

6. Döntési pontok, döntést támogató rendszerek

Gruiz Katalin

Az első kérdés, hogy mit szolgáljon a döntési sorozat? A válasz, hogy a célnak a lehető legjobban megfelelő technológia kiválasztását.

A technológia vagy technológiaegyüttes kiválasztásánál a legfőbb szempont, hogy az alkalmazott eljárás szennyezőanyag és a szennyezett terület együttesét minél jobban kiszolgálja, úgy, hogy a terület ökoszisztémája, a talaj élővilága minél kisebb mértékben sérüljön. Ezzel a követelménnyel gyakran ellentétes az ember rövidtávú érdeke: minél kisebb költséggel, minél gyorsabban elfogadható eredményt elérni, és a területet minél előnyösebben hasznosítani

Fentiek értelmében a döntési folyamatot is érdemes több részre bontani:

1. Technológiai szempontok elsődlegessége mellett kijelölni a szóbjövő technológiai alternatívákat vagy technológia-együtteseket.
2. A döntés második fázisában a technológiai szempontból megfelelő technológia-alternatívákat további szempontok szerint lehet rangsorolni, pl. az ökomérnök az ökológiai szempontokat teheti az első helyre, így a következő prioritási sorrend állítható fel:

- Az ökoszisztéma és az emberi egészség védelme
- Kockázatkommunikációs és szociális szempontok
- Területfejlesztés, területhasználat
- Gazdasági szempontok, területhasznosítás

A terület tulajdonosa ettől eltérő prioritásokat jelölhet meg, például:

- Gazdasági szempontok: területhasznosítás, bevételszerzés
- Területfejlesztés
- Szociális szempontok, pl. munkahelyteremtés
- Kockázat-kommunikáció
- Kockázat csökkentés

Az alábbiakban a technológiaválasztáshoz szükséges legfontosabb döntési pontokat, az ott felmerülő kérdéseket és indokokat foglalom össze az ökomérnöki szemlélet előtérbe helyezésével, tehát az ökoszisztémára és benne az emberre vonatkozó kockázat minimalizálását, az ökoszisztéma háborítatlanságának minél tökéletesebb megtartását tűzve ki elsődleges célul. Ha ezeknek prioritásuk van, akkor a környezeti kockázatkezelés és az életminőség javítása automatikusan prioritást kapnak.

A gazdasági szempontok egy második fázisban lesznek figyelembe véve, mintegy megharcolnak az ökológiai szempontokkal, amennyiben ellentétes érdekek merülnek fel. Mellesleg az érdekellentétek is feloldhatóak megfelelő hosszútávú tervezés és stratégia megválasztása esetén.

A gazdasági szempontoknak a döntés második fázisában történő figyelembe vételéhez szükséges metodika ma még nem áll rendelkezésünkre. Az egész világon vitatéma, hogy mi számítson költségnek és mi haszonnak, és hogy hogyan vegyük figyelembe az elmaradt hasznokat vagy a remediáció után elmaradó károk vagy megelőzés költségét. Ehhez szükséges metodika kidolgozásához ebben a munkában a költségek és hasznok fajtáinak azonosításáig igyekszünk eljutni, ezek mennyiségi jellemzése egy következő munkafázis lesz.

A döntések felmerülő sorrendje természetesen esetről esetre változhat és az irányítás szintjétől függően a döntési feladatok sora is eltérhet.

Jelen tanulmányban tárgyaltak tehát a "kockázat csökkentése remediációval" feladatponthoz tartozó döntésekkel kezdődik, a fölötte lévő döntési szituációkat nem tárgyalja (vö. 1. ábra) és a szóba jövő technológiák listázásáig tart, az alatta lévő döntésekhez csak szempontokat ad meg, metodikát még nem.

A döntés meghozatalakor figyelembe veendő szempontok:

- A szennyezőanyag fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságai, veszélyessége
- A szennyezett környezeti elem és fázis tulajdonságai, vagyis a mátrix,
- A területhasználat, beleértve a jelenlegi és a jövőbeni területhasználatot, esetleg a remediáció alatti, ezektől eltérő területhasználatot és a területhasználathoz tartozó remediációs célértéket. A terület pénzben kifejezhető értéke is döntő lehet.
- A technológia hatékonysága
- A technológia bonyolultsága, rendelkezésre állása
- A kezelés várható (szükséges) időtartama
- A technológia saját kockázatai
- A technológia beruházási és üzemeltetési költsége
- A remediáció hasznai

Döntési helyzetben az első mindig a helyzet felmérése és a szennyezett terület kockázatának felmérése alapján annak megállapítása, hogy a beavatkozás mennyire sürgős.

Amennyiben nagy a kockázat és ez növekvő trendet mutat, akkor a beavatkozás sürgős, un. gyorsintézkedésre lehet szükség, ami nem a tipikus helyzet és a tipikus remediációs eset. A havária jellegű eseteket kizárjuk vizsgálódásunk köréből a továbbiakban, inkább azokat az eseteket vesszük tipikusnak, amikor nem sürgős esetről, hanem többé-kevésbé egyensúlyba került régebbi szennyezettségről van szó.

Amennyiben nincs szükség gyorsintézkedésre, akkor a döntési folyamatunk az elvileg lehetséges összes technológiai alternatíva számbavételével kezdődjék. Ebben a fázisban még ne korlátozzuk magunkat gazdasági vagy szociális szempontokkal, a lista összeállításánál a fizikai-kémiai, biológiai tulajdonságokon kívül a technológiai-művelési lehetőségek legyenek a döntőek. Ennek a listának az összeállításakor a minél teljesebb áttekintésre törekedjünk, az alkalmatlan technológiák kizárását és a gazdasági és szociális szempontú szűkítéseket egy következő lépésben tegyük meg.

A további döntési lépéseknél vegyük figyelembe a gazdasági szempontokat, a technológia saját kockázatát és a szociális szempontokat.

A lista szűkítésénél, az értékeléseknél mindig vegyük számba az összes indokot és lehetőleg számszerűsítsük azok következményeit. Ha ez nem lehetséges, akkor hozzunk létre kvalitatív értékelési módszert (pontszámok, százalékok, piros pontok, stb.)

6.1. Technológiai szempontok

Azt, hogy milyen sorrendben haladjunk a szempontok értékelésénél nem könnyű megmondani, hiszen minden összefügg mindennel. Saját tapasztalatom alapján, legcélszerűbb az immobilizáció/mobilizáció kérdéskörrel kezdeni.

Egy alternatív lehetőség, hogy az *in situ* vagy *ex situ* döntéssel kezdjük, de az sok esetben indokolatlan önkorlátozást jelent, hiszen az alkalmas technológiák legtöbbször *in situ* és *ex situ* egyaránt alkalmazható, főleg az enyhe beavatkozásokra igaz ez. Az *in situ* vagy *ex situ* döntésbe sokkal több nem technológiai jellegű szempont jelenhet meg (költség, időigény, a terület jövőbeni használata, szociális elfogadás), amit a döntési sorozatunkban hátrébb helyeztünk. A hátrébb helyezés nem jelent fontossági sorrendet vagy befolyási erősséget, hiszen nagyon is döntőek a gazdasági lehetőségek, viszont indokolatlanul korlátozzák a lehető legjobb technológia kiválasztását, hiszen a költség-haszon mérleget a technológia költségén kívül nagyban befolyásolják a jövőbeni területhasználat, és a pénzben nem kifejezhető hasznok.

Természetesen további problémát jelenthet, hogy a gazdaságilag nem mérhető hasznok figyelembe vétele hogyan történjék. Ezek felmérhetetlensége miatt a döntési rendszerünk még sokáig kvalitatív vagy félkvalitatív marad.

Immobilizáció vagy mobilizáció

A szennyezőanyag fizikai-kémiai és biológiai tulajdonságaitól, toxicitásától, fizikai állapotától, a mátrix megkötőképességétől és a területhasználatától függ, hogy a talajban lévő szennyezőanyagot mobilizálással vagy immobilizálással ártalmatlanítsuk-e.

Döntő lehet az is, hogy milyen környezeti elemekben és fázisban van jelen, mint szennyezőanyag: már most le lehet szögezni, hogy a talajgáz és a talajvíz (egyéb csurgalék és mosóvizek esetében) a mobilizálás az elsődleges, csak különleges esetben jön szóba az immobilizálás.

Az immobilizálás elsősorban a szilárd fázishoz erősen kötött szennyezőanyagoknál jelent jó megoldást, ilyenkor a technológus erősíti a spontán létező megoldást.

A mobilizálás az esetek nagy részében preferált, hiszen a talajból való szennyezőanyag eltávolítás valódi kockázatsökkenést jelent, míg a mozgékony csökkentése rövid távú megoldás, amikor a szennyezőanyag, – ha ártalmatlan formában is –, de ottmarad a talajban. Mozcékony, vagyis illékony, vízcoldékony és biodegradálható szennyezőanyagok esetében nem kérdés, hogy mobilizáláshoz kell folyamodnunk.

A mobilizáció vagy immobilizáció kérdés megválaszolása függ attól is, hogy *in situ* vagy *ex situ* lesz-e a remediáció. Ha *ex situ*, akkor még inkább preferált a mobilizáció,

mert kockázati szempontok pl. vízbe kerülhet, továbbterjedhet, stb. nem döntőek az immobilizáció választása mellett.

Ne felejtjük el, hogy ami mobilizálás a környezeti elem szemszögéből, immobilizálás lehet a fázisváltásos megoldások esetében. Egy biológiai szűrőn immobilizálhatjuk azt, amit a talajgázból, talajvízből kivonunk (mobilizálunk). A talajban fitoremediációval mobilizáljuk, de a növényben immobilizálódik, átmenetileg. Ebben a tanulmányban a kezelendő környezeti elem, illetve fázis szempontjából nézzük, hogy mobilizáció vagy immobilizáció-e a technológia alapja. A tökéletes biodegradáció (a mineralizáció) az egyetlen folyamat, amelynél a fázisváltást nem kell figyelembe vennünk, hiszen a végtermék, a mineralizált elem, nem tekintendő szennyezőanyag.

Szemponrendszer, döntési pontok összefüggését mutatja már az első döntési pontunk is, hiszen másképp fogunk dönteni pl. vízbázis esetében egy vízzoldható veszélyes anyagról, ha a talaj kitermelhető, mintha nem. Ha *ex situ* kezelést tervezünk, nagy valószínűséggel mobilizációs technológiát fogunk választani, de ha nem jön szóba a talaj kitermelése, akkor a tovaterjedés meggátlása (rézfal, depressziós kutak, stb.) és a stabilizálásos (pl. kémiai stabilizálás) módszerek azonos súlyú technológiai alternatívaként fognak felmerülni.

Fizikai-kémiai vagy biológiai módszer

A fizikai-kémiai sokszor egyszerűbb de általában költségesebb, mint a biológiai módszer, de környezeti kockázata is nagyobb, mint a biológiaié. A fizikai-kémiai beavatkozás is lehet enyhe beavatkozás, általában folytonos skálájuk van az egészen enyhétől a legdrasztikusabbig (pl. hőmérsékletemelés). A biológiai technológiák, viszont mindig enyhe beavatkozást jelentenek, olyanokat, amiket az ökoszisztéma, a talaj mikroflórája tolerál. A biológiaiak is lehet kockázata, de általában nem akkora, mint a fizikai-kémiai technológiáknak (v.ö.: A természetes szennyezőanyag-csökkenés intenzifikálása és a környezeti kockázat c. tanulmány). Az időigény is igen eltérő lehet: a fizikai-kémiai technológiák általában kevésbé időigényesek, mint a biológiaiak.

A mobilizáció vagy immobilizáció kérdésében elsősorban két szempont fog dönteni, a szennyezőanyag és a matrix.

Szennyezőanyagtól függő döntési szempontok:

Milyen módon mobilizálható:

- Illékony: elpárologtatás
- Szorbeálódó: deszorpció felé eltolás
- Vízzoldékony: vizes extrakció
- Biodegradálható: bioremediáció
- Fényérzékeny: fotodegradáció, stb.

Milyen módon immobilizálható:

- Ez elsősorban a szennyezőanyag fizikai állapotától függ
- Részecske: fizikai stabilizálás, tömbösítés

- Szorbeált: ad/abszorpció felé eltolás külső körülmények, pl. pH, redoxpotenciál segítségével
- Reaktív: kémiai reakcióval az immobilis forma felé
- Biológiailag immobilizálható: bioakkumuláción vagy bioszorpción alapuló technológiák, pl. bioszűrés, rhizofiltráció, stb.

Mátrixtól és fázistól is függő döntési szempontok

- Mely környezeti elem, mely fázisai szennyezettek, melyeket kell kezelni
- Az egyes szennyezett fázisok milyen módon kötik a szennyezőanyagot
- Milyen kölcsönhatások vannak az egyes fázisok, a biota és a szennyezőanyag között
- A kezelendő környezeti elemek és fázisok hozzáférhetősége, elhelyezkedése, hidrogeológiai viszonyok
- A kezelendő környezeti elemek és fázisok érzékenysége

A fizikai, kémiai vagy biológiai módszer választásáról szóló döntés attól is függ, hogy *in situ* vagy *ex situ* kezelés lesz-e. *Ex situ* vízkezelésnél például a fizikai, kémiai vagy biológia eljárások azonos jogú alternatívák lesznek.

In situ talajkezelésnél biológiai eljárás preferált, a környezeti kockázat és a talaj jövőbeni használata miatt, az ökoszisztéma megóvása érdekében.

In situ* vagy *ex situ

- Nagyság, kiterjedés: nagy kiterjedés az *in situ* felé tolja a döntés mérlegének nyelvét
- Terjedés, toxicitás, veszélyesség: ennek nagy volta az *ex situ* felé tolja a döntésünket
- Szennyezett elemek és fázisok: víz, levegő: *ex situ*, talaj: *in situ*
- Terület jövőbeni használata: pl. lesz-e építkezés, megbolygatják-e a terület felszínét. Ha igen, *ex situ*. Természetvédelmi terület és nem várható területhasználat változás: *in situ*. A kettő között folyamatos átmenet szerinti döntés.
- A beavatkozás sürgőssége: sürgős: *ex situ* felé, nem sürgős: *in situ* felé tolja.
- Kapcsolható és kapcsolandó technológiák: pl. megelőzésre: résfal: aktív résfal: kezelés + megelőzés, szivattyúzás: *ex situ* vízkezelés + vízzel tovaterjedése

Egy technológia vagy több kapcsolt technológia

Gyakori, hogy egyetlen technológia nem jelent megoldást, hiszen a szennyezettség kiterjedhet több környezeti elemre és fázisra.

Ha több technológia jelenthet csak megoldást, akkor kiválasztásuknál a kölcsönhatások és az együttes költség-haszon felmérés fog dönteni. Ha már tudjuk,

hogy melyek lesznek az alkalmazott technológiák, alkalmazási sorrendjük még mindig döntésre vár.

Gyakran felmerülő kérdés, hogy legyen-e előkezelés: szükséges-e a talaj fellazítása vagy a szemcseméret szerinti osztályozás?

Szemcseméret szerinti frakcionálásról történő döntés költség-haszon felmérés alapján történik: frakcionálás költségét fedezi-e az előkezelést követő kezelés költségcsökkenése. Ha frakcionálás költsége kisebb, akkor frakcionálni kell. A frakcionáláskor keletkező hasznosítható termék tovább növeli a hasznokat és a mérleg nyelvét a frakcionálás felé billenti.

Gyakran felmerülő kapcsolt technológia az immobilizálás utáni stabilizálás. A stabilizálás a maradék szennyezőanyag jelenlétéből adódó kockázat csökkentését szolgálja.

Több szennyezőanyag esetében a biodegradációt követő kioldás vagy stabilizáció jön szóba, esetleg a vizes mosás utáni biodegradáció. Mivel a biodegradáció lassú lehet, a fizikai-kémiai módszerek előkezelésként való alkalmazása a logikus.

Kísérleti eredmények

A döntések előkészítése során szinte mindig szükséges laboratóriumi és félüzemi kísérletek végzése. A kísérleti eredmények alapján választhatjuk meg a technológiai paramétereket, számíthatjuk ki a hatásfokot és az időigényt. Mindezek alapján tudjuk elkészíteni a költségbecslést.

Mivel minden terület és minden szennyezettségi eset eltér egymástól a szennyezettség és a kockázat felmérését és a kockázatcsökkentési tervet minden esetben a terület ismeretében, területspecifikus formában kell elkészíteni. Korábbi tapasztalatokat természetesen fel lehet használni, de a technológiválasztási döntési sorozaton minden esetben végig kell menni, és a végső döntéshez szükséges a konkrét kiválasztott technológia vagy technológiaegyüttes technológiai paramétereinek helyszínspecifikus, kísérleti meghatározása is.

A technológiai paraméterek

A technológiai paraméterek kiválasztásánál az irányadó a remediációt végző biológiai közösség igénye. De ne felejtsük el, hogy a technológiai paraméterek biztosításának komoly költségei vannak, tehát az optimálásnál nem csak a biológiai igényt, hanem a költség-haszon mérleget is figyelembe kell vennünk. A fizikai kémiai módszerek esetében a technológiai paraméterek széles skálája alkalmazható, a biológiai beavatkozások enyhe, de hosszú ideig tartó beavatkozások. A berendezés a biotechnológiáknál általában olcsóbb, mint a fizikai-kémiai technológiáknál, ahol gyakran bonyolult, igényes berendezésekre és széles skálán mozgó technológiai paraméterekre lehet szükség.

A technológia kockázata

A döntésünket alapvetően befolyásoló faktor. Az ökoszisztéma és az emberi egészség védelmén kívül a technológia saját kockázata a költségeket is nagyban befolyásolja.

Milyen kockázatokkal számoljunk?

Alapvetően kétféle kockázatot különböztessünk meg. A maradék kockázatot a kezelt szennyezett környezeti elemekben és a technológia alkalmazása közbeni kibocsátásból származó kockázatot. Mindkét kockázatot jól szemlélteti a kockázati profil. Ha a technológia alkalmazása közbeni kockázat elfogadhatatlanul nagy, akkor a kibocsátás csökkentéséről kell gondoskodnunk. Ez a kockázatcsökkentési intézkedés eltér *in situ* és *ex situ* technológia alkalmazása esetén, hiszen *ex situ* esetben legkézenfekvőbb megoldás az izoláció: elpárolgás kontrollálása, gázelszívás, sáttortető, drénrendszer, csurgalékvíz gyűjtés és kezelés, izolálás geofóliával, vízzáró réteggel, stb. Az *in situ* kezelés során szintén szóba jön az izoláció: felszín alatti résfalak, kapszulázás, de gyakoribb a mobilis fázisok kontrollja, pl. vízszintsüllyesztő kutakkal vagy gáz/gőzelszívással. A szilárd fázisból történő mobilizációt, stabilizálással vagy immobilizálással oldhatjuk meg, pl. kémiai oxidáció/redukció, mikrobiológiai immobilizáció vagy fitostabilizáció.

Technológiamonitoring, utómonitoring

A technológiából történő kibocsátást és a technológia alkalmazása utáni kibocsátást monitorozással ellenőrizzük. A technológiamonitoring és az utómonitoring alapulhat ugyanazon az integrált rendszeren, és a mintavételt vagy mérést biztosító berendezések is lehetnek ugyanazok. Monitorozott természetes szennyezőanyag-csökkenés esetén tulajdonképpen mesterségesen beállított technológia nincs is, csupán a monitoringrendszer működik.

A monitoring adatok értékelésére és interpretációjára ma még nem fordítanak elegendő gondot, holott a nyers adatok önmagukban nem elegendőek a döntésekhez. Ez az egyik legfőbb oka a rossz döntéseknek.

6.2. Gazdasági szempontok

Egy szennyezett területtel kapcsolatos döntési folyamatban nagy szerepe van a gazdasági szempontoknak, a költségeknek és az abból adódó hasznoknak. A konkrét költségek meghatározása viszonylag egyszerű, nehezebb már a területfejlesztéssel és a terület jövőbeni használatával kapcsolatos hasznok és a pénzben ki nem fejezhető hasznok számbavétele és mennyiségi meghatározása. Utóbbiak kvantifikálása nem is mindig lehetséges, ilyenkor a kvantitatív eredmény kiszámítása helyett a kvalitatív jellemzést vagyunk kénytelenek választani.

Költségek és hasznok

Miből tevődik össze a remediáció költsége?

1. Előkészítés, felmérés, tervezés költségei.
2. A berendezés létrehozásának, telepítésének vagy bérlésének ára.

3. Az alkalmazandó technológia paraméterei és a rendelkezésre álló idő egyértelműen megszabják a technológia működtetési költségeit.
4. Az alkalmazandó technológia saját kockázatának csökkentése, mint költségtényező.
5. A költségek tetemes részét képezheti a technológia monitoring és az utómonitoring.

Miből adódnak a hasznok?

1. A szennyezettség megszűnéséből adódó értéknövekedés.
2. A remediáció során megengedett területhasználat.
3. A remediáció utáni értékesebb területhasználat.
4. A szennyezőanyag hasznosítása.
5. Pénzben kifejezhető szociális, egészségügyi és életminőségbeli hasznok.
6. Pénzben ki nem fejezhető szociális, egészségügyi és életminőségbeli hasznok.

Valamennyi költségnövelő és költségcsökkentő tényező befolyásolható és optimálható. Az erre alkalmas eszközök a környezetmenedzsment eszközeivel azonosak, vagyis kvantitatív felméréseken (kockázat, költség-haszon) alapuló döntéseket követő intézkedések, korlátozások, technológiák alkalmazása, területhasználatok és tulajdonviszonyok megváltoztatása.

Költségek befolyásolása:

A 2. ábrán (enyhe technológiai beavatkozások vonata) bemutatott beavatkozások fokozatai balról jobbra növekvő költségeket, ugyanakkor az időigény csökkenését jelentik. A fokozatok megfelelő megválasztásával és szükség esetén megváltoztatásával befolyásolhatjuk a költség- és az időigényt.

A célérték is jelentősen befolyásolja a költségeket, de egyben a jövőbeni területhasználatot is: kisebb célérték nagyobb költséget, hosszabb időt, stb. igényel, de értékesebb területhasználatot tesz lehetővé. A célértékre vonatkozó döntésnél a mérleg nyelvét a jövőbeni területhasználat fogja elbillenteni. Ha értékes területhasználat van kilátásban nagyobb költséget is elbír a terület, és fő cél lehet, hogy minél előbb sor kerüljön az értékes(ebb) területhasználatra.

Ezt a gondolatot meg is lehet fordítani, és sokszor meg is kell: ha sokba kerül egy terület remediációja, tervezzünk rá értékes használatot, hogy legyen olyan tervezett haszon, amire megelőlegezhetőek a remediáció költségei. Ezt a területfejlesztést tervezőknek kell a kockázatmenedzsmenttel közösen meghatározniuk.

Egy remediációs technológiának magának is van környezeti kockázata, hiszen a szennyezett terület megbolygatása, a szennyezőanyag mobilizálása, ha csak átmenetileg is, de szükséges folyamatok, műveletek lehetnek a technológia alkalmazása során. A technológia saját kibocsátásának mérése (monitoringrendszer) és kockázatának követése minden remediációhoz kötelezően kapcsolandó tevékenység, még a természetes remediációs, öngyógyító folyamatokra alapozó technológiáknál is (monitorozott természetes szennyezőanyag-csökkenés: MNA).

A szennyezett terület kockázatának átmeneti növekedése több tényezőtől is függ, így a terület hidrogeológiai jellemzőitől, a szennyezőanyag változásain keresztül a

beavatkozás típusáig. A rendszer összetettsége miatt a kvantitatív előrejelzés nem könnyű feladat, ezért az automatikus kibocsátás-megelőzés szokott a megoldás lenni, ami esetenként túlbiztosítást, emiatt többletköltséget eredményezhet.

A technológiámonitoring jelentős költséget tehet ki abszolút értékben is, de a remediációs technológiához viszonyítva annál nagyobb, minél olcsóbb technológiát alkalmazunk, tehát relatíve a MNA-nál lehet a legnagyobb. *In situ* bioremediációnál az utómonitoringgal azonos elrendezésű monitoringrendszer felállítása nem jelent többletkiadást csak a működtetését kell számításba venni.

A költségeket csökkentő vagy hasznot hozó gazdasági tényezőkre koncentrálni kell emelni a remediáció során történő területhasználatot, amely valószínűleg nem teljes értékű vagy nem a végleges területhasználat, hanem egy átmeneti, kisebb igényű területhasználat, mégis jelentős hasznot eredményezhet.

A kataszterbe bejegyzett szennyezettség direkt értékcsökkentő tényező, mely bejegyzés a terület remediálása után megszűnik, a terület visszanyeri eredeti területhasználatához tartozó értékét. Amennyiben a területhasználat megváltozik, az érték az új használat szerinti értéken lesz nyilvántartva és jelenik meg a piacon. Ennek természetes feltétele, hogy a terület az új területhasználatához illeszkedő remediációs célértéket érje el a kezelés után.

A hasznok oldalát növelheti a remediáció során keletkező termék hasznosítása is. Ez lehet a kinyert vagy átalakított szennyezőanyag, pl. lefőlt és tisztított olaj, vagy a kezelt talajból esetleg annak valamely részéből előállított termék, pl. homok, vagy más építőanyag, steril talaj, stb. Az *ex situ* kezelt talajt minőségétől függően lehet különböző célokra hasznosítani: meddőhányók letakarása, útalap, mezőgazdasági hasznosítás, steril talaj, stb. A hasznosításból eredő haszon ismeretében érdemes a kezelési technológiát a termék minőségének figyelembe vételével módosítani. Lehet, hogy a biológiai kezelés időtartamának meghosszabbítása vagy a deszorpció hőmérsékletének megváltoztatása értékesíthető terméket eredményez.

6.3. Technológiaválasztási döntési algoritmusok

A döntési algoritmusok, ha már elkészültek, szinte mechanikusan alkalmazhatóak a lehető legjobb remediációs technológia kiválasztásához. Mindazonáltal a mechanikus alkalmazás mindig veszélyeket hordoz magában. Ezeket az előregyártott sablonokat csak mankónak tekintjük, ötletadóknak, de a valódi megoldásunk mindig a szennyezettségi eset tökéletes ismeretén alapuló egyedi megoldás legyen.

Technológiaválasztási döntési algoritmus általános esetben

Az esélyes technológiák kiválasztásához vezető út folytonos szűkítést jelent. A szelekció a technológiaválasztás elvi alapjainak tisztázása után kialakított szempontok szerint történik. Mérlegelni kell az első szelekció után kapott technológiák előnyeit és hátrányait. A döntési algoritmus és/vagy az elvi megfontolások alapján kiválasztott alternatívákat laboratóriumi kísérletek alapján értékeljük, tehát az elvileg megfelelő technológiák alkalmazását laboratóriumi kísérletekkel támasztjuk alá.

6.3.1. Általános döntési algoritmus természetes szennyezőanyag-csökkenés esetén

Az általános döntési algoritmusban pirossal adjuk meg a kulcsot (haladási irányt) a konkrét szennyezett talajhoz alkalmas technológiák kiválasztásához.

1. Régi-e a szennyezettség?

Igen 2

Nem 16/17

2. Monitorozott-e a terület?

Igen 2a

Nem 14

2a. Azonosított(ak)-e a szennyezőanyag(ok)?

Igen 2b

Nem 13

2b. Azonosítottak-e a szennyezett környezeti elemek?

Igen 2c

Nem 13

2c. Azonosítottak-e a szennyezett fázisok?

Igen 3

Nem 13

3. Azonosítható-e természetes szennyezőanyag-csökkenési folyamat a területen?

Igen 4

Nem 14

4. Kockázatot csökkentő folyamat-e?

Igen 4a

Nem 5

4a. Mobilizációs folyamat zajlik-e a területen?

Igen 4b

Nem 4c

4b. Biodegradáció folyik-e a területen?

Igen 6

Nem 6/4c

4c. Immobilizációs folyamat zajlik-e a területen?

Igen 6

Nem 14

5. Kockázatot növelő-e?

Igen 17

Nem 16

5a. Mobilizációs folyamat zajlik-e a területen?

Igen 5b

Nem 5c

5b. Biodegradáció folyik-e a területen?

Igen 6

Nem 6/5c

5c. Immobilizációs folyamat zajlik-e a területen?

Igen 6

Nem 14

6. Technológia alapját képezheti-e a folyamat?

Igen 7

- Nem 16/17**
7. A talaj kitermelése nélkül alkalmazható-e a technológia?
Igen 10/11
Nem 8
8. Talaj kitermelése és *ex situ* kezelése
Igen 9
Nem 7
9. A talaj szemcseméreteloszlása indokolja-e az előzetes frakcionálást?
Igen 9a
Nem 10/11
- 9a. Szemcseméret szerinti frakcionálás után kapott frakció szennyezett-e
Igen 10/11
Nem 18

10. Mobilizáción alapuló módszer alkalmazása

- 10a. Mobilizáció a gáz/gőz vagy vízfázissal együtt
- | | |
|--|-----|
| Gáz/gőzfázis eltávolítása és kezelése | 12a |
| Folyadékfázis eltávolítása és kezelése | 12b |
- 10b. Mobilizáció más fázisba átvitelével
- | | |
|--|---------------------|
| Gáz/gőzfázis eltávolítása talajvízből | sztrippelés |
| Gáz/gőzfázis eltávolítása szilárd fázisból | deszorpció |
| Szorbeált fázis átvitele folyadékfázisba | mosás, extrakció |
| Szorbeált fázis átvitele gőzfázisba | termikus deszorpció |
- 10c. Biológiai folyamatokon alapuló mobilizációs módszer alkalmazása
- | | |
|---|-------------------|
| Bármilyen fázis eltávolítása bármely fázisból | biodegradációval |
| Szorbeált fázis átvitele folyadékfázisba | biológiai kioldás |
| Szorbeált fázis átvitele biológiai fázisba | fitoextrakció |

11. Immobilizáción alapuló módszer alkalmazása

- 11a. Fizikai-kémiai immobilizáció
- | | |
|----------------------|-----------------------------------|
| Fizikai stabilizáció | tömbösítés, diszperz stabilizálás |
| Kémiai stabilizáció | meszezés, oxidáció/redukció |
- 11b. Biológiai immobilizáció
- | | |
|---------------------------------|-------------------------------|
| Oldott fázisból szilárd fázisba | rizofiltráció, bioakkumuláció |
| Fizikai stabilizálás | fitostabilizáció |

12. Gőz/gázfázis és folyadékfázis *ex situ* kezelése

- 12a. Gőz/gázfázis *ex situ* kezelése
- gáz/gőzadszorpció
 - katalitikus égetés
 - biológiai szűrés, stb.
- 12b. Vízfázis *ex situ* kezelése
- fázisszétválasztás: üleptetés lefölvözés
 - adszorpció
 - kémiai kezelés (oxidáció, redukció, dehalogénezés, stb.)
 - biológiai kezelés
 - UV-oxidáció, stb.

13. Állapotfelmérés

- 14. Monitorozás
- 15. Kockázatelemzés
- 16. Intézkedés
 - Megelőzés
 - Korlátozás
 - Remediáció
- 17. Gyorsintézkedés
- 18. Kezelt talaj (más környezeti elem vagy fázis) hasznosítása

A feketével számozott döntési pontokban adott válaszok vagy újabb fekete döntési pontokhoz irányítanak minket vagy a pirossal jelölt megoldáshoz: technológiához, vagy intézkedéshez.

A döntési algoritmus fenti, "kulcsszámokon" alapuló megoldáson kívül más, például blokk-séma formájában is felrajzolható, ahol nyilak és dobozok jelölik ki a döntési útvonalat. A választható konkrét technológiák itt is a döntések végső lépését jelentik.

A most ismertett döntési algoritmusok technológiai jellegűek, a gazdasági és szociális argumentumokat, a jövőbeni területhasználatot még nem tartalmazza. Ezeket a szempontokat a döntési folyamat finomításaként kell integrálni.

6.3.2. Technológiválasztási séma szennyezett üledék remediálására

A szennyezett területhez alkalmas legjobb technológia kiválasztására alkalmas blokk-sémát mutat be a 3. ábra.

TECHNOLÓGIAVÁLASZTÁSI DÖNTÉSI MÁTRIX



