

Szendi Rebeka¹

Környezeti károk felszámolása a veszélyes üzemeknél – Kármentesítési technológiák

Elimination of Environmental Damages at Hazardous Plants – Remediation Technologies

Hazánkban napjainkra fontos területté vált a környezetvédelem, azon belül pedig a természeti környezet elemeinek védelme. Annak ellenére, hogy számos jogszabály és egyéb előírás célja, hogy megelőzhetőek legyenek a veszélyes üzemekben bekövetkező súlyos ipari balesetek, egy esetleges ipari baleset során a környezetben is jelentős károk keletkezhetnek, amelyek felszámolásáról, a környezet helyreállításáról gondoskodni kell. Ezt szolgálja a veszélyes üzemekkel kapcsolatos jogszabályokban a közelmúltban bevezetett változás, amely alapján a védelmi tervek kötelező tartalmi elemei közé bekerült a környezet helyreállítására, megtisztítására vonatkozó tevékenységek tervezése. A környezeti elemek kármentesítésére számos eljárás áll rendelkezésre, amelyek közül az alkalmazandó technológia kiválasztása számos tényező figyelembevételével történhet. Jelen cikkben néhány, a környezeti elemek közül a talaj és a talajvíz kármentesítésére használható technológiát mutatok be.

Kulcsszavak: iparbiztonság, veszélyes üzemek, környezeti kármentesítés, környezet-helyreállítás

Nowadays, environmental protection, and within that the protection of the elements of the natural environment, has become an important area in Hungary. Despite the fact that many laws and other regulations aim to prevent major industrial accidents in hazardous plants, a possible industrial accident can also cause significant damage to the environment, which must be remediated and the environment restored. This is the purpose of the recently introduced change in the legislation related to

¹ Tű. fhdgy., Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóság, e-mail: rebeka81.katved@gmail.com

hazardous plants, based on which the planning of activities concerning the restoration and clean-up of the environment has been included in the mandatory content elements of emergency plans. There are several available procedures for the remediation of environmental elements, and the choice of the technology to be used can be based on a number of factors. In this article, some of the technologies are presented that can be used to remediate soil and groundwater.

Keywords: industrial safety, hazardous plants, environmental remediation, environment restoration

1. Bevezetés

Napjainkban az egyre növekvő népesség szükségleteit és igényeit kielégítő élelmiszerek és más termékek, mint a kozmetikumok, gyógyszerek, háztartási szerek és egyéb használati cikkek előállítására, vagyis szinte az élet minden területe kapcsolatban áll valamilyen módon a vegyiparral, a veszélyes anyagok felhasználásával. Mivel a lakosság igényei is növekednek, és egyre nagyobb arányú a különböző termékek felhasználása, az emberi egészségre és környezetre nézve ártalmas anyagok, valamint az ezeket előállító, felhasználó, illetve tároló üzemek száma is megemelkedett.

Az üzemeket különböző jogszabályok, illetve szigorú biztonsági előírások kötelezik a megfelelő technológia használatára, és a káresemények bekövetkezésének megelőzését, a kockázatok csökkentését, valamint a lehetséges hatások enyhítését célzó intézkedések bevezetésére. Ennek ellenére előfordulhatnak a veszélyes anyagok gyártása, tárolása, használata vagy szállítása során az előírások be nem tartásából, elkövetett mulasztásokból, tévedésekből vagy helytelen technológia alkalmazásából ipari balesetek. Ezek a lakosságon kívül a környezetet is károsíthatják, amennyiben a környezetbe kijutva a felszíni vizek szennyeződését okozzák, vagy közvetlenül kikerülve esetleg a levegőből lecsapódva beszivárognak a talajba és elszennyezik azt, vagy a talajvízbe kerülve, nagyobb távolságokra eljutva elszennyezhetik az ivóvízbázisokat vagy a takarmánykészleteket.²

Fentiek miatt fontos az ipari balesetek felszámolásának tervezése során figyelembe venni a környezetvédelmi szempontokat, és a környezeti károk elhárítására, felszámolására, illetve a környezet helyreállítására vonatkozó intézkedéseket a tervekbe foglalni.

Ezt az elvárást fogalmazza meg a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről szóló 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet (Rendelet) 5., illetve 8. melléklete, amelyek a súlyos káresemény-elhárítási terv (SKET), valamint a belső védelmi terv (BVT) tartalmi követelményeire vonatkozóan tartalmazznak előírásokat, s amelyekben 2020-ban új elemként jelent meg, hogy a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos baleseti hatások elleni védekezéssel kapcsolatos feladatok között ki kell térni a súlyos baleseteket követően a környezet helyreállítására és megtisztítására vonatkozó tevékenységre.³

² Szendi Rebeka: A fővárost fenyegető ipari katasztrófák és az ellenük való védekezés lehetőségei a 2012. évi jogszabályváltozások tükrében. *Védelem Online*, 2012. 2.

³ 219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről.

A tervezés során meg kell határozni, melyek azok a környezeti elemek, amelyek sérülhetnek a balesetből adódóan, illetve azok helyreállítására milyen módszerek, technológiák állnak rendelkezésre, figyelembe véve a hatékonysági és a gazdaságossági szempontokat.

Számos publikáció foglalkozik a súlyos ipari balesetek megelőzésének, a hatások mérséklésének lehetőségeivel. Jelen cikkben a már bekövetkezett káreseményt követően a természeti környezet, azon belül is a talaj és a talajvíz mint környezeti elemek helyreállítására, a káros hatások felszámolására alkalmazható főbb technológiai eljárásokat ismertetem röviden, illetve az alkalmazott technológia kiválasztásának szempontjait mutatom be a hazánkban működő főbb üzemtípusok tekintetében, a teljesség igénye nélkül.

2. A környezetvédelem megjelenése a veszélyes üzemek iparbiztonsági feladataiban

Hazánkban az 1990-es évektől a környezetvédelem egyre fontosabb területté vált, így az addig többnyire csak elvi általánosságokat megfogalmazó, a törvénynél alacsonyabb rendű szabályzók mellett megalkották a környezetvédelem általános szabályairól szóló 1995. évi LIII. törvényt (Kvt.), majd a szabályozás az Európai Unióhoz való csatlakozásnak köszönhetően a 2000-es években felgyorsult. Az Európai Tanács szakértői csoportja kidolgozott egy környezetvédelmitörvény-modellt a közép- és kelet-európai országok részére, amely tartalmazza a környezetvédelem alapelveit, amelyeket a Kvt. is magában foglal.

A környezetvédelmi alapelvek közé tartozik a megelőzés és az elővigyázatosság elve, valamint a „szennyező fizet” elv is. Előbbi a környezetvédelem legfontosabb elve és a szennyezés forrásánál való fellépést jelenti, míg utóbbi célja, hogy a környezeti károk okozója vállalja a felelősséget az okozott kárért, illetve állítsa helyre a megelőző környezeti állapotot, továbbá fizesse meg a helyreállítás költségét.⁴ Hazánk Alaptörvénye is kimondja, hogy „[a]ki a környezetben kárt okoz, köteles azt – törvényben meghatározottak szerint – helyreállítani vagy a helyreállítás költségét viselni”.⁵ A Kvt.-ben foglalt szabályok értelmében „[a] környezethasználó köteles gondoskodni a tevékenysége által bekövetkezett környezetkárosodás megszüntetéséről, a károsodott környezet helyreállításáról”, illetve „[a] környezethasználó köteles környezetkárosodás bekövetkezése esetén minden lehetséges intézkedést megtenni a környezetkárosodás enyhítése, a kárelhárítás, illetve a további környezetkárosodás megakadályozása érdekében”, továbbá „környezetkárosodás bekövetkezése esetén az eredeti állapotot vagy a külön jogszabályban meghatározott, az eredeti állapothoz közeli állapotot helyreállítani, valamint a környezeti elem által nyújtott szolgáltatást visszaállítani vagy azzal egyenértékű szolgáltatást biztosítani”.⁶

⁴ Angyal Zsuzsanna – Szabó Mária (szerk.): *A környezetvédelem alapjai*. Budapest, Typotex, 2012. 236–245.

⁵ Magyarország Alaptörvénye (2011. április 25.).

⁶ 1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól.

Fentieket szolgálja a Rendeletbe újonnan bekerült, a veszélyes üzemek által készíthető védelmi tervek tartalmi követelményeire vonatkozó előírás, amely alapján a védelmi tervekben bemutatott baleseti hatások elleni védekezéssel kapcsolatos feladatok kiegészültek a környezet helyreállításának és megtisztításának tervezésével.

3. A környezeti elemek és a károsító hatások vizsgálata

Ahhoz, hogy a Rendeletben előírt, a környezet helyreállításával és megtisztításával kapcsolatos intézkedések tervezése megvalósítható legyen, meg kell határozni, pontosan mit értünk környezet alatt. A környezetet tulajdonképpen a bioszférát felépítő ökoszisztéma és az ember alkotta élettelen elemeknek együttese alkotja, a Kvt. meghatározása szerint a környezet a különböző környezeti elemekből, azok rendszereiből, folyamataiból, szerkezetéből tevődik össze. A környezeti elemek közé tartozik a föld (talaj), a víz (felszíni és felszín alatti), az élővilág, valamint az ember által alkotott mesterséges környezet.⁷

A környezet károsodását a súlyos ipari balesetek során általában valamilyen veszélyes anyag kikerülése okozza. Az egyes környezeti elemekben, mint például a levegő, vagy a felszíni és felszín alatti vizek a szennyeződés a forrástól távolabbra is eljuthat, és kiterjedt szennyeződést okozhat. A szennyező anyagok terjedését mind az éghajlat, mind a környezeti elemek jellemzői, mind a kikerült anyagok fizikai és kémiai tulajdonságai, illetve egymással való kölcsönhatásai befolyásolják.⁸

Fentiek miatt a tervezés során vizsgálni kell azt is, hogy a különféle ipari balesetek során melyek azok a veszélyes anyagok, amelyek a környezetbe juthatnak, és azok milyen károkat okozhatnak az egyes környezeti elemekben, illetve milyen lehetőségek állnak rendelkezésre azok helyreállítására. Előzők együttes vizsgálata, illetve a költségek figyelembevétele alapján választható ki a környezet megtisztítására, helyreállítására az adott körülmények között legmegfelelőbb, leghatékonyabb technológia.

Az egyes környezeti elemekre gyakorolt hatások vizsgálata során fel kell mérni:

- a levegő,
- a felszíni és a felszín alatti vizek, illetve
- a talaj, különösen a termőterületek szennyeződését,
- az élővilágra gyakorolt hatást, valamint
- az épített környezetben okozott károkat, továbbá
- esetenként a tájat érintő negatív hatásokat.⁹

Az egyes országokban általában nagyon hasonló a leggyakrabban szennyezést okozó kockázatos anyagok listája, amelyek az alábbiak:

- *Illó és nem illó alifás és aromás szénhidrogének* (például a benzol, alkilbenzolok, PAH-vegyületek), amelyek leginkább a *kőolajbányászat és -feldolgozás*

⁷ Szegedi Tudományegyetem: Közérthető Szócikk Adatbázis, lásd: <https://u-szeged.hu/efop362-00007/minden-szocikk/kornyezetvedelem>

⁸ Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium: *Kármentesítési Kézikönyv* 4. Budapest, 2001.

⁹ Földi László – Halász László: *Környezetmérnökök katasztrófavédelmi feladatai. Környezetmérnöki Tudástár.* XXXIII. kötet. Veszprém, Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, 2013. 13–14.

tevékenységéből, illetve a *műanyaggyártás* (kerozin, benzin, gázolaj, gépolajok) során kerülhetnek ki szennyező anyagként. Egy részük kevésbé toxikus és biológiailag könnyen lebomlik, az ökoszisztémát leginkább annak levegőtől való elzárása miatt veszélyezteti. A toxikus, mutagén, karcinogén és teratogén hatású aromás és a policiklikus aromás szénhidrogének nagyobb kockázatot jelentenek. Ezek egy része nagymértékben perzisztens, biológiailag kevésbé bomlik.

- *Illó és nemilló halogénezett szerves vegyületek (szénhidrogének)*, mint például triklóretilén, perklóretilén, klórozott peszticidek, klórbenzolok, klórfenolok és poliklórozott bifenilek (PCB). Leginkább a *zsírtalanítási technológiákból*, a *növényvédőszer-gyártás és -felhasználás* során, a *fafeldolgozás*, a *papírgyártás*, a *műanyagipar* tevékenységeiből származhatnak. Ezek szinte mindegyike erősen toxikus hatású vegyület, amelyek perzisztensek és nagy bioakkumulálódó képességgel rendelkeznek, emiatt veszélyeztetik az ökoszisztémát és az embert egyaránt.
- *Toxikus fémek, félfémek és azok vegyületei* (Ag, As, B, Be, Cd, Co, Cr, Cr[VI], Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Sn, Pb, Zn) leginkább az *ércbányászat*, a *kohászat* és *fémfeldolgozás (galvanizálás)* során, illetve *akkumulátor- és szárazelemgyártási* tevékenységéből kerülhetnek a környezetbe.
- *Szabad és komplex cianidok*, leginkább az *ércbányászat*, az *ércfeldolgozás*, a *galvanizálás*, a *bőrgyártás* tevékenységei, illetve fotocikkek előállítása során, valamint gázmassza deponálásával kerülhetnek a környezetbe.¹⁰

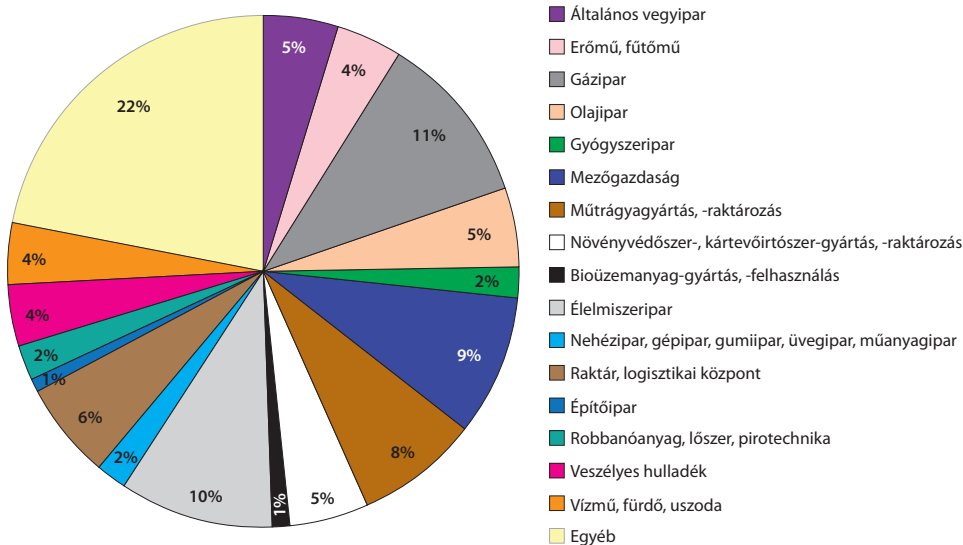
Az előzőkben foglaltakat vizsgálva, a lehetséges szennyező anyagok tekintetében elmondható, hogy hazánk veszélyes üzei az alábbi ágazatokba sorolhatók:

- általános vegyipar;
- erőmű, fűtőmű;
- gázipar;
- olajipar;
- gyógyszeripar;
- mezőgazdaság;
- műtrágyagyártás, -raktározás;
- növényvédőszer-, kártevőirtószer-gyártás, -raktározás;
- bioüzemanyag-gyártás, -felhasználás;
- élelmiszeripar;
- nehézipar, gépipar, gumiipar, üvegipar, műanyagipar;
- raktár, logisztikai központ;
- építőipar;
- robbanóanyag, lőszer, pirotechnika;
- veszélyes hulladék;
- vízmű, fürdő, uszoda;
- egyéb.¹¹

Az egyes üzem típusok megoszlását az 1. ábra mutatja be.

¹⁰ Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium: *Kármentesítési Kézikönyv* 4. Budapest, 2001.

¹¹ Vass Gyula: *Veszélyes üzemi alapismeretek*. Előadás. Vecsés, 2019. november 18.



1. ábra: A veszélyes üzemek ágazatonkénti megoszlása hazánkban

Forrás: a szerző szerkesztése Vass (2019): i. m. alapján

4. Kármentesítési eljárások, az alkalmazandó technológia kiválasztása

Az elvégzendő kármentesítés módszerének kiválasztása több tényezőtől függ. Ilyen tényezők például a kikerült anyag fajtája, fizikai, kémiai, biológiai jellemzői (fajsúly, oldékonyság, illékonyság, adszorpció, diszperzió, perzisztencia, akkumuláció stb.). Ilyen továbbá a közeg típusa, amelybe a szennyező anyag kikerül, amely lehet épített, mesterséges közeg, beton vagy egyéb mesterséges felület, amelybe az anyag nem tud beszivárogni, ám a felületéről elfolyhat vagy párologhat, illetve lehet természetes közeg, mint a talaj és a felszíni vagy felszín alatti víz, amelyet a veszélyes anyag esetleg tartósan elszennyezhet, illetve a szennyeződés ezekben a közegekben távolabbra is eljuthat, emiatt az alkalmazott technológia a fentiek mellett függ a beavatkozás sürgősségétől, illetve a szennyezett terület nagyságától.¹²

A kármentesítési, helyreállítási eljárás kiválasztásánál figyelembe kell venni, mely intézkedési fokozatot szükséges végrehajtani a környezet helyreállítása során.

A Kvt. három fokozatot határoz meg a helyreállítási intézkedésekre vonatkozóan:

- Elsődleges helyreállítás: környezet vagy valamely környezeti elem, illetve a környezeti elem által nyújtott szolgáltatás eredeti állapotának vagy ahhoz közeli állapotának helyreállítása.
- Kiegészítő helyreállítás: amennyiben az elsődleges helyreállítási intézkedés nem vezet eredményre, a károsodott környezeti elemnek erre alkalmas környezeti elemmel, illetve a környezeti elem által nyújtott szolgáltatásnak erre

¹² Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium (2001): i. m.

alkalmas környezeti elem által nyújtott szolgáltatással való pótlása, illetve, ha ez a pótlás sem vezet eredményre, a környezeti elemnek vagy a környezeti elem által nyújtott szolgáltatásnak – a károsodott környezeti elem vagy szolgáltatás becsült költségével megegyező –, erre alkalmas környezeti elemmel vagy környezeti elem által nyújtott szolgáltatással való pótlása.

- Kompenzációs helyreállítás: a helyreállítási intézkedések befejezéséig mindazon intézkedések végrehajtása, amelyek a károsodott környezeti elem vagy a környezeti elem által nyújtott szolgáltatás ideiglenes pótlásához szükségesek.¹³

A felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet (Rendelet 2.) emellett megadja az úgynevezett kármentesítési célállapot határértéket, amely a kármentesítési eljárás eredményeként elérendő, az adott szennyező anyagra vonatkozóan a területhasználat figyelembevételével meghatározott maximális koncentráció.¹⁴

4.1. A kármentesítési technológiák csoportosítása

A kármentesítéshez gyakran több módszer együttes alkalmazása szükséges. Amennyiben nem a talaj vagy felszín alatti víz eredeti, vagy azt megelőző állapotának helyreállítása a cél, alkalmazhatók egyéb módszerek, mint például:

- a terület használatból való kivonása;
- a szennyezett terület lokalizálása (további szennyező anyag nem kerülhet a területre, és a szennyező anyag onnan nem terjedhet természeti elemek útján);
- talajcsere.¹⁵

A kármentesítő technológiákat csoportosíthatjuk a helyszín, illetve a tisztítás elve szerint.

A helyszín szerint a technológiák lehetnek:

- *In situ* (eredeti helyzetben): olyan technológia amikor a szennyeződött földtani közeg, illetve felszín alatti víz szennyező anyagoktól való megtisztítása során termelik ki a földtani közeget, a tisztított felszín alatti vizet pedig visszanyelik, szikkasztják a munkaterületen belül.
- *Ex situ* (nem eredeti helyzetben): az ebbe a csoportba tartozó technológiák további két alcsoportba oszthatók:
 - *ex situ on site*: a tisztításhoz a földtani közeget a kifejlődésének természetes helyzetéből kitermelik, a kitermelt szennyezett talajt, illetve felszín alatti vizet viszont nem szállítják el a munkaterületről, hanem azon belül bioágyakon termikusan vagy talajmosással stb. tisztítják. Ezután a kívánt mértékben megtisztított földtani közeget, illetve felszín alatti vizet a tervnek megfelelően visszahelyezik a munkagödörbe.

¹³ 1995. évi LIII. törvény.

¹⁴ 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről.

¹⁵ Burucs Zoltán: *Környezeti elemek védelme II. Talajvédelem*. Előadás. Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszer-tudományi és Környezetgazdálkodási Kar, 2011.

- *ex situ off site*: a technológiák megegyeznek az *ex situ on site* eljárásokkal, azzal a különbséggel, hogy a szennyezett talajt és a felszín alatti vizet nem a munkaterületen belül, hanem elszállítás után egy távolabbi tisztítótelepen kezelik, majd a kezelt talajt visszaszállítják az eredeti munkagödörbe. A megtisztított felszín alatti vizet pedig élővízbe vagy közcsatornába vezetik.¹⁶

A tisztítási elv szerint megkülönböztethetünk fizikai, kémiai, termikus, biológiai, illetve egyéb eljárásokat.

4.2. A kármentesítési technológia kiválasztásának lépései

A kármentesítési technológia kiválasztásának elsődleges lépése a környezeti kár felmérése, ezután a szennyezés lehatárolása. Majd ezután a szennyezett környezeti elemtől, illetve a szennyezés tulajdonságaitól függően a mintavételi pontok számának és a mintavétel gyakoriságának meghatározása. Az előzetes analízis alapján kockázatelemzés készül, amely figyelembe veszi a beavatkozás sürgősségét, az egészségügyi hatásokat, a helyi adottságokat, az érintett terület funkcióját, a társadalmi és gazdasági tényezőket, a rendelkezésre álló anyagi forrásokat, a távlati célokat, illetve azt, hogy az érintett területnek, valamint az ott található létesítményeknek el kell-e látniuk eredeti funkciójukat a mentesítés ideje alatt is.

A megfelelő részletességgel készített és mérési adatokon alapuló kárfelmérés és kockázatbecslés alapján, ismerve a különböző műszaki és gazdasági paramétereket, meghatározható a kárelhárítási beavatkozás mértéke, célja, illetve az alkalmazandó technológia. A kárelhárítás célja lehet:

- a szennyezés továbbterjedésének megakadályozása, lokalizációja;
- részleges vagy teljes kármentesítés;
- a terület teljes ártalmatlanítása, kármentesítése (környezetvédelmi szempontból).

4.3. A kármentesítési technológiák rövid bemutatása

A szennyezés lokalizációjának célja annak lehatárolása, mozgásának megakadályozása.

Ez történhet horizontális árnyékolással vízben nehezen oldódó, lassan lefelé szivárgó szennyezés vízzel történő érintkezésének, vízdoldható anyag leszivárgásának, illetve leszivárgó csapadék oldható komponenseket mobilizáló hatásának megakadályozása érdekében. Alkalmazható felületi takarás, amely lehet rövid távú (például műanyag fólia), vagy hosszú távú agyagréteggel (például bentonit) vagy geofóliával kombinált betonréteggel való takarás. Illetve alkalmazható injektálással szennyezés alatti árnyékolás.

Vertikális árnyékolás a szennyeződés oldalirányú mozgásának megakadályozására, valamint részleges vagy teljes körülhatárolására használható. Ez általában

¹⁶ Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium (2001): i. m.

a legalacsonyabb talajvízszint alá helyezett fallal (merülőfal, szádfal, résfal) történik, amelyben elhelyezhetők a szennyezést megkötő vagy lebontó töltetek.

Az *immobilizációs* vagy *fixálási* eljárások célja a szennyező anyagok *in situ* vagy *ex situ* módon, oldhatatlan formába való átalakítása, megkötése. E technológiák a szennyezők illékonyágát, oldhatóságát, deszorpció képességét csökkentik, fizikai-kémiai átalakítással, szilárd felülethez kötéssel, mátrixba ágyazással, így megakadályozzák azok terjedését, felszívódását, fizikai-kémiai reakcióit. Lehetnek fizikai, kémiai vagy biológiai eljárások (például fitoremediáció), bármely környezeti elemnél, illetve *bármely halmazállapotú szennyezőnél* alkalmazhatók.

A *talajlevegőztetéses* eljárás mind *in situ* mind *ex situ* végrehajtható. Abban az esetben alkalmazható kármentesítésre, ha az illékony szennyeződés a talajlevegőben képes terjedni. Az eljárás során a szennyezett talajrétegen megfelelő hőmérsékletű, nedvességtartalmú és sebességű levegőáram átszívására vagy átnyomására kerül sor, ennek segítségével távolítják el az illékony szennyezőket, majd az azok gőzeit tartalmazó levegőt aktív szén, gázmosók, illetve katalitikus elégetéssel utókezelik, hasznosítják. Ez az eljárás *illékony szennyezők*, például kőolajszármazékok (benzin, gázolaj, kerozin) esetén alkalmazható.

Talajmosást célszerű alkalmazni, ha a szennyezés a talaj felületéről nehezen deszorbeálható. Ilyenkor a szilárd fázisú talajt különféle vizes oldatokkal, tenzidekkel, emulziókkal, különböző komplexképzőkkel, illetve ásványi savakkal mossák át, amelynek során a mosófolyadék mobilizálja a szilárd fázishoz kötődő szennyeződések, megnöveli oldékonyságukat, ennek eredményeképp jellemzően nő a folyadékfázis szennyezőanyag-koncentrációja. A kezelés során a szennyező anyagok nem bomlanak le, azok felületről való lemosására van szükség. Az eljárás többnyire *olajos és nehézfém-szennyezések* eltávolítására használható.

Gáztisztítási eljárással, azon belül is a nedves gáztisztítási technológiával végezhető el a talaj tisztítása során a gázok, talajgázok, különféle gáz-, gőz-, illetve porszenyvezések eltávolítása. Ennek során a porszemcsék folyadékkal való nedvesítés után a mosófolyadékhoz kötődnek, így eltávolíthatók a gázfázisból. A gázban található, a mosófolyadékban oldódó komponensek abszorbeálódnak, így a szilárd és gáz állapotú szennyezők egy lépésben eltávolíthatók. Ez az eljárás alkalmazható egyedüli megoldásként a *tűz- és robbanásveszélyes porokat tartalmazó gázok* esetén (például katonai objektumok, robbanászergyártó üzemek mentesítése).

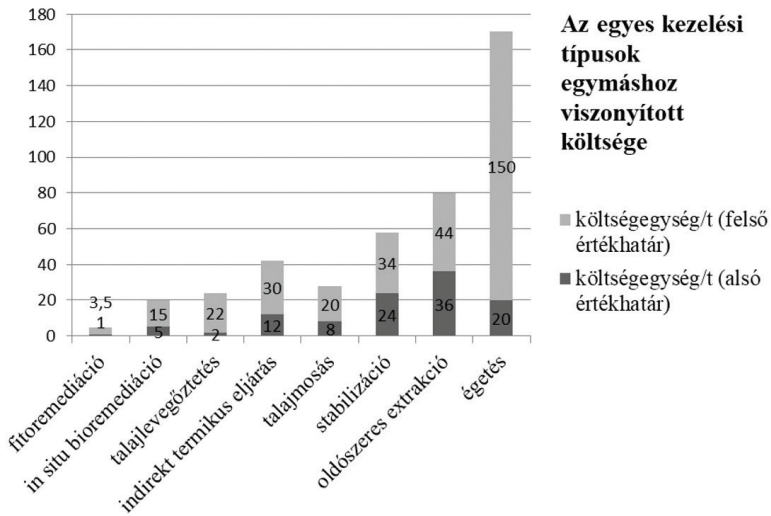
Az *adszorpció*s eljárásoknál valamely gáz, gőz, illetve folyadék halmazállapotú atomok vagy molekulák megkötődése, illetve felhalmozódása történik a két fázis közötti határfelületen. Az adszorbens felülete lehet szilárd vagy folyékony, a folyamat pedig lehet fizikai, illetve kémiai adszorpció a felületek fizikai és kémiai tulajdonságai, továbbá az adszorpció kölcsönhatások alapján. Használhatók szénbázisú vagy oxidbázisú adszorbensek, fontos tulajdonságuk a nagy felületi aktivitás és a szelektivitás.

A *szűrés* általában a vízkezelési eljárás során használt eljárás, amely az egyik legáltalánosabb elválasztástechnikai módszer. Az alkalmazott technikát a szűrendő részecske mérete is meghatározza. *Arzénvegyületek* vízből való eltávolítására alkalmazható mikro-, ultra- és nanoszűrés, illetve fordított ozmózis, *illékony szerves vegyületek* vizes oldatokból való kinyerésére pedig membrándeztilláció használható.

A termikus eljárások közül az égetési eljárással a szennyezőanyagok (kőolaj-származékok) gyorsan ártalmatlaníthatók, azonban szükséges az eltávozó gázok tisztítása, illetve ennek alkalmazása során a kezelt talaj elveszíti talaj jellegét. Továbbá ez a technológia csak *ex situ* műveletként alkalmazható. A termikus kezelési eljárás, amely magában foglalja a 450-600 °C-on végbemenő kis hőmérsékletű krakkolást, a 750-950 °C-ot alkalmazó pirolízist, illetve a nagy hőmérsékletű pirolízist, amelynél > 1200 °C-os hőmérsékletet használnak, szintén *ex situ* végezhető művelet. Együttes alkalmazásukkal a talajból *minden szénhidrogén-szennyezés* eltávolítható.¹⁷

Fenti eljárások közül az alkalmazandó technológia kiválasztását az előzőekben bemutatottakon kívül az adott technológia várható költségei (telepítési, működési stb.) szintén befolyásolják, törekedni kell a hatásosság mellett a legköltséghatékonyabb technológia megválasztására.

Az előzőekben bemutatottak közül néhány gyakran alkalmazott eljárás költségeinek egymáshoz viszonyított arányát a 2. ábra mutatja be, a fitoremediációt tekintve egységnek.



2. ábra: Az egyes kárelhárítási technológiák költségei egymáshoz viszonyítva, a fitoremediációt tekintve egységként

Forrás: a szerző szerkesztése Horváth (2012): i. m. 117. alapján

¹⁷ Horváth Erzsébet (szerk.): *Talajtan és talajökológia. Környezetmérnöki Tudástár. XXIV. kötet.* Veszprém, Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, 2012. 96–130.

5. Következtetés

A veszélyes üzemek működésével kapcsolatos súlyos balesetek megelőzését, a keletkezett károk csökkentését számos előírás szolgálja. Az esetlegesen előforduló, a környezet károsodását előidéző káresemények elhárításának tervezése során figyelembe kell venni a környezetvédelmi szempontokat, és a károk felszámolására vonatkozó tervekben ki kell térni a környezeti károk elhárítására, felszámolására, illetve a környezet helyreállítására vonatkozó intézkedésekre. A veszélyes üzemek súlyos ipari balesetek megelőzésével és elhárításával kapcsolatos tervezési feladatai között új elemként jelent meg a SKET, illetve a BVT tartalmi követelményeiben a környezet helyreállítására, megtisztítására vonatkozó intézkedések tervezése. A Kvt. előírása alapján a Rendelet 2-ben meghatározott tevékenységek esetében „[a] veszélyes technológia üzemeltetése során az esetlegesen bekövetkező rendkívüli környezetkárosítás megakadályozására, felszámolására az adott tevékenység megkezdése előtt [...] környezeti kárelhárítási tervet kell készíteni”.¹⁸ Azon veszélyes üzemeknél, amelyek a Rendelet 2. hatálya alá tartoznak, az üzemi környezeti kárelhárítási tervek, amelyek tartalmazzák többek között a lokalizációhoz szükséges erőforrások bemutatását, a kárelhárítási anyagok és eszközök meghatározását, valamint a kárelhárítási műveletek technológiai utasításait, alapul szolgálhatnak a Rendeletben előírtak tervezéséhez. A Rendelet 2. hatálya alá esetlegesen nem tartozó üzemeknél a tervek készítésének pedig alapjául szolgálhatnak a Rendelet 2. 1. számú mellékletében foglalt kárelhárítási tervekhez vonatkozó tartalmi elemek.

A tervezésnél azonban, a károk azonnali elhárítására vonatkozó intézkedések és az azokhoz szükséges erőforrások mellett, szükséges kitérni a környezet helyreállítása érdekében az egyes érintett környezeti elemek hosszabb távú megtisztításához alkalmazandó technológiákra, illetve az ahhoz szükséges erőforrásokra.

A megfelelő technológiák kiválasztása számos szempont figyelembevételével történik annak érdekében, hogy az alkalmazott eljárás a leghatásosabb legyen. Ehhez a szennyezés jelenlétének és paramétereinek folyamatos monitorozására van szükség, amelynek erőforrásigényét szintén tervezni kell.

A különböző technológiák összetettsége, időigényessége befolyásolja a várható költségeket, amely tényezőt szintén számításba kell venni az alkalmazott eljárás kiválasztása során.

A hazánkban található veszélyes üzemeknél a környezeti károk elhárításához a fent bemutatott eljárások alkalmazhatók, a megfelelő technológia kiválasztása az előzőekben ismertetett szempontok alapján történhet.

Felhasznált irodalom

Angyal Zsuzsanna – Szabó Mária (szerk.): *A környezetvédelem alapjai*. Budapest, Typotex, 2012. Online: <https://dtk.tankonyvtar.hu/xmlui/handle/123456789/12962>

¹⁸ 1995. évi LIII. törvény.

- Burucs Zoltán: *Környezeti elemek védelme II. Talajvédelem*. Előadás. Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, 2011. Online: https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/8144/talaj_es_viz_vedelem_29-30.pdf?sequence=25&isAllowed=y
- Földi László – Halász László: *Környezetmérnökök katasztrófavédelmi feladatai. Környezetmérnöki Tudástár*. XXXIII. kötet. Veszprém, Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, 2013. Online: https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/33-Katasztrofa_v2.pdf
- Horváth Erzsébet (szerk.): *Talajtan és talajökológia. Környezetmérnöki Tudástár*. XXIV. kötet. Veszprém, Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet, 2012. Online: https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/24-Talajtan_es_talajokologia.pdf
- Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium: *Kármentesítési Kézikönyv* 4. Budapest, (2001). Online: <http://fava.hu/kvvm/www.kvvm.hu/szakmai/karmentes/kiadvanyok/karmkezikk4/4-01.htm>
- Szegedi Tudományegyetem: Közérthető Szócikk Adatbázis. Online: <https://u-szeged.hu/efop362-00007/minden-szocikk/kornyezetvedelem>
- Szendi Rebeka: A fővárost fenyegető ipari katasztrófák és az ellenük való védekezés lehetőségei a 2012. évi jogszabályváltozások tükrében. *Védelem Online*, 2012. Online: www.vedelem.hu/letoltes/anyagok/405-a-fovarost-fenyegeto-ipari-katasztrofak-es-az-ellenuk-valo-vedekezes-lehetosegei-a-2012-evi-jogszabalyvaltozasok-tukreben.pdf
- Vass Gyula: *Veszélyes üzemi alapismeretek*. Előadás. Vecsés, 2019. november 18. Online: <https://docplayer.hu/196386677-Veszelyes-uzemi-alapismeretek.html>

Jogi források

1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól
219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről
219/2011. (X. 20.) Korm. rendelet a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésről
Magyarország Alaptörvénye (2011. április 25.)