

TDK dolgozat

Nehézfémekkel szennyezett talajok ártalmatlanítása növényekkel

Klein Antal

Kertészmérnök Msc I

Környezettudományi intézet

Konzulens: dr Pölös Endre Főiskolai docens

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	1
1. Bevezetés.....	4
1.1.Célkitűzés	5
2. Irodalmi áttekintés.....	6
2.1.Kutatási program ismertetése	6
2.2 . A Konzorcium	10
2.2.1. 1. sz. konzorciumi tag: Szegedi Tudományegyetem, Növényélettani Tanszék.	10
2.2.2. 2. sz. konzorciumi tag: SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék....	11
2.2.3. 3. sz. konzorciumi tag: Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány, Biotechnológiai Intézet.....	12
2.2.4. 4. sz. konzorciumi tag: MTA Szegedi Biológiai Központ, Növénybiológiai Intézet	12
2.2.5. 5 sz. konzorciumi tag: Aquadukt Építőipari és Környezetvédelmi Kft., Szekszárd..	13
2.2.6. 6. sz. konzorciumi tag: Hologén Kft., Szeged).....	14
3. Anyag és módszer	15
3.1.Az Aquadukt Építőipari és Környezetvédelmi Kft munkájának bemutatása	15
3.2. A projektben résztvevő konzorciumi tagok feladatmegosztása	23
3 . 3 A kísérleti parcellákba telepített növények bemutatása és kezeléseik.....	24
3.4. A szennyezett növényanyagot égető technológiai rendszer	29
4 . Eredmények megvitatása.....	37
4.1. Hatékony Fitoremediáció (Anton Attila , Murányi Attila2007) Mokka Konferencia.	37
4.2. Fitoremediáció Bányászati eredetű diffúz szennyezések kezelésére.....	37
4.3. Dr Lakatos Gyula Fitoremediáció	38
4.4. A SZIE Gazdálkodási és Mezőgazdasági Főiskolai kar Tass-pusztai tangazdaságban végzett szabadföldi kispercellás nehézfém terhelési tartamkísérlet mezőgazdasági növényekkel.....	38
4.5. Meddőhányók nehézfém tartalmának mérséklése növénykutatásokkal	39
5. Következtetések, javaslatok	40

6. Összefoglalás.....	42
7. Irodalomjegyzék.....	43
8. Ábrajegyzék	44

1. Bevezetés

Fitoremediáció definíciója:A fitoremediáció egy természetbarát technológia, a szennyezett környezet megtisztítására növények által. Konkrétabb a **bio(fito)remediáció**, mely szintén a szennyezett környezet megtisztítása növények által, azonban ez mikroorganizmusok (gombák, baktériumok) közreműködésével történik. A fitoremediációs, illetve bio(fito)remediációs, eljárás módjai:

- 1 Fitoextrakció
- 2 Fitodegradáció
- 3 Rizofiltráció
- 4 Fitostabilizáció
- 5 Fitovolatilizáció

Fitoextrakció :

A szennyező anyagokat a növények akkumulálni képesek, ezért a talajra, vízre különösen káros nehézfémek (ólom, kadmium, cink) eltávolítására alkalmasak. A nehézfémeket igen nagy mennyiségben akkumulálni képes fajokat hiperakkumulálóknak nevezik.

Fitodegradáció :

A növények és a mikroorganizmusok a szerves anyagokat átalakítják, lebontják(szerves oldószerek, olajszennyeződés, robbanóanyagok maradékai)

Rizofiltráció :

A vízinövények, illetve vizes élőhelyek növényeinek gyökerén a szennyezőanyag adszorbeálódhat vagy felvevődhet. Szennyvíztisztítás befejező műveleteként javasolják.

Fitostabilizáció :

Talajok stabilizációja növények gyökerei által.

Fitovolatilizáció :

A növények a szennyező anyagokat, még fémszennyezéseket is (Hg ,As, Se), képesek illékony, nem mérgező vegyületekké alakítani és a légterbe juttatni.

1.1.Célkitűzés

Dolgozatomban szeretném bemutatni a komplett technológiát, mivel az 5. sz . konzorciumi tag munkatársaként,- helyszíni Műszaki vezetőként- az egész fitoremediációs program ideje alatt volt alkalmam a többi konzorciumi tag munkáját is figyelemmel kísérni.

Célom a projekten belül a saját részfeladataink részletes ismertetése.

2. Irodalmi áttekintés

A talaj- és a vízszennyeződések csökkentésére alkalmas ígéretes módszer-együttes a fitoremediáció, mely azoknak az eljárásoknak az összefoglaló elnevezése, melyek növényekkel (és társult mikrobákkal) csökkentik a környezet szennyezőanyagait ill. azok transzportját egy elfogadható kockázatú szintre (BAKER et al., 1994; CUNNINGHAM et al., 1995; BROOKS 1998; SIMON, 1999). A fitoremediáció alapja a növények szennyező anyagokat felvevő, akkumuláló, átalakító vagy lebontó képessége. Attól függően, hogy melyik folyamat a döntő, a fitoremediáción belül többféle eljárást különböztetünk meg: a fitoextrakciót, -filtrációt, -volatilizációt, -stabilizációt, -degradációt (MOREL et al., 1997; SIMON et al., 1999). A fitoremediációban alkalmazott növényeknek két alapvető tulajdonsággal kell rendelkezniük. Toleránsnak kell lenniük a toxikus nehézfémkoncentrációkra, továbbá a nehézfémek extrakciójával vagy megkötésével képesnek kell lenniük a koncentráció csökkentésére (BAKER 1981).

A legismertebb fitoremediációs módszer, a fitoextrakció, melynek kezdeti biztató eredményei az ún. hiperakkumuláló növények nehézfém kivonására vonatkoztak (BAKER et al., 1994; BROOKS 1998). A hiperakkumuláló növények gyakorlati alkalmazhatóságát számos tulajdonságuk nehezíti, ezért a későbbiekben egyéb, nehézfémeket jól akkumuláló, toleráns, könnyen termeszthető növényfaj kipróbálására került sor. Biztató eredmények születtek a mérsékelt öv lágyszárú növényei közül többek között a Brassicaceae (KUMAR et al. 1995; KÁDÁR et al. 2003) család fajaival, a fafajok közül pedig a Salicaceae család (KLANGWESTIN és PERTTU 2002) tagjaival.

A fitoremediáció során a nehézfémek tulajdonságai és koncentrációja mellett megkülönböztetett jelentőségű, s kiemelt fontossággal bír a nehézfémek oldhatóságát alakító tényezők közül a talaj pH-értéke (NÉMETH et al. 1993; CSATHÓ 1994; CSILLAG et al. 1999; LEHOCZKY et al. 2000). A növények elemtartalma az előbb említetteken kívül függ a növények fejlődési állapotától, a növényi résztől, ivartól (váltivarúaknál) (KÁDÁR, 1995; KÁDÁR et al., 2003).

2.1. Kutatási program ismertetése

A Nemzeti Kutatási és Fejlesztési Programok (NKFP) által 2004-ben kiírt pályázati rendszer fejlesztés-orientált környezetvédelemmel foglalkozó 3/A alprogramjához kapcsolódóan 6 intézményből álló konzorciumot alakítottunk és pályázatot nyújtottunk be „Környezetszennyező nehézfémek ártalmatlanítása növényekkel: a fitoremediáció mint szennyezés-csökkentési program” címmel, amely támogatást nyert, és a Kutatásfejlesztési Pályázati és Kutatáshasznosítási Iroda, valamint a Szegedi Tudományegyetem képviselőinek cégszerű aláírásával 2004. december 09-én.

A projekt célja:

A projekt célja olyan komplex biotechnológia kidolgozása, amely alkalmas a környezetszennyező nehézfémek kimutatására, azok környezetből való eltávolítására és ártalmatlanítására. A megvalósítás elemei a nehézfém-akkumuláló (endemikus és telepített) növényfajok alkalmazása az adott területen (szennyezett talaj, meddőhányó, zagy); a nehézfém felvétel serkentése a lokális stressztűrő, lehetőleg az illető növényfaj rizoszférájában élő baktérium- és gombafajokkal; a környezeti fémterhelés monitorozása bioszenzorként szolgáló transzgenikus cianobaktérium konstrukcióval. Az eljárás végén a „mellékterméket”, a szennyezett növényanyagot többfokozatú (utóégető- hőcserélő- vegyszeres mosó- adszorpciós szűrő) füstgáztisztítóval kiegészített speciális vándorrostélyos égetőkazánban semmisítik meg. Az égetéskor a növényanyaghoz olyan ásványkompozitum keverését tervezzük, amely a fémek hamuban való erőteljes visszatartását segíti és szerencsés esetben a növényi hamu fémek kivonásával újrahasznosítható („fitobányászat”).

A várt eredmény alkalmazásra kész technológia, amely magában foglalja a talaj- és nehézfém-specifikus növényfajok – mikrobiális fajok speciális kombinációit, az alkalmazás technikai részleteit és az alkalmazásra vonatkozó know-how-t, beleértve a végtermék ártalmatlanítását is. A technológia alkalmazása a szennyezettséget a kívánt határérték alá csökkenti.

A téma nemzetközi helyzete:

A fitoremediáció az utóbbi 10-15 évben vált intenzív kutatási területté és a jelenig elért eredmények alapján megvalósítható, hatékony, környezetbarát és viszonylag olcsó technológiai eljárásnak tekinthető. Az amerikaihoz képest konzervatívabb európai hozzáállás némi késéssel hozta létre azt az európai szintű hálózatot (COST 837), amely a laboratóriumi, molekuláris biológiai kutatásoktól kezdve a terepi alkalmazásig munkálkodott a fitoremediációs eljárások alkalmazhatósága érdekében.

Újdonságtartalom:

Jelen projekt olyan zárt rendszerben kívánja a meddőhányók, zagy- és iszaptározók nehézfém szennyezettségét csökkenteni, ill. biológiai szennyezés lebontással működő kezelőtelepeken a fogadható anyagok jelenleginél lényegesen megnövelt fémtartalommal való fogadás lehetőségét megteremteni, amely ismert akkumulációs képességű, nagy biomasszát termelő növényfaj/vonalak és mikrobiális fajok segítségével, a helyi adottságoknak megfelelően kialakított parcellákban és/vagy medencékben való nevelésével működik. A nehézfém szennyezettség mértékének ellenőrzése folyamatos egy, a molekuláris biológia módszereivel konstruált bioszenzoros monitorozás alkalmazásával. Az eljárás végén a „mellékterméket”, a szennyezett növényanyagot többfokozatú (utóégető- hőcserélő- vegyszeres mosó- adszorpciós szűrő) füstgáztisztítóval kiegészített speciális vándorrostélyos égetőkazánban semmisítik meg. Az égetéskor a növényanyaghoz olyan ásványkompozitum keverését tervezzük, amely a fémek hamuban való erőteljes visszatartását segíti és szerencsés esetben a növényi hamu fémek kivonásával újrahasznosítható („fitobányászat”).

Újdonságnak számít az is, hogy a fitoremediációs technológia alkalmazásának költségvonzata a kémiai-fizikai technológiák költségének 10-30%-a. Ez jelentkezhethet energiatermelésre használható biomasszában, szennyezőanyagot nem tartalmazó növényi produktumban (olaj, bioaktív anyagok), vagy visszanyerhető és reciklizálható fémekben. Az előbbiek mellett a biológiai lebontással jelenleg működő kezelőtelepek ártalmatlanítási spektruma bővíthető fémszennyezett anyagokkal, mert a fitoremediációt követő fázis már konvencionális biodegradációval működtethető lehet. A legtöbb ma használt technológia nem képes a nehézfémek szelektív eltávolítására, ráadásul ezek költséges eljárásokat, talajkiemelést és talajmozgatást kívánnak. Ezekkel az eljárásokkal szemben jelenthet versenyképes technológiai megoldást a *fitoextrakció*.

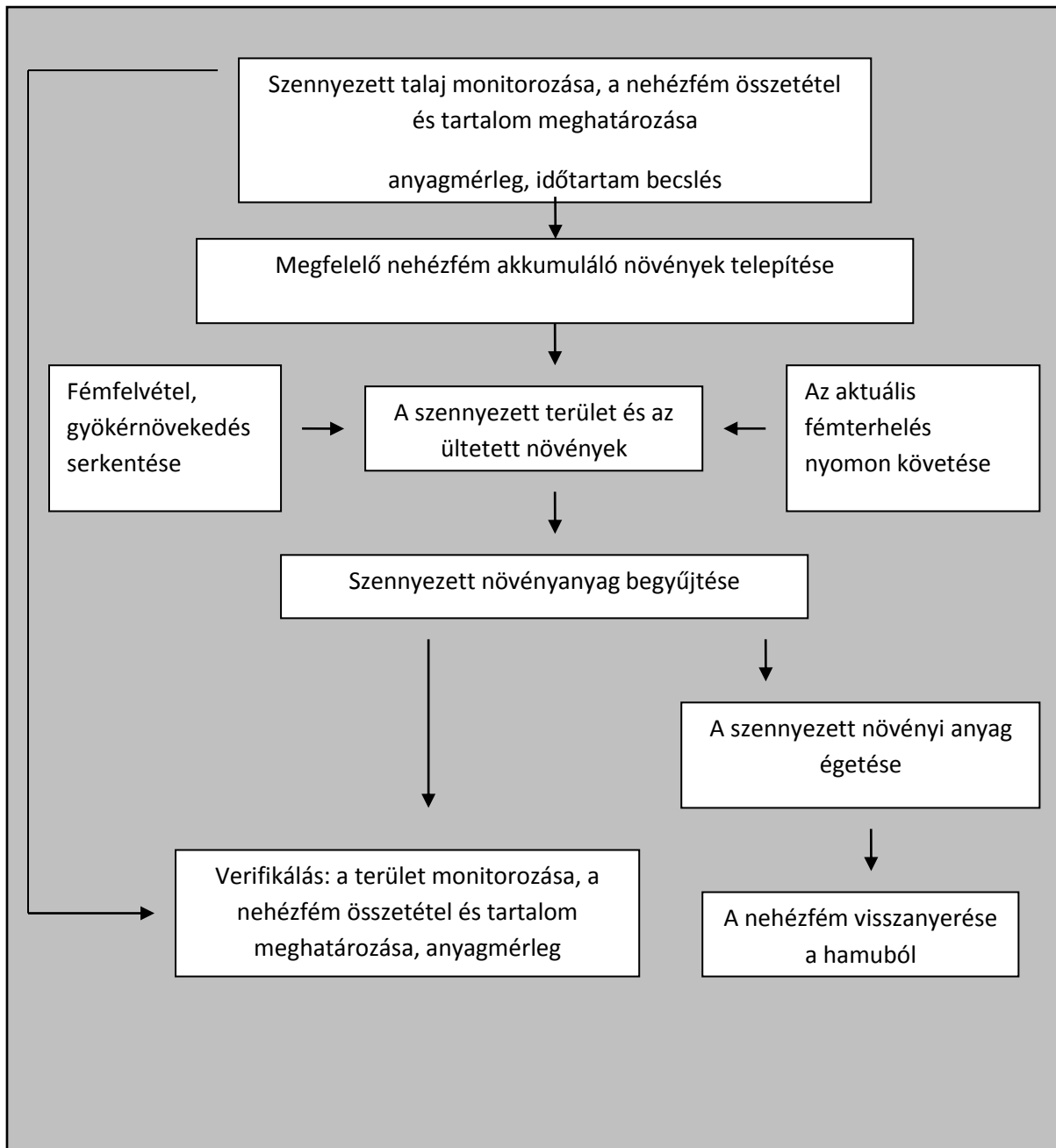
A technológia alapjainak áttekintése:

A szennyezett környezet megtisztítása alapvetően két módon lehetséges: kémiai és biológiai tisztítás. Az első alkalmazható a pontszerű vagy tudatos, ipari eredtű szennyeződések eltávolítására, azonban a diffúz, vagy nagyobb kiterjedésű szennyeződés „remediációjára” csak a biomassza-függő biotechnológia jöhet számításba. Ilyen nagy, hatékony potenciállal rendelkeznek a növények, amelyek speciális, fajfüggő tulajdonságait használhatjuk fitotechnológiai, fitoremediációs célra. A fitoremediáció in situ biológiai kezelési technológia. Az in situ remediáció azt jelenti, hogy a talajt kiemelés, eltávolítás nélkül kezelik. Az eljárás során a szerves vagy szervetlen szennyezőanyagok eltávolítása, átalakítása, megkötése növények segítségével történik. A módszer alkalmas felszín alatti vizek, csurgalék- és mosóvizek, talaj, üledék illetve iszap kezelésére.

A talajok ólom, kadmium, króm, illetve egyéb fémszennyezése szinte minden országban jelentős probléma, így hazánkban is. Itthon elsősorban az ólom, cink és kadmium felhalmozódása okoz problémát. Bizonyos növényeket kiválóan lehetne fitoextrakcióra alkalmazni, mivel nemcsak felveszik a talajból a szennyező fémeket, hanem azokat szövetükbe elraktározzák, így lehetővé válik ezen részek „learatásával” a fémek kivonása a szennyezett területről. A fitoextrakció technológiai fejlesztése egy új, költségkímélő, „zöld” remediációs technikává jelentheti a megoldást ezekre a problémákra.

A fitoremediációs technológia a fitoextrakció és a rizofiltráció esetében tulajdonképpen két lépésből áll. 1. a növény kiválasztása, telepítése, működésének biztosítása és 2. a feladatát teljesített növény feldolgozása, ártalmatlanítása. A fitoremediációs technológiák elterjedésének akadálya ez utóbbi, vagyis a szennyezett növényi anyag kezelésének megoldatlansága. Éppen ezért szükség van egy olyan technológia bevezetésére amely hatékonyan és összetetten oldja meg a problémát. Egy olyan komplett égető-berendezés konstruálása, ami ellenőrzöttan nyomon követi a növények elégetését és megbízhatóan kiszűri a füstgázokból a szennyező anyagokat illetve a hamuból visszanyerhető nehézfémeket. Az alkalmazandó technológia a következő berendezéseket tartalmazza: 1. Vándorrostélyos kazán 2. Utóégető 3. Visszahűtő kazán 4. Pirolizáló kemence 5. Lándzsás mosó

A technológia képletes bemutatása:



1. ábra Technológia bemutatása

2.2 . A Konzorcium

A projekt megvalósításában az alábbi konzorciumi tagok az alábbi feladatokkal vesznek részt:

2.2.1. 1. sz. konzorciumi tag: Szegedi Tudományegyetem, Növényélettani Tanszék.

Feladata: A nehézfém-akkumuláló növényfajok monitorozása és alkalmazása az adott területen.

Fontos feladat a célterületen előforduló növényfajok mintázása, növényanalízis a szennyező nehézfémek növénybeni akkumulációját illetően. Meg fogjuk vizsgálni új, a területen elő nem forduló, de ismert akkumulációs tulajdonságú növényfajok telepítésének lehetőségét, továbbá a kettős hasznosítású, energianövényként is számításba jövő nyár és fűz hibridek ill. fajok alkalmazhatóságát.

A célterületen lévő vizsgált növényfajok:

- 1-Lycopus europeaus L. – vízi peszérce
- 2-Lycopus exaltatusL.f. – magas peszérce
- 3-Carex sp. - sás
- 4-Elymus sp. tarackbúza
- 5-Gnaphalium uliginosum L.- iszap gyopár
- 6-Daucus carota L.- vad murek
- 7-Lythrum sp. - füzény faj
- 8-Asclepias syriaca L. - selyemkóró
- 9 Eleocharis sp.- csetkák faj
- 10-Equisetum palustreL. – mocsári zsurló
- 11-Rorippa palustris(L) Bess – mocsári vizitorma
- 12-Vicia biennisL. – kunsági bükköny
- 13-Glycyrrhiza sp. - édesgyökér
- 14-Rorippa sylvestris(L) Bess – erdei vizitorma

15-Sinapis arvensis L. – mezei mustár

16-Typha latifolia L. – széleslevelű gyékény

17-Salix alba L. – fehér fűz

18-Phragmites australis(cav). Trin. ex Steudel – közönséges nád

2.2.2. 2. sz. konzorciumi tag: SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék

Feladata: a szennyezett terület talajának és talajvizének monitorozása, a szennyezés minőségi és mennyiségi mutatóinak megállapítása, talaj-növény kölcsönhatás kutatása.

A célterületek talajának (meddőhányó, zagy, iszap) szennyezettségének meghatározása minőségi és mennyiségi szempontok alapján. Ez talaj- és vízanalízist jelent analitikai (atomabszorpciós spektrofotometria) és más módszerek segítségével

Elemek ($A_{\text{tömeg}}$)	Koncentráció aqua regia extrakció	Környezetvédelmi határérték talajra vonatkozóan, aqua regia extrakció	Koncentráció, EDTA-val történő extrakció	Környezetvédelmi határérték talajra vonatkozóan, EDTA-s extrakció
Cr (52,01)	162-192	75	6,0-7,5	3
Cu (63,57)	61-76	75	27-33	40
Fe (55,84)	5100	6275	539-550	-
Mn (54,93)	950-1190	-	383-398	-
Ni (58,69)	52-61	40	3,3-4,0	20
Cd (112,41)	0,54-1,77	1	0,44-0,80	-
Pb (207,21)	87-105	100	41,7-50,5	25
Zn (65,38)	243-283	200	38,4-44,0	20

2 . ábra A környezetvédelmi határérték és az extrakciók értékei a talajban előforduló nehézfémekre

EDTA- (etilén – diamin – tetra ecetsav nátriumsója) Kulinov (1960) Növények táplálkozása és gyökérrendszerük életműködése-E.41.Ratner 1963

2.2.3. 3. sz. konzorciumi tag: Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Alapítvány, Biotechnológiai Intézet

Feladata: a nehézfém felvétel serkentése a rizoszférában élő baktérium- és gombafajokkal.

Irodalomból ismeretes, hogy gomba ill. baktérium fajok hatással vannak a növény által felvehető toxikus elemtartalom alakulására. Ezzel összefüggésben megválaszolható a kérdés, hogy az alkalmazott bioremediációs technika segítségével – az egyes toxikus nehézfémek mobilitási affinitásának megfelelően – mely fémek tisztítása eredményesebb. Azonosítjuk a növények rizoszférájában élő, a környezeti viszonyokhoz adaptálódott mikroorganizmusok, baktériumok és gombák fajait, és azokat és tenyészetben előállítjuk.



3. ábra. Mikrobiális fajkombinációk hatása fűz és napraforgó növekedésére és nehézfém-felvételére tenyészedenyes kísérletben.

2.2.4. 4. sz. konzorciumi tag: MTA Szegedi Biológiai Központ, Növénybiológiai Intézet

Feladata: a környezeti fémterhelés monitorozása bioszenzorként szolgáló transzgenikus cianobaktérium konstrukcióval.

Alkalmazott kutatási feladat a bioszenzor kalibrálása: a nehézfém ion koncentráció és az emittált fény intenzitásának mennyiségi összefüggésének megállapítása.

A projekt 2. évben kialakítottak egy *coaT::luxAB* konstrukciót tartalmazó cianobaktérium törzset, és megmutatták, hogy Co^{2+} és Zn^{2+} ionok hatására jól mérhető biolumineszcencia jelet szolgáltat.

Nedves tömeg	Króm(III) ion	Króm(III)ion + Baktériumok	Króm(III)ion + Baktériumok sterilre szűrve	Anioncserélőn átfolyt sterilre szűrve	Kationcserélőn átfolyt sterilre szűrve	Fordított fázisú átfolyt sterilre szűrve	Anioncserélő cartridge-ről lejtött + króm(III)ion	Kationcserélő cartridge-ről lejtött + króm(III)ion	Fordított fázisú cartridge-ről lejtött + króm(III)ion
gyökér	0,06	0,11	0,26	0,29	0,54	0,47	0,15	0,09	0,05
fa	19,39	18,01	22,81	28,11	26,45	27,77	24,79	21,5	18,39
levél	0,86	1,81	2,3	2,93	2,43	3,64	1,87	1,37	0,38
szár	0,42	0,92	1,19	1,99	1,43	2,18	0,95	0,78	0,08

Száraz tömeg	Króm(III) ion	Króm(III)ion + Baktériumok	Króm(III)ion + Baktériumok sterilre szűrve	Anioncserélőn átfolyt sterilre szűrve	Kationcserélőn átfolyt sterilre szűrve	Fordított fázisú átfolyt sterilre szűrve	Anioncserélő cartridge-ről lejtött + króm(III)ion	Kationcserélő cartridge-ről lejtött + króm(III)ion	Fordított fázisú cartridge-ről lejtött + króm(III)ion
gyökér	0,03	0,06	0,05	0,08	0,08	0,12	0,04	0,06	0,01
fa	9,49	8,53	10,68	13,55	12,07	12,62	11,57	10,02	9,53
levél	0,16	0,3	0,5	0,56	0,41	0,65	0,31	0,24	0,06
szár	0,06	0,13	0,2	0,27	0,17	0,29	0,11	0,11	0,01

4-5 . ábra Különböző tápfolyadékokban nevelt fűzdugványok szerveinek nedves és szárazanyag adatai g-ban.

2.2.5. 5 sz. konzorciumi tag: Aquadukt Építőipari és Környezetvédelmi Kft., Szekszárd

Feladata: a célterületek biztosítása, tereprendezés, kísérleti parcellák tervezése és kialakítása, a minta parcellák fenntartása.

Egy mintaterületre és anyagcsoportra kívánjuk elvégezni az ártalmatlanítási kísérletet. Ez az anyagcsoport folyóvizekhez kapcsolódó holtágakból kikerülő iszapos zagy. Elemzéseink is igazolják, hogy ezek átlagos nehézfém koncentrációja a legtöbb esetben meghaladja az iszapra (50/2001 Rendelet), illetve a talajra vonatkozó 10/2000-es Rendeletben rögzített értékeket (pl. mért Zn-re 249-296 ppm, határ érték 2500, ill. 200 ppm), Cd-re a mért 1.8-2.2 ppm a határérték 10, ill. 1 ppm). Így az anyagok lerakóhelyénél csak keveréssel csökkenthető a koncentráció. Az **Aquadukt Kft.** hatáskörébe tartozó iszap lerakóhely (**Mártély**) kiváló referenciaterületnek ígérkezik. Elvégzendő feladat a kísérleti parcellák tervezése és kialakítása, a telepített szűrőnövényzet műtárgyainak és a komplex kezelőterület kialakítása (medencék, telepítés).



6. ábra Iszapkotrás a Mártélyi Tisza holtágon

2.2.6. 6. sz. konzorciumi tag: Hologén Kft., Szeged)

Feladata: a szennyezett növényanyag speciális égetőkazánban való megsemmisítése, a növényi hamuból a fémek kivonása („fitobányászat”)



7. ábra. Vándorrostélyos kazán

Olyan komplett technológia kidolgozása, ami lehetővé teszi az irányított és folyamatában ellenőrzött fémszennyezett növények elégetését, a nyert hőenergián kívül a füstgázból és a hamuból kinyert fémek és vegyületek meghatározása. „Fitobányászat”

3. Anyag és módszer

3.1. Az Aquadukt Építőipari és Környezetvédelmi Kft munkájának bemutatása

Mint a konzorcium 5. sz. tagja, a program célkitűzésének megvalósítása folyamán a célterületek biztosítását vállalta. Konzorciális megállapodásunk szerint első részfeladatként a telepítendő szűrő növényzet műtárgyainak és komplex kezelőterület kialakításának megtervezése és elkészítése volt a feladatunk. A célterület kiválasztásánál figyelembe vettük, hogy lehetőség szerint nagy mennyiségű iszap kitermelésére legyen lehetőség. a kitermelés közelében lehetőleg mezőgazdasági művelésű ágban lévő terület legyen. Így esett a választás a Kiskunsági Nemzeti Park kezelésében lévő Mártélyi Tájvédelmi Körzet 02179/3 hrsz. Holt –Tisza medrére, mint iszap kitermelő helyre, valamint a 02172 és 02164 hrsz-ú, mint komplex kezelőterület kialakítására alkalmas területre



8. ábra. Mártélyi Holt- Tisza

A 02164 hrsz.-ú területen 5640 m²-en I. jelű kísérleti területet alakítottunk ki 650m² járóútnak használt területtel. Ezen a kísérleti területen, mintegy 2 méter mélységben helyeztük el a Holt – Tiszából hidromechanizációs úszókotróval kitermelt iszapot. A zagytérrel gátakkal vettük körbe, a zagytérrel belül pedig a vízkormányzáshoz szükséges keresztgátakat építettünk. Az

egész zagyteret 20 cm solidur bentonittal béleltük ki ,így tettük vízzáróvá a medencéket. A kitermelt vizes iszapot $\Phi 200$ –as végtelenített kpe csövön juttattuk a hajótól a zagytérig mintegy 600 m távolságra.



9 . ábra Iszapkotrás



10 . ábra Zagyter

Mivel a kitermelt iszap szárazanyag tartalma igen csekély, 10%-90% az üledék- víz arány, ki kellett építeni egy 350 fm hosszú 4 m² területű ásott vízelvezető árkot. Ezen keresztül juttattuk vissza a Holt-Tiszába a kiülepedett, letisztult vizet. A visszavezetett víz minőségét állandó kontrol mérésekkel figyeltük , ügyelve a környezetterhelés elkerülésére . A kitermelt iszap önmagától elterül, a megszikkadt iszap felületét durva és finom tereprendezéssel alakítottuk ki növénytelepítésre alkalmas állapotba. A telepítendő növényzetet I. számú konzorciumi tag biztosította. A telepítéssel kapcsolatban feladatunk volt a növényzet helyszínre szállítása, illetve a 6000 db Salix dugvány elültetése.

Salix alba L. klónok:

„Bédai egyenes”

„Drávamenti”

„Sárvár-1”

„SI 2/61”

„I 1/59”

„I 4/59”

Ezekon kívül Salix caprea (kecskefűz) és Salix viminalis (kosárfonó fűz)nem megnevezett klónjai kerültek kiültetésre . Az előző évi tavaszi áradás és a nyári csapadékos időjárás lehetetlenné tette a kora tavaszi telepítést, ezért meg kellett várni , amíg a terület megközelíthetővé válik. Igazító tereprendezés és megfelelő talajelőkészítés után lehetett csak elkezdni a növények kiültetését . A nyári meleg viszont kétségessé tette a sima dugványok megeredését azok vízvesztése miatt, ezért a dugványokat növényházban, tőzeget földkeverékben gyökereztettük.



11 . ábra Fűzdugványok gyökereztetése növényházban

Kiültetésre a dús gyökérzetű mintegy 30-40 cm-es hajtással bíró növények kerültek, klónonként 1000-1000 db, míg a *Salix caprea*-ból csak 600, a *salix viminalis*-ból pedig csupán 10 db dugvány állt rendelkezésünkre . A növényeket 1x1 m-es sor- és tőtávolságra ültettük. Az ültetés megkezdéséig a végleges tereprendezés megtörtént.



12 . ábra Konténeres fűzdugványok ültetés előtt



13 . ábra Fűzdugványok ültetése

II ütemként a 02164 hrsz-ú 2800m²-es területen kialakításra került 6 db 30X10 m-es mintaparcella került kialakításra 800m² járóútnak használt felülettel. A 6 db parcella körgáttal lett körbehatárolva . A három oldalon elkészített töltések közé Morooka- mst 3000xt gumilánc talpas dömperral lett az iszap bedepónálva az I-es kísérleti területről . Az iszapot a kiemelkedően magas víztartalma miatt csak teljesen zárt neoprén ruhában, kézi erővel lehetett elteríteni . Ezt követően lezárásra került a kazetták 4. oldala is . A kísérleti területet járóút építésével tettük megközelíthetővé . A járóút és a kazetták haránttöltésének találkozásánál 3 db előre gyártott betonaknát helyeztünk el . Ezen aknába műszerek lesznek telepítve melyek érzékelője az elterített iszapba lesz elhelyezve. A csapadékvíz mérésére Φ-200-as KG pvc csövek lesznek függőlegesen beépítve egy 2m²-es fóliához csatlakoztatva az alsó méteren a cső perforációval lesz ellátva .Ezek a kutak a csapadék iszapon át szivárgó mennyiségét mérik illetve vízmintákat lehet belőlük venni az analízisekhez.





14 – 15 . ábra A kísérleti kazetta építése



16 . ábra A kész kazetták és a figyelőkutak

Az átszivárgó vizek toxikus elem tartalma a határértékkel (10./2000 (VI.2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet

Elem (mg/l)	1	1/A	1/B	1/C	3	4	5	6	Határérték „B” (mg/l)
Cd	0,003	0,008	0,006	0,009	0,01	0,01	0,01	0,01	0,005
Co	0,006	0,01	0,01	0,009	0,02	0,008	0,008	0,01	0,02
Cu	0,01	0,02	0,02	0,01	0,05	0,01	0,01	0,02	0,2
Ni	0,02	0,02	0,02	0,001	0,05	0,01	0,01	0,02	0,02
Zn	0,03	0,08	0,03	0,02	0,19	0,001	0,001	0,04	0,2

17. ábra Mártélyi átszivárgó vízgyűjtő kutak vízminősége (2007. 06.08.)

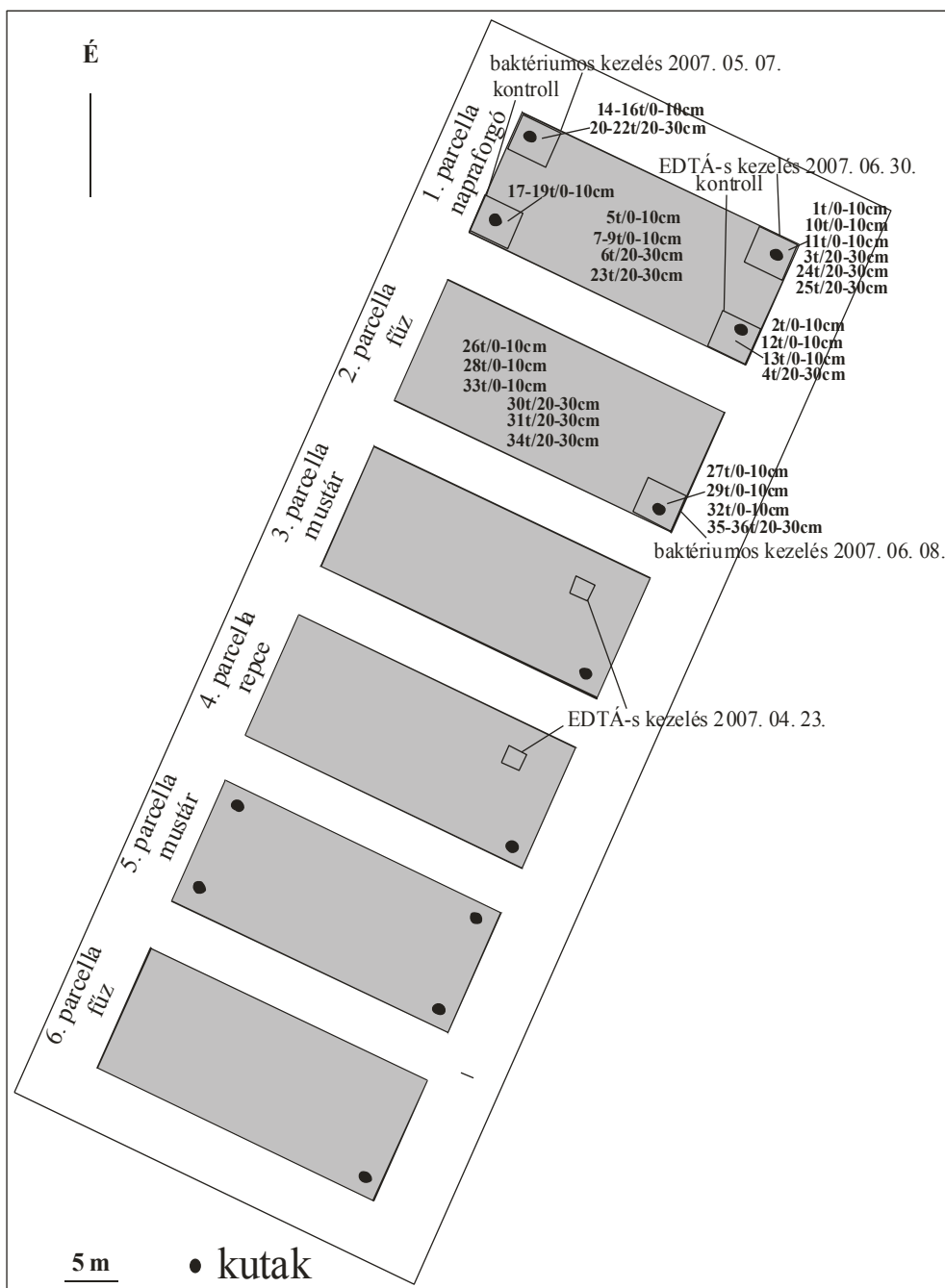
Mártélyon az átszivárgó vizeket a kihelyezett mintegy 30-40 cm vastag iszapréteg alá kiterített műanyag fólia fogta össze, és a hozzá forrasztott műanyag hengerhez vezette. Így a csapadékvíz által, ill. a kezelések, öntözések hatására mobilizálódott, esetleg kimosódott fémek mennyisége kísérhető figyelemmel (7. táblázat). A kísérlet zárásakor végzett mintavételezés alkalmával a minden megfigyelő pontban a Cd esetében tapasztaltunk a hatályos rendeletben talajvízre megadott határérték feletti koncentrációt. Egy vizsgált pont esetében (3 parcella) a Ni és a Zn is határértéket meghaladó koncentrációt mutatott. A korábbi mintavételi időszakokban az átszivárgóvíz gyűjtő kutak szárazak voltak.

Az elkészített kísérleti területet 1,70 m magas drótfonatos kerítéssel vettük körbe, melyen 2 db 3 m nyílású kaput szereltünk fel. Az iszap kiszáradását követően a talaj előkészítő munkák következtek.



18. ábra Talajelőkészítés

Következő év tavaszán magágy előkészítés után következett a vizsgálandó növények vetése. A 2007. évi szezonban a Mártélyi kísérleti terület 6, egyenként 10x30 m-es parcellája közül 2 parcellát foglalt el az immár 3. éves fűz állomány, 1-1- parcellába az őszi vetésű *Brassica napus* és *B. juncea* (sikeresen áttelelt) ill. tavaszi vetésű *B. juncea* került, valamint 1 parcellába napraforgót vetettünk.



19. ábra Kísérleti parcellák helyszínrajza

Kísérleteink célja a terület nehézfémekkel csak enyhén szennyezett talaján fitoextrakciós módszer alkalmazása, valamint a gyökérnövekedésre – laboratóriumi kísérletek szerint – pozitív hatású rizoszféra baktériumokkal való kezelés hatásának tanulmányozás

3.2. A projektben résztvevő konzorciumi tagok feladatmegosztása

Ezen a területen általában 4 konzorciumi tag összehangolt munkája volt szükséges, a szezon végén a növényanyag égetéshez való előkészítése révén pedig egyszerre 5 konzorciumi tag volt képviselve a terepen:

1. tag – általános koordináció, növényi mintavétel és analízis;
2. tag – talaj,- talajvíz mintavételezés (részben a 4. tag részére is), az indukált fitoextrakció kivitelezése;
3. tag – mikrobiális kezelések előkészítése és helyszíni alkalmazása;
5. tag – egész évben az agrotechnika és gyomkontroll kivitelezése, növények kezelése, betakarítás;
6. tag – az égetéshez a növényanyag szállításhoz való előkészítése, elszállítása.

20. ábra. A mártélyi tenyészkertben végzett fő kísérleti munkák és időpontjaik.

Növényfaj	2006	2007				
<i>Brassica juncea</i>	Vetés (09.01.)		EDTA-s kezelés (04.23.) Mintavétel (04.27)	Végső mintavétel (06. 08.)		
<i>B. napus</i>	(09.01)		EDTA-s kezelés (04.23.) Mintavétel (04.27)	Végső mintavétel (06. 08.)		
Napraforgó		Talajelő- készítés (03. 08) Vetés (03.13.)	Kezelés baktériumokkal (05.07.) EDTA-s kezelés (06.30.) Mintavétel (07.04.)	Időközi mintavétel (06.08). Végső mintavétel (09.12.) Betakarítás (09.12.)		Égetés (október)
Fűz			Kezelés baktériumokkal (06.08.)	Mintavétel (08.22.) Mintavétel a 2005-ben kiültetett klónokból (08.22.)	Végső mintázás (09.22.) Betakarítás (09.12.)	Égetés (október)

20. ábra. A mártélyi tenyészkertben végzett fő kísérleti munkák és időpontjaik.

A terület ellenőrzése, fényképfelvételek készítése a megjelölt időpontoknál gyakrabban történt.

3.3 A kísérleti parcellákba telepített növények bemutatása és kezeléseik

Brassica juncea és B. napus

Az 22. ábrán látható az EDTA-val végzett indukált fitoextrakció hatása *Brassica juncea* és *B. napus* Zn^{2+} , Cu^{2+} és Pb^{2+} felvételére és a fémionok növények részei közötti megoszlására. Mindháron nehézfémvel kapcsolatban megjegyezhető, hogy az EDTA kezelésre a *B. napus*, olajrepce reagált intenzívebb fémion felvétellel. (21. ábra)



21. ábra *Brassica napus*- olajrepce



22 . ábra Brassica juncea- Szeraptei mustár

Jelentős a Zn^{2+} növényi részek közötti megoszlásában mutatkozó különbség a két *Brassica* faj között: a *B. juncea* inkább a magban, míg az olajrepce a gyökér mellett a szárban és a becőkében akkumulált, a magból szinte kizárta azt. Ennek oka a két faj kation transzport rendszereinek különbségében keresendő: ugyanezen kísérletben éppen ellentétes módon találtuk a két faj Ca^{2+} akkumulációs mintázatát a növényi részek között. A *B. juncea* Ca^{2+} koncentrációja a becőkében 6-7-szerese volt a *B. napus* becőkében lévő koncentrációnak, míg a fordított reláció mutatkozott meg a mag Ca^{2+} koncentrációját illetően. A jelenséget részletesen a COST 839 Akcióprogram legutóbbi, Izraelben tartott műhelytalálkozóján vitattuk meg 4 konzorciumi tag 10 munkatársának közös szerzőségével bemutatott munkával (Erdei et al. 2007). AZ EDTA keláló hatása a Cu^{2+} és Pb^{2+} esetében is észlelhető, azonban a változások inkább a gyökér ionfelvételét érintik.



23 . ábra A repce parcella kelát kezelése Mártélyon

Napraforgó

A napraforgó esetében az EDTA a Zn^{2+} gyökérben való felvételét kismértékben megemelte, azonban nagyobb hatást a Cu^{2+} és az ólom levélbeni akkumulációjára fejtett ki. A bakteriális kezelésnek sem volt hatása a fémek felvételére és viszonylagos megoszlására (6. ábra). Ez a megfigyelés egyező a 3. konzorciumi tag ide vonatkozó eredményeivel is, amely szerint a napraforgó rizoszférájának CO_2 kibocsájtása nem változott a bakteriális kezelést követően. Ugyanakkor a talajanalízis kimutatta, hogy a keláttal kezelt napraforgó példányok gyökérszónájában minden esetben alacsonyabb volt a fémkoncentráció, mint a kezeletlen egyedek esetében. Hasonló, sőt még nagyobb mértékű (20-40%!) volt a gyökérszónában a nehézfém koncentráció csökkenése a baktériumokkal való kezelés hatására.



24. ábra A napraforgó parcella KELÁT-kezelése Mártélyon

A fűz

A fűz esetében EDTA-s kezelést nem végeztünk, a gyakorlati technológia szempontjából költséges volta és nehéz alkalmazhatósága miatt.

A növény saját rizoszférájából feldúsított baktériumokból álló konzorciummal való kezelés azonban a vizsgálatokra érdemesnek ígérkezett. A 2007. június 8-i, 0-idős kontrollhoz képest az augusztus 22-i mintavételhez tartozó kontroll minták Zn^{2+} koncentrációi a levélben és

vesszőben alacsonyak voltak, azonban a mikrobiálisan kezelt területről vett levélminták Zn^{2+} szintje magas maradt, vagy a kezelés hatására megemelkedett (7. ábra). Ez az eredmény összecseng a 3. konzorciumi tag jelentésével, amely szerint a bakteriális kezelést követően a fűz rizoszférájának CO_2 kibocsátása a kontroll hoz képest minden mintánál megemelkedett. Mivel a napraforgónál a CO_2 kibocsátás fokozódás nem volt megfigyelhető, a fűzre vonatkozó adatokat jelentősnek értékeljük, és azzal értelmezzük, hogy a növény a saját rizoszféra fajait kapta vissza feldúsított mennyiségben, és a növény-mikrobiális együttműködés létrejöhetett.



25. ábra Salix alba

A Cu^{2+} és Pb^{2+} akkumulációját illetően a fűz mintákban nem volt változás.

A fűz klónok Zn^{2+} és Cu^{2+} akkumulációja

A 2005. augusztus első napjaiban gyökeres dugványként zagykazettákba telepített fűz klónokat a 2006. évi hosszan tartó vízborítás megviselte, közülük az olasz vonalak (I-1/59 és I-4/59), a Bédai és Sárvár-1 voltak a túlélők, míg a többiek egy része kipusztult.

A klónok Zn^{2+} - akkumulációs képessége a levélben megemelkedett a 2006-i állapothoz képest, ez valószínűleg a kedvezőbb klimatikus viszonyoknak (ez évben nem volt vízborítás, bár helyette nagyfokú volt a szárazság) és a szükségszerűen nagyobb, fejlettebb gyökérzetnek tulajdonítható. Véleményünk szerint nehéz két, teljesen eltérő klimatikus viszonyokkal bíró vegetációs időszakban kapott eredmények alapján a klónokat kiértékelni. Sajnos, a projekt 3

éves időtartama kevés tartamkísérlet elvégzésére (ezt az agrártudományok szakemberei is megerősíthetik).

A nehézfém-akkumuláció mértéke azonban megegyezik a kedvezőbb körülmények között, parcellás kísérletben fejlődött fűzek adataival.

2007 szeptemberében kezdődött a *Heliantus annuus* kitermelése fokozott figyelemmel a gyökérzóna körüli talajra, mivel itt volt jelentős nehézfém koncentráció.



26 . ábra Napraforgó gyökérzónájának mintavételezése



27 . ábra Fűz betakarítás és kötegelés

A fenti képen jól látható a két csoport közötti különbség a gyökérzetnél. A baloldali csoport EDTÁ-s kezelést kapott és karógyökér szerű elváltozás látható a gyökérzeten. A levágott növényanyagot kötegeltük és elszállításra került a 6. sz. konzorciumi tag telephelyére.

3. 4. A szennyezett növényanyagot égető technológiai rendszer

Az éghetőségi paraméterek meghatározásához alapul vettük az oroszlanói veszélyes hulladékok égetésére létesített (már meglévő) rendszert, amely szerint a hulladékok előkezelésére elkülönített csarnokrészben lévő aprító-, szárító-eszközök szolgálnak. Az égetés HSZ. 6/14. vándorrostélyos kazánban történik. A keletkező égetési füstgáz tisztítása 20 m³-es utóégetővel, füstgáz visszahűtő kazánnal, Ventúri-mosóval, cseppleválasztóval és többlépcsős tálcás szűrővel együttesen realizálódik. A tisztított füstgáz 24 m magas kéményen át jut a szabadba.



28 . ábra Utóégető berendezés



29 . ábra Hőcserélő berendezés



30 . ábra Venturi mosó

Előkísérletben a rendszert külön a lágyszárúak és külön a fás szárúak égetésére teszteltük (kísérleti növényként a fűszalmát és a fűzfát használtuk). Meghatároztuk a beadagolási módokat, beadagolható mennyiségeket, a kísérleti növények nedvességtartalomtól függő fűtőértékeit és az égéslevegő-szükségletet. Vizsgáldtunk hamutartalom és illótartalom tekintetében. A felsorolt paramétereken kívül a próbaégetés alatt további értékeket határoztunk meg a folyamatos füstgázmérő-, regisztráló berendezéssel.

A kísérlet 4 szakasza: 1. felfűtési időszak, amelynek célja az utóégető berendezés megfelelő hőmérsékletének biztosítása (750 °C-ig); 2. a fa, majd a 3. szalma elégetése; végül pedig a 4. leállítási szakasz, amely idő alatt az utóégető már nem üzemelt.

A kapott adatok értékeléséhez a 3/2002. (II. 22.) KöM rendelet a hulladékok égetésének műszaki követelményeiről, működési feltételeiről és a hulladékégetés technológiai kibocsátási határértékeiről 3. számú mellékletben foglaltakat alkalmaztuk, amely meghatározza a betartandó kibocsátási határértékek veszélyes hulladékok égetése esetén (a határértékek a beüzemelési és a leállítási szakaszra nem vonatkoznak).

Megállapítottuk, hogy a próbaégetés során tapasztalt emissziós átlagértékek megfelelnek a rendeletben megadott határértékeknek (amennyiben a CO kibocsátással kapcsolatos javaslatokat betartjuk), de az egyes napi átlagértékeket nagyon megközelítik, ezért a projekt következő éveiben beütemezett rendszer fejlesztése indokolt.



31 . ábra Tálcsás szűrő

A fitoremediációban részt vett növények a szöveteikben (1. konzorciumi tag vizsgálatai alapján legnagyobb százalékban a hajtásban, illetve a levelekben) fémeket halmoznak fel. A most már veszélyes hulladéknak tekinthető növényeket valamilyen módon eliminálni szükséges. A lehetséges közömbösítési módok közül a második évben az energiahasznosításra is alkalmas égetést választottuk, ezen belül is egy háromhuzamú vándorrostélyos kazán alkalmazását. A vándorrostélyos kazán műszaki kialakításából adódóan a megfelelően

előkészített növényanyag az égetéskor a tűztérben egyenletes vastagságban halad előre, miközben az égéslevegő szabályozottan átjárja az izzó anyagot. Ezen felül a tűztérben egyenletes eloszlású és magas hőmérséklet biztosítható, tehát nem alakulnak ki hideg felületek.

Az égetés optimalizálása érdekében az adott feladatra specializált átalakításokat végeztünk. A tüzelési hőmérséklet magasabb értéken tartására, az egyenletes besugárzás biztosítására – a füstgáz jobb kiégése érdekében – az acélszerkezetre samott-burkolat került beépítésre, amely követi a lángcső vonalát, félkör alakban oldalról-felülről körbeveszi a tűzteret. Így a tűztérből a fordulókamrába távozó füstgáz hőmérséklete kb. 150-200 °C-kal magasabb (350-400 °C helyett 500-600 °C), mint a samottbetét alkalmazása nélkül volt. Az égetési folyamat beállított. Az égés paramétereinek ellenőrzését, szabályozását, rögzítését, a teljes rendszert felügyelő automatikus elemek vezérlését vezérlőszekrény és folyamatos mérőrendszer biztosítja.

A nehézfémek az égés és a lehűlés során sokféle reakción mennek keresztül, például a hőmérséklet növelésével nő a nehézfém-vegyületek párolgása, illékonysága. Irodalmi adatok szerint alacsony hőmérsékleten kisebb a füstgázban a nehézfém koncentráció, ezért az égetési kísérleteket szabályozható égéstér-hőmérsékletű pirolizáló kemencében is elvégeztük.



32 . ábra Pirolizáló berendezés

Megvizsgáltuk, hogy egyes fémek milyen koncentrációban dúsulnak fel a salakban, illetve a pernyében. Problémát vet fel, hogy a szokásos gáztisztító berendezések nem tudják tökéletesen visszatartani a nehézfémek mikrométernél kisebb részecskéit. A leválasztás növelhető adszorptív adalékokkal, ún. szorbensekkel. Ezek adszorpciója függ a szorbens alapanyagától és szemcseméretétől, mennyiségétől, a hőmérséklettől, az elégett anyag

klórtartalmától. Tehát fejlesztési lehetőség lehet az égetendő növényanyag szorbenssel történő együttégetése a rendszer nehézfém megkötési hatékonyságának növelése érdekében.

Az égetési kísérletekhez a mártélyi 3. és 4. parcellák fűz anyagát használtuk, amely területen a Zn fordult elő határérték feletti koncentrációban. Az 1. konzorciumi tag vizsgálatai alapján a fűzfákban a nehézfémek közül Zn, Cu és Pb volt detektálható. Irodalmi adatok alapján a Cu legnagyobb részt a salakban marad, ezért ezen fém esetén nem volt szükség a fémmegkötő adalékokkal kapcsolatos kísérletekre. Emellett az Pb koncentrációja annyira alacsony volt, hogy az égetési kísérleteknél nem mutatott volna tendenciájában értékelhető eredményt. A kísérletek során tehát a modellfémként alkalmazott Zn útját követtük nyomon.

A növényanyagok hőkezelésekor adalékként mészkőörleményt, zeolitot és a zeolit égést lefojtó tulajdonsága miatt kokszt, mint égést stabilizáló anyagot alkalmaztunk. A vándorrostélyos kazán esetén maximum 500 °C-os kilépő füstgáz hőmérsékletet biztosítottunk. A pirolizálóban minél alacsonyabb hőmérsékletet próbáltunk biztosítani a fémek hőmérséklettől függő illékonysága miatt. A fűtőanyag – esetünkben fűzfa – égését vizsgáltuk 200-500 °C tartományban.

Vándorrostélyos kazánban végzett hőkezelés eredményei szerint az égetés jó hatásfokkal kivitelezhető, a keletkezett hamu térfogata a bevitt anyag térfogatának 3-5 %-a. Az égéstérben a hőmérséklet 700-800°C körüli és a kazánból kilépő füstgáz pedig 550-590 °C. Az elvégzett kísérletek alapján elmondhatjuk, hogy a kokszt adalékanyag alkalmazása az égés biztosítása érdekében nem szükséges (az anyag magában is jól égethető), azonban mint adszorbens jó hatásfokúnak bizonyult.



33 . ábra Vándorrostélyos kazán

Pirolizáló kemencében végzett hőkezelés során 200 és 300 °C hőmérsékleten jelentős térfogatcsökkenést nem sikerült elérni, ezért 400°C-on végeztük a kísérletet. Amennyiben a cél a kis térfogat elérése, akkor magasabb hőmérsékleten kell kezelni az anyagot. Az 500°C-

on kezelt anyag tökéletesen darálható, de ez a megoldás végleges elhelyezés esetén a térfogatot tekintve kevésbé költséghatékony.

A hamu analitikai eredményei alapján általánosságban elmondható, hogy az adalékanyagok növelték a hamuban visszamaradó Zn mennyiségét; az égetésnél nagyobb százalékban (10%) adagolt zeolit csökkentett a hatékonyságon, az 5 %-os zeolit nem változtatott az arányokon és a kokszt adagolása bizonyult a leghatékonyabbnak. A pirolizálás fémmegekötés tekintetében jobb eredményre vezetett, ebben az esetben a zeolit és a mészkő 5 %-os adagolási aránya eredményezte a legmagasabb fémtartalmat a hamuban.

Az égetőberendezések füstgázainak károsanyag-tartalma igen széles koncentráció tartományban ingadozik. Az egyes biomassza tüzelőanyagok illótartalma, karbon-, hidrogén- és oxigéntartalma között nincs nagy különbség. A környezetkímélő eltüzelés érdekében ezeknek a tüzelőanyagoknak elsősorban a nitrogén-, klór- és kéntartalma az érdekes, míg a tüzeléstechnológiai szempontból – főleg a salaklágyulás és –olvadás – tekintetében az alkáli (Na, K) és az alkáli földfémek (Mg, Ca) mennyisége lényeges. A szénhez képest a faapríték kedvezőbb a kén és a nitrogén tekintetében, a szalmában viszont jóval több klór és kálium van, mint a szénben, vagy a faaprítékban.

Ismeretes, hogy a nehézfémek oxidok, kloridok alakjában részben a salakban megkötődnek, részben pedig a füstgázokban jelennek meg. Fémenként változik az, hogy mennyi kötődik meg a salakban, mennyi kondenzálódik a szálló poron és mennyi marad a tisztítandó füstgázban. Régebben arra törekedtek, hogy ezek a szennyező anyagok – főként a nehézfémek – a salakban koncentráldjanak. Manapság viszont a megfelelő tüzeléstechnikai paraméterek beállításával azt kívánják elérni, hogy az illékony komponensek a füstgázba kerüljenek. Így viszonylag ártalmatlan salak keletkezik, a füstgázt pedig nagy hatékonyságú berendezésekkel a kívánt mértékig meg tudják tisztítani.

Szemléletesen összefoglalva tehát azt a célt tűztük ki, hogy mind az égetés, mind pedig a pirolizálás során a lehető legkevesebb fém távozzon ellenőrizetlenül a füstgázzal a kéményen. Szakirodalmak és az elvégzett kísérletek eredményei alapján a célunk megvalósítása érdekében az oroszországi füstgáztisztító rendszeren két módosítást eszközöltünk. Egyrészt a Ventúri-mosó elé szereltünk egy lándzsás mosót, másrészt a cseppeleválasztó kihagyásával a biofiltert bioszűrőre cseréltük és az adszorpciós szűrőbe speciális szűrőtöltetet helyeztünk. A kapott eredmények alapján egyrészt újból kiszámoltuk a fémek megkötési arányát a különböző égető berendezések esetén, a számolások során az előző évvel hasonló eredményt kaptunk.

Másrészt megvizsgáltuk, hogy az adszorpciós szűrő és a Ventúri-mosó az égetésnél milyen fémvisszatartási hatékonysággal dolgozott az általunk legjobbnak ítélt szűrőtöltet esetén.

Megvizsgáltuk, hogy különböző mennyiségű mosófolyadék keringetése jelent-e hatékonyság növekedést, de azt tapasztaltuk, hogy nem jelent, mivel a fémvisszatartás 2,5-szeres mennyiség esetén is másfél százalék alatt maradt.

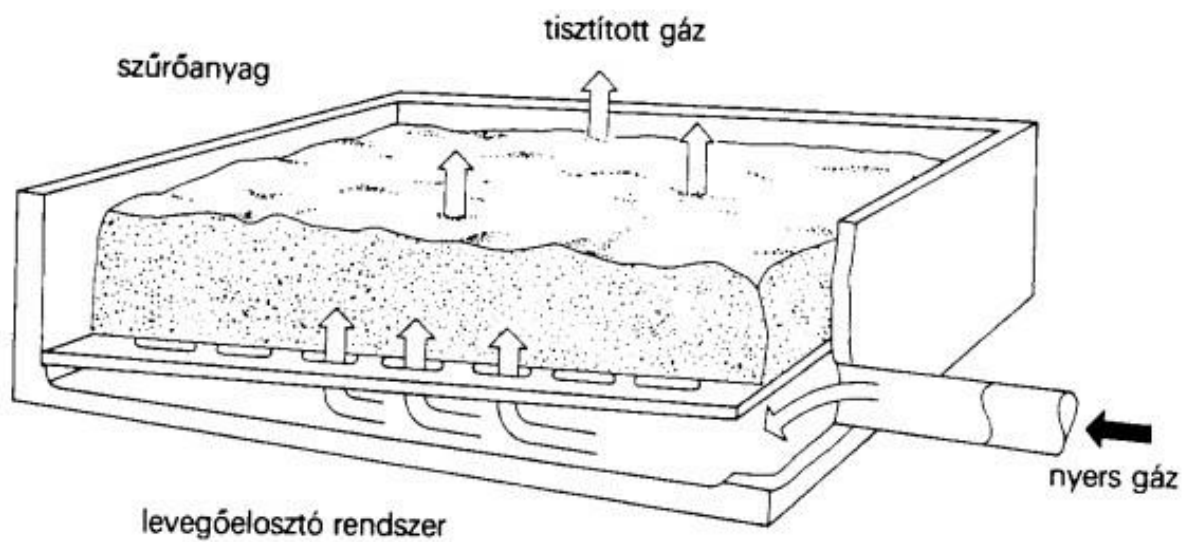
Az adszorpciós szűrő tölteteit is kikísérleteztük. A napraforgó égetésénél alkalmazott 30 kg dolomit és 30 kg zeolit mellett (költségtakarékosságból) 10 kg aktív szenet tettünk. A fűzfa esetén (magasabb beviteli fémkoncentráció miatt) 10 kg aktív szén helyett 50 kg-ot helyeztünk a harmadik tálcába. A hatékonyságbeli különbség egy ezreléknyi, így a nagyobb mennyiségű drága aktív szén töltet költségtakarékossági szempontból nem javasolható. A mérlegek eredményei szerint a tisztított gázzal elmenő fémek mennyisége mindenképpen határérték alatti.

Összefoglalásképpen alábbi anyagmérlegeket állítottuk fel:

Minta jellege	A hamuban maradó Zn aránya (%)	Fémvisszatartási hatékonyság (%)		Összesen
		Füstgáztisztító töltet	Venturi mosó folyadék	
Napraforgó	54,465	44,170	1,363	99,998
Fűzfa	49,119	49,437	1,443	99,999

34 . ábra Anyagmérleg

Összefoglalva, a végső kialakítás szerint a vándorrostélyos kazánból kilépő füstgázaram utóégetőn halad keresztül, amelynek szerepe az elégetlen égéstermék alkotók továbbégetéssel történő bontása. Az utóégető saját gáztüzelési rendszerrel van ellátva. Az egyéb égésmaradékok salakgyűjtőbe kerülnek. Az utóégetőből kilépő magas hőmérsékletű füstgáz hőhasznosító kazánon áthaladva lehűl. A pirolizáló berendezést a füstgáztisztító sorba a hőhasznosító kazán után csatlakoztattuk bele. A füstgáz tisztítása több ütemben történik. Első ütemben adiabatikus mosással távozik a szennyezők jelentős része, a vízben oldódóak, ill. az 5 µm-nél nagyobb méretűek. A Venturi mosó elé lángmosót építettünk, hogy a vegyszeres mosás előtt előnedvesített füstgáz ezzel is biztosítva a nagy folyadék/gáz határfelületet. A mosás után a füstgáz vízzel telített, ezért többlépcsős szűrőrendszert építettünk ki. Első lépésben egy bioszűrőn megy a füstgáz keresztül, amely hatékony cseppleválasztóként funkcionál. Az adszorpciós szűrő töltetének kiválasztása is úgy történt, hogy az első két tálcán a füstgáz megváljon az összes maradék nedvességtartalmától (dolomit és zeolit), így a füstgáz már alkalmas legyen az aktív szénrel történő finom szűrésre. A füstgáz végül ventilátor közbeiktatásával a kéményen keresztül a szabadba távozik.



35 . ábra Bioszűrő felépítése

4. Eredmények megvitatása

A projekt megvalósításának ideje alatt több hasonló kísérlet is folyt Magyarországon.

4.1. Hatékony Fitoremediáció (Anton Attila, Murányi Attila 2007) Mokka Konferencia

Ők a hőmérséklet és pH hatását vizsgálták a növények hajtásának elemtartalmára.

Vizsgált növényfajok értékelés utáni csoportosítása:

- Akkumuláló fajok: FITOEXTRAKCIÓ
pl.: kukorica (Cd), F/Z (Cd, Zn); sóska (Cd, Cu, Zn),
rettek (cd, zn); fekete bodza (pb).
- közepesen akkumuláló
pl.: kerti laboda (cd, zn), aranyvessző (cd, zn); fehér
here.
- nem akkumuláló: fitostabilizáció
pl.: torma, angol perje; akác.

4.2. Fitoremediáció Bányászati eredetű diffúz szennyezések kezelésére

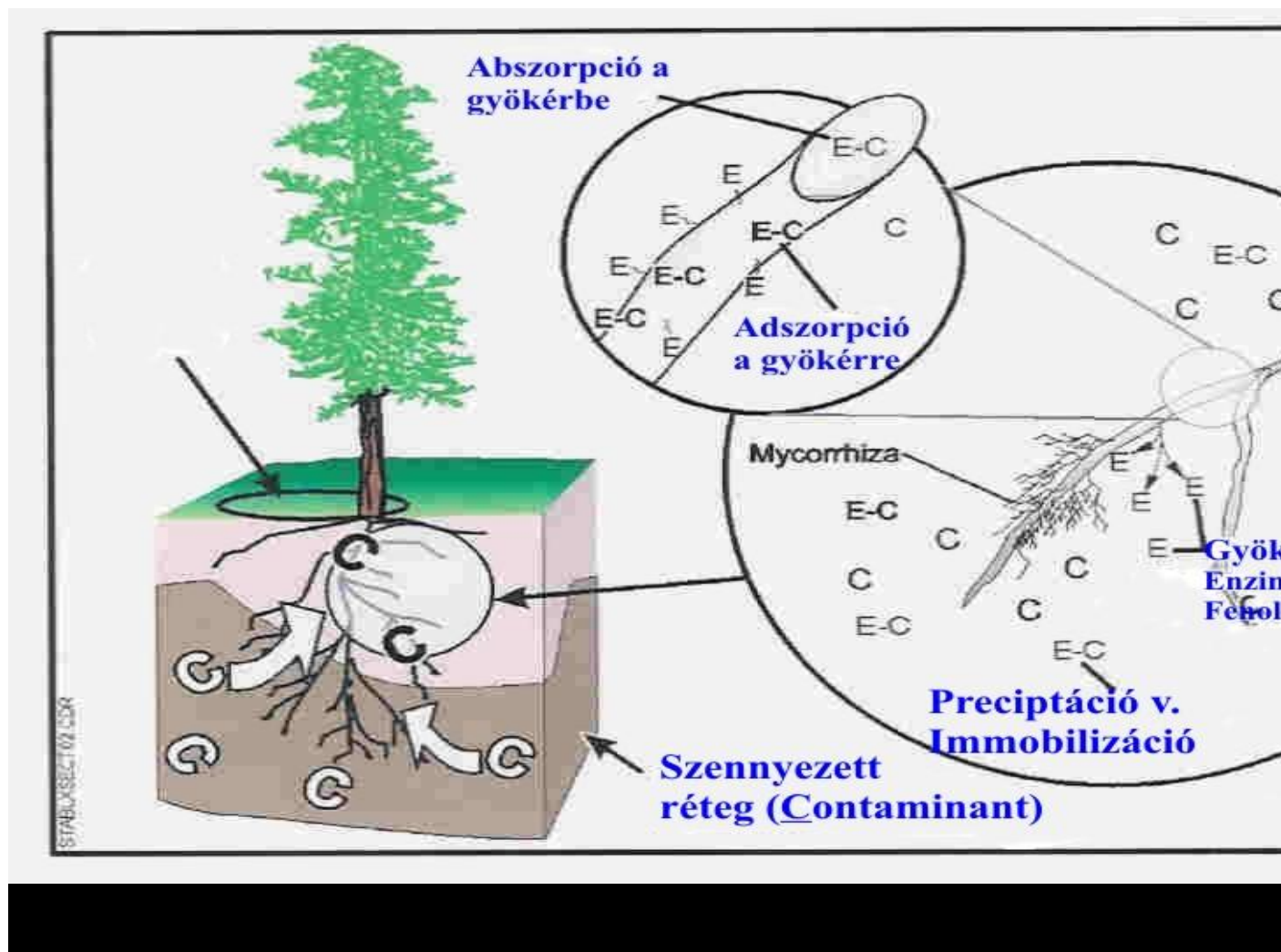
(Anton Attila et al. 2006) MTA Talajtani és Agrokémiai kutatóintézet

A hiperakkumuláló növények gyakorlati alkalmazhatóságát számos tulajdonságuk nehezíti, ezért a későbbiekben egyéb, nehézfémeket jól akkumuláló, toleráns, könnyen termeszthető növényfaj kipróbálására került sor. Bízható eredmények születtek a mérsékelt öv lágyszárú növényei közül többek között a Brassicaceae (KUMAR et al. 1995; KÁDÁR et al. 2003) család fajaival, a fajok közül pedig a Salicaceae család (KLANGWESTIN és PERTTU 2002) tagjaival.

A fitoremediáció során a nehézfémek tulajdonságai és koncentrációja mellett megkülönböztetett jelentőségű, s kiemelt fontossággal bír a nehézfémek oldhatóságát alakító tényezők közül a talaj pH-értéke (NÉMETH et al. 1993; CSATHÓ 1994; CSILLAG et al. 1999; LEHOCZKY et al. 2000). A növények elemtartalma az előbb említetteken kívül függ a növények fejlődési állapotától, a növényi résztől, ivartól (váltivarúaknál) (KÁDÁR, 1995; KÁDÁR et al., 2003).

A hazai nehézfém-szennyezett területek közül az egyik legismertebb, a Gyöngyösorszi mellett található Pb/Zn bánya és környéke (HORVATH and GRUIZ 1996). Jelen írásunkban a korábbi részeredményeinket összefoglalóan, a vizsgált tényezők kölcsönhatásában értékeljük; megadjuk tesztnövényeink nehézfém-akkumulációs és nehézfém-érzékenység szerinti csoportosítását; s megalapozzuk a vizsgált terület fitoextrakciós és fitostabilizációs technológiáját.

A fitostabilizáció folyamatai



36 . ábra Fitostabilizációs folyamat

4.4. A SZIE Gazdálkodási és Mezőgazdasági Főiskolai kar Tass-pusztai tangazdaságban végzett szabadföldi kiscellás nehézfém terhelési tartamkísérlet mezőgazdasági növényekkel.

Fodor László 1997

A kutatási programban a SZIE Gazdálkodási és Mezőgazdasági Főiskolai Kara is részt vesz Dr. Szabó Lajos vezetésével. A kutatómunkába 1994-ben kapcsolódtam be. 1994 őszén a Főiskolai Kar Tass-pusztai Tangazdaságában savanyú, kötött barna erdőtalajon állítottunk be szabadföldi kisparcellás nehézfém terhelési tartamkísérletet az MTA TAKI-ban kidolgozott irányelvek és módszertan szerint.

A disszertáció a Gyöngyösön 1994 őszén beállított szabadföldi nehézfémterhelési tartamkísérlet első három évének (1995, 1996 és 1997) eredményeit dolgozza fel és mutatja be. Munkánk célkitűzése az volt, hogy tanulmányozzuk néhány talajszennyező toxikus elem talajbani viselkedését (lekötődés, átalakulás, kilúgzás), a növények általi felvehetőségüket, akkumulációjukat a növényi szervekben és fitotoxicitásukat

4.5. Meddőhányók nehézfém tartalmának mérséklése növénykultúrákkal

Tury Rita Mosonmagyaróvár 2009

A nehézfémekkel szennyezett flotációs iszapon termesztett három növényfaj közül a tavaszi árpa nehézfém-felvétele volt a legmagasabb. A kadmium és az ólom felvétel mértéke másik két növényfajhoz képest csekélyebb, a réz és a cink felvétel pedig kiemelkedő eredményt hozott a gyökérben és hajtásban is. A lucerna fémtartalma (kadmium, réz, ólom, cink) mind a gyökérben mind a hajtásban a tavaszi árpához és a vörös csenkeszhez képest alacsonyabb volt. A lucerna érzékenysége a talaj savanyúságára megmutatkozott; mert első évben, amikor a kezeléshatások valószínűleg még nem érvényesültek teljes mértékben, a növények nagyon gyengén növekedtek, generatív szerveik szinte alig fejlődtek.

5. Következtetések, javaslatok

Az előző öt bemutatott kísérlet mindegyike csak a növények viselkedésével foglalkozik , a keletkezett szennyezett biomasszáról már nem tesz említést. Ellenben a mi kísérletsorozatunk komplett megoldást kínál a keletkezett szennyező anyag ártalmatlanítására és a nehézfémek újrahasznosíthatóságának a lehetőségét is előrevetíti . A Mártélyi projekt után a következő munkánknál a szerzett tapasztalatokat kamatoztatni tudtuk és az alkalmazott technológiában szervesen be is építettük(Körtvélyesi tiszaholtág iszapkotrás és eutrofizáció megszüntetése)



37 . ábra Eutrofizálódott körtvélyesi Tisza-holtág

Az innen kikerülő iszapot elkülönített zagykazettákba helyeztük el, majd szikkadás után a környező területekre terítettük szét. Előkészítő talajmegtisztítás után fásítva lett a terület a kiszáritott iszap elhelyezése előtt a kihelyezésre szánt területet monitoroztuk , bevizsgáltattuk a kitermelésre kerülő iszapot . meghatározásra került a hektáronkénti iszaptakarás kiszállítás után bedolgozásra került a talajba, majd előkészítő földmunka után fásításra került a terület .

Utóvizsgálatokkal ellenőriztük, hogy a kiszállítás után a környezetterhelés a hatályos rendeletekben szabályozott határérték alatt maradjon



38 . ábra A kiszáradt iszap szállítása és elterítése



6. Összefoglalás

A projekt céljait teljesítettük: kidolgoztunk egy komplex, zárt anyagrendszerű fito(bio)technológiai eljárást, amely alkalmas a környezet-szennyező nehézfémek eltávolítására és ártalmatlanítására. A megvalósítás elemei: - a terület monitorozása talajtani, növénybiológiai és mikrobiológiai szempontból; - nehézfém-akkumuláló növényfajok alkalmazása; - a növény – rizoszféra baktériumok használata; - a fémterhelés monitorozása laboratóriumi keretek között transzgenikus cianobaktérium bioszenzorral; - a szennyezett növényanyag megsemmisítése a nehézfém újrahasznosításával.

A technológia egészére nézve szabadalmi eljárást indítottunk és spin-off vállalkozás megalapítását kezdeményeztük.

A projekt teljesítése alap-, és alkalmazott kutatást, illetve kísérletes fejlesztést igényelt. A laboratóriumi és szabadföldi munkákban a konzorciumi tagok állandó kapcsolatot tartottak és fizikailag is együtt tevékenykedtek. A részfeladatokat és az eredményeket konzorciumi konferenciákon vitattuk meg. A projektvezető felügyelte és megszervezte a közös kísérleteket, a kísérleti területek előkészítését és fenntartását, az anyag begyűjtését és értékelését.

A támogatási összeget és a saját forrásokat a projekt céljainak minél jobb megvalósítására használtuk fel. A célok az időnként felmerülő akadályok ellenére (a 2006. évi tiszai árvizek késleltették a szabadföldi kísérleteket) maradéktalanul teljesültek. A projekt munkaközössége folytatja a publikációs tevékenységet, és az eredményeket közös vállalkozás útján tervezi társadalmilag és gazdaságilag hasznosítani.

7. Irodalomjegyzék

- Baker et al., 1994; Cunningham et al 1995; Brooks 1998; Simon, 1999. toxikus elem szennyeződés káros hatásainak mérséklése fitoremediációval
- Barta K., Farsang A., Mezősi G., Erdei L., Cser V., (2006): Fitoremediációs kísérletek eltérő szennyezettségű területeken. Talajvédelem különszám, Talajvédelmi Alapítvány Kiadó, 2006. in press
- Bujtás K, Lukács A. & Csillag J., 1994. Nehézfémek növényi felvétele és toxicitása több fém együttes jelenlétében. In: V. Magyar Növényélettani Kongresszus, Szeged, 1994. júl. 13--15.
- Cserni I. – Pölös E. – Buzás I. (2003): Changes in the essential amino acid index in wheat and the triticale varieties as affected by N-supply. In: Proc. of the II. Alps-Adria Sci. Workshop, Trogir 3-8. March 2003. MTA Budapest. 33-31 (ISBN 963 9483 20 6)
- Csillag J., Lukács A., Bujtás K., Pártay G., 2001. A Cd-, Cr-, Ni-, Pb- és Zn-koncentráció változása a talajoldatban szennyezés és savterhelés hatására, laboratóriumi kísérletben. Agrokémia és Talajtan 50:297-314.
- Erdei L, Mezősi G, Mécs I, Vass I, Föglein F, Bulik L (2005) Phytoremediation as a program for decontamination of heavy-metal polluted environment. Acta Biol Szeged 49(1-2): 75-76.
- Farsang A, Cser V, Barta K, Mezősi G, Erdei L, Bartha B, Fekete I, Pozsonyi E. (2007) Indukált fitoextrakció alkalmazása extrém szennyezett földszerű anyagon. Agrokémia és Talajtan 56: 317-332.
- Farsang A., Cser V., Barta K. (2008): Indukált fitoextrakciós eljárás alkalmazása enyhén szennyezett kotrási iszapban. Esettanulmány a Mártélyi – Holtág kotrási iszapján. IV. Kárpátmedencei Környezettudományi Konferencia, Debrecen, 2008. március 28-29.
- Kádár I., Szabó L. (2002): Nehézfémek es lehetséges hatásaik a környezetre. In:
- Kovács Hajnalka Éva: Komplexképzők hatása Cd^{2+} és Zn^{2+} cink felvételére *Brassica juncea* növényekben (2008)
- Kulinov (1960) Növények táplálkozása és gyökérrendszerük életműködése- E.41. Ratner 1963

- Mezősi G., Farsang A., Cser V., Barta K., Erdei L. (2006): Talaj nehézfém szennyezettségének tisztítása fitoremediációval: esettanulmány. III. Magyar Földrajzi Konferencia, Budapest, 2006. szeptember 6-7.
- Növénytermesztés és környezet (Szerk.: Szabó L.) A SZIE Gyöngyösi Mezőgazdasági Főiskolai Kar kiadványa, Gyöngyös. 388 p.
- Pataki Szilvia (2007): Salix fajok alkalmazása nehézfémek fitoremediációs eltávolítására: terepi és laborkísérletek során. pp. 61.
- Simon L. (1998): Talajszennyeződés, talajtisztítás. Nyiregyháza: GATE Mezőgazdasági Főiskolai Kara, 185 p.

8. Ábrajegyzék

1. ábra Technológia bemutatása
2. ábra A környezetvédelmi határérték és az extrakciók értékei a talajban előforduló nehézfémekre
3. ábra. Mikrobiális fajkombinációk hatása fűz és napraforgó növekedésére és nehézfém-felvételére tenyészedényes kísérletben.
- 4-5. ábra különböző tápfolyadékokban nevelt fűzdugványok szerveinek nedves és szárazanyag adatai g-ban.
6. ábra Iszapkotrás a Mártélyi Tisza holtágon
7. ábra. Vándorrostélyos kazán
8. ábra. Mártélyi Holt- Tisza
9. ábra Iszapkotrás
10. ábra Zagyter
11. ábra Fűzdugványok gyökereztetése növényházban
12. ábra Konténeres fűzdugványok ültetés előtt
13. ábra Fűzdugványok ültetése
- 14 – 15. ábra A kísérleti kazetta építése
16. ábra A kész kazetták és a figyelő kutak
17. ábra Mártélyi átszivárgó víz gyűjtő kutak vízminősége (2007. 06.08.)

- 18 . ábra Talaj előkészítés
- 19 . ábra. Kísérleti parcellák helyszínrajza
- 20. ábra. A Mártélyi tenyészkertben végzett fő kísérleti munkák és időpontjaik.
- 21 . ábra Brassica napus- olajrepce
- 22 . ábra Brassica juncea- Szeraptei mustár
- 23 . ábra A repce parcella KELÁT kezelése Mártélyon
- 24 . ábra A napraforgó parcella KELÁT kezelése Mártélyon
- 25 . ábra Salix alba
- 26 . ábra Napraforgó gyökérzónájának mintavételezése
- 27 . ábra Fűz betakarítás és kötegelés
- 28 . ábra Utóégető berendezés
- 29 . ábra Hőcserélő berendezés
- 30 . ábra Venturi mosó
- 31 . ábra Tálcsás szűrő
- 32 . ábra Pirolizáló berendezés
- 33 . ábra Vándorrostélyos kazán
- 34 . ábra Anyagmérleg
- 35 . ábra Bioszűrő felépítése

- 36 . ábra Fitostabilizációs folyamat
- 37 . ábra Eutrofizálódott körtvélyesi Tisza-holtág
- 38 . ábra A kiszáradt iszap szállítása és elterítése
- 39 . ábra Az elterített és bedolgozott iszapon erdősáv telepítése

