

KÖRNYEZETSZENNYEZÉS ÉS TALAJTISZTÍTÁSI MEGOLDÁSOK A VOLT SZOVJET LAKTANYÁK TERÜLETÉN

ENVIRONMENTAL POLLUTION AND SOIL CLEANING SOLUTIONS ARE IN THE AREA OF THE FORMER SOVIET BARRACKS

KRETZ András

(ORCID: 0000-0002-5096-6298)

kretz.andras@uni-nke.hu

Absztrakt

A volt katonai objektumok és a velük kapcsolatos teendők nemcsak gazdasági kérdést jelentenek, hanem jelentős a környezetvédelmi vonatkozásuk is. Különösen igaz ez a volt szovjet laktanyákra. A szennyező tevékenység közel 30 éve abbamaradt az érintett területeken, ennek ellenére még mindig jelentős területek tekinthetők szennyezettnek, emellett a környezetvédelmi előírások is egyre szigorodnak. Felmerül a kérdés, hogy milyen környezetterhelést jelentenek az ilyen létesítmények, és milyen talajtisztítási eljárások alkalmazhatóak ezekben az esetekben.

A cikk a szovjet laktanyák közvetlen közelében kialakult és feltárt talaj- és talajvíz szennyezések eredetét, a szennyezőanyagok típusát és a szennyezések elhárításának jelenlegi állapotát, módszereit kívánja bemutatni, melynek keretében kitekint a legfontosabb eljárásokra, valamint összeveti ezeket a technológiákat a civil kármentesítési technológiák adta lehetőségekkel.

Kulcsszavak: laktanya, szénhidrogén-szennyezés, kármentesítés

Abstract

The former military establishments and own related issues has got not only economy importance but their environmental relevance is significant. Especially true is this for former soviet army base. Polluting activity has been abolished for nearly 30 years in the affected areas, nonetheless still significant areas are considered contaminated. In addition, environmental regulations are getting tighter. The question arises as to what environmental impact are such polluted facilities and what kind of soil cleaning procedures can be applied in these cases. The article seeks to show the of groundwater and groundwater contamination in the immediate vicinity of soviet barracks, the type of pollutants and the current state of the pollution remediation, its methods. The writing looking out the framework of the study at the most important technologies, and compare these technologies with possibilities of civil remediation technologies.

Keywords: barrack, hydrocarbon pollution, remediation

A kézirat benyújtásának dátuma (Date of the submission): 2017.05.24.

A kézirat elfogadásának dátuma (Date of the acceptance): 2017.06.14.

BEVEZETÉS

Magyarország történelmét – különösen az elmúlt évtizedeket – jelentősen meghatározta a Szovjetunió jelenléte a térségben. Ezek között is kiemelkedő szerepet kapott a szovjet haderő hazánk területén. A szovjet hadsereg több mint 25 évvel ezelőtt, 1991-ben elhagyta az országot, ennek ellenére máig találkozhatunk a tevékenységük, jelenlétük nyomaival, a még álló, illetve a lerombolt épületekkel, valamint a katonai tevékenységek környezetre gyakorolt hatásaival.

A szovjet hadsereg némely tevékenysége esetenként hátrányosan hatott Magyarországon környezeti elemeire – főleg a katonai létesítmények szűk környezetében. Akkoriban környezetvédelmi előírások hiánya, esetleg be nem tartása több helyen a laktanyák, gyakorlóterek környezetének elszennyezését eredményezte, különös tekintettel a talajra és a felszín alatti (elsősorban talaj) vizekre

A talaj az emberi élet biztosításához nélkülözhetetlen, bonyolult, háromfázisú polidiszperz rendszer, amelyben szilárd, cseppfolyós és légnemű anyagok találhatók diszpergált állapotban. A talaj fizikai, kémiai és biológiai folyamatok bonyolult rendszerének állandó helyszíne, emiatt különösen fontos ennek a környezeti elemnek a védelme, szennyeződés esetén megtisztítása. [1] A területek helyreállítása szovjet hadsereg kivonulását követően gyorsan megkezdődött¹, de gazdasági okok, a tulajdonviszonyok rendezetlensége, valamint néhány helyen a véltől nagyobb mértékű szennyezés miatt, a kármentesítés még napjainkban is tart. Felmerül a kérdés, hogy mennyire és milyen anyagokkal károsodott a környezet, mit tudtak tenni a jogutód tulajdonosok, illetve milyen intézkedések történtek az épületek karbantartására, valamint a mentesítésre. További kérdés, hogy a talaj- és vízmentesítésre a civil szféra milyen megoldásokat dolgozott ki, és azok mennyire adaptálhatóak a katonai területen.

Ebben a kutatásban célul tűztem ki, hogy bemutassam a volt katonai objektumokban a tipikusan talajszennyező, környezetkárosító anyagok csoportjait, ezen károkozások okait. Vizsgálom, hogy a különböző szennyeződésekre, milyen eljárásokat lehet alkalmazni, illetve elemzem ezen eljárások előnyeit és hátrányait. Példákon keresztül mutatok rá az egyes eljárások pozitív oldalára, és a jelenleg is rekultiváció alatt lévő területeken alkalmazott módszerekre. Céлом továbbá, hogy az eljárási módszereket összehasonlítva, az irodalmakban fellelhető megoldások elemzésével vizsgáljam a lehető legoptimálisabb technika alkalmazásának lehetőségeit.

A VOLT SZOVJET LAKTANYÁK KÖRNYEZETSZENNYEZÉSE

A történelemben, a honvédelem és a katonai erő tevékenységében a környezet, a természet megóvása egészen a legutóbbi időkig nem játszott kiemelt szerepet. Bár voltak törekvések a civil értékek védelmére, de elsődleges volt a katonai feladatok sikere, és ez napjainkban is alapvető szabály. A katonai szervezetek ma már törekszenek a környezettudatos műveleti tervezésre, illetve szükség esetén az okozott károk mérséklésére, a környezet helyreállítására. Ez a szemléletmód, és a szükséges eljárások az elmúlt néhány évtizedben alakultak ki a tevékenységek természetre és környezetre gyakorolt hatásainak felismerésével, valamint a környezetvédelmi előírások, jogszabályok megjelenésével párhuzamosan. Jelenleg a katonai szervezetek feladatai közé tartozik, hogy – békeidőben mindenképpen – a „civil”

¹ A kivonulók sok helyen maguk végeztek helyreállítási tevékenységet, gyakran magyar vállaltokat is bevonva, más helyeken erre a kivonulás rövid határideje miatt erre nem kerülhetett sor.

környezetvédelmi előírásoknak megfelelően működjenek a katonai létesítmények, a tevékenység minden szegmensében hangsúlyt kapjon a környezetre való negatív hatás csökkentése, de a műveletek tervezésénél is szempont a környezet elemeinek védelme, a szükséges, elégséges szabály betartása.

A múltbeli tevékenységek káros hatásainak felszámolása még mindig tart, az egykori katonai területek néhány helyen kisebb-nagyobb mértékben szennyezettek. Különösen igaz ez a hazai, egykori szovjet laktanyák és katonai létesítmények területére. A szovjet laktanyák Magyarországon a hadsereg kivonulásával az 1990-es évek elején kiürítésre kerültek, majd megkezdődött a terület hasznosítása, a korábbi tevékenységek felszámolása, az okozott károk megszüntetése. Az új tulajdonosi kör szerteágazó lett, hiszen állami, önkormányzati, magántulajdonba egyaránt kerültek területek, ingatlanok. Jellemző a feladat nagyságára, hogy az eredetileg a 1990-es évek közepéig tervezett, majd 2010-ig meghosszabbított kármentesítési projekt még mindig tart. Jelenleg is folynak a kármentesítések, a szennyezett területek megtisztítása az ország egész területén. A nagy kiterjedésű, hosszú ideig tartó szennyezés miatt, várhatóan még évekig folyni fognak a megtisztítási tevékenységek, melyek sebességét a gazdasági helyzet, a rendelkezésre álló források és a technológiák határozzák meg.

A szovjet laktanyák talajszennyezéssel járó tevékenységei, tipikus talajszennyező anyagok a magyarországi laktanyák területén

A szovjet hadsereg a II. világháborút követően először kisebb, majd 1957-től jelentősebb létszámmal állomásozott Magyarországon egészen 1991-ig. A katonák, felszereléseik és fegyvereik elhelyezésére több mint 100 helyőrséget, hozzávetőleg 6000 ingatlannal használtak, szerte az országban (1. ábra). A helyőrségek területén biztosították a katonák lakhatását, az eszközeik, fegyvereik, felszereléseik, a gépjárművek elhelyezését, valamint karbantartását. Ezen kívül a helyőrségek területén és környezetében használtak területeket hadgyakorlatokra, kiképzésekre (pl.: lőterek). [2] [3]



1. ábra: Magyarország területén található fontosabb egysége. Forrás: [3]

A szovjet katonaság több évtizedes állomásozása idején a lakás, az anyagárolás-raktározás, a jármű-karbantartás, az anyagmozgatás-közlekedés, és a katonai tevékenységgel összefüggő kiképzések, gyakorlatok során nem volt elkerülhető a környezetszennyezés és környezetterhelés sem. Ezek formái az alábbiak:

Szennyvíz

A lakhatás a nem megfelelő csatornázás esetén okozhatott talajszennyezést, a kommunális (fürdőszobai, konyhai) szennyvíz talajba szikkasztásával. Ez a hetvenes években az alacsony színvonalú közművesítés miatt, mint a lakosság körében is, a legtöbb laktanyánál tapasztalható volt, mert a hazai általános csatornázottsági állapotok sem voltak kedvezőek (A Központi Statisztikai Hivatal adatai szerint 1990-ben a magyarországi háztartásoknak mindösszesen 44 %-a volt közcsonnára rákötve). Nagyjából 40% rendelkezett házi csatornával, ezek egy része viszont nem-vízzáró vízgyűjtőbe került bevezetésre. [4]

Anyagárolás, raktározás

Az anyagárolás veszélyes és nem veszélyes hulladék keletkezésével, valamint tárolási hiányosságok illetve mozgatás esetén, szennyező anyagok környezetbe jutásával járhatott. Itt minden, a katonai tevékenységhez szükséges anyag, lehetséges szennyezőként jelentkezik: vegyszerek, lőszer, üzemanyagok, kenőanyagok, festékek, lakkok stb. Abban az időben ezeknek a kérdéseknek a megoldása és megnyugtató rendezése országosan sem volt kielégítő [5]

Jellemző megoldás volt, hogy ezeket az anyagokat burkolatlan területen, csapadéktól nem védve tárolták, így a nem vízzáró, vagy sérült tárolóedényekből eső esetén kimosódhatott a szennyezőanyag.

Járműkarbantartás

A járműkarbantartás során az alkalmazott vegyszerek, mosószerek, kenőanyagok felhasználásával, az anyagmozgatás-közlekedés során pedig az üzemanyag elcsöpögésével jelentkezhetett talajszennyezés. Ezek az anyagok jellemzően kőolaj-származékok.

A talajszennyezés mértékét minden esetben befolyásolja a „technológiai fegyelem”, vagyis az, hogy a katonák, ott dolgozók, mennyire figyelnek arra, hogy a szennyező anyagok ne jussanak ki a területre. A tapasztalatok alapján ezt a technológiai fegyelmet az itt állomásozók eltérő módon értelmezték, többször nem megfelelő volt a szovjet használatú laktanyák területein az ellenőrzés sem, hiszen a hazai hatóságoknak nem volt ellenőrzési jogköre. Emellett, a tevékenységek során keletkező veszélyes hulladékok nem megfelelő tárolása miatt is (pl.: szivárgó edények használata; burkolatlan területen való elhelyezés) juthatott káros anyag a talajba. [6] [7]

Szennyezőanyag-típusok

Az előbbieken felsorolt szennyező forrásokból a kijutó szennyezőanyagok más-más kategóriákba tartoztak, és az alábbi nagy csoportokra oszthatók:

- szerves szennyezők: kommunális szennyvízből; lőszerből,
- szénhidrogén-származékok (gázolaj, fűtőolaj, kerozin): gépjármű-karbantartás, közlekedés),
- szervesetlen szennyezők, nehézfém vegyületek: raktározás, gépjármű-karbantartás. [8]

A kommunális szennyvíz elvezetésének és tisztításának hiánya miatt a szerves szennyezők feldúsultak a talajban. Ezek elsősorban foszfát-, illetve nitrát-vegyületek, melyek kedvezőtlen esetben károsíthatják az emberi szervezetet, mert a vízrétegekbe juthatnak, vagy a mezőgazdasági termékekbe. Mivel az országban található, háztartási használatú fűrt kutak jellemzően a talajvíz rétegből veszik ki a vizet, az emberi egészség szempontjából fontos, hogy ezeket a mérgező vegyületeket kivonják a vízből, talajból. A fentiekén kívül még zsírok, olajok kerülhetnek nagyobb mennyiségben a szennyvízzel a talajba (konyhai szennyvíz), továbbá különböző (patogén) baktériumok.

A kommunális szennyvízen kívül még olyan szerves szennyezők juthatnak a talajba, mint a robbanószerek (pl.: nitroglicerin) stb., amelyek a nem megfelelő tárolása, szállítása vagy a felhasználás során juthattak a talajba. Emellett a védelmi szempontból a talajba elásott aknák szennyező vagy működtetésük esetén károsító hatásával is számolni lehet.

A szénhidrogén származékok tekinthetők a legnagyobb szennyezőknek a laktanyák területén. Ennek oka, hogy ezek a vegyületek széles körűen, nagy mennyiségben kerültek felhasználásra, a tárolásukra viszont nem voltak szigorú előírások, emiatt nem mindenütt fordítottak rá kellő figyelmet. Ennek köszönhetően gyakoriak voltak az elcsöpögések, a csővezetékek elrepedése, a túlzott használatból adódó terhelés, a csapadék általi lemosódás vagy éppen az üzemanyag-töltés során való kijutás. A karbantartás-lemosás során a berendezésekről (töltőállomás), tárolóeszközökből (hordók), járművekről (pl.: csapatszallító autó) az olajos szennyeződések lemosásra kerültek, és mivel ezt gyakran burkolatlan területen végezték, így az olajos víz elszivárgott a talajba.

A szénhidrogén-maradványok kémiai szempontból nagyon sokfélék lehetnek. Kerülhetett a talajba egyszerű, alifás, valamint telítetlen szénhidrogén (pl.: benzinből); aromás vegyületek (pl.: toluol festékek oldószereiből, valamint lőszerből); valamint halogénezett

szénhidrogének (pl.: poliklórozott bifenilek /PCB/ régi transzformátorokból, elektromos berendezésekből).

A szennyezőanyagok harmadik nagy csoportját a szerves szennyezők alkotják. Ide sorolhatók a nehézfémek vegyületei (réz, ólom, kadmium, króm, arzén, higany), illetve a cianidok. Ezek a gépjárművek karbantartása, mosása, valamint a lőszer, katonai felszerelések tárolása, szállítása során kerülhettek a talajba. [7] [8]

ALKALMAZOTT TALAJ- ÉS TALAJVÍZTISZTÍTÁSI MEGOLDÁSOK

A civil szférában is jelentős a szennyezés, ezért a ott már viszonylag korán kialakultak a talaj- és talajvíz-tisztítási eljárások, amelyek sokfélék lehetnek. Ezek tapasztalatai a világban mindenütt jól hasznosíthatóak a katonai területeken is. A tisztítási technológia kiválasztásánál minden esetben figyelembe kell venni a körülményeket és az adott terület lehetőségeit, valamint, hogy a választott módszer költsége arányos legyen az eredménnyel. Ennek érdekében, előzetesen pontosan fel kell tární a szennyezést: meg kell határozni a mennyiségét, a minőségét (kémiai összetételét, halmazállapotát), az elhelyezkedését a talajban, a horizontális és vertikális kiterjedését stb.. Továbbá fel kell mérni a környezeti adottságokat: a talaj összetételét, a felszín alatti vízviszonyokat (mennyiség, áramlás, összetétel, vízszintek) stb.. Meg kell ismerni a klimatikus viszonyokat (pl.: éves csapadékmennyiséget és annak eloszlását stb.), az élővilágot, a talaj mikrobiális összetételét, valamint az időtényezőket.. Ezen adatok ismeretében lehet a technológiákat meghatározni, melyek közül utána a költségek, a tisztítás ideje és a hatékonyság alapján lehet választani. [2]

Ezeket az eljárásokat vizsgálva megállapítható, hogy kezdetben az azonnali kárelhárítás volt a cél (mobil szennyezőanyagok eltávolítása), napjainkban már a teljes szennyezés-felszámolás az elvárás, melynek részleteit a felszín alatti vizek védelméről szóló, 219/2004. (VII. 21.) KvVM rendelet tartalmazza. Ennek előírásai alapján akár már korábban mentesített területeken is zajlanak újra beavatkozások. Ennek köszönhetően a kiválasztott technológiák is változtak, a nagyobb hatékonyságú, gyors műveletek helyett ma olyan technológiákat kell alkalmazni, melyeknek a segítségével az alacsonyabb koncentrációjú – de sokszor nagy kiterjedésű, nagyobb mélységben található – szennyezéseket lehet eltávolítani a talajból és a talajvízből. [9]

Az eltérő technológiák másik oka, hogy a szovjet katonák kivonulását követően a legtöbb esetben megszűnt a szennyező technológia, nincs utánpótlás. A szennyezés a talajban van, az ott élő mikroorganizmus-kultúra elkezdte lebontani (spontán biodegradáció). Ennek köszönhetően aktív kármentesítésre olyan szennyező-anyagok esetében van csak szükség, melyeket nem tudott feldolgozni az adott baktérium-kultúra.

A ma alkalmazott tisztítási megoldások alapkoncepciójukat tekintve megegyeznek a korábbi technológiákkal, azok továbbfejlesztett, specializált változatai, melyek megfelelnek a legújabb környezetvédelmi hazai és uniós előírásoknak. A tisztítási technológiák részletesebb bemutatása előtt a legfontosabb, a kármentesítéshez kapcsolódó fogalmakat kell rögzíteni. Két nagy csoportot lehet elkülöníteni a kivitelezés szempontjából: „in situ” illetve „ex situ” megoldásokat. Mindkét esetben lehet fizikai, kémiai, termikus illetve biológiai módszereket választani.

In situ egy technológia, ha a szennyezett talajt/víztestet az eredeti közegében tisztítják meg, nem termelik onnét ki, hanem a közegbe juttatják be a tisztító szert, mely eltávolítja a szennyező anyagot. Minimalizálható a terület változtatása, ami lehetővé teszi, hogy a területen a természet gyorsan megtegye a hatását, és segítse a folyamatot.

Ex situ technológia esetén két további alcsoportot szoktak elkülöníteni. „On site” technológia esetén a szennyezett közeg kitermelésre kerül, de a területről nem szállítják el: a talajt, hanem az ingatlan egy másik pontján deponálják és tisztítják, a talajvizet pedig kiszivattyúzzák, majd a tisztítást követően visszaszikkasztják a területen. A módszer hátránya,

hogy így az egész tisztítási technológiát kell a helyszínen felépíteni, amely befolyásolja a költségeket.

Ritkábban alkalmazott megoldás az „off site” technológia, ekkor a kitermelt, szennyezett közeget elszállítják kezelésre a területről. Olyan esetekben alkalmazzák, amikor a kezelés a helyszínen nem megvalósítható – például égetés esetén, amelyet csak hulladékkezelési engedéllyel rendelkező veszélyes hulladék égetőben lehet elvégezni. A talajt itt vissza kell pótolni. [10]

Nehézfém-szennyezések típusai, kármentesítési technológiái

Az előző fejezetben felsorolt nehézfémek általában ionos formában, só vegyületként található meg a talajban. Ezeknek az elemeknek egy része kis mennyiségben szükségesek, nélkülözhetetlenek az élőlények számára, nagy koncentrációban viszont toxikusak. Például a cink ionos formában (Zn^{2+}) jellemzően 25-150 mg/kg koncentrációban fordul elő a növényekben, 400 mg/kg feletti koncentrációban viszont már mérgezővé válik.

A nehézfémek talajban maradása, megkötődése, felszívódása vagy éppen a talajvízzel való mozgása erősen függ a környezeti állapottól: a talaj pH-jától, összetételétől, a víz mennyiségétől, a környező elemektől stb.. Ezeknek a paramétereknek a függvényében, különböző kémiai állapotba (oxidációs formába) kerülnek ezek az elemek, melyek befolyásolják a reakciókészségüket is. Emellett a fizikai tulajdonságok is megváltoznak. Ezek közül a talajtisztítás szempontjából a legfontosabb a vízdoldhatóság. A kármentesítési folyamatok során ezeket az átalakulásokat, reakciókat lehet kihasználni a szennyezett közeg megtisztítása érdekében. [11]

A fémszennyezések eltávolítására a civil szférában ex situ és in situ, fizikai-kémiai tisztítási módszereket alkalmaznak, különösen nagy koncentrációk esetén, kisebb koncentráció vagy kis kiterjedésű szennyezés esetén a bioremediáció is alkalmazható.

A fizikai-kémiai módszerek közül a talajmosást, illetve a talajinjektálást (a szennyezés immobilizációját) alkalmazzák rendszeresen. A talajmosás alkalmazása során kitermelik a talajt, így jobban átkeverhető, kevesebb vegyszer alkalmazásával lehet eltávolítani a szennyezőanyagot. Nehézfémek esetén a pH-függő reakcióképességük miatt savas vagy lúgos kémhatású tisztítószeret alkalmaznak. Annak érdekében, hogy a talaj az eredeti funkcióját megőrizze, jellemzően szerves savakat (ecetsav, hangyasav) alkalmaznak, ezek ugyanis a humuszréteget, a talaj élővilágát, mikroba-összetételét kevésbé károsítják. A tisztítási folyamat végén a mosófolyadékba kerül a szennyező anyag a talajból, amit szintén tisztítani szükséges. Erre megoldásként ioncserét, vagy ritkábban elektrokémiai eljárásokat alkalmaznak. [9] [2]

Az 1990-es években végzett felmérések során Komáromban 280 m^3 (ólom), Győrben 870 m^3 , Lovasberényben azonban 490.000 m^3 fémmel (kadmium) szennyezett talajt azonosítottak. Ez utóbbi területen a nagy szennyezésre való tekintettel talajinjektálást végeztek: a kadmium-ionok megkötésére 4 furaton keresztül mész-szuszpenziót adagoltak a talajba. Ezzel a talaj pH-ját lúgos irányba eltolták, ami csökkentette a kadmium-ionok mobilitását (a pH növekedésével a kadmium-ionok adszorpciója növekszik). Ezzel a megoldással immobilizálni tudták a szennyezést. [2]

Kisebbs koncentráció esetén alkalmazott megoldás a bioremediáció egyik formája, a fitoremediáció. Ennek során olyan, kiválasztott növényfajokat telepítenek a szennyezett talajba, melyek a fémeket nagy mennyiségben fel tudják venni, ezáltal a szennyezést akkumulálják. A nagyobb hatásfok érdekében a növények termesztését öntözéssel, műtrágyával elősegítik. Jellemzően évelő vagy kétéves növényeket alkalmaznak a célra. A különböző fémszennyezéseket eltérő növényfajok tudják felvenni. A nagyobb hatékonyságú tisztítás érdekében a kutatók újabb és újabb növényfajokat próbálnak ki. A megoldás hátránya, hogy a fémszennyezés a fitoremediációt követően a növényekben benne marad, így

azokat a növényeket élelmezési célra egyáltalán nem, ipari célra pedig csak korlátozottan lehet hasznosítani. Leggyakrabban energetikailag hasznosítják – elégetik – így viszont a keletkezett hamut veszélyes hulladékként kell kezelni. [11]

A szénhidrogén-szennyezők legfontosabb eltávolítási módszerei

A szovjet katonai kivonulást követő környezetvédelmi állapotfelmérés megtörtént, az adatok részben elérhetőek. Ezek alapján megállapítható, hogy a legnagyobb és legtöbb helyen a környezetszennyezést a kőolaj származékokból visszamaradt szénhidrogének okozták. A telephelyek közül kivétel nélkül mindegyiknél jelentősebb mértékű kőolaj-szennyezés volt kimutatható a talajban illetve a talajvízben. Emiatt a rekultiváció során a szénhidrogén-eltávolítási megoldásokra érdemes fókuszálni.

A szénhidrogén-szennyezéseket változatos módon lehet és kell a földtani közegből eltávolítani, aminek oka ezeknek az anyagoknak a sokfélesége, és azok a jó tulajdonságaik, amelyek miatt különböző a technológiákban, feladatokban (kenés, szigetelés, meghajtás stb.) alkalmazták. A kármentesítési eljárásokban alkalmazott módszerek alapján a szénhidrogéneket a következőképpen lehet csoportosítani: illékony; folyékony, vízdoldékony, vízben nem oldódóak. Emellett megkülönböztethetünk biológiailag lebomló illetve nem lebomló szénhidrogéneket. Az 5-10 szénatom számú szénhidrogének illékonyak, ezek jellemzően a benzinekből találhatók meg. A vízdoldhatóságuk függ a polaritástól, valamint a szénhidrogén méretétől: az alacsonyabb szénatom számú, valamint az aromás szénhidrogének jobban oldódnak vízben. A biológiai lebonthatóság szintén változó: a 10-18 szénatomszám közötti, egyenes, telített szénhidrogéneket képesek a mikroorganizmusok a legjobban degradálni, felhasználni. Az aromás, valamint az elágazó szénhidrogének degradálhatósága alacsonyabb. 30 feletti szénatomszám esetén egyáltalán nem várható a biológiai lebontás. [10] [2]

A kémiai, biológiai sokféleség miatt a tisztítási technológiák is változatosak, alkalmaznak a területen in situ és ex situ, illetve fizikai, kémiai és biológiai megoldásokat is, valamint ezek keverékét. Ugyanezen tulajdonságok miatt ezek a tisztítási módok alkalmasak a kommunális szennyvíz szennyezőanyagainak eltávolítására is.

A legújabb, leginkább környezetkímélőnek tekintett megoldások az in situ, talajoltásos módszerek. Ennek során irányított, kontrollált biodegradáció történik. Ezt a megoldást alkalmazzák/alkalmazták például a tököli reptér kármentesítésénél. Ehhez előzetesen (a tényfeltárási szakaszban) pontosan felmérik a talajban található szennyezések összetételét, spektrumát. Ennek ismeretében meg lehet határozni azt a mikroorganizmus összetételt, melyet a talajba bejuttatva lefolytatható a lebontási folyamat. A hatékonyság növelése érdekében a baktériumok számára lehetőség szerint optimális körülményeket biztosítanak a talajban a hőmérséklet, nedvesség-tartalom fokozásával, valamint kiegészítő tápanyagok bejuttatásával. A talajoltás során az előre összeállított, 10^6 - 10^{10} élő sejt/ml tartalmú oltóanyagot injektálnak a szennyezett területre, mely a talajvíz áramlása segítségével a szennyezett terület egészére eljutva tudja kifejteni tisztító hatását. A biodegradációs eljárás során a mikroorganizmusok felhasználják a szennyező anyagokat tápanyagként, energiaforrásként. Emellett pedig a keletkező anyagcsere-termék a környezetet kisebb mértékben károsítja, mint a kiindulási anyag. A módszer olyan esetekben jól használható, amikor a talajvíz területről való kijutását a beavatkozás előtt megakadályozták – pl.: résfallal vagy depresszió biztosításával. Ellenkező esetben a víz áramlása kimossa a tisztítandó területről a baktérium-kultúrát. A módszer hátránya, hogy a jó lebontási képességekkel rendelkező baktériumok illetve gombák egy része patogén (pl.: *Pseudomonas aeruginosa*), így az emberi egészségre is kockázatokat hordoz. Emiatt különösen fontos a talajvíz-kijutás megakadályozása, valamint a beavatkozás befejezését követően a baktérium-kultúra megfelelő eltávolítása. A kockázat miatt

folyamatosan kutatják a lehetőségeket, hogy olyan baktériumtörzseket találjanak, melyek kevésbé ártalmasak az emberi egészségre, ugyanilyen talajtisztítási hatékonyság mellett. [7]

Illékony szennyezőanyagok esetén alkalmazott in situ megoldás a talajlevegőztetés, amelyet például a szombathelyi laktanya környékének megtisztításakor alkalmaztak. Ebben az esetben furatokat mélyítenek a talajba, melyek egy részén meleg levegőt vezetnek be a szennyezett közegbe, a többi furaton keresztül pedig kiszívják. A módszer alkalmas a talajvíz feletti talajlevegős zóna megtisztítására is. A kiszívott szennyezett levegőt adszorpciós közegen (általában aktív szénen) vezetik át, ezzel megtisztítva azt. Ebben az esetben a levegő a hordozó közeg. A technológia alkalmazása tűzvédelmi szempontból kockázatos, a túl nagy koncentrációban kijutó gáz halmazállapotú szénhidrogén könnyen berobbanhat, emiatt a kutakból kiáramló levegő gáz-koncentrációját folyamatosan mérni kell, továbbá a kutak környékén robbanás biztos berendezéseket kell alkalmazni. [2]

Az egyik legelterjedtebben alkalmazott megoldás a talaj kitermelése nélküli, ám a talajvíz kiemelésével történő tisztítás. Ebben az esetben a szennyezett területen, a talajvíz viszonyok feltárását követően (vízszint, vízmennyiség, áramlási viszonyok) termelő-kutakat hoznak létre. A kutakba helyezett szivattyú segítségével kiemelik a vizet a talajból, és rávezetik a tisztító berendezésre, melyet a helyszínen alakítanak ki. A tisztítórendszeren átáramoltatott tiszta vizet ezt követően visszajuttatják a talajba szikkasztórendszer segítségével. A víz a szennyezett talajon át visszaszivárog a mélyebb rétegekbe, kimosva további szennyezőanyagokat a talajból. Ezzel folyamatos anyagáramlás biztosítható a teljes szennyezett területen. A kitermeléssel továbbá szivott rendszer alakul ki, aminek köszönhetően a szennyezőanyag nem tud kijutni, elvándorolni a területről. Éppen ellenkezőleg, a távolabbi területekről is a kút felé áramlik a talajvíz és így a szennyező anyag is. A módszer sarkalatos pontja a megfelelő méretezés, a kutak vízhozama, valamint a tisztító rendszerben a tartózkodási idő befolyásolja, hogy mekkora berendezést kell telepíteni, emiatt sokszor létesítenek puffertartályokat.

A tisztítóberendezés jellemzően fizikai tulajdonságok alapján tisztítja meg a vizet: az eltérő sűrűség révén leválasztja a felúszó szénhidrogént, ami egy külön tartályba kerül. A tisztítórendszerből alul elfolyó víz ezt követően egy szűrő-rendszeren halad keresztül, amely megköti az oldott szénhidrogéneket. A szűrőanyag, szénhidrogének esetén aktív szén (ritkábban zeolit). Frissebb szennyezések esetén gyakran beépítenek egy levegőszűrőt is, mely a vízzel kiáramló illékony szennyezőanyagokat választja le. Ezt a megoldást gyakran alkalmazzák önállóan, vagy más módszerekkel kiegészítve, erősen szennyezett területeken – például üzemanyag-raktározás területén (Sármellék). A módszer előnye, hogy egyszerűen kezelni lehet a nagy mennyiségű, ezáltal szabad fázisban megjelenő szénhidrogént is, a szabad fázis megjelenik a termelő-kutakban, ahol le lehet azt fölözni. [2]

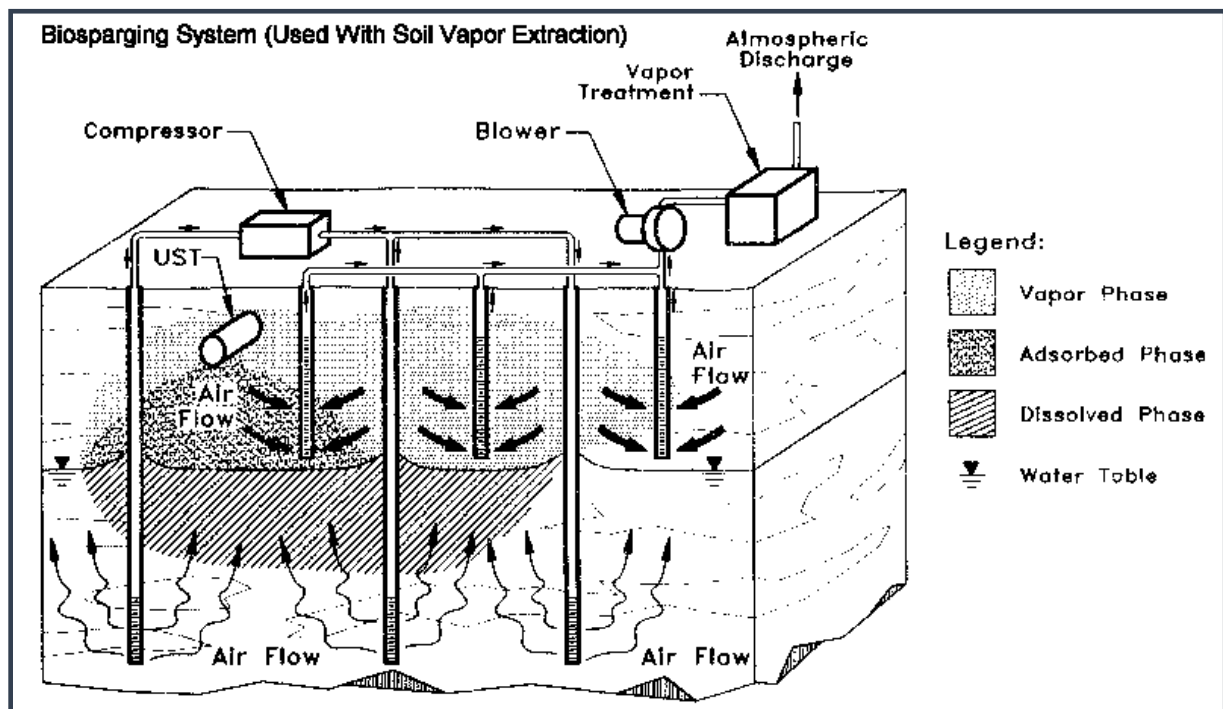
Amennyiben nem fizikai tulajdonságokon alapszik a talajvíz megtisztítása, abban az esetben talajmosásról (talajextrakció) beszélhetünk. Ebben az esetben a talajvízbe előzetesen bejuttatnak mosófolyadékokat, jellemzően oxidálószerket (pl.: permanganátot). A vegyszer reakcióba lép a talajban feldúsult hidrofób vegyületekkel, kimossa azokat. Az így keletkezett vegyszeres-szénhidrogénes-vizes keveréket termelik ki a termelőkutakon, majd kioldják belőle a vegyszert és a szénhidrogént. Ex situ megoldások között a talajoltás, illetve a talajmosási módszerekkel lehet a gyakorlatban találkozni.

A talajoltásos tisztítást ex situ körülmények között hatékonyabban lehet elvégezni, viszont az egyszerre kezelhető talaj mennyisége kisebb. Alkalmazása esetén könnyebb megakadályozni a szennyezés tovaterjedését, valamint jobban vizsgálható a szennyezett közeg. Optimalizálható a működés, jobban biztosíthatók a lebontáshoz szükséges feltételek (pl.: mesterséges átkeverés a homogenizálás, levegőztetés érdekében; öntözés). Ex situ talajoltásos talajkezelést alkalmaztak a győri, illetve a komáromi laktanyák esetében. A győri szennyezett területen prizmákba kitérítették a szennyezett földet, majd aerob közegben

beoltották baktérium-kultúrával. Ez a módszer megfeleltethető a „hagyományos” komposztálás folyamatának.

A fentieknél egyszerűbb – és költséghatékonyabb módszer alkalmaztak az esztergomi területek mentesítésénél, több mint 5000 m³ szennyezett talaj megtisztításánál. A talajt kitermelés után bioágyakba helyezték. Sejtkultúrát nem adtak hozzá, de biztosították a már a talajban élő mikroorganizmusok számára az optimális viszonyokat keveréssel, nedvesítéssel, műtrágyával, vagyis támogatott biodegradációt hajtottak végre. [7] [2]

A legtöbb esetben komplex megoldásokat alkalmaznak, vagyis a fentebb bemutatott megoldások közül többet építenek ki, melyek egymást követően, vagy egymással párhuzamosan végzik el a tisztítást. Jó példa erre a 2012-ben megkezdett szolnoki laktanya kármentesítése, ahol ún. biosparging technológiával végezték el a tisztítást. Itt a talajlevegőztetés és a talajoltásos technológiát alkalmazták együttesen: levegőt, baktérium-kultúrát és tápanyagokat juttattak a talajba a szennyezés rétfalás lehatárolását követően.



2. ábra: Biosparging Systemr. Forrás: [13]

A 2. ábrán látható, hogy a területre különböző helyeken furatokat (lándzsák) mélyítenek, melyeken keresztül be lehet juttatni az anyagokat. Az áramlás és a szennyezett levegő kijutása érdekében a lándzsák másik fele szívott. Ezen az oldalon a kiáramló levegő egy szűrőn keresztül távozik a rendszerből. Szolnokon 1200 ilyen lándzsát telepítettek a terület megtisztítása érdekében. [14]

MEGVALÓSULT REHABILITÁCIÓS LAKTANYAI PROJEKTEK

A budapesti, XVI. kerületi Mátyásföld-Erzsébetligeti korábbi szovjet laktanyából kulturális és rekreációs központot alakítottak ki. A terület rehabilitációja során megújult a színház, a teniszpálya, új uszoda épült, öltözővel, lelátóval.

Marcaliban a városközpontban elterülő volt katonai terület zöldfelületi fejlesztése és egy kulturális centrum kiépítése valósult meg.

Nyíregyházán a Báthory és Vay laktanyák hasznosítása az esélyegyenlőséget növelő oktatási intézmények korszerű működési feltételeinek megteremtése érdekében történt. A

Báthory laktanyában fogyatékosok rehabilitációs központja, a Vay laktanyában kollégium és iskola kialakítása volt a cél. A beruházások egy része azonban forráshiány miatt elmaradt, köztük a környezeti kármentesítés is.

Orosházán a város számára átadott laktanya felújítása és funkcióváltása keretében szállodát, konferenciaközpontot, oktatókonyhát, területi helyreállítást, oktatási centrumot és ehhez kapcsolódó rekreációs terület kialakítását, klubhelyiségek, sportpályák és közösségi területeket hoztak létre.

KÖVETKEZTETÉSEK

A szovjet laktanyák több évtizedes használata több helyen környezetszennyezést eredményezett az ország területén. Esetenként a talaj és a vízkészlet, néhol az épített környezet, mint utak, hidak, épületek, más helyen a természeti környezet, ökoszisztéma volt érintett. Az elvonuló csapatok az idő szűkössége, az akkori technológiák hiányosságai miatt nem tudták mindenhol visszaállítani az optimális állapotot. A károk mértéke eltérő, és eltérő a rehabilitációs eljárások formája is. Főként a szénhidrogénekkal szennyeződött a talaj. A sok helyen előforduló, nagy koncentrációjú szennyezés felszámolása jelenleg is tart, amiben szerepe van az egyre szigorodó környezetvédelmi előírásoknak, és a társadalmi elvárásoknak is. A talaj és a vízszennyezés következményeinek orvoslására az elmúlt időszakban több próbálkozás történt, de a tulajdonviszonyok eltérősége, a tulajdonosok pénzügyi lehetőségeinek csökkenése, valamint az adott terület prioritásainak más iránya miatt, a folyamat még sokáig tartani fog. A szennyezők sokfélesége (nehézfémek, szénhidrogének), valamint a szennyezett közeg eltérő adottsága miatt a tisztítás nem tud egységes séma szerint megvalósulni. A megfelelő hatékonysághoz ki kell választani a különböző technológiák közül a legmegfelelőbbet. Ezeknél fő szempont a hatékonyság, de nem hagyható figyelmen kívül a költségtakarékosság sem. A fent bemutatott eljárások elmezésével rámutattam azok előnyeire, hátrányaira, valamint arra, hogy sok esetben ezek kevert alkalmazására van szükség.

A laktanyák a működésük során olyan szennyezéseket idéztek elő, melyekre van példa a nem katonai életben is, így lehetőség van arra, hogy a terület megtisztításához már ismert „civil” technológiákat alkalmazzanak. Alapvetően megállapítható, hogy a kármentesítés folyamán törekednek a talaj minőségének megőrzésére. Leggyakrabban fizikai tisztítási módszereket választanak a szennyezett talaj megtisztítására, de a biokémiai ismeretek fejlődése miatt előtérbe kerültek a biológiai tisztítási módszerek, illetve a költséghatékonyság érdekében az ismert módszereket együttesen, egymást segítve is alkalmazzák.

A fentiekben ismertettem a talajrehabilitációs módszerek előnyeit és hátrányait, továbbá néhány konkrét példát a megvalósításra a fővárosban és vidéken egyaránt. Megállapítható, hogy mivel a biológiai, bioremediációs módszerek folyamatosan fejlődnek, egyre inkább alkalmasak arra, hogy az adott szennyezőanyag-keverékhez illesszék a felhasznált mikroorganizmusokat. Technológiai fejlődés is ebben az irányban várható, így a civil szférában folyó hazai és külföldi kutatások, fejlesztések jó alapot teremtenek a hagyományos és új technológiák ötvözésére. A jövőben a katonai tevékenység és az objektumok fenntartása, üzemeltetése kapcsán is célszerű a civil eljárások folyamatos monitorozása, valamint azok adaptálhatóságának elemzése.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FÖLDI L., HALÁSZ L.: *Környezetbiztonság*, Complex Kiadó, 2009.
- [2] ENDRÉDY I.: *A szovjet csapatok kivonása Magyarországról és a környezeti károk felszámolásának története*, Palásthy Kiadó, 2013.

- [3] SZ. BÍRÓ Z.: *A szovjet csapatok kivonulása Magyarországról*; História 05-06. (2009) 1-9. o.
- [4] KÖZPONTI STATISZTIKAI HIVATAL hivatalos honlapja, URL: http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_zrk002.html (letöltés dátuma: 2017. 02. 15.)
- [5] HORNYACSEK J., LÁSZLÓ E.: *A hulladéklerakás környezetterhelő hatásai és az ellene való védekezés lehetőségei a településeken és a védelmi szférában*; Bolyai Szemle XXIV. 2. (2015) 155-174. o.
- [6] LÉNÁRT S.: *A haditechnika üzemeltetésében, üzemfenntartásában alkalmazott kőolajszármazékok és egyéb anyagok környezetvédelmi problémái*; Katonai logisztika VII. 2. (1999) 92-111.o.
- [7] SZOBOSZLAY S.: *Katonai tevékenységek során a talajba és a talajvízbe kerülő szénhidrogén szennyezések kármentesítésének környezetbiztonsági követelményei*; – PhD doktori értekezés; ZMNE Budapest 2003
- [8] VITUKI KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS VÍZGAZDÁLKODÁSI KUTATÓ INTÉZET: *Országos Környezeti Kármentesítési Program – Alprogramok, tájékoztató összefoglalás az 1997. és 2004. között végrehajtott feladatokról 2005*, URL: <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/alprogram/alprogramok.pdf> (letöltés dátuma: 2017. 01. 05.)
- [9] KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS VÍZÜGYI MINISZTERIUM: *Kármentesítési Kézikönyv 4*, URL: <http://www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmkezikk4/4-00.htm> (letöltés dátuma: 2016. 12. 06.)
- [10] HORVÁTH E.: *Talaj- és talajvízvédelem, Digitális Tankönyvtár, 2011*. URL: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0021_Talajvizvedelem/index.html (letöltés dátuma: 2017.01.15.)
- [11] SIMON L.: *Toxikus elemek akkumulációja, fitoindikációja és fitoremediációja a talaj-növény rendszerben*, PhD doktori értekezés; Nyíregyházi Főiskola 2006
- [12] SZABÓ Zs.: *A kecskeméti repülőbázis talaj- és vízszennyezésének kármentesítése, a megelőzés új biztonságtechnikai megoldásai*; Hadmérnök V. 2. (2010) 219-228.o.
- [13] NEW MEXICO ENRINMENT DEPARTMENT, URL: <https://www.env.nm.gov/ust/remed-7.html> (letöltés dátuma: 2017.03.12.)
- [14] DESICS J.: *Szolnok, Kilián György úti laktanya MH 86. SZHB központi üzemanyagtelep környezetének kármentesítése*; Hidrológia 34. (2016) 1-12. o.