

Európa itt épül



GVOP-3.1.1-2004-05-0261/3.0

Bányászati tevékenységből származó diffúz szennyezőforrások kockázatának csökkentése immobilizáción alapuló integrált remediációs technológiákkal

1. munkaszakasz: 2005 április 1–2005 december 31.

Konzorciumi tagok:

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Mezőgazdasági Kémiai Technol. Tsz.

Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet

Tatai Környezetvédelmi Rt.

MECSEKÖKO Környezetvédelmi Részvénytársaság

Projektvezető: Dr. Gruiz Katalin



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
MEZŐGAZDASÁGI KÉMIAI TECHNOLÓGIA TANSZÉK



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA



MECSEK-ÖKO KÖRNYEZETVÉDELMI RT.



**TATAI
KÖRNYEZETVÉDELMI
RÉSZVÉNYTÁRSASÁG**

TATAI KÖRNYEZETVÉDELMI RT.

Tartalomjegyzék

1. Munkaszakasz célkitűzései, feladatai	3
Részletes szakmai beszámoló a BÁNYAREM, GVOP-3.1.1-2004-05-0261/3.0 számú pályázathoz	4
1.1. Információgyűjtés: a nemzetközi és hazai helyzet felmérése és bemutatása	4
1.1.1. Nemzetközi kontextus	4
1.1.2. Információgyűjtés	5
1.1.3. A kémiai stabilizálószeres, valamint a biológiai; mikrobiológiai- és fitostabilizációs módszerek fémekkel diffúzan szennyezett forrásokra	6
1.2. Modellterületek felmérése, a GIS-alapú transzport- és kockázati modell felállítása	9
1.2.1. Bányászat által érintett diffúzan szennyezett területek felmérése	10
1.2.2. Kvalitatív kockázatfelmérési módszer kidolgozása és alkalmazása	10
1.2.3. GIS alapú kvantitatív kockázati kockázatfelmérés koncepciója	10
GIS alapú kvantitatív kockázatfelmérési módszer kis és nagy vízgyűjtőkre: a kvantitatív kockázatfelméréshez használt lefolyási modell és kalibrálása	11
A Gyöngyösoroszi terület ismertetése	11
A Gyöngyösoroszi, Toka patak vízgyűjtőterületére kidolgozott kockázatalapú környezetmenedzsment metodika elemei	14
Kockázatfelméréssel kapcsolatos tevékenységek a modellterületen	14
A tevékenységek részletezése	14
1.2.4. Következtetések	16
1.3. Diffúzan szennyezett területek remediálására alkalmas technológiák leltározása, osztályozása	16
1. Talajremediáció, stabilizálás, immobilizálás (BME tanulmány)	17
2. Kármentesítési technológiák leltára, különös tekintettel azok hatékonyságára és környezetbiztonsági sajátosságaira (TAKI tanulmány)	
3. Nehézfém-szennyeződés kármentesítési lehetőségei fitoremediációval – tematikus szakirodalmi áttekintő tanulmány (MECSEK-ÖKO tanulmány)	18
4. Alkalmas technológiák kiválasztása (MECSEK-ÖKO)	18
5. Nehézfém-szennyeződés kármentesítési lehetőségei fitoremediációval: technológia értékelés és különböző provokációs technológiákkal való összehasonlítás (Tatai)	19
1. 4. A szabadföldi kísérletek előkészítése	19
1.5. Disszemináció	20
1.5.1. Publikációk	20
1.5.2. Disszeminációt és nemzetközi kapcsolatépítést alátámasztó dokumentumok	20

Az 1. munkaszakasz feladatai

Munkaszakasz célkitűzései, feladatai

1.1. Információgyűjtés

1.2. Térképezés, modellezés

1.3. A stabilizációs technológiák és technológia-együttesek áttekintése és kiválasztása.

1. 1. Információgyűjtés

A nemzetközi helyzet és eredmények felmérését követően a magyarországi helyzetről szerzünk részletes információt. Az információgyűjtésnek 4 részzakasza van a következő témakörökben:

- Magyarországi diffúz szennyezőforrások és maradó szennyezőanyagok/hulladékok
- Kémiai stabilizálószeres és alkalmas hulladékok, azokra koncentrálni, amelyek hosszútávon és közel irreverzibilisen képesek szennyezőanyagok stabilizálására.
- Mikrobiológiai stabilizálás
- Fitostabilizálás

Résztvevők: BME, TAKI, Mecsek-Öko, Tatai Kv. Rt.

1.2. Térképezés, modellezés

A modellterületek felmérése és GIS alapú transzportmodell és kockázati modell felállítása

- A modellterület felmérése (BME, TAKI)
- GIS alapú terjedési modellek megalkotása (BME)
- GIS alapú kockázati modell metodikai megalapozása és gyakorlati alkalmazása (BME)

1.3. A stabilizációs technológiák és technológia-együttesek

- Alkalmas technológiák leltározása
- A leltárak alapján a diffúz forrásból történő kibocsátást korlátozó technológiák kiválasztása, elsősorban a fizikai, kémiai stabilizációs és fitostabilizációs technológiáké. Az összes lehetséges technológia és a technológiák kombinációinak számbavétele. (BME, TAKI, Mecsek-Öko, Tatai Kv. Rt.)
- A technológiák széles körének szűkítése, összehasonlító jellemzése a laboratóriumi kísérletek alapján (BME, TAKI).

Részletes szakmai beszámoló a **BÁNYAREM** című, GVOP-3.1.1-2004-05-0261/3.0 számú pályázathoz

A szerződést 2005. 06. 06.-án írtuk alá, a munkát már áprilisban megkezdtuk.

Kutatómunkánk célját és kontextusát finomítottuk és konkretizáltuk: célunk a bányászat befejezése utáni teendők közül a diffúz források kockázatának kezelése. A diffúz szennyezettség definiálásához és a pontforrásoktól való megkülönböztetéshez végig kell mennünk bányászat befejezését követő teendőn, a bányászati hulladékok kockázatának felmérésétől azok csökkentésén keresztül a „postmining” teendők minden lépésén.

Az első munkaszakaszban hét munkaértekezletet tartottunk, ahol tisztáztuk a feladatmegosztást és a konzorciumon belüli és kívüli együttműködés módját, követtük a tervek szerinti előrehaladást, értékeltük az eredményeket és összehangoltuk a terveket, valamint egyeztettük az első munkaszakasz zárójelentésének témáit. Elkészítettük és elhelyeztük az arculati útmutató szerinti plakátokat.

Az első munkaszakasz valamennyi feladatát teljesítettük és a következőkben részletesen bemutatjuk. Ebben a beszámolóban szereplő feladatok részletes kidolgozása a résztvevők által készített vagy készített tanulmányokban szerepel. A tanulmányokat minden résztvevő megkapta, egy példányát koordinátor archiválta. Ezekre az elkészült tanulmányokra hivatkozunk az összefoglalásban és felsoroljuk őket a mellékletben.

1.1. Információgyűjtés: a nemzetközi és hazai helyzet felmérése és bemutatása

Az információgyűjtés három területre terjedt ki: a nemzetközi helyzetre, a hazai bányászati hulladékokra valamint a kockázatcsökkentést a szennyezőanyag immobilizációja által megvalósító anyagokra (kémiai stabilizálószerke) és biológiai rendszerekre (növények és mikroorganizmusok).

1.1.1. Nemzetközi kontextus

A nemzetközi kontextus áttekintése alapján leszögezhetjük, hogy a diffúz szennyezettség felmérése és csökkentése kiemelt fontosságú téma az EU-ban, és az egyes EU országok nemzeti programjaiban is szerepel a diffúz szennyezettség és a diffúz szennyezőforrások megkülönböztetett menedzsmentje. A mi kutatásaink alapelveit jelentő *kockázatalapú, vízgyűjtő szintű és GIS alapú* menedzsment mindössze néhány éves múltra tekint vissza. Az európai és USA programok elsősorban a mezőgazdasági és városi eredetű diffúz szennyeződésre koncentrálnak, az ipari, ezen belül a *bányászati eredetű* diffúz szennyezettség kezelésére nem találunk általánosan alkalmazható, kidolgozott koncepciót, a jelenleg létező megoldások egyes konkrét esetek helyspecifikus kezelésére korlátozódik. **„Áttekintés a nemzetközi helyzetről”** című szöveggyűjteményünk a nemzetközi helyzetet tükröző internetes és papír-alapú publikációkból összeállított anyag, melyben szerepelnek a legfontosabb releváns konferenciák, kutatási projektek, adatbázisok, nemzeti környezetvédelmi felügyeletek és kutatóhelyek releváns projektjei, ismertetői. Kiemelném a Diffúz Szennyezettség Konferenciákat: Dublin, 2003, Kyoto, 2004, az információs rendszereket: US-EPA, EUGRIS: Diffuse Pollution Home Page és adatbázis; a kutatási és demonstrációs projekteket: SNIFFER 2005, SENSPOL, SOWA, RECONSILE, DIFPOLMINE, CoStar; a hálózatokat: SedNet, az egyetemeket: Newcastle University, Durham University, Lancaster University és a kutatóintézetek közül: IWA Specialist Group.

Kimondottan bányászattal foglalkozó projektek a **MINEO** projekt 2000–2003, az EU „INFORMATION SOCIETIES TECHNOLOGY PROGRAMME” keretében, melynek fő célkitűzése a hiperspektrális távérzékelési módszerek kidolgozása a bányászatból eredő szennyeződés felmérésére és nyomon követésére egységes európai metodika szerint. A **PIRAMID** projekt (Passive In-situ Remediation of Acidic Mine / Industrial Drainage), a savas bányavizek, illetve ipari eredetű szennyvizek passzív, *in-situ* remediációjával foglalkozott az EU 5 keretprogramjában. Az **ERMITE** (Environmental Regulation of Mine Waters in the European Union) hároméves kutatás és fejleszté-

si projekt, melynek fő célkitűzése bányavizek menedzsmentjére vonatkozó európai jogszabály alapú integrált irányelv/metodika létrehozása, a Water Framework Directive szerinti vízgyűjtő szintű menedzsment alkalmazására.

Az **EU, PECOMINE I.** az EC Joint Research Center (JRC, Ispra) projektje, mely a DG Environment és a EEA (Európai Környezetvédelmi Intézet) valamint az új és jelölt tagországok, (PECO országok) Bulgária, Csehország, Észtország, Magyarország, Lettország, Litvánia, Lengyelország, Románia, Szlovákia és Szlovénia közreműködésével indult 2001-ben. Főbb célkitűzései az EU 2006-ban életbe lépő bányászati hulladékokra vonatkozó direktívájának (COM (2003) 319 final; MWD) előkészítése volt, így a bányászati hulladékok leltárba vétele, országonként, ezen belül vízgyűjtő szinten, hagyományos módszerekkel és műholdas távérzékelési technikák bevonásával valamint az új és jelölt tagországok bányászati hulladékokkal szennyezett területeinek felmérésére és remediációjára használt kritériumok összehasonlítása az EU tagországokban működő rendelkezésekkel és az EU-s jogszabályokkal.

Kockázatalapú leltárak és ehhez megfelelő egységes metodika Európában nincs, holott az új direktíva kötelezi a tagállamokat kockázatalapú leltárak készítésére bányászati hulladékaikról. PECOMINE I. folytatásaképpen mind a 25 tagországot és a jelölteket is magában foglaló projekt indul, a **PECOMINE II**, mely a direktíva által megkívánt egységes metodika kidolgozásán kívül, annak kipróbálását és alkalmazását is célul tűzte ki 6–8 un. pilot területen.

PECOMINE II. szakmai együttműködést kezdeményezett a BME-vel a bányászati hulladékok kockázat alapú felmérése és leltározása témakörben. A kockázatalapú metodikához fel kívánják használni BME által a BÁNYAREM projektben vízgyűjtő területekre kidolgozott kvalitatív és kvantitatív kockázatfelmérési módszert. Emiatt munkatervünk 1.2. feladatát kiemelten kezeljük, és a projektszintű mutatók között is szeretnénk szerepeltetni a kidolgozott metodikát. Az európai együttműködés keretében a BÁNYAREM projekt gyöngyösoroszi modellterületével részt kívánunk venni abban a pilot-hálózatban, melyben a harmonizált európai metodikát fogják tesztelni. Az európai kutatás anyagi megalapozására MINEWATCH címmel Consorted Action típusú pályázatot készítettünk elő, melyet hamarosan beadunk. Az együttműködés eredményeit hasznosítjuk BÁNYAREM projektben is.

A PECOMINE-on kívül egy sor más európai projekttel is együttműködtünk, többek között a bányászati eredetű diffúz szennyezettség remediálásával foglalkozó **DIFPOLMINE Projekttel** (ADEME, Franciaország), a **Costar** Demonstrációs Projekttel (HERO Group, Newcastle University, Anglia) bányavizek és csurgalékok „passzív” kezelése témában, az **EUGRIS** információs rendszerrel, melynek adatbázisában megjelenítettük júliusi diffúz szennyezettséggel foglalkozó konferenciánkat és tanfolyamunkat és meg fogjuk jeleníteni a BÁNYAREM projektet és eredményeit.

1.1.2. Információgyűjtés

Az információgyűjtés és a magyarországi fémbányászati eredetű, illetve toxikus fémeket tartalmazó szennyezőforrások felmérése és leltározása iteratív viszonyban áll az 1.2. feladattal, vagyis a kockázati modell létrehozásával, hiszen a leltár, a leltáron belüli kockázati rangsor a kidolgozandó kockázatfelmérési módszerrel határozható meg, ugyanakkor annak eredménye meghatározza a leltárat és a leltáron belül rangsort.

Ez a mi feladatunkban azt jelentette, hogy a bányászati hulladékokról szerzett információt a kockázatfelmérés szempontrendszer szerint kell rendszerezni, majd a kockázatfelmérés lépcsőfokai által igényelt információkat beépíteni a beszerzendő információk egységes rendszerébe. Tehát az állapotfelmérési szempontokat és a kockázatfelmérési metodikát egymás segítségével kell finomítani. Az egyik ilyen finomítási irány a pontszerű és diffúz források megkülönböztetése kockázatuk alapján.

A kockázatfelmérés fejlesztésének másik iránya a lépcsőzetesség. Mindkét fejlesztésnél figyelembe vesszük a bányászati hulladékokra vonatkozó európai direktíva igényeit és eddigi eredményeit.

A kockázatfelmérési módszerek adatigényét kielégítő, fém-bányászati hulladékokra vonatkozó információkat jelen pályázat keretében összegyűjtöttük. Ezeket az információkat általános meteorológiai, topográfiai, hidrogeológiai adatokkal és légifelvételekkel kiegészítve minden szükséges információ rendelkezésünkre áll a kockázatfelméréshez. Az is előfordulhat, hogy több az állapotfelméréskor beszerzett adat, mint a szükséges: a kockázatfelmérési metodika egyúttal a szükséges adatmennyiséget is meghatározza, tehát költséghatékony.

A magyarországi bányaterületek és hulladéklerakatok pont és diffúz forrásainak részletes adatgyűjtő felmérése megtörtént, és a felmérések eredményét 5 tanulmányban rögzítettük. A felmérések a fém-bányászból származó nehézfém-tartalmú pont- és diffúz szennyezőforrásokra, valamint a vörösiszap- és pernyetározókra terjedtek ki. Az egyes területeken felmért szennyezőforrásokra vonatkozó adatokat azonos szempontrendszer szerint foglaltuk össze. Az összegyűjtött adathalmaz nem kimondottan a kockázati koncepció alapul, hanem sokkal inkább a fellelhetőség, a hagyományos hidrogeológiai szemlélet határozza meg az adatok fajtáját és struktúráját. Az egyes területekre fellelhető adatok begyűjtése az 1. számú mellékletben található **egységes szempontrendszer** szerint történt. Az 1.2. feladatpontban megadjuk a kockázatfelmérés koncepciómodelljét (3. számú melléklet: **Integrált Kockázati Modell**) és a 4. számú melléklet: **Előzetes Kvalitatív Kockázatfelmérés** adatigényét.

A szennyezőforrások leltározásához elkészült tanulmányok az alábbiak:

1. Tanulmány a Mecseki uránércbányászat hatásterületén található felszíni szennyezőforrásokról (MECSEK-ÖKO)
2. Tanulmány a Gyöngyösoroszi Ércbányászat hatásterületén található felszíni szennyezőforrásokról (MECSEK-ÖKO)
3. Tanulmány a Recski Ércbányászat hatásterületén található felszíni szennyezőforrásokról (MECSEK-ÖKO)
4. A magyarországi vörösiszap tározók katasztere (TATAI)
5. Tanulmány a pernyehányókról (TATAI).

Ezen tanulmányok alapján összefoglalható, hogy Magyarországon, – összehasonlítva más európai vagy jelölt országokkal – viszonylag kevés bányászati hulladéklerakattal, pont és diffúz szennyezőforrással kell számolnunk. Ezek áttekinthetőek, leltározhatóak és a rájuk vonatkozó információk viszonylag könnyen beszerezhetőek.

Az egyik típus a toxikus fémek bányászatához kötődik: a mecseki uránérc-bányászat, a gyöngyösoroszi és recski réz- cink és ólombányászat különféle hulladékai: bányameddő anyagok, az izolálatlan hányók csurgalékai, flotációs meddőhányó, savas bányavíz és annak semlegesítésekor keletkező csapadékok, szennyezett felszíni vizek, felszíni vízi üledékek, szennyezett talajok.

A másik bányászati hulladéktípus a vörösiszap- és pernyehányók, melyeknél elsősorban a lúgosság és a kiporzás kockázatát kell csökkenteni, de gyakran problémát jelentenek a nehézfémek is. Mindkét hulladék esetében igaz, hogy izolálásuk és tájba illesztésük mellett fontos követelmény az újra-felhasználhatóság biztosítása. Ezek Magyarországon Ajka; Almásfüzitő (Tata); Neszmély; Mosonmagyaróvár.

1.1.3. A kémiai stabilizálószer, valamint a biológiai; mikrobiológiai- és fitostabilizációs módszerek fémekkel diffúzan szennyezett forrásokra

A kiindulási információgyűjtés a szennyezett területeken kívül a kockázatfelmérést és kockázatcsökkentést megalapozó információkra is vonatkozik. A mozgékonyságuk és biológiai hozzáférhetőségük miatt veszélyes szennyezőanyagok kockázatának csökkentését jelentő stabilizálásra vagy immobilizálásra alkalmas kémiai anyagok és biológiai folyamatok összegzése további 4 tanulmányban készült el.

1. Szennyezőanyagok stabilizálása talajban kémiai adalékanyagokkal és alkalmas hulladékokkal (MECS EK-ÖKO)
2. Fitostabilizálás (MECSEK-ÖKO)
3. Fémek immobilizálása talajban (TAKI)
4. Talajremediáció, stabilizáció, immobilizáció (BME).

A tanulmányok fontos megállapítása, hogy a fémek mobilitása és biológiai hozzáférhetősége nem csak a fémtől, de a talaj tulajdonságaitól is függ, így a talaj összetételétől, pH-jától, ioncserélő képességétől, szervesanyag-tartalmától, a redoxviszonyoktól, és a talajban lévő egyéb (fém)ionoktól. A fémek megjelenési formái nem állandóak, hanem a talaj összetételétől, pH-jától, redoxviszonyaitól (E_H) függően változhatnak. A fémek hozzáférhetősége a növények és más élőlények számára függ a talaj típusától, pH-jától, kation cserélő kapacitásától, szerves anyag koncentrációtól, az adott fém(ek) tulajdonságaitól.

A legfontosabb, alkalmazási realitással bíró és laboratóriumi kísérleteinkben is felhasználható kémiai stabilizálószerke a következőképpen csoportosíthatóak:

- ipari melléktermékek, hulladékok, amelyek elhelyezését, visszaforgatását, ártalmatlanítását egyébként is meg kell oldani, pl. szennyvíziszapok, állati és növényi eredetű trágyák, salakok, hamuk, pernyék, vízkezelési csapadékok, stb.
- foszfátok
- szerves anyagok és biohulladékok
- vas- és mangán-oxidok, hidroxidok, oxihidrátok
- zéró értékű vas
- természetes és mesterséges agyagásványok (alumínium-szilikátok, zeolitok)
- lúgos anyagok.

Ezek az anyagok a hulladékhoz adva kicsapással, adszorpcióval vagy adszorpcióval, komplexképzéssel, redox-átalakítással, humifikálás vagy agyagásványképződés közben hatástalanítják a fémekeket. Az immobilizáció irreverzibilitásával arányos a kockázatcsökkentés. A cél az, hogy az immobilizációs folyamat irreverzibilis legyen. Az irreverzibilitást hosszútávon maga a folyamat és a külső körülmények együttesen biztosíthatják. Ezért a külső körülményeket hosszútávon kontrollálni kell, elsősorban a talajok egyensúlyban tartásával (előregedő, kilúgzódó, podzolosodó talajok esetén ismét mobilizálódhatnak a fémek), a pH és redoxviszonyok kontrolljával (pl. lápos területeken a vízborítás megszűnése a fémek mobilizálását okozza), a szorpciós kapacitás megtartásával. Különösen fontos a folyamatok kontrollja (monitoring és szükség esetén beavatkozás), mert a környezetben izolálatlanul elhelyezett diffúz bányászati hulladékok spontán megindulnak a komplex mállás és talajképződés útján, amikor előtérbe kerülnek a kioldási, mobilizálódási folyamatok. Ugyanakkor a talajszerkezet épülése miatt a kioldott elemek megtartására is mód van. Ezeket a szerkezetépítő folyamatokat is lehet az adalékanyagokkal stimulálni (pernyék, cementálóanyagok, szilikátképződés, humuszképződés, stb.) és ezzel elérni a szennyezőanyagok irreverzibilis vagy közel irreverzibilis beépülését.

Nem csak a towaterjedés miatt kell a toxikus fémekeket stabilizálni, hanem a növények érdekében is. Ha a fémek növények általi hozzáférhetősége nagy a talajban vagy a hulladékban, még a fémtoleráns növények sem képesek minden esetben megtelepedni. Ilyen esetben a szennyezett talajhoz a fémekeket immobilizálni, a biológiailag hozzáférhetőséget, a fémek növények általi felvételét és a fitotoxicitást csökkenteni képes adalékanyagokat adunk. A kémiai stabilizálószerke fitostabilizációval integráltan alkalmazva a leghatékonyabbak.

A mikrobiológiai stabilizálás elsősorban a szulfátredukciós folyamatokon alapuló oldhatatlan kémiai formák létrehozásához kötődik, akár vízben, akár talajban vagy üledékben.

A mikroorganizmusoknak a növényekkel együttműködve is óriási szerepük van a remediációs technológiákban, különös tekintettel a fitoremediációra, azon belül is a fitostabilizációra. A növények

tápanyagfelvételt és -hasznosítást, szennyezőanyag tűrőképességét és egyáltalán életképességét a szennyezett környezetben nagymértékben segítik a mikroorganizmusok. A mikroorganizmusok szoros vagy kevésbé szoros együttműködése a növényekkel (asszociáció, konzorcium, kommenzalizmus, szimbiózis, stb.) növelik a fitoremediáció sikerét.

A nehézfémek mobilitásának csökkentésére irányuló saját kutatásokat is ismertetnek a tanulmányok. A MECSEK-ÖKO beszámol az urán migrációjának mérséklésére született megoldásokról. Égetett mésszel, mint adalékanyaggal végeztek laboratóriumi, nyílttéri, valamint terepi vizsgálatokat, amelyek eredményei alapján a mész 1,5–2 kg/t mennyiségben került alkalmazásra urán tartalmú meddők áthalmozása során. A kezelés igen eredményesnek bizonyult a csúccsal jelentkező extrém magas uránszennyezés kiküszöbölésére.

MECSEK-ÖKO ismerteti tapasztalatait a felszín alatti reaktív gátak alkalmazásáról is, mivel szivárgó vizek káros környezeti hatásai mérsékelhetők ilyen rendszerekkel. Amennyiben szennyezett talajvíz mutatkozik valamely területen, akkor ezek a modern rendszerek alkalmasak a víz *in situ* tisztítására. Legrészletesebben a fémvas alapú migrációs gátak kerülnek tárgyalásra, azonban megemlíti a hydroxiapatit alkalmazását is és a vele végzett kísérleteket is. Az eredmények a foszfátokkal való immobilizáció elősegítésére irányuló vizsgálatoknál lehetnek fontosak.

A Gyöngyösorszi nehézfém problémakörhöz kapcsolhatók azok az elővizsgálatok, amelyeket a MECSEK-ÖKO Rt-nél az erőműi pernye felhasználása terén végeztek bányavízzel cink és kadmium immobilizálására. Vizsgálták a magnézium-oxidot is, amely ugyancsak képes olyan pH-értéket létrehozni a vízben (és feltehetően a talajban is) amelynél a cink, kadmium, vas, mangán stb. kicsapódik.

Kísérletekhez kiválasztott stabilizálószerke: A nemzetközi szakirodalomban fellelhető stabilizálószerke listájából és a korábbi tapasztalatainkból kiindulva integrált kémiai és fitostabilizációs laboratóriumi mikrokozmosz kísérleteinkhez az alábbi stabilizálószerket választottuk ki: méssz, méshidrát, lignit, alginit, tőzeg, nyersfoszfát, különféle pernyék, fémvas, vashidroxid, magnéziumhidroxid, vörösiszap. Ezeket magukban és egymással kombinálva is kipróbáljuk a 2006-ra tervezett laboratóriumi és szabadföldi kísérletekben.

A fitostabilizációról szóló összefoglaló az alkalmazási lehetőségekről és a tapasztalatok szerint alkalmazható növényekről ad áttekintést.

A fitostabilizáció lényege a nehézfémek fizikai immobilizálása, az oldható, mozgékony frakciók arányának csökkentése, növények segítségével. A növények közvetett hatása a felületre jutó vízmennyiség csökkenésében, a vízerózió megakadályozásában, a beszivárgás csökkentésében mutatkozik meg. A fitostabilizáció alkalmazása során a nehézfémek oldhatóságát különböző adalékanyagokkal csökkentik, majd a még „felvehető” frakciót dús gyökérzetű, élő növényekkel fémtoleráns fű, vagy fajokkal megkötik. A módszer különösen alkalmas a vízdoldható cink és kadmium vízzel való terjedésének gátlására, a „nehézkész” ólom, arzén és króm, valamint a szerves talajalkotókhoz is kötődő réz ártalmatlanítására. Nagy kiterjedésű, elsősorban felszíni szennyezések esetén elsődleges cél a talajba jutott szennyezőanyagok bármiféle mozgásának (defláció, erózió, talajvízbe mosódás, növényi hajtásba kerülés) megakadályozása.

A fémeket tartalmazó meddőhányók által okozott tájsebek rekultiválása elsősorban növényesítéssel oldható meg. Több esetben a meddőhányó kiporzásának megakadályozására (pernyehányók) vagy a meddőhányó sugárzó anyag tartalma (uránipari meddőhányók) miatt a környezetvédelmi hatóság meghatározott vastagságban földborítás kialakítását írja elő, a geológiai rendezést követően a terület újjáépítése (rekonstrukció), valamilyen funkcióra alkalmassá tétele, helyreállítása (restauráció) a földborításon a növények betelepítésével fejeződik be.

A stabilizálás során elsősorban dús gyökérzetű, fémtoleráns fűfajokat, pl. *Festuca rubra* és *Agrostis tenuis* vagy mélyebb talajrétegek szennyeződésekor nyár- és fűzfa megfelelő fajait vagy klónjait célszerű alkalmazni (EPA 2001). Minden esetben élő, kis tápanyag- és vízigényű növényeket

érdemes használni. Fontos a terület lehetőleg egész éves borítása, s a csapadék lemosó hatásának ellensúlyozása minél nagyobb párologtatással.

A fitoremediációs eljárás során tekintettel kell lenni a szennyező elemek oldhatóságát befolyásoló egyéb tényezők megfelelő szinten tartására. Általánosságban a kationképző nehézfémek stabilizálása során (Cd, Zn, Ni, stb.) célszerű a talaj pH-értékét 6,5-nél magasabban, anionképző elemeknél (Mo, Se, As) pedig inkább alacsonyabban tartani. Az előbb ismertetett 'szabály' kevéssé érvényesül két fontos szennyező elem, az ólom és a réz esetében. Különösen utóbbi oldhatóságában a szerves komplex-képzők, így huminsavak jelentősége nagy az ólom pedig elsősorban nehezen oldható csapadék formájában stabilizálható. A kationképző nehézfémekre immobilizáló hatású a mész, a foszfátok, az agyag, alumínium szilikátok (beringit) stb., a Ba-ra és a Se-re pedig a szulfátok.

A fitostabilizáció önmagában, kémiai stabilizálószer nélkül is alkalmas felszíni Pb és esetenként Cr és As szennyezés káros hatásainak mérséklésére. Cd, Zn, Ni és Cu esetén kémiai stabilizáló adalékok együttes alkalmazása a jó megoldás.

A MECSEK-ÖKO Rt. tanulmánya ismerteti radionuklidok fitoremediációjával kapcsolatos tapasztalatait. Leltározza a fitostabilizációra alkalmas növényfajokat, bemutatja a laboratóriumi növénynevelési kísérleteket: 64 faj szerepel a listán, közülük 16 cserje, 4 törpecserje. Jellemzi a növényfajokat beszerezhetőség, ültetethetőség és ápolásigény szempontjából is. Az értékes listából ajánlása szerint a konkrét területen őshonos fajt vagy ahhoz legközelebb állót kell kiválasztani.

A vörösiszaptározó növényestéséhez és a gyöngyösoroszi kísérletekhez kiválasztott növények elsősorban a helyi fűkeverékek, szarvasi lenergiafű, energiafűz és nyár.

A kísérletek tanúsága szerint a fitostabilizálás során a kémiai és biológiai módszerek együttes alkalmazása a legcélravezetőbb. A nehézfémek oldhatóságát adalékanyagokkal csökkentik, a még mozgékony frakciót pedig növényekkel megkötik. Az ólom oldhatóságát és növénybeli koncentrációját eredményesen csökkenti a zeolit is (1%). A foszfátok elsősorban az ólmot stabilizálják, adagolásuk (hidroxiapatit, piromorfit) a talaj oldható Pb-tartalmának csökkenése mellett növelte a gyökér és csökkentette a hajtás Pb-tartalmát. Kisebb a hatás egyéb nehézfémekre, így a Zn-re, a Cu-re, Cd-ra, bár a pH-értéket növelő nyersfoszfát utóbbiak oldhatóságát is csökkenti.

A kémiai stabilizálószer kiválasztására tervezett szisztematikus laboratóriumi kísérletek jelenleg folynak, a szabadföldi kísérletekben már azok tapasztalataira alapozunk.

1.2. Modellterületek felmérése, a GIS-alapú transzport- és kockázati modell felállítása

A bányászati hulladékok és a hulladékok által érintett területek kockázaton alapuló felmérésénél, leltározásánál – a szennyezett területeknél általában alkalmazott – többlépcsős kockázatfelmérési módszert célszerű alkalmazni. Mint azt a nemzetközi áttekintésnél jeleztük, Európában nincs egységes metodika, annak ellenére, hogy a 2006-ban elfogadásra kerülő direktíva kötelezi az országokat a kockázatalapú leltárak felvételére. A most ismertetendő kockázatfelmérési koncepciót munkánk közben igyekszünk összehangolni a 2006-ban születő európai metodikával.

A kockázatfelmérés első lépcsőfoka a bányászat és hulladékainak tipizálásán alapul. Az első lépésnél elkülöníthetőek a közismerten kockázatos bányászati tevékenységek hulladékai (toxikus fém vagy radionuklid tartalmú, erősen lúgos vagy savas) a kevéssé kockázatosaktól, (kőfejtés, szénbányászat hulladékai). Ezt a lépést formálisan nem dolgoztuk ki, mégis megtettük azzal, hogy projektünk hatókörét korlátoztuk a szerintünk kockázatosabb bányászati hulladékokra: a fémbányászati, beleértve a radionuklid-bányászati hulladékokra, a vörösiszapra és a fémtartalmú pernyehányókra.

A kockázatfelmérés második lépése az előzetes kockázatfelmérés, mely lehet kvalitatív félkvantitatív vagy akár kvantitatív is, lényege, hogy segítségével rangsorolhatóak legyenek a szennyezőforrások, szennyezett területek vízgyűjtő vagy akár regionális vízgyűjtőrendszer szinten. Olyan metodika szükséges, amely koncepciójában egyezik a harmadik lépcsőben alkalmazott részletes kvantitatív (de legalább félkvantitatív) kockázatfelmérési módszerrel, hogy azzal egymásra épülő folytonos rendszert alkosson, hogy a felmérés részletezésével és finomításával léphessünk

tovább. Az előzetes kockázatelemzési módszerrel szemben az is követelmény, hogy az általában meglévő vagy könnyen beszerezhető adatok segítségével lehessen a kockázatelemzést elvégezni, hogy adatbázisokból, archívumokból, pl. termelési adatokból, topográfiai térképek, légifelvétel alapján a területet ismerő szakember el tudja végezni.

A kockázatelemzés harmadik lépése a kvantitatív kockázatelemzés, amikor már pontszámok helyett valódi, mértékegységgel rendelkező értékeket gyűjtünk és ezekkel végezzük el a számításokat. A kvantitatív terjedési modell végeredménye az előre jelezhető környezeti koncentráció, melyet az elfogadható kockázathoz tartozó koncentrációértékekhez viszonyítunk: ez a PEC/PNEC, illetve ADI/TDI koncepció.

A munkaszakasz 2. feladatpontjában a kockázatelemzési metodika érdekében három részfeladatot végeztünk el:

1.2.1. Bányászat által érintett diffúzan szennyezett területek elemzése

Felmértük a bányászat által érintett területeket, kiválasztottuk a Gyöngyösorszi, Toka-patak völgyének vízgyűjtőjét modellterületnek. A korábbi adatokat kiegészítettük, és elkészítettük „**A Toka-völgye GIS alapú szennyeződésterképét**”. A GIS alapú szennyeződésterkép képezi a terjedési modell alapját, ez teszi lehetővé a szennyezőforrások lehatárolását, a pont és diffúz források azonosítását és megkülönböztetését. Ez mind a kvalitatív, mind a kvantitatív kockázati modell alapja. Archív adatok és mérési eredmények alapján készült digitalizált térképek segítségével. A 2. számú mellékletben példaként két szennyeződésterképet mutatunk be: a Toka-vízgyűjtő Zn-terképét és a három fő szennyező elem (Cd, Zn és Pb) eloszlását mutató térképet.

1.2.2. Kvalitatív kockázatelemzési módszer kidolgozása és alkalmazása

Kidolgoztunk egy kvalitatív kockázatelemzési módszert az alterületek/források kockázat szerinti rangsorolásához, „**Kvalitatív kockázatelemzési módszer szennyezőforrások rangsorolásához**”. A kvalitatív kockázatelemzési módszer a forrás, terjedési útvonalak, elért környezeti elemek és receptorok vázlaton végighaladva pontszámokra fordítja a kockázat mértékét a kibocsátott mennyiség és minőség, a transzportútvonalak által érintett terület hidrológiai viszonyainak és érzékenységeinek és a területhasználatokból adódó receptorok figyelembevételével. Ilyen értelemben részletes kockázatelemzésről van szó, de nem dolgozik környezeti koncentrációkkal „csak” pontszámokkal. A 4. számú melléklet a pontszámok kockázatelemzési metodika rövid változatát mutatja be, valamint a kvalitatív kockázatelemzés eredményét a Toka vízgyűjtő északi területén található szennyezőforrásokra. A pontszámok azt mutatják, hogy mintegy 15, többnyire pontforrásnak tekintendő szennyezőforrás van a területen, melynek pontértéke 70 fölötti (100 pont a maximum). Ezek eltávolítása vagy izolálás utáni maradék kockázata diffúz forrásként kezelendő. 14 szennyezőforrás pontszáma 50 és 70 közé esik, ezek többnyire diffúzak, eltávolításuk fizikailag sem lehetséges, de ezt pontszámuk sem indokolja, a kockázat csökkentésére viszont szükség van. A legenyhébb kockázati kategória az 50 pont alatti, ezek szennyezőanyag-kibocsátás szempontjából jelentéktelenek. Ezek további kezelése a kvantitatív kockázat függvényében remediáció, rekultiváció vagy revegetáció. A Toka vízgyűjtőjének egyes szennyezőanyagforrásait relatív kockázatuk alapján sorbarakva a 4. számú melléklet tartalmazza.

1.2.3. GIS alapú kvantitatív kockázati kockázatelemzés koncepciója

Kidolgoztuk a GIS alapú kvantitatív kockázati modell koncepcióját, a GIS alapú terjedési modellt és az azon alapuló szennyezőanyag transzport, illetve kockázati modellt. A modell kalibrálása jelenleg folyik. „**GIS alapú kvantitatív kockázatelemzési módszer kis és nagy vízgyűjtőkre**”. Ennek a munkának a részleteit az 5. számú mellékletben látható metodika és időrend mutatja. Egyes elemeket részletesen is ismertetjük.

A kidolgozott metodikát ismertettük az EC direktíva megalapozására rendezett munkaértekezletén és megkezdtük a GIS alapú modellezés kiterjesztését a szilárd fázis (talaj, üledék) eróziójának modellezésére is.

A kvalitatív és kvantitatív kockázatfelmérési metodikák alapja azonos: ez pedig az integrált kockázati modell, valamint a teljes vízgyűjtőre víz szempontjából felrajzolt doboz-modell (6. számú melléklet), amely bármekkora, a kupac-szinttől a teljes vízgyűjtőig alkalmazható. Egy hulladéklerakatóból (pont vagy diffúz forrásból) kiinduló lehetséges anyagtranszportokat összegzi a „kupac modell”, melyet a 7. számú melléklet mutat.

GIS alapú kvantitatív kockázatfelmérési módszer kis és nagy vízgyűjtőkre: a kvantitatív kockázatfelméréshez használt lefolyási modell és kalibrálása

A kockázatalapú környezetmenedzsment koncepció és kvantitatív kockázatfelmérési modell kidolgozásához a Toka patak mentén található Gyöngyösoroszi felhagyott színesfémérc bánya diffúzan szennyezett vízgyűjtőjét használtuk modellterületnek. A koncepció GIS alapú integrált környezeti kockázati modellen alapszik: forrás, terjedési útvonalak, expozíciós útvonalak, receptorok figyelembe vételével. A koncepciót pontszerű szennyezőanyag-forrás (bányameddő-hányó) szintjéről indítottuk, vízgyűjtő szintre dolgoztuk ki térinformatikai modellezés (GIS) segítségével, majd kiterjesztettük diffúz forrásokra és regionális szintre. Helyszín-specifikus kockázati modellt (koncepciók modell) dolgoztunk ki, amely a forrásokból induló transzportútvonalakon kívül az érintett környezeti elemeket, valamint a veszélyeztetett területhasználat-specifikus receptorokat is tartalmazza. Modellünkben a domináns kockázatot a víz jelenti, ezért nagy jelentőséget kap a felszínen lefolyó víz terjedési útvonala (runoff). A GIS alapú lefolyási/terjedési modell segítségével számítjuk ki az előrejelezhető kibocsátást és ebből az előre jelezhető környezeti kockázatot, majd ezt hasonlítjuk a használatától függő környezetminőségi kritériumokhoz. Ez az ún. PEC/PNEC modell, amit a kockázatfelmérés során alkalmaztunk.

A modell kvantitatív vá tétele több fokozaton keresztül valósulhat meg. A kibocsátott mennyiség kiszámításával tulajdonképpen az egyes források, alterületek, kisebb-nagyobb vízgyűjtők veszélyességét becsülhetjük meg. Ezt félkvantitatív modellnek tekintjük, mivel a kibocsátás konkrét számított, tehát reális mennyiség, de a szétszórtság és a terjedési útvonalak bizonytalansága miatt nem határozunk meg PEC értékeket a térkép minden pontjára. Erre azért sincs szükség, mert a legfontosabb útvonalak, esetünkben a felszíni víz szennyezettségét folyamatosan mérhetjük. Ezt az adatot mi a kvantitatív terjedési modellünk kalibrálására használtuk fel, az egyes forrásterületek és a végső befogadó közötti terjedési útvonalat egyetlen fekete doboznak tekintve.

Ha még a félkvantitatív szintet sem akarjuk elérni, akkor a kibocsátásért és terjedésért felelős jellemzők alapján kreálhatunk rangsorolásra alkalmas pontrendszer.

A szennyezett terület kibocsátását, illetve a terjedés figyelembevételével modellezett szennyezőanyag koncentrációt a károsan még nem ható, illetve tolerálható koncentrációhoz viszonyítva kapjuk meg a kockázat számszerű értékét. A kockázatot számíthatjuk a teljes területre, vagy az alterületekre, lemenve egészen pontforrás vagy diffúz forrás szintig.

A kvantitatív kockázatfelmérési módszerünk tehát lépcsőzetes, adathiány esetén is használható, iteratív, PEC/PNEC alapú. Harmonikusan illeszkedik az általunk kidolgozott és alkalmazott kvalitatív és félkvantitatív előszűrő, rangsoroló kockázatfelmérési módszerekhez.

A koncepció segítségével nemcsak a relatív és abszolút kockázati érték számítható ki, de a javasolt kockázatcsökkentési módszer várható eredménye is előrejelezhető. Megbecsülhető a pontszerű szennyezőforrás eltávolításának és a diffúz források kibocsátás-csökkenésének hatása, vagy megfordítva kiszámítható az elviselhető kockázathoz tartozó maximális kibocsátási mérték, azaz a remediáció célértéke. A konkrét gyöngyösoroszi, Toka-patak völgyi kockázatcsökkentés célja a területéről lefolyó víz (runoff) mennyiségének csökkentése és a lefolyó víz minőségének javítása.

A Gyöngyösoroszi terület ismertetése

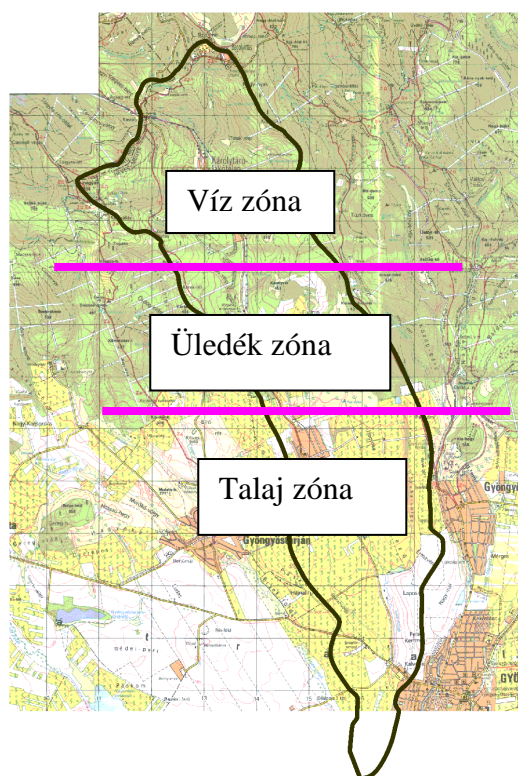
A Gyöngyösorszi felhagyott ólom és cink-ércbánya, Heves megyében, Gyöngyöstől északra, a Mátra hegység lábánál, a Toka patak vízgyűjtő területén található.

A környéken már a középkorban volt bányászati tevékenység, de az ólom és cinkszulfid érc-
lérek földalatti művelése a múlt században vált erőteljessé. A kibányászott színesfémércet a helyi
flotációs üzem területén aprították és dolgozták fel. 1955-től a flotációs meddőt a Száraz völgyi
zagyártározóban ülepítették.



1. ábra Gyöngyösorszi földrajzi elhelyezése

A környéken már a középkorban volt bányászati te-
vékenység, de az ólom és cinkszulfid érc-
alatti művelése a múlt században vált erőteljessé. A
kibányászott színesfémércet a helyi flotációs üzem
területén aprították és dolgozták fel. 1955-től a flotá-
ciós meddőt a Száraz völgyi zagyártározóban ülepítet-
ték. 1985-ban felfüggesztették a bányászati tevékeny-
séget Gyöngyösorsziban. A savas bányavíz továbbra
is az Altáron jut ki a bányából, mésszel kezelik és a
meszes csapadékot 3 ülepítő tóban tárolják. A kezelt
bányavizet a Toka patakba vezetik. A tulajdonképpeni
bányabezárási munkálatok és a terület teljes körű
remediációjára irányuló munka csak 2003-tól kezdő-
dött el. A pontszerű szennyező-források jelenleg is
léteznek, a remediáció tervezése folyamatban van.



2. ábra A Toka vízgyűjtőterület felosztása

A Toka patak a Gyöngyösorszi terület fő vízgyűjtője. A vízgyűjtő terület kb. 25 km².

A Toka patak vízgyűjtőjének északi határa ÉNY-ről ÉK-re a következő EOV koordináták között
található: X: 708308,232, Y: 282594,2866 (ÉNY) és X: 711584,6825 Y: 283840,0204 (ÉK).

Az északi vízgyűjtőterület domborzata hegyvidéki jellegű. A vízgyűjtő északi határvonala mentén a
hegyek elérik a 800-820 m tengerszint feletti magasságot (Balti tenger). A vízgyűjtő ÉK-i határát
Bagolyírtás, továbbá északabbra Mátraszentimre, míg ÉNY-on Mátrakeresztes képezik. Mivel a
transzport és a környezeti kockázat szempontjából a domináns környezeti elem a felszíni vízrend-
szer, ezt a szakaszt a “vizek zónájának” neveztük el.

A bányavíz-tisztító üzemig a terület szélessége gyakorlatilag állandó (EOV koordináták: X:
709460,1091 Y: 279548,2115).

Dél felé haladva a vízgyűjtő terület fokozatosan elkeskenyedik. (EOV koordináták: X:
710848,3316; Y: 280065,3529). Az Altáró bejáratától délre a vízrendszer jellegét többnyire a bá-
nyavíz-tisztító üzemből kifolyó mésszel kezelt víz határozza meg. (Üledék zóna) Az ipari víztározó
medre gyűjti össze a szállított üledék nagy részét, de a szállított üledék a Toka patak mentén mind-
végig észlelhető.

A déli szakaszt Nyugaton Gyöngyöstarján, míg keleten Gyöngyössolymos határolják (a vízgyűjtő területen kívüli települések). A „talaj zóna” Gyöngyösoroszi-től délre található. Ez nem azt jelenti, hogy az előző két zóna talaja nem szennyezett, hanem azt, hogy itt a patak menti kerti talaj kockázata a domináns, az áradások miatt



A Toka patak vízgyűjtője a déli szakaszon nagyon keskeny sávot képez a Gyöngyösi tóba torkollásig (EOV koordináták: X: 714401,5485, Y: 270672,4065). Az alsó szakaszon a patakmeder mélyebb és keskenyebb.

Az aránylag kis vízgyűjtőterületet a diverzitás jellemzi. Az északi szakasz jellegzetesen hegyvidéki jellegű, alacsony hőmérséklettel, sok csapadékkal, állandó és időszakos vízfolyásokkal. Az Altáró, a bányavíz semlegesítő üzem és a néhai flotációs üzem a Mátra hegyvidék és a Gyöngyösoroszi síkvidék közötti átmeneti területen található.

A falutól délre eső síkvölgyi szakaszon a gyöngyösoroszi és gyöngyösi lakosok hobby kertjeit a Toka patak rendszeresen elárasztja.

A fent említett három szakasz különbözik domborzati, meteorológiai szempontból, valamint a jellegzetes környezeti elemeket, a szennyeződést és a területhasználatot illetően. Ezek a jellegzetességek meghatározzák a szennyezőanyag transzportját és az abból eredő kockázatot.

2. ábra A Toka vízgyűjtő és a bányászat fő objektumai

A kockázatalapú környezetmenedzsment metodika kidolgozásához a Toka patak északi vízgyűjtőterületét, az un. „víz zónát” használtuk modellterületnek.

A „víz zóna” 10 km² területen található, 450 m-től 750 m-ig terjedő tengerszint feletti magasságban. Az átlagos lejtő az északi vízgyűjtő területen 13 %, a maximális lejtő 43 %. A Toka vízgyűjtőterületére jellemző átlagos lejtőszög 11 %.

Az északi vízgyűjtőterület határai meghatározzák a felszíni vízrendszer be- és kifolyó vizeit. A terület elsődleges vízforrásai a csapadék és a forrásvizek. Az állandó és időszakos vízfolyások, továbbá a lezúduló vizek a transzport fő elemei. A felszíni vizek mellett jelentős a beszivárgó vízmennyiség is. A Gyöngyösoroszi ércterületen az átlagnál nagyobb az évi csapadékmennyiség, a terület tektonizálása erősebb. A területen található források erősen ingadozó hasadék-források, melyek csapadékszegény időszakokban kiszáradnak. A gyöngyösoroszi bányaműveletek is hatással voltak a terület vízforgalmára. A bányavágatok a művelés során összekötve a litoklázisokat részben megnövelte az áttörtséget, így biztosította a beszivárgott víz számára a kőzetből az eltávozás lehetőségét, növelve a beszivárgás értékét a lefolyás rovására. Gyöngyösorosziban több hidraulikailag összekapcsolt vízrendszerről van szó, melyben a kőzetek áttörtségét, így a beszivárgási százalékát a bányászat az idők folyamán tovább növelte.

A Toka patak felső vízgyűjtő területe tipikusan víznyelő terület a töredezett és hasadozott Miocén korú piroxén andezit kőzetnek köszönhetően. A csapadék egy része talajnedvességgént akkumulálódik, a többi tovább szivárog a törésvonalakon, mélyebb rétegek felé. A talajnedvességgént megkötött vízmennyiség és a tovább szivárgó vízmennyiség megoszlása az eső intenzitásának függvénye. Az andezit töredezettsége és lepusztulása során keletkezett agyagos törmelék átteresztőképessége közepesen jó. A felszín alatti vízszint Gyöngyösoroszi település területén 2,2–2,4 m mélyen

található, míg a falutól északra, a bánya területén, 9,0–9,2 m mélyen. A felszín alatti víz áramlási iránya északról dél felé a domborzatot követi.

A szennyezőanyagok a következők: Cd, Zn, Cu, Pb, (As). A Cd és Zn főleg oldott/ionos formában szennyezi a felszíni vizet, az Pb és As azonban többnyire a szilárd fázishoz (talaj és üledék) kötötten található. A Toka patak északi vízgyűjtő területén található bányameddő-hányók diffúzan szennyezik a természetes környezetet. A meddőközet mállása és esővíz általi kilúgzása ebben az esetben biológiai kioldással is kiegészül. A szulfidtartalmú érceben levő piritből vagy a pirit kémiai oxidációjával létrejött elemi kénből, mint redukált szubsztrátból a kénsavbaktériumok képesek energiát nyerni, miközben a kén kénsavvá oxidálják.

A Gyöngyösoroszi, Toka patak vízgyűjtőterületére kidolgozott kockázatalapú környezetmenedzsment metodika elemei

A Gyöngyösoroszi Toka patak vízgyűjtőterületére kidolgozott kockázatalapú környezetmenedzsment koncepció komplex, multidiszciplináris munka eredménye. A koncepció elemeit tematikusan ábrázoltuk, időrendben, az elvégzett és még elvégzendő munka szerint (5. sz. Melléklet) és három fő csoportba osztottuk őket:

- főbb tevékenységi területek (**tevékenység: T**)
- tevékenység által használt eszközök (**eszköz: E**)
- a tevékenységek és eszközök által elért eredmények (**eredmény: R**).

9 tevékenységet különböztetünk meg (T1–T9), az adott tevékenységhez kifejlesztett vagy használt eszközöket 7 pontban adtuk meg (E1–E7), az eredményeket 9 pont szerint tárgyaljuk az ábra szerint (R1–R9). 2005-ben a séma T1–T5-ig terjedő tevékenységeit végeztük el.

Kockázatfelméréssel kapcsolatos tevékenységek a modellterületen

- T1 Domináns transzportútvonalak kijelölése
- T2 GIS alapú modellezés
- T3 Adatgyűjtés: történelmi és mérési adatok
 - Hidrogeológiai adatok monitoringhoz és validáláshoz
 - Bányameddőhányók lehatárolása és térképezése
 - A szennyezett környezeti elemek vizsgálata
 - *In situ* mérések XRF-el
 - Környezeti minták laboratóriumi vizsgálata
 - Ökotoxikológiai tesztek
- T4 Modell paraméterek meghatározása mikrokozmosz kísérletekkel
 - Biológiai kioldás (bioleaching)
 - Szennyezőanyag megoszlása a különböző talajfázisokban
 - Szennyezőanyag immobilizációja/stabilizációja a talajban
- T5 Kvalitatív kockázatfelmérési metodika, szennyező-források osztályozására
- T6 Kvantitatív helyszínspecifikus kockázatfelmérési metodikák a célérték meghatározására
- T7 Remediációs technológia kiválasztása
- T8 Költségbecslés, költséghatékonyság
- T9 Validálás

A tevékenységek részletezése

T1 Transzportútvonalak: a bányameddőhányók viszonyait és a belőlük kiinduló szennyezőanyag transzport-útvonalainak meghatározásához a 3. számú mellékletben található Integrált Kockázati Modell-ből indultunk ki (ezen belül mind a transzport, mind az expozíciós modell (területhasználat) figyelembevételével. A terület transzportmodelljének az ún. Doboz-modellnek a megalkotása után (6. számú melléklet) után a Toka patak északi vízgyűjtőjének szennyező anyag-transzport modelljét (E1) dolgoztuk ki (7. számú melléklet). A vízmérleg, ezen két transzportmo-

dell alapján készült (R1) (8. számú melléklet). A vízmérleg a kvantitatív kockázatfelmérés fontos eleme és a GIS lefolyási modell kalibrálásához használjuk. A vízre vonatkozó mennyiségi értékek meteorológiai, hidrogeológiai és átlagos ökológiai adatokból, valamint saját mérésekből származnak.

T2 GIS munka: a GIS adatbázis a következő forrásokból származik: rendelkezésre álló és összegyűjtött adatok, FÖMI-től digitális topográfiai térkép 1:10000, digitális szintvonalak a FÖMI-től, CORINE felszínborítás adatbázis a FÖMI-től, 1:10000 topográfiai szkennelt térkép papírváltozat, (0,85 m felbontás), adatok helyszíni térképezésből. A GIS alapú térkép elkészítésének lépései: DTM_TIN a digitális szintvonalakból a digitális domborzati modellhez. A DTM-domborzati modellt, (Digital Terrain Model) (E2) az ArcGIS 9 segítségével készítettük el. A DTM_GRID-et DTM_TIN-ből hoztuk létre, 10 m-es felbontással

DTM GRID-ből a következő rétegeket alakítottuk ki a lefolyási térképhez:

- Terület domborzatának lejtőszögei
- Lejtők északhoz viszonyított dőlése
- Lefolyási irány (flow dirs), cellák szerint. Nyolc bit-kódolt lefolyási iránylehetőség van.

A lefolyási térkép (R2) segítségével ábrázoltuk az időszakos és állandó vízfolyásokat (9. számú melléklet). A lefolyási modell (flow accumulation) segítségével, csak potenciális és relatív vízmennyiséget kapunk. Ezt kalibráljuk a vízmérleg adatai segítségével.

T3 Adatgyűjtés: rRgi és új mérési adatok összegyűjtése: a Gyöngyösorszi bánya adatbázisából, előző évek BME felméréseiből és tanulmányokból hoztuk létre saját adatbázisunkat. Az adatgyűjtés egyik legfontosabb eleme a terepmunka: időszakos és állandó vízfolyások felmérése, bányameddőhányók térképezése, a bányameddőhányók területének lehatárolása. Ennek kapcsán GPS lehatárolás, vízhozam mérés, *in situ* mérések, helyszíni megfigyelés történt. A vízmérleghez szükséges átlagos, közepes és heves esőmennyiséget, valamint az ennek megfelelő lezúduló (runoff) vízmennyiséget a naponta mért csapadékmennyiség és a Toka patak vízhozamának mérési adatai alapján határoztuk meg, összevetve azt az előző évtizedek átlagával. A régi és új mérési adatokból létrehozott GIS adatbázist használtuk a GIS térképezéshez (E3), melynek eredményeképpen jöttek létre a GIS alapú szennyezettségi térképek (R3) (2. számú melléklet).

T4 Modell paraméterek meghatározása mikrokozmosz kísérletekkel: A kvantitatív kockázatot (E6) a terület szennyezőanyag transzport modellje segítségével határozzuk meg. A transzport modell egyik fő paramétere a szennyező-forrásból kioldott fémmennyiség a felületre eső és átfolyó vízmennyiséggel. Az I. modellkísérlet célja a bányameddőhányókból történő komplex kioldódás modellezése, a kioldódás mértékének, a kioldott fémmennyiségnek, a meddőhányón átfolyó csurgalék pH-jának és fémtartalmának kimérése. A modellkísérlet lehetővé teszi a szennyezőforrások és a Toka vízgyűjtőterület fémkibocsátásának meghatározását (R4). A kibocsátást, mint kvantitatív paramétert, a szennyező-források kockázatának jellemzésére és a célérték meghatározására tervezzük használni. A kísérlet folyik, eredményeit a következő munkaszakaszban hasznosítjuk. A paramétereket a GIS modell kalibrálására használjuk.

A II. modellkísérlet a szennyezőanyag kémiai immobilizálását/stabilizálását modellezi mikrokozmoszban, célja a leghatékonyabb kémiai adalékanyagok kiválasztása. Eredményeit a kockázatcsökkentési módszerek (T7) kiválasztásánál, a kvantitatív kockázat célértékének (R6) meghatározására használjuk fel. A kísérletek folynak. Eredményeit a következő munkaszakaszban használjuk fel.

T5 Kvalitatív helyszínspecifikus kockázatfelmérés: A terület kvalitatív kockázatfelmérése, egy terület- és problémaszpecifikusan összeállított adatlap alapján történt (4. számú melléklet), ennek eredményeképpen pontszámokat kaptunk, melyek alapján sorba rendeztük az azonosított kisebb és nagyobb szennyező-forrásokat és az alábbi kategóriákba soroltuk be azokat (4. számú melléklet):

- pontforrásként remediálandó, ha van maradék diffúzként utókezelendő
- diffúz szennyező-forrásként kezelendő,
- további intézkedést nem igénylő szennyezőanyag-források.

A kvalitatív kockázatfelmérés relatív eredményt ad, tehát a valós kockázat mértéke ebből nem becsülhető meg, csak az egyes szennyező-források relatív sorrendje. Ezért a kvalitatív kockázatfelmérés eredményeit összevetjük majd a következő szakaszra tervezett GIS alapú kvantitatív kockázatfelmérés eredményével.

T6–T9 tevékenységek jelenleg folynak.

1.2.4. Következtetések

Az irodalomban a diffúzan szennyezett területek nincsenek meghatározott kritériumok szerint definiálva, a forrás mérete, illetve kibocsátása alapján sem. A diffúz szennyeződés általában nem konkrétan meghatározott kis méretű területet érint, hanem egy nagy terjedelműt, amely nem kezelhető pontforrásként a szennyező-anyag terjedési modellben és a kockázatfelmérésben valamint a kockázatcsökkentésben. A diffúz szennyezettség definíciója még nem születet meg, de annyi bizonyos, hogy a diffúz források felülete nagy a térfogatukhoz képest, tehát viszonylag nagy fajlagos felülettel, így reaktív felszínnel rendelkeznek. Kockázatukat az akut kockázaton kívül jelentős krónikus kockázattal jellemezhetjük. Nem körülhatárolhatóak, nem távolíthatóak el, mint a pontforrások, ezért kockázatuk csökkentése leghatékonyabban a kibocsátás korlátozásával érhető el. A diffúzan szennyezett területek kockázatfelmérésének első lépése a terület lehatárolása és térképezése. Ez a kiválasztott gyöngyösoroszi modellterület esetében megvalósult a projekt első munkaszakaszában.

A pontforrásból kiinduló szennyezőanyag transzport relatíve könnyen modellezhető, egyszerű két vagy háromdimenziós modell jól leírja a transzportot. A diffúz forrásokból származó szennyezőanyagtranszport viszont a térkép minden pontján kumuláltan jelentkezik. A forrás végtelen sok pontnak tekinthető, így a szennyezőanyag áram eloszlik az egyes kiindulópontokból és összeadódik az érkezési pontokban, a lefolyási irány szerint, amely a domborzat függvénye. Ezt a kumulatív számítást a GIS alapú transzport modell segítségével végezzük el. A transzportmodell elkészült. Kalibrálása a következő munkaszakaszban a helyi vízmérleg valamint a mikrokozmosz modellkísérletek paramétereivel és terepi mérésekkel történik.

A modell kalibrálása után megállapítjuk a szennyezőanyag-kibocsátást a forrásokból és ehhez a kibocsátáshoz tartozó felszíni vízminőséget. A működő modell birtokában ki tudjuk majd számítani az elfogadható kockázathoz tartozó vízminőséget és ennek eléréséhez szükséges kibocsátás-csökkenést. A teljes vízgyűjtőre érvényes kibocsátás-csökkenést a pontforrások eltávolításával és a diffúz források kibocsátásának csökkentésével (kémiai + fitostabilizáció) fogjuk tervezni és elérni.

A kockázatmenedzsment rendszer elvi koncepcióját felállítottuk, amely tartalmazza a következő munkaszakasz célkitűzéseit is (5. számú melléklet).

1.3. Diffúzan szennyezett területek remediálására alkalmas technológiák leltározása, osztályozása

Információgyűjtés és saját tapasztalatok kölcsönös áttekintése volt a célja ennek a feladatnak, hogy a szakirodalom, a jelenleg is folyó európai projektek (DIFPOLMINE) és a résztvevők eddigi tapasztalatai alapján kiválaszthassuk és megtervezhessük a laboratóriumi és szabadföldi kísérleteket. Kiemelten tárgyaljuk a fitoremediációs, illetve a fitostabilizációs technológiákat.

A témában öt tanulmány született, minden konzorciumi tag elkészítette a maga tanulmányát:

- 1. Talajremediáció, stabilizálás, immobilizálás (BME)**
- 2. Kármentesítési technológiák leltára, különös tekintettel azok hatékonyságára és környezetbiztonsági sajátosságaira (TAKI)**
- 3. Nehézfém-szennyeződés kármentesítési lehetőségei fitoremediációval – tematikus szakirodalmi áttekintő tanulmány (MECSEK-ÖKO)**
- 4. Alkalmas technológiák kiválasztása (MECSEK-ÖKO)**

5. Nehézfém-szennyeződés kármentesítési lehetőségei fitoremediációval: kármentesítési technológia értékelése és különböző provokációs technológiákkal való összehasonlítása (TATAI)

A BME tanulmány általános áttekintést ad a remediációs technológiákról, elsősorban a szennyezőanyag immobilizációján alapuló remediálási módszerekről, különválasztva a szennyezett környezeti elemeket és fázisokat. Megadja a technológiaválasztás szempontjait, a döntési folyamat fontosabb pontjait, a remediációt megelőző feladatokat. Részletesen tárgyalja a fitoremediáció és a kémiaival kombinált fitostabilizáció megoldásait.

A TAKI tanulmány részletes értékelést ad a különféle fitoremediációs módszerekről, azok hatékonyságáról és környezetbiztonsági sajátosságairól.

MECSEK-ÖKO a bányászatspecifikus jogi háttérre alapozva veszi sorra a lehetőségeket. TATAI pedig saját tapasztalatainak tükrében értékeli a lehetőségeket.

A technológiai összefoglaló áttekintések alapján kiválasztottuk a laboratóriumi kísérletekben tesztelendő stabilizálószerkeket és megterveztük a mikrokoszmusz teszteket.

A fitostabilizációra alkalmas növényekkel tenyészedény kísérletek indultak.

A tanulmányok tartalmának ismertetésére tartalomjegyzékeiket adom meg az alábbiakban:

1. Talajremediáció, stabilizálás, immobilizálás (BME tanulmány)

Tartalomjegyzék

1. Bevezető
2. A remediációs technológiák osztályozása
 - 2.1. A szennyezőanyag által meghatározott szempontok és technológiaosztályozás
 - 2.2. Technológiák csoportosítása mobilizálás/immobilizálás alapján
3. Fizikai, kémiai és biológiai folyamatokon alapuló talajkezelési technológiák
 - 3.1. Talajgáz kezelése
 - 3.2. Talajvíz és csurgalékok kezelése
 - 3.3. Teljes talaj kezelése
4. Reaktortípusok
 - 4.1. Reaktorok csoportosításának alapjai
 - 4.2. Az ex situ talajkezelési technológiák konkrét reaktorai
 - 4.3. *In situ* kvázireaktorok
5. Ex situ és *in situ* remediáció reaktorszemléletű összehasonlítása
6. Monitoring
 - 6.1. Szabályozás
 - 6.2. Utómonitoring
7. Fémek immobilizációja szennyezett talajban
 - 7.1. Irodalmi áttekintés a toxikus fémekkel szennyezett talajról
 - 7.1.1. Toxikus fémek a talajban
 - 7.1.2. A toxikus fémek biológiai hozzáférhetősége a talajban
 - 7.1.3. A toxikus fémek jellemzői a talajban
 - 7.1.4. Toxikus fémek hatása a növényekre
 - 7.1.5. Toxikus fémek hatása az emberi szervezetre
 - 7.2. Toxikus fémekkel szennyezett területek fitoremediációja
 - 7.2.1. Toxikus fémmel szennyezett talajok remediációjának lehetőségei
 - 7.2.2. A fitoremediációról általánosan
 - 7.2.3. A biológiai hozzáférhetőség csökkentése vagy növelése?
 - 7.2.4. Fitoextrakció
Fitoextrakció fémek hiperakkumulációjára képes növények felhasználásával
 - 7.2.5. Fitostabilizáció
Fitoextrakció hatékonyságának növelése kelátképzők talajba juttatásával
 - 7.2.5. Fitostabilizáció
A fitostabilizáció során alkalmazott növények jellemzői

A fitostabilizáció során alkalmazott adalékanyagok jellemzői

8. Esettanulmányok

8.1. Egy kopár, színesfémmel szennyezett ipari terület remediációja – a revegetáció hatásai és fém immobilizáció beringit által

8.2. Magyarországi esettanulmány

Toxikus fémmel szennyezett talaj a Toka patak völgyében

Irodalom

2. Kármentesítési technológiák leltára, különös tekintettel azok hatékonyságára és környezetbiztonsági sajátságaira (TAKI tanulmány)

Tartalomjegyzék

I. Kármentesítési technológiák osztályozhatósága

A kezelt környezeti elem szerint:

A kármentesítés helye szerint megkülönböztetünk in situ és ex situ eljárásokat.

Tisztítási elv szerint

A kezelt szennyező anyag minősége szerint

Technológiai hatás szerinti csoportosítás

II. Kármentesítési technológiák feltérképezése különös tekintettel a hazai kármentesítések műszaki beavatkozásainak gyakorlati tapasztalataira

1. Biodegradációs eljárások

2. Fizikai-kémiai eljárások

3. Hőkezeléses (termikus) eljárások

4. Szigeteléses (izolációs) eljárások

5. Gázok, gőzök tisztítására szolgáló eljárások

III. Kármentesítési technológiák környezetbiztonsági vizsgálata

1. Biodegradációs eljárások

2. Fizikai-kémiai eljárások

3. Hőkezeléses (termikus) eljárások

4. Szigetelés (izolációs) eljárások

5. Gázok, gőzök tisztítására szolgáló eljárások

IV. Kármentesítési technológiák hatékonyság vizsgálata

V. Kármentesítés műszaki beavatkozás technológiai elemek minősítésére vonatkozó összefoglaló

3. Nehézfém-szennyeződés kármentesítési lehetőségei fitoremediációval – tematikus szakirodalmi áttekintő tanulmány (MECSEK-ÖKO tanulmány)

Tartalom

1. Bevezetés

2. Fitoremediációs eljárások biológiai alapjai

3. A nehézfémek felvételét és transzlokációját elősegítő adalékok

4. Fitoremediációs eljárások részletezése

4.1. Fémszennyezések helyben tartása a fitostabilizáció

4.2. Fémszennyeződések kivonása

4.2.1. Fitofiltráció

4.2.2. Fitoextrakció

4.2.3. Fitoextrakció hiperakkumuláló növényekkel

4.2.4. Fitoextrakció nem hiperakkumuláló növények alkalmazásával

4.2.5. Fitovolatilizáció

5. A fitoremediáció előnyei, hátrányai és nehézségei

6. Összefoglalás

4. Alkalmas technológiák kiválasztása (MECSEK-ÖKO)

Tartalomjegyzék

1. A hazai szabályozás bemutatása
 - 1.1. A 219/2004 Kormányrendelet
 - 1.2. B szennyezettségi határérték
 - 1.3. Eredeti állapotok és bizonyított háttérkoncentráció
 - 1.4. A D kármentesítési szennyezettségi határérték értelmezése
 - 1.5. Bizonyított háttérkoncentráció kezelése
 - 1.6. D érték meghatározásának folyamata
 - 1.7. D meghatározásához szükséges szempontok
 - 1.8. Bányászati diffúz szennyezőforrások és a kármentesítés
2. Szennyezett területek és bányászati objektumok leletára
 - 2.1. A mecseki ércbányászat területe
 - 2.2. A gyöngyösoroszi ércbányászat területe
 - 2.3. A recski ércbányászat területe
3. Szervetlen szennyezőanyagok kármentesítési technológiái
 - 3.1. Fitormediáció
 - 3.2. Talajmosás
 - 3.3. Kémiai stabilizáció
 - 3.4. Passzív és aktív résfalak
 - 3.5. Mesterséges lápok
 - 3.6. Ioncsere
 - 3.7. Kicsapás, koagulálás, flokkulálás
 - 3.8. Kitermelés és deponálás
4. Az egyes diffúz szennyezőforrásoknál alkalmazható technológiák
 - 4.1. Mecseki ércbányászat területe
 - 4.2. Gyöngyösoroszi ércbányászat területe
 - 4.3. Recski ércbányászat területe
 - 4.4. Összefoglaló megjegyzések
5. Monitoring
6. Összefoglalás
7. Szakirodalom

5. Nehézfém-szennyeződés kármentesítési lehetőségei fitormediációval: technológia értékelés és különböző provokációs technológiákkal való összehasonlítás (Tatai tanulmány)

Az alapprobléma ismertetése, a kísérletek célja

A kísérletek koncepciója

A kísérletek feladatpontjai

A kísérlet eredményei

1. 4. A szabadföldi kísérletek előkészítése

Laboratóriumi kísérleteket indítottunk a stabilizálószer hatását jellemzésére és a modellterületeinken megfelelő kiválasztására. A kísérletek 1–2 kg-os talaj mikrokozmoszokban folynak, a kémiai stabilizáló adalékot különböző koncentrációkban alkalmazzuk. A talaj hőmérsékletét és nedvességtartalmát a valósághoz közeli értékeken tartjuk. A stabilizálószer hatását integrált technológiámonitoring, a TalajTesztelőTriád alkalmazásával követjük: fizikai-kémiai és biológiai és ökotoxikológiai méréseket végzünk a rendszeresen vett mintákból. A stabilizációs mikrokozmoszokat a 2. munkaszakaszban ismertetjük, eredményit alapján készül el a szabadföldi kísérletek terve (2 munkaszakasz), maga a szabadföldi kísérlet és annak monitoringja és értékelése (3. munkaszakasz). Kiválasztottuk a kísérleti területeket és az alterületeket.

1. Gyöngyösorosziiban egy kiskertet és a bányaudvart, melyeken eltérő célú kísérleteket tervezzük: a.) a diffúzan szennyezett területről származó/lefolyó víz vizsgálatát, b.) az alkalmazott növények és c.) az alkalmazott kémiai stabilizálószer hatását jellemzését és d.) a

növényeken alapuló tápláléklánc kockázatát.

A tervek jelenleg készülnek, a parcellák, vízgyűjtőárkok kialakítása részben megtörtént, 2006 tavaszán indulnak a szabadföldi munkák.

2. A vörösiszaptározók esetében a kísérletek célja a.) a beszivárgó víz és a szélerózió követése, b.) a minél tökéletesebb borítottság és annak hosszútávú fennmaradása a legfőbb célok. C.) A növények elemfelvétele és a ápláléklánc-vizsgálatok itt is alapvetőek. A tervek elkészültek, a parcellák kialakítása folyamatban van.

1.5. Disszemináció

A BÁNYAREM projekt eddigi eredményeit egy sor fórumon hírdettük: tudományos konferenciákon előadás formájában ismertettük, szerepeltettük nemzetközi tanfolyam tananyagában, az EU PECOMINE workshopon metodikai alapanyagként. Előadást jelentettünk be a decemberi DIFPOLMINE Konferenciára.

Szerepeltetjük az EUGRIS adatbázisban és szoros kapcsolatot és együttműködést alakítottunk ki a DIFPOLMINE és a PECOMINE európai kutatási fejlesztési projektekkkel.

Az összes publikáció/előadás valamint disszeminációs tevékenységünket és nemzetközi kapcsolat-építést alátámasztó dokumentum egy-egy példányát összegyűjtöttük egy szöveggyűjteményben, ami ennek a jelentésnek koordinátor által archivált háttéranyagai között található meg.

1.5.1. Publikációk

A projekttel kapcsolatos publikációk, tanulmányok és WEB-es információk listája a **10. számú mellékletben** találhatóak meg.

1 diplomamunka és 2 folyóiratcikk született, 10 publikált konferenciaanyag, 1 EU-workshop előadás és projektismertető két WEB-es felületen.

A franciaországi bányászati eredetű diffúz szennyezettséggel foglalkozó, 2006 decemberi konferenciára 4 elfogadott előadással veszünk részt.

A bejelentett előadások összefoglalói:

1. Zoltán Siki, Emese Vaszita, Piroska Zaletnyik, Katalin Gruiz – GIS-based mapping and transport modelling of diffuse pollution of mining origin
2. Katalin Gruiz and Viktória Feigl – Chemical stabilisation combined with phytostabilisation for toxic metal-polluted soils
3. Katalin Gruiz, Emese Vaszita, Zoltan Siki – Quantitative Risk Assessment as part of the GIS based Environmental Risk Management of diffuse metal pollution of mining origin
4. Katalin Gruiz, Emese Vaszita, Zoltan Siki – Tiered risk assessment of point and diffuse pollution sources of mining origin

1.5.2. Disszeminációt és nemzetközi kapcsolatépítést alátámasztó dokumentumok

A 11. számú melléklet bemutatja a bányászati eredetű diffúz szennyezettséggel foglalkozó, általunk szervezett budapesti tanfolyam és konferencia meghívóit és programját, a PECOMINE 2. Workshop programját és a készülő MINEWATCH EU-6 Projekt ismertetőjét.