során az illékony szennyezők kipárologtatása érdekében a vízáadó rétegbe forró gőzt juttatnak, így a talajvízből kipárolgó szennyezők a talaj telítetlen zónájába jut, ahonnan már vákuum kutakkal kitermelhetők és kezelhetők. A folyamat kisebb és nagyobb mélységben alkalmazható, főként szerves szennyezők mozgásának meggátolására, valamint az olajos szennyezések nagy részének eltávolítására. Teljes mértékű mentesítés esetében ez az eljárás egy részleges biológiai folyamattal egészülhet ki. (Lásd 23. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



23. ábra, Forró vízzel vagy gőzzel történő átmogatás / sztrippelés (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Kétfázisú kitermelés

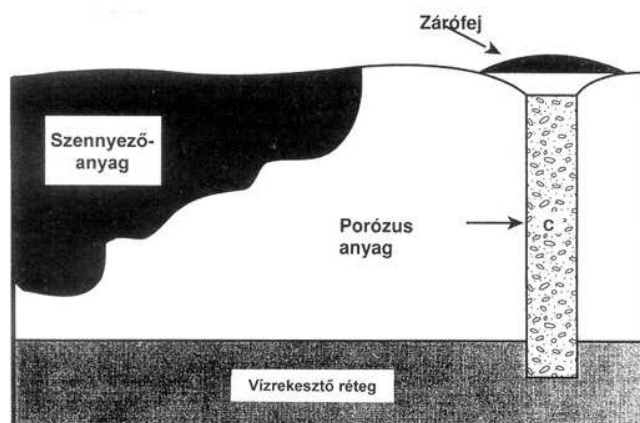
Az eljárás lényege, hogy a szennyezett talajvizet mind a folyadékban lévő szénhidrogénektől, mind pedig a porusokban található szénhidrogén gázokat egyidejűleg távolítsa el. A hosszú láncú szénhidrogének esetében a kétfázisú kitermelést általában a mentesítési folyamatok együttese adja, ilyen a bioremediáció, amit levegő beszajtolással vagy bioventillációval egészítenek ki. E két folyamat egyidejű alkalmazása lecsökkenti a mentesítés időtartamát. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Írányított ferde fúrások

Nemcsak függőlegesen, hanem ferdén, de akár vízszintesen is lehet létesíteni kutakat, melyek elhelyezkedésüktől függetlenül számos mentesítési technológia során jól alkalmazhatók, mint például a talajvíz- és talajgáz kitermelés, bioventilláció, talajmosás, kutakon belüli sztrippelés folyamatainál. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Passzív/aktív falak

Passzív vagy aktív falaknak nevezzük például a résfalat, szádfalat és a kötényfalat. Ezek lényege, hogy a szennyezett talajvíz áramlási irányára merőlegesen és áramlási szintje alá építik ki. A folyamat lényege, hogy a falon megfelelő helyen kialakított kapun keresztül szabályozzák a víz áramlását, amely az in situ zóna felé vezet. (Lásd 24. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



24. ábra, Passzív / aktív szigetelőfal (keresztmetszet) kialakítása (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Hidraulikus repesztéses fellazítás

Ez egy összetett eljárás, amely együttesen alkalmazza a talajgáz kitermelést, az in situ bioremediációt vagy szivattyúzást, valamint a felszíni kezelést. Mindezt úgy, hogy nagy nyomással vizet sajtolnak a lezárt kútba, ami a kijelölt rétegben repedéseket hoz létre. Ezeket a repedéseket porózus anyaggal töltik ki, továbbá a repedések teret nyitnak a bioremediáció számára, a vízkitermelés hatékonyságát pedig növelik. Hatásos eljárás során a szennyezőanyagok kiszivattyúzhatóak, a megmaradt járatok pedig más mentesítési technológia során alkalmazhatóak még a továbbiakban. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

❖ EX SITU:

(az **ex situ** eljárás a szennyezett környezeti közegek kezelését az eredeti helyükről elmozdítva, kitermelés útján valósítja meg. Két típusa ismert, az on site és az off site. Ex situ, **on site** mentesítési folyamata során a szennyezett környezeti közeget kiemelve kezelik, viszont a kitermelt talajvizet a művelet helyszínén tisztítják meg. Míg az ex situ, **off site** mentesítés abban tér el az eddiektől, hogy a kitermelt közeg elszállításra kerül és azt a kitermelés helyszínétől távol mentesítik.)

• EX SITU, BIOLÓGIAI

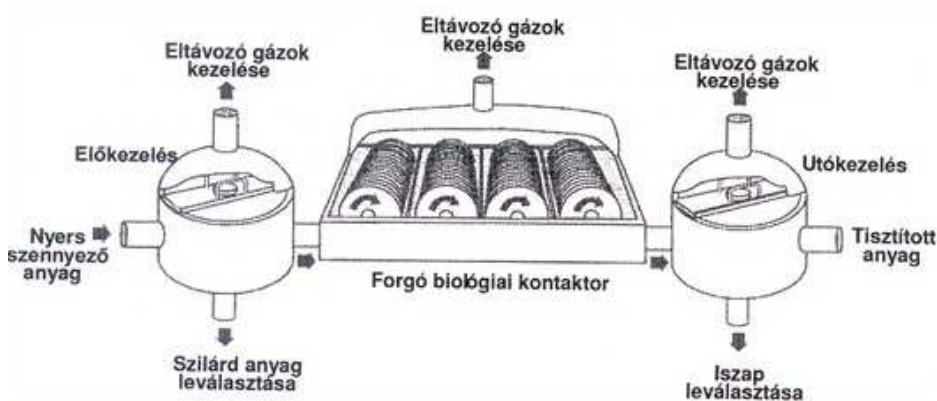
Bioreaktor

A lényege, hogy a kitermelt talajvíz szennyező anyagainak lebontásában mikroorganizmusok vesznek részt. A mikroorganizmusokkal való kölcsönhatásnak két fajtája a szuszpendált és a közvetítő rendszer ismert.

A szuszpendált rendszerekben a szennyezett talajvíz levegőztetett medencékben kerül a mikroorganizmusokkal kölcsönhatásba. A szerves szennyezők aerob lebontása során ártalmatlan anyagokká alakulnak át, mint széndioxiddá, vízzé és új baktériumtömeggé.

A közvetítő rendszerben a lebontás anaerob folyamat, melyben az aktív baktériumtömeg valamilyen hordozóközegben telepedik meg, mellyel a szennyezett vizet kölcsönhatásba tudja hozni.

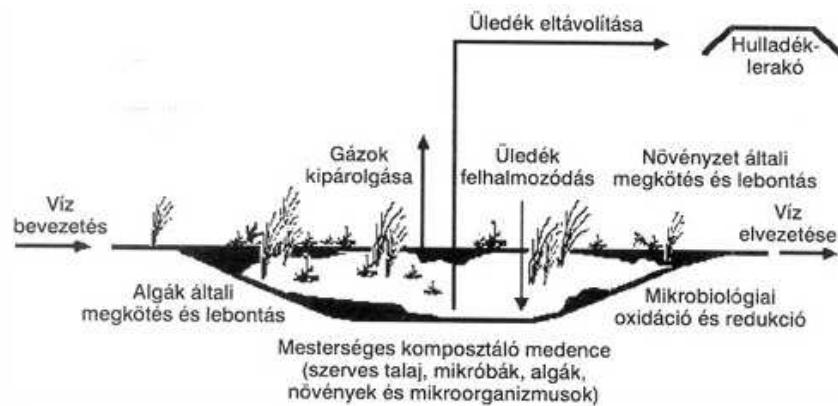
Megkülönböztethetünk még aktív kisegítő anyagokkal (például aktív szénnel) való alkalmazást, melyek először a szennyezést adszorbeálják, majd fokozatosan lehetővé teszik a szennyezések mikroorganizmusok általi lebontást. Ha ezek a mikroorganizmusok nincsenek jelen a szennyezett közegben, akkor beoltással kerülnek a rendszerbe. (Lásd 25. ábra) (Szoboszlai, 2003) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



25. ábra, Bioreaktor (forgatott biológiai kontaktor) vázlatos felépítése (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Mesterséges vizenyős területek

Mesterségesen kialakított vizenyős területeken természetesen beindulnak a biológiai, geokémiai folyamatok, melyek hatására a szennyeződések lebomlanak vagy megkötődnek. Ez esetben számolni lehet minden alacsonyabb rendű flóra és fauna elemmel melyek segíthetik a mentesítési folyamatokat, ugyanakkor mégis a mikroorganizmusok által kifejtett hatás a meghatározó. Ez a technológia a szénhidrogén szennyezéseknek csak bizonyos elemeire hatékony, sokkal inkább megfelelő a fémtartalom mentesítésére. (Lásd 26. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

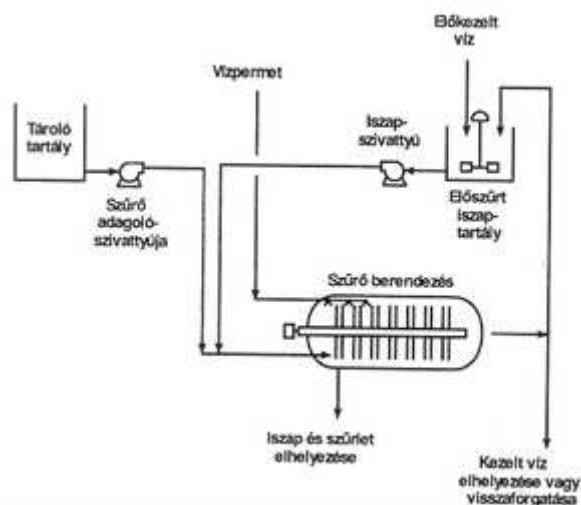


26. ábra, Mesterséges vizenyős területek létrehozásával elősegített komplex ártalmatlanítási eljárás
(Kármentesítési Kézikönyv 4.)

- **EX SITU, FIZIKAI/KÉMIAI**

Fázissztérválasztás

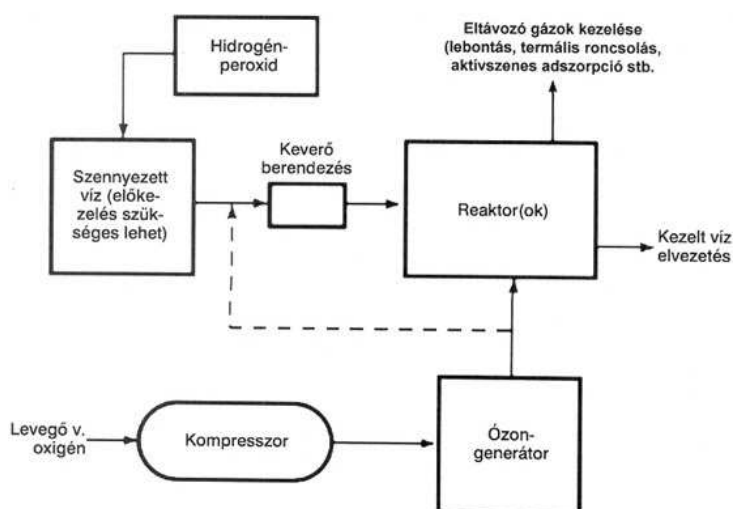
A fázissztérválasztás lényege, hogy a szennyezőket a hordozó közegtől (ez esetben víztől) fizikai vagy kémiai úton elválasztják, mely több módon valósítható meg. Ilyen például a desztilláció (a különböző párányomású folyadékok kémiai fázissztérválasztása, mely során az illékony komponensek kipárolognak, majd kondenzálódnak), a szűrés (fizikai, mechanikai fázissztérválasztás szemcseméret alapján), a fagyasztásos kristályosodás (a víz hűtése során a vízfelszínén kikristályosodott oldószer eltávolítása), a membrános átpárologtatás (a felmelegített szennyezőanyag vákuum hatására átáramlik a membránon, ott összegyűlik, kondenzálják, lerakóba helyezik) és a fordított ozmózis (a membrános átpárologtatás változata, ahol csak a tiszta víz tud áthatolni a membránon). (Lásd 27. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



27. ábra, Szennyezett talajvíz fázissztérválasztásának folyamata (szűrés) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

UV oxidáció

A szennyezések oxidációjában szerepet játszanak különböző oxidálószeresek, az UV fotolízis (UV fény hatására a kémiai kötések felbomlanak, átalakulás nem jellemző), az UV sugárzás, valamint az ózon és a hidrogén-peroxid (hatásukhoz alacsony nyomású lámpákat használhatnak). Ha ezek hatására a teljes oxidáció megvalósul, akkor széndioxid, víz és különböző sók keletkeznek. Az UV oxidáció nagy előnye, hogy roncsolásos melléktermék nem keletkezik, vagyis a szennyezők veszélytelen formában a vízben maradnak meg (ellentétben például az aktív szénszűréssel, sztrippeléssel stb.). (Lásd 28. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



28. ábra, Az UV oxidáción alapuló víztisztítási elvi folyamata (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Vízszintes árnyékolás

Árnyékolás alatt azt érthetjük, hogy megakadályozzuk a szennyeződés vízszintes és függőleges vándorlását. Vízszintes árnyékolást akkor alkalmazhatunk, mikor az olajlencse olaja át nem eresztő réteg felett megáll. Ekkor gél injektálásos talpszigeteléssel akadályozzák a további szennyeződést. (Halász – Földi, 2001)

Függőleges árnyékolás / résfalak

Függőleges árnyékolás során a szennyeződés oldalirányú terjedésének megakadályozása a cél. Ezt résfallal tudják megakadályozni, fontos, hogy a műtárgy talpa olyan mélységig érjen, hogy a talajvízszint ingadozás során se juthasson át a szennyeződés, valamint a szennyezés terjedésének irányára merőlegesen kerüljön kialakításra. (Halász – Földi, 2001)

A résfalak az aktív és passzív falaknál már említésre kerültek, mint azok egyik válfaja. Lényeges, hogy a fal vízzáró anyaggal kitöltött szélessége pedig 60-120cm között változhat és

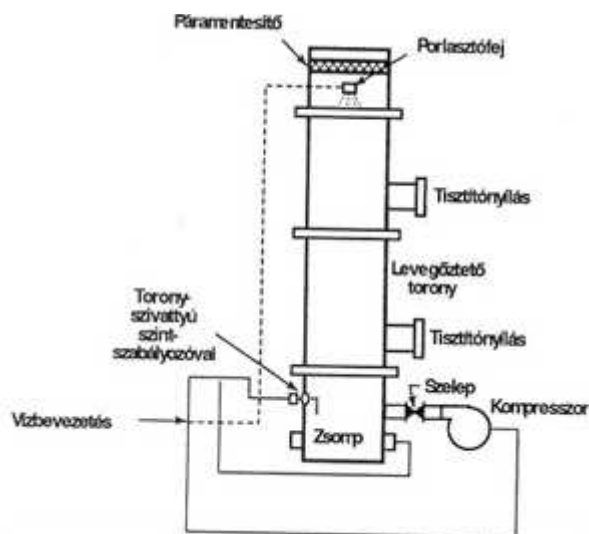
ez a kitöltő anyag a szennyező anyaggal ne lépjen reakcióba, ne alkosson újabb szennyezőanyagot. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Vízben oldott olaj kitermelése

A talajvíz felszínén úszó, vagy oldott állapotban lévő olajok leggyakrabban alkalmazott módszere a szivattyúzás. A szennyezett talajvíz kiszivattyúzása során megkülönböztethetjük, hogy a szivattyú fáziselválasztó rendszerű, vagy külön kell gondolkodnunk szeparáló műtárgyról. A folyamat célja, hogy ezen a rendszeren keresztül történő tisztításnak végeredménye olaj és víz legyen. A fáziselválasztásra különböző rendszerű szűrőket alkalmazhatunk, mint például kemoszorpció (aktívszén szűrő) és bioszorpció (biofilter) eljárást, valamint a leggyakrabban alkalmazott eljárása a sztrippelés, azaz kirázás. Ennek segítségével a vízben oldott illékony szénhidrogéneket sztrippelő tornyokban fázisaira választják szét, a szennyezett levegőt pedig aktívszén szűrő rendszerrel egybekötöttén tisztítják meg. (Halász – Földi, 2001)

Sztrippelés

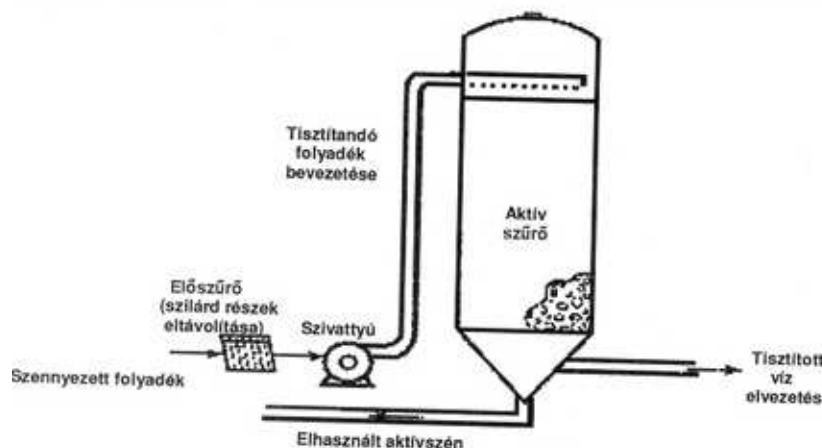
Ez a folyamat úgynevezett sztrippelő tornyokban megy végbe, amely lehet diffúz, tálcás és esőztető levegőztetésű, hiszen az eljárás lényege, hogy a kitermelt talajvízben lévő illékony szennyezőket a levegővel való érintkező felület megnövelésével távolítsák el. A kúton belüli sztrippeléssel ellentétben a tornyok tetején fúvókákon keresztül lép be a víz, majd a gravitáció hatására áthalad a töltőanyagon miközben alulról ventilátorok segítségével, a víz áramlási irányával szemben levegőt áramoltatnak. Végül a szennyező folyadékból gázzá alakul, melyet kezelnek. (Lásd 29. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



29. ábra, Folyadék levegőztetés (air stripping) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Aktívszenes szűrés

Az aktívszén adszorbeáló hatásának kihasználásáról van ez esetben szó. A talajvizet aktívszén szűrőkön szivároztatják át, a szűrő pedig megköt minden szennyezőanyagot. A szűrők egyes szennyezők megsűrűsével regenerálható illetve nem regenerálható. Ez utóbbi esetben például a fémek és robbanóanyagok esetén többet nem használható, míg más szennyezők szűrése után a szűrő tisztítható, bár ez a hatékonyságát minimálisan csökkentheti. (Lásd 30. ábra) (Kármentesítési Kézikönyv 4.)



30. ábra, Folyadékfázis aktívszenes szűrése (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Talajvíz-kitermelés

A legalapvetőbb és legszélesebb körben alkalmazható talajvíz mentesítési technológia, ami a talajvíz kitermelésén és annak szükség szerinti tisztításán alapszik. A kitermelés természetesen kutakon keresztül történik, valamint a szennyezés mozgásának ellenőrzése céljából monitoring kutakkal is kiépül a rendszer. (Kármentesítési Kézikönyv 4.)

Meg kell említeni, hogy az itt kifejtett kármentesítési technológiák mindegyikének alkalmazása bizonyos korlátokhoz kötött, melyeket az adott kármentesítési környezet adottságai fognak meghatározni.

A kármentesítési technológiákat összefoglaló táblázat a Mellékletekben található.

3. Kármentesítés Ócsa példáján

Ócsa településén három katonai vonatkozású terület található, ezek közül az egyik jelenleg is aktív katonai gyakorlótér, másik a Belügyminisztérium nemzetbiztonsági feladatokat ellátó területe, harmadik pedig egy katonai üzemanyagbázis, amelyen jelenleg a terület kármentesítése zajlik, tehát ez utóbbi lesz a vizsgálatom tárgya.

A kármentesítés Európai Unió támogatással valósul meg, folyamata pedig 2012 májusától a tervek szerint 2015. június 30-áig tart. Az „MH Ócsai üzemanyagraktár területén feltárt szénhidrogén szennyezettség kármentesítése” című projektjével 2.249.786.440 Ft vissza nem térítendő támogatást nyert a Magyar Állam tulajdonában és a Honvédelmi Minisztérium vagyonkezelésében álló, jelenleg üzemben kívüli üzemanyagbázis szénhidrogén szennyezettség kármentesítése. (honvedelem.hu, 2014)

A terület szennyezettségének kialakulásának történeti áttekintése során elmondható, hogy már az 1930-as évek óta egészen 1997-ig üzemanyagbázisként funkcionált. Működése alatt kizárólag magyar területként, orosz fennhatóság alatt nem állt. Ez idő alatt keletkezett szennyezés típusa a felmérések alapján benzin és gázolaj eredetűek, valamint fontos megemlíteni, hogy a szennyezettség több mint 80 éve van jelen. (ocsa-karmentesites.hu, 2014)

A kármentesítési beavatkozás célja, hogy a területet a szennyezéstől teljes mértékben mentesítse, megtisztítsa. Eddig a terület szennyezettsége folyamatosan veszélyeztette a talajvíz állapotát, melynek talajvízmozgása során a szomszédos lakossági kutakat és az Ócsai Tájvédelmi Körzet élővilágát is veszélyeztette. A kármentesítés megvalósítása hosszútávon biztosítaná a jövő generációi számára is az elérhető tiszta környezetet és a megőrzött természeti erőforrásokat. (ocsa-karmentesites.hu, 2014)

3.1 Az ócsai vizsgálati terület kármentesítésének folyamatai

A vizsgált terület kármentesítése során több mint 100 ezer m³ szennyezett talaj és 50ezer m³ felszín alatti víz tisztul meg, valamint a tartályokat, csővezetékeket és az építményeket is elbontják, ezáltal a terület teljesen megtisztul. (honvedelem.hu, 2014)

A kármentesítés projektjének megvalósítása négy fő részből tevődik össze, először a terület előkészítési munkálatait kell meghatározni, majd ezt követően a kármentesítés kiviteli munkafolyamatait kell elvégezni, amely megalapozza a harmadik folyamatot, mely az előbb kiépítésre került rendszer üzemeltetésére terjed ki, negyedik pedig a terület helyreállítását valósítja meg, amivel be is fejeződik a mentesítés és a szennyezett területből megtisztított terület válik. Ezt a négy fő projekt megvalósítási kategóriát külön egyesével jellemzem.

Az előkészítési munkálatok a kivitelező adatgyűjtési tevékenységével kezdődik, mely során meghatározásra kerültek a kiviteli terv elkészítéséhez szükséges kiegészítő vizsgálatok köre. A munkálatokat megelőző adatgyűjtés során meghatározták a nyugalmi talajvízszintet és a furatokban megjelenő külön fázisban megtalálható szénhidrogén mennyiségét. Kijelölésre kerültek, a különböző munkafolyamatok helyei, így például a monitoring kutak és az ideiglenes mintavételi furatok helyei, valamint a későbbi vízmintavételi pontok helyei. Továbbá a szádfal kiviteli tervezéséhez szükséges talajmechanikai vizsgálat mintavételi pontjai, a fakivágási és cserjeirtási munkálatok során keletkező faanyag deponálási helye, végül a bontott betontörmelék és a fakivágási munkálatok során kitermelt tuskók deponálási helyét közös területen jelölték ki, valamint a közmű áthelyezési munkafolyamat sorrendje is meghatározásra került. (Kiviteli terv, KEOP-2.4.0/2F/09-2010-0008)

Ezt a kiviteli munkák sorozata követi. Itt kezdődik meg a terület mentesítési technikák alkalmazásához való alapfeltételek megteremtése, vagyis itt még nincsenek mentesítési folyamatok csak az érintett környezeti közegek kitermelése.

Az adatgyűjtés és a területek kijelölése után felmérésre kerültek a talajvíz szennyeződés kiterjedésének határai, valamint elvégezték a munkagödör állékonysága érdekében a talajkitermelést megelőzően kihorgonyozott szádfal kivitelezéséhez szükséges talajmechanikai és geodéziai vizsgálatokat. A munkagödör kialakítása után a szennyezett talaj kitermelése és megfelelő aljszigeteléssel ellátva ideiglenes deponálásra kerül.

Ezzel egy időben a kivitelező kiépítette az ideiglenes és megmaradó talajvíz kutakat, melyekkel már el tudta kezdeni a szénhidrogén folyamatos lefolyását. Közben a szivárgó bordák is kialakításra kerültek ezen a területen, melyek 15,5m széles és 2,5m mély bordázatként alakítottak ki, ezek a szivárgó bordák pedig 23m távolságokra helyezkednek el egymástól. Továbbá elvégezte a terület zöldfelületének letermelését fakivágással,

cserjeirtással annak anyagainak darabolási és aprítási valamint deponálási feladatait. Ez után 61.000 m² területen a lőszermentesítés is befejeződött.

Ehhez a munkafázishoz tartozik még a terület egészére vonatkozó bontási folyamatok, melyek magukba foglalták a terület épületeinek bontását (amelyből 13.140 tonna inert hulladék keletkezett, egy része a területen belül lett hasznosítva, másik része pedig deponálásra került), a tartályok és csővezetékek tisztítása utáni bontását (vasanyaga depóniatérbe került elszállításra), iparvágány elbontását (amely a terület határán kívüli közút szakaszra is kitért, amit újraaszfaltoztak), valamint a kármentesítést akadályozó közmű áthelyezésre került. A terület funkciójából adódóan hangsúlyos a felszíni és felszín alatti tartályok jelenléte, melyből a kármentesítés során 1db 400m³-es, 3db 300m³-es, 1db 200m³-es, 8db 100m³-es, 25db 50m³-es, 1db 20m³-es, 2db 10m³-es tartályok tisztítást követően kerültek elbontásra. A bontási folyamat során a veszélyes inert hulladék folyamatos elszállítása és ártalmatlanítása zajlott.

Megkezdődött a víztisztító technológiai rendszer kiépítése, a mentesítéshez a terület nagy részén a talajt a talajvízszint alatti mélységig ki kellett termelni, vízkitermelést illetve szénhidrogén leválasztást lehetővé tevő árkokat kellett létesíteni, majd azokat kavics-szivárgó testté kellett alakítani. Az ehhez szükséges munkagödöröt az északkeleti és délnyugati telekhatár közelében horgonyzott szádfallal kellett megtámasztani. (Kiviteli terv, KEOP-2.4.0/2F/09-2010-0008)

A következő lépésben az alkalmazott kármentesítés technológiáinak segítségével valósulnak meg, amely a terv leghangsúlyosabb része, Ócsa példáján a **talajban** jelen lévő szénhidrogén szennyezések mentesítésére a mikrobiológiai kezelés és a talajmosatás alkalmazása még jelenleg is tart. Lényeges, hogy a mentesítési technológiákat ex situ, on site módon alkalmazzák. Együttesen van jelen a bioágyas remediációs technológia, mint ex situ biológiai módszer, amely során a talajban lévő mikroorganizmusok szénhidrogén szennyeződés lebontásához kedvező feltételek válnak biztosítottá, mint például a megfelelő oxigén ellátás, amely érdekében forgatják a kitermelt talajt, a tápanyag pótolás, az optimális hőmérséklet biztosítása és a semleges pH érték beállítása. Az oxigén ellátást szántással és markológépes forgatással biztosítják, valamint a tápanyagpótlást műtrágya adagolással, (évente 3 alkalommal) biztosítják, mindezek hozzájárulnak a szénhidrogén bontó baktérium kultúra megfelelő egyedszámúvá szaporodásához. Ennek gyakorlati megvalósulása úgy lett meghatározva, hogy a talajt 2000m³-ként deponálják és az említett eljárásokat ezen egységeken alkalmazzák.

Emellett a talajmosatás, mint ex situ fizikai, kémiai módszer alkalmazása során, víz vagy egyéb oldószerekkel kevert vizes oldat bejuttatásával a szennyezés kioldására kerül sor. A

tisztítás célja, hogy a talajszemcsék felületén adszorbeálódott szennyezőanyagokat eltávolítsák a felületükről. A folyamat során gondoskodni kell a felhasznált elszennyeződött oldat és talajvíz megtisztításáról. Ezt a folyamatot jelenleg is alkalmazzák, hogy fokozzák a talajtisztítás eredményességét, viszont ez a tervben, mint rásegítő technológia jelenik meg, azaz csak abban az esetben kellene alkalmazni, amennyiben a mikrobiológiai eljárás során nem sikerült a baktérium kultúrát megfelelő egyedszámúvá növelni.

A talaj mentesítése során a szennyezetlen talaj szelektíven került kifejtésre, melyet szigetelt depóniában tárolnak.

A **talajvíz** szennyezettségének mentesítését először is azzal kezelték, hogy szádfalat építettek ki a terület északkeleti és délnyugati határánál, mely a szennyeződés talajvíz áramlásának tovább terjedését akadályozza meg. A kitermelést jelenleg *fáziselválasztó* kutakkal végzik, a folyamat szénhidrogének lefölözésével, kiszivattyúzásával nagyrészt megoldottnak tekinthető, mivel a talajvízre gyakorolt szennyezés nem oldott formában jelenik meg, hanem külön fázisként a talajvíz tetején úszva. A fázisszétválasztást követően a víztisztító rendszer következő eleme a *sztrippelő* tornyokban történő folyamat, itt a tisztítandó vizet a vízbepermetező fejen keresztül érkező vékony vízsugarat cseppekre bontja. Ehhez a nyomás a fáziselválasztó szivattyúi biztosítják. A sztrippelés végtermékeként áramló gáz halad tovább a *biofilter*hez a sztrippelő torony elszívó ventilátorának segítségével. Itt porózus anyagokból kialakított nagy felületű rendszert építettek ki, ennél a folyamatnál a növényi hulladékokat is fel tudják használni, ugyanis fizikai adszorpcióval részt vesznek a gázkezelésben. Ezzel párhuzamosan a *lassúszűrés* folyamata során a sztrippelő berendezéstől gravitációs elvezetés biztosítja az ülepedő, szűrhető anyagok eltávolítását. Szigetelt medencéket alakítottak ki, valamint további szűrőkön vezetik keresztül. A medence után kapcsolt *homokszűrés* során zárt nyomás alá helyezett tartályokban a homoktöltet átöblítésével, majd ezt követően *aktívszén szűrőpárna* segítségével végül teljesen megtisztítottá válik a talajvíz. A tisztított víz visszavezetését a tisztavíz tároló tartályból nyeletődrén vezetékek hálózatának segítségével végzik. (Kiviteli terv, KEOP-2.4.0/2F/09-2010-0008)

Végül a már megtisztított terület helyreállítási munkálataival zárul a folyamat, azaz gondoskodni kell a kiépített kármentesítési rendszerek felszámolásáról, mint például a munkagödör, víztisztító berendezések, monitoring kutak felszámolásáról. Legutolsó lépésben a kitermelt talaj visszahelyezésével egybekötött tereprendezést, valamint a terület rehabilitálását, tájba illesztését kell elvégezni. A terv a terület rehabilitációjára, növénytelepítésre gyepesítést ír elő, melyet kizárólag őshonos, lágyszárú növényfajokkal lehet

elvégezni az érintett 95.000m²-en. Ezen folyamatok összességének elvégzésével képes a terület mentesülni a szennyeződésektől. (Kiviteli terv, KEOP-2.4.0/2F/09-2010-0008)

Az ócsai kármentesítés véleményem szerint jó példa volt a folyamatok összetettségének bemutatásához, hiszen láthatóvá vált, hogy a gyakorlatban pontosan hogyan is hangolják össze és építik egymásra egyes technológiákat a teljes megtisztítás érdekében.

A kiviteli terv és a területről készült fényképek a mellékletekben találhatóak, a fotók segítenek elképzelni, milyen nagy léptékű maga a kármentesítés

Eredmények, következtetések

A dolgozatban bemutatott folyamatokat, mentesítési eljárásokat, módszereket nemcsak a felhagyott katonai területeken vagy barnamezős területeken lehet alkalmazni, hanem bármely olyan területen, amelyen szénhidrogén szennyezettség alakult ki. Ezáltal ezeknek a mentesítési technológiáknak az alkalmazási köre igen széles.

A környezetvédelem egyik alapelve, hogy a szennyeződések a szennyezés forrásánál kell megfékezni, minél gyorsabban és hatékonyabban fel kell számolni vagy legalább nagyobb területen való elterjedését meg kell akadályozni. Nem szabad a szennyezés felszámolását az idő múlására hagyni, ugyanis azzal sosem fog megoldódni a probléma. Ha a kármentesítés várat magára, akkor feltételezhető, hogy a mentesítésének kívánt eredményt sokkal nagyobb energia és pénz befektetésével tudjuk elérni.

Továbbá a szennyeződések az idő múlásával elvándorolhatnak, így előfordulhat, hogy a szennyezett területnek vélt terület alatt már egyáltalán nem észlelhető a szennyezés, pontosan annak elvándorlása miatt, valamint az is előfordulhat, hogy a már elvándorlott szennyeződés olyan helyen bukkan fel váratlanul, ahol a szennyeződés jelenlétét előidéző folyamat sosem zajlott. Magyarország esetében az elvándorolt szénhidrogén szennyezések különösen nagy veszélyt jelentenek, hiszen az ország nagy része belvizesedő. Ha pedig a felszín alatt vándorló olajlencsét a talajvíz a felszín fölé emeli, akkor az olajszennyezés tulajdonságai megváltoznak és az addig összefüggő lencsét képző olaj vékony filmréteggé válna el a felszíni víz tetején. Ilyen esetben az olajszennyezés hatalmas felületet el tud szennyezni, valamint a felszíni vizet hermetikusan lezárja, ezáltal a légkörrel való kapcsolata megszűnik. (Az ilyen felszíni vizek szénhidrogén szennyezettségének mentesítési technológiáinak is olyan széles köre van, hogy ezekről külön dolgozatot lehetne írni.)

Tehát elmondható, hogy ezen szennyeződések elvándorlása, meg nem fékezése, kármentesítésének hiánya hatalmas természeti következményekkel járhat, ezért is ajánlott a mielőbbi mentesítés végrehajtása.

Ma már a jogszabályok úgy rendelkeznek, hogy bármilyen területfelhagyás csak úgy történhet meg, hogy előtte a kármentesítést végrehajtják. Ezzel a kötelezéssel megszűnnek a továbbiakban keletkező gazdátlan és egyben szennyezett területek. Ugyanakkor a jogszabályi rendelkezés előtt kialakult gazdátlan és szennyezett területek mentesítésére pedig a jelen gazdasági helyzetben csak Európai Unió forrásból való kármentesítésekre lehet számítani.

A jogszabályi kötelezettség minden szervre vonatkozik, így a Magyar Honvédségnek is ennek megfelelően kell eljárnia, tehát saját forrásból kell a mentesítést megoldania. Viszont ezek között átfedés is kialakulhat, mint például a bemutatott ócsai területen, hiszen honvédségi felhagyandó terület és mégis Európai Unió forrásból valósul meg.

A továbbiakban **javaslom**, hogy az Európai Unióban megjelenő kármentesítéssel kapcsolatos pályázatokkal Magyarországnak továbbra is kiemelten foglalkozzon, hiszen önerőből nem tudjuk megoldani ezek problémáját és a jelenleg mentesítés alatt álló 5 terület kármentesítésének finanszírozása is óriási segítség.

További javaslatom, hogy a területek adottságihoz mérten kell megválasztani a mentesítési technológiákat, mentesítés megvalósítási folyamatait. Ezáltal optimalizálva a mentesítés hatékonyságát.

Összefoglalás

A dolgozatban teljesült a célom és egy átfogó képet tudtam adni a katonai eredetű barnamezős területek szénhidrogén szennyezettségeinek kármentesítéséről, mind elméleti és gyakorlati szinten egyaránt.

Mindennek elméleti részét az országos szintű felmérés, a talaj és talajvíz általános tulajdonságainak kifejtése, ezek szénhidrogén szennyezettséggel való tulajdonságaiknak jellemzése alapozta meg. Továbbá a kőolaj és a kőolajszármazékok lebomlási folyamatainak alapjait foglaltam össze, amelyre a mentesítési technológiák építenek. A mentesítési technológiákat csoportosítva fejtettem ki, in situ és ex situ-ra bontva, ezeken belül is megkülönböztettem biológiai és fizikai/kémiai folyamatokat.

A folyamatok gyakorlati részét az ócsai terület példáján mutattam be, mely jól példázza a technológiák összeférhetőségét és egymásra épülésének lehetőségét. Együttes alkalmazásai lehetővé teszik a teljes mértékű kármentesítést.

Összegeztem a kármentesítés fontosságának alapelvét, hogy a szennyeződést annak forrásánál kell megfékezni és nem szabad az idő múlására bízni. Kifejtettem, hogy Magyarországon miért is jelent különösen nagy veszélyt ezeknek az elhalasztása vagy nem mentesítése.

Ezen veszélyek felismerését követően, a megalkotott jogszabályoknak köszönhetően, a szennyezett területek mentesítésének kötelező jellege segíti ezeknek a problémáknak a megoldását és kezelését.

Az eddig szennyeződéseket elszenvedett területek mentesítésére pedig folytatni kell azt az Európai Uniós tevékenységet, amellyel elősegíthető ezek szennyezettségeiknek felszámolása mind technológiai, mind anyagi forrás tekintetében.

Végül a területek megtisztításának lényege, hogy fenntartsuk az élhető emberi környezet épségét, védjük a környezetet és a természetet az utókor számára.

A jövőre nézve feltételezhető, hogy a jogi szabályozás és az Európai Unió támogatásakor az országban javulni fog a kármentesített területek aránya és ezáltal egyre több szennyezett terület újulhat meg. Az összegyűjtött kármentesítési technológiákat a jövőben nemcsak az általam vizsgált területek szűk körében lehet alkalmazni, hanem az összes barnamezős területi kategóriában, mint például ipar-, gazdasági- és vasútterületeken egyaránt, továbbá bármely olyan területen, amelyen ilyen jellegű szennyeződés van jelen.

Ajánlásom

A dolgozatot ismeretterjesztő céllal írtam és ajánlom mindenkinek, aki érdeklődik a téma iránt vagy akár középiskolás diákoknak és tanáraiknak, biológia és kémia fakultáción. Ajánlom egyetemen a témához kapcsolódó szakú, szakirányú hallgatóknak és a társszakmák tanszékeinek kiegészítő anyagként. Továbbá a Honvédelmi Minisztérium illetékes osztályainak, és minden olyan minisztériumnak, felügyelőségi szervnek, zöldhatóságnak, amelyek ezáltal tájékozódhatnak különösen a katonai eredetű barnamezőkkel kapcsolatban, valamint háttér információként segítheti az ott dolgozókat. Alkalmazhatják a barnamezős területtel érintett települések is, mint lakossági tájékoztatójuk során felhasznált forrást.

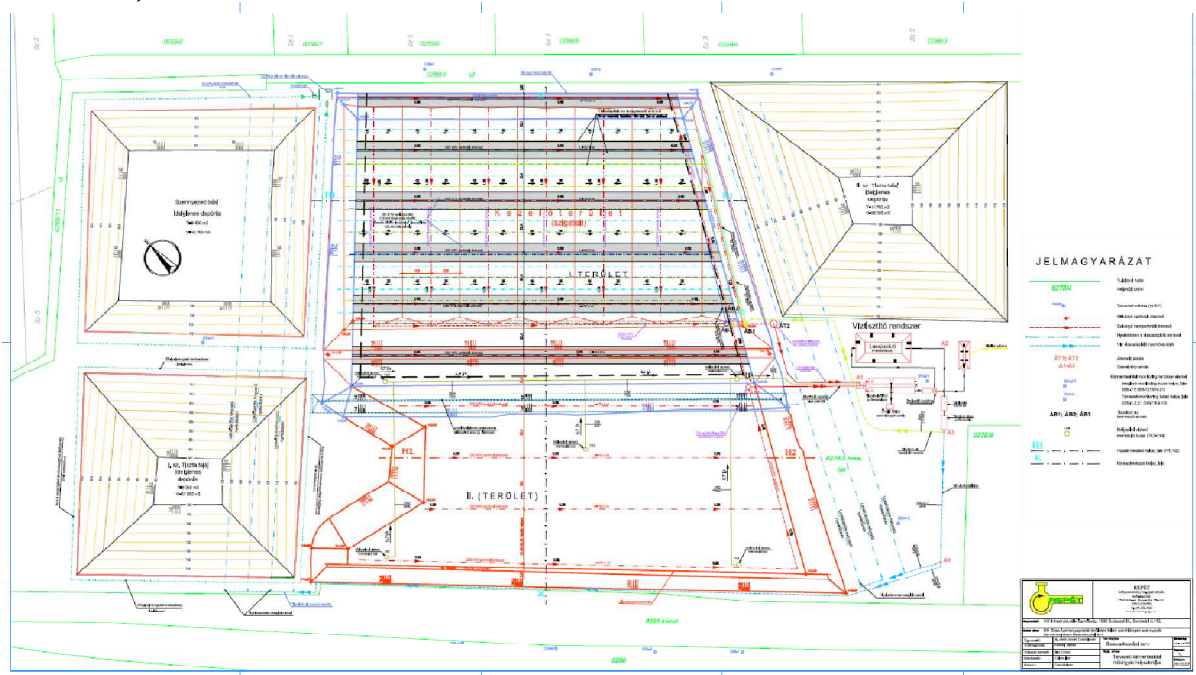
Mellékletek

Összefoglaló táblázatok

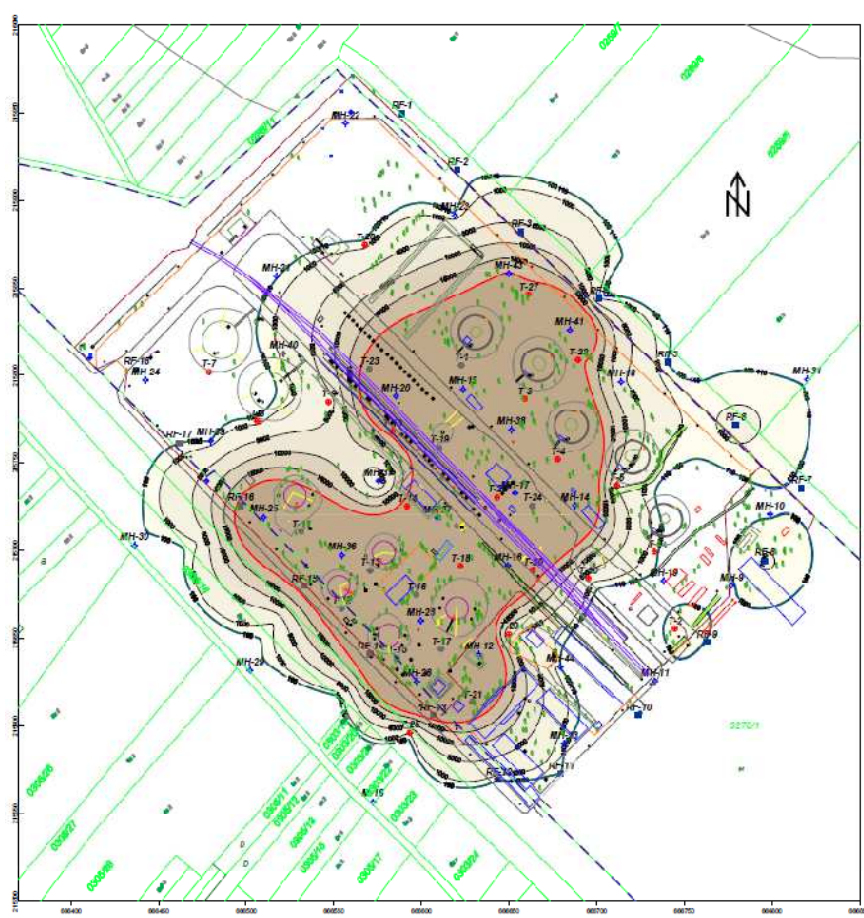
Mentesített közeg	Technológia csoport	Mentesítési technológia
TALAJ	IN SITU, BIOLÓGIAI	Bioventilláció, biológiai levegőztetés
		Intenzifikált bioremediáció
		Biológiai lebontás, bioremediáció
		Land-farming
		Enzimes eljárás
		Fitoremediáció
		Természetes szénhidrogén szennyezés csökkenése a talajban
	IN SITU, FIZIKAI/KÉMIAI	Átlevegőztetés, talajszellőztetés
		Talajlevegő kiszivattyúzás, átlevegőztetés, talajszellőztetés
		Talajmosatás
		Repesztéses fellazítás
		Hőmérséklet növeléssel segített talajpára kitermelés
	EX SITU, BIOLÓGIAI	Bioágyas remediáció
		Komposztálás
		Agrotechnikai talajkezelés
		Iszapfázisú biológiai kezelés
		Gombák általi lebontás
	EX SITU, FIZIKAI/KÉMIAI	Talajmosatás
		Detoxikálás napfénnel
		Szétválasztás
		Kémiai kivonás, extrakció
		Kémiai oxidáció - redukció
		Átlevegőztetés
		Égetés
		Termikus deszorpció
		Pirolízis
	SZIGETELÉS	Felső lezárás
	EGYÉB	Kitermelés, elszállítás és deponálás talajcserével

Mentesített közeg	Technológia csoport	Mentesítési technológia
TALAJVÍZ	IN SITU, BIOLÓGIAI	Identifikált bioremediáció
		Természetes szénhidrogén szennyezés csökkenése a talajvízben
		Ko-metabolikus lebontás
		Fitoremediáció
	IN SITU, FIZIKAI/KÉMIAI	Levegőztetés
		Légbekeverés (air sparging)
		Vákuumos úszó fázis és talajvíz eltávolítás
		Kúton belüli sztrippelés
		Forró vízzel vagy gőzzel történő átmosás/sztrippelés
		Kétfázisú kitermelés
		Irányított ferde fúrások
		Passzív/aktív falak
		Hidraulikus repesztés és fellazítás
	EX SITU, BIOLÓGIAI	Bioreaktor
		Mesterséges vízenyős területek
	EX SITU, FIZIKAI/KÉMIAI	Fázisszétválasztás
		UV oxidáció
		Vízszintes árnyékolás
		Függőleges árnyékolás / résfalak
		Vízben oldott olaj kitermelése
		Sztrippelés
		Aktívszenes szűrés
		Talajvíz-kitermelés

A kiviteli terv és a feltárt szennyezés kiterjedése (Kiviteli terv, KEOP-2.4.0/2F/09-2010-0008)



Kiviteli terv



A területen feltárt szennyezés kiterjedése

Fénykép melléklet (ocsa-karmentesites.hu, 2014)

Kármentesítés megkezdése előtt:



Bontási folyamatok során:





Szennyezett közegek kitermelése és kármentesítésének folyamatai:





Felhasznált irodalom

Barta Györgyi (2004): *A budapesti barnaövezet megújulási esélyei*. MTA Társadalomkutató Központ, VÁTI, Budapest.

Nagy Ágnes et al. (2004/a): *Az OKKP és a „Barnamezős Beruházások” kapcsolati rendszerének kialakítását szolgáló stratégiai terv megalapozása I. ütem*. VÁTI, Budapest.

Nagy Ágnes et al. (2004/b): *Az OKKP és a „Barnamezős Beruházások” kapcsolati rendszerének kialakítását szolgáló stratégiai terv megalapozása II. ütem*. VÁTI, Budapest.

Csima Péter, Gergely Attila, Kiss Gábor, Módosné Bugyi Ildikó (2004): *Természetvédelem – védett területek tervezése (egyetemi jegyzet)*. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest.

Halász László – Földi László (2001): *Környezetvédelem – Környezetbiztonság*. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest.

Kátai János (2011): *Alkalmazott talajtan*. Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem

Szoboszlai Sándor (2003): *Katonai tevékenységek során a talajba és a talajvízbe kerülő szénhidrogén szennyezések kármentesítésének környezetbiztonsági követelményei*. PhD értekezés, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest.

Lauer János (2006): *Szénhidrogénnel, szénhidrogén-származékokkal szennyezett területek havária mentesítése az elsődleges tűzoltó egységek aspektusából*. Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Budapest.

Lauer János - Dr. Halász László - Dr. Vincze Árpád (2006): *Szénhidrogének migrációja, talajokban*. Budapest.

Kiviteli terv: „MH Ócsai üzemanyagraktár területén feltárt szénhidrogén szennyezettség kármentesítése” KEOP-2.4.0/2F/09-2010-0008

Kovács Györgyi: *Szénhidrogén szennyezés kármentesítése*. [pdf] DE AMTC KIK Karcagi Kutatóintézet.

Elérhetőség: https://portal.agr.unideb.hu/media/5_TalajvedSzenhszennyezes_5235.pdf
(Olvasva: 2014.04.07)

Fetter Éva: *Olajszennyezések kárelhárítása*. [pdf] Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, BME.

Elérhetőség: http://www.epito.bme.hu/vcst/oktatas/feltoltesek/BMEEOVK-SQ2/olajszennyezések_karelharitasa_epito.pdf
(Olvasva: 2014.04.07.)

Kiss Balázs: *Kármentesítési technológiák kérdések*. [pdf] BME-UVT Közlekedési környezetvédelem.

Elérhetőség: http://www.epito.bme.hu/uvt/oktatas/feltoltesek/BMEEOUV-SN7/karm_tech.pdf
(Olvasva: 2014.02.06.)

Internetes források:

Kármentesítési Kézikönyv 4.

<http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmkezikk4/4-07.htm>
(Olvasva: 2014. 04.04.)

Országos Környezeti Kármentesítési Program

http://edkvf.kvvm.hu/tartalom/vizved/fsza_okkp.html (Olvasva: 2012. 08./a)

Az Országos Környezeti Kármentesítési Program információs rendszere.

<http://www.ktm.hu/szakmai/karmentes/karinfo/karinfo.htm> (Olvasva: 2012. 08./b)

FAVI Kármentesítési információs alrendszer (FAVI-KÁRINFÓ) adatszolgáltatásai.

<http://www.kvvm.hu/index.php?pid=10&sid=53&hid=1517> (Olvasva: 2012. 08.)

Talajtan (2008): *A talaj szilárd fázisai, a talaj fizikai tulajdonságai*. ELTE.

http://elte.pene.hu/e107_files/downloads/download.php?fname=./3.felev/Talajtan/Talajtan_2008/masodik_harmadik_ea.doc%20a%20talaj%20szil%C3%A1rd%20f%C3%A1zisai%20elte.pene (Olvasva: 2014.04.03.)

Dr. Barótfi István (2002): *Környezettechnika*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

<http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch05.html>
(Olvasva: 2014.04.04.)

IUCN <http://www.iucn.hu/> (Olvasva: 2012. 08.)

F.A.T.E. <http://www.pannonnovum.hu/projektek/fate--from-army-to-entrepreneurship>
(Olvasva: 2012. 08.)

Anaerob <http://hu.wikipedia.org/wiki/Anaerob> (Olvasva: 2014.04.07)

Kármentesítés az Ócsai üzemanyagbázison

<http://www.honvedelem.hu/cikk/32980> (Olvasva: 2014.02.24)

„MH ócsai üzemanyagraktár területén feltárt szénhidrogén szennyezettség kármentesítése”
(KEOP-2.4.0/2F/09-2010-0008)

<http://www.ocska-karmentesites.hu> (Olvasva: 2014.02.24)

Szóbeli adatközlő:

Gyovai-Balogh Rita

(HM Védelemgazdasági Hivatal, Infrastrukturális Igazgatóság, Ingatlanfejlesztési és Környezetvédelmi Osztály, osztályvezető helyettes)