



# **MO**dern mérnöki eszköztár **Kockázat**-alapú **Környezetmenedzsment megAlapozásához**

Nemzeti Kutatási Fejlesztési Programok  
NKFP 3-020-05

*I. Munkaszakasz*

## **Tanulmány**

**BME IV.1a.2.           Remediációs technológiák komplex értékelése: integrált fitoremediáció nehézfémekkel szennyezett talajra**

Gruiz Katalin és Vaszita Emese

2006. szeptember 15

## **A kémiaival kombinált fitostabilizáció komplex értékelése**

A kémiaival kombinált fitostabilizációs technológia leírása, alapjai, a Toka patak völgyébe tervezett technológia a BÁNYAREM című GVOP projektben került kidolgozásra.

A technológia tervezéséhez általában szükséges kockázatalapú megközelítés, a kockázatalapú célérték-képzés és a technológia tervezését megalapozó kísérletek a MOKKA projekt III. 4a. feladatpontján belül lett kidolgozva.

A talaj fémszennyezettségének kockázatcsökkentésére kifejlesztett és javasolt integrált kémiai és fitostabilizációs eljárás értékelése ebben a fejezetben történik az általunk kifejlesztett értékelési módszer segítségével.

Ez az értékelési módszer 4 lépésből áll:

1. Anyagmérleg felvétele
2. Költség-hatékonyság (ha adekvát és van elegendő alapadat, akkor költség-haszon) felmérés
3. Kockázat jellemzése: kétféle kockázattal foglalkozunk:
  - a. A technológia alkalmazása következtében bekövetkező kockázatcsökkenés mértéke, és kockázat végértéke, a maradék kockázat: ezt a jellemzőt hasznok közé sorolva integráltuk a kvalitatív gazdasági értékelésbe.
  - b. A technológia-alkalmazás közbeni kockázat (kibocsátás, toxikus intermedier, talajélet veszélyeztetés, stb.)
4. SWOT analízis: melynek során a technológiát teljességében jellemezzük, de csupán leíró módon, a jellemzés maga nem kvantitatív.
5. Összefoglaló értékelés

### **1. Anyagmérleg felállítása**

Az aktuális anyagmérleget a technológia monitoring során nyert adatok alapján tudjuk felvenni. A monitoring során mérendő paraméterek kiválasztása függ a szennyezőanyag típusától és a szennyezettség illetve a szennyezőanyag által érintett környezeti elemektől.

Toxikus fémekkel szennyezett, nagy területre kiterjedő, diffúz szennyeződés környezeti kockázatának csökkentésére jelentős előnyökkel bír a fitoremediáció, azaz a növényekkel történő kockázatcsökkentés. A fitostabilizációt célszerű kémiai stabilizálással kombinálni, vagyis a növénytakaró kialakítása előtt vagy azzal párhuzamosan a szennyezőanyag mozgékonyágát és biológiai hozzáférhetőségét lecsökkenteni.

Toxikus fémekkel szennyezett területre alkalmazott kémiai stabilizációs technológia anyagmérlegének felállításához szükséges vizsgálati paramétereket egy példán keresztül mutatjuk be.

Gyöngyösorszi toxikus fémekkel szennyezett áradásos területén mezőgazdasági talaj szennyeződött. A remediáció során tehát a talaj érintett. Az állapotfelmérést és a laboratóriumi kísérleteket követően, szabadföldön, kémiaival kombinált fitostabilizációs technológiát tervezzük alkalmazni. A technológia célja a szennyező fém kémiai formáját úgy megváltoztatni, hogy az új forma kevésbé mozgékony, vízben és gyökérsavakban kevésbé oldható, a szilárd fázishoz erősebben kötődő vegyület formájában legyen jelen, mint korábban volt. A technológia fontos része egy olyan kémiai adalékanyag alkalmazása (erőműi pernye), amely a talajban csökkenti a fémek mozgékonyágát, ezáltal csökkenti a fémek biológiai felvehetőségét, gátolja a fémeket toxikus hatásuk kifejtésében, és ezzel elősegíti a növények megtelepedését.

**Vizsgált paraméterek:**

Az anyagmérlegben megadott paraméterek a fitostabilizáció előkészítő kémiai stabilizáció hosszútávú vizsgálatának mikrokozmosz adataiból származnak. A stabilizációs folyamatok vizsgálatánál különböző erősségű savas kivonat fémtartalmának analitikai meghatározásával követjük nyomon a fémek (As, Cd, Cu, Pb és Zn) kivonhatóságának csökkenését. A stabilizálószeres és kontroll talajminták összes fémtartalmát királyvizes feltárás után mérjük. A mozgékonyabb frakciók mennyiségét ennek %-ában is megadhatjuk.

A kémiai stabilizáció anyagmérlegét a kezelt és kezeletlen talajmennyiség, illetve a kezelt talaj mobilis fémtartalmának kezeletlen talajhoz viszonyított változása határozza meg. A kezelt talaj mennyiséghez hozzáadódik a kémiai adalékanyag mennyisége és fémtartalma

*Bemenő paraméterek (Input):*

Kezeletlen talaj + kémiai adalékanyag fémkoncentrációja és fémmennyisége

*Kijövő paraméterek (Output):*

Kezelt talaj fémkoncentrációja, ebből származó fémmennyiség

*Bemenő paraméterek — Kijövő paraméterek = Stabilizált fémmennyiség*

***Bemenő paraméterek (Input):***

Talajfelszín: 500m<sup>2</sup>

Kezeletlen talajmennyiség: 450 kg

Talajban található fémmennyiség kezelés előtt:

Összes fémtartalom királyvizes feltárás után

	Fém koncentráció					Fém mennyiség				
	As mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	As g	Cd g	Cu g	Pb g	Zn g
Kezeletlen talajmennyiség kg	341	7,17	335	1571	1424	153	3,2	150	707	641

Mobilis fémtartalom (vizes kivonat)

	Fém koncentráció					Fém mennyiség				
	As mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	As g	Cd g	Cu g	Pb g	Zn g
Kezeletlen talajmennyiség kg	<kh	1,00	0,66	<kh	171,00	<kh	0,45	0,297	<kh	76,95

Kémiai adalékanyag mennyiség: 22 kg

Kémiai adalékanyagban található fémmennyiség:

Összes fémtartalom királyvizes feltárás után

	Fém koncentráció					Fém mennyiség				
	As mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	As g	Cd g	Cu g	Pb g	Zn g
Kémiai adalékanyag kg	18,8	0,874	25,9	18,3	223	0,414	0,019	0,57	0,403	4,91

Mobilis fémtartalom (vizes kivonat)

	Fém koncentráció					Fém mennyiség				
	As mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	As g	Cd g	Cu g	Pb g	Zn g
Kémiai adalékanyag (kg)	<kh	<kh	<kh	0,09	0,43	<kh	<kh	<kh	0,002	0,009

Keverék korrigált mobilis fémtartalma (vizes kivonat)

	Fém koncentráció					Fém mennyiség				
--	------------------	--	--	--	--	---------------	--	--	--	--

Talaj + kém adalék kg	As mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	As g	Cd g	Cu g	Pb g	Zn g
472	<kh	0,96	0,63	<kh	162,47	<kh	0,453	0,297	<kh	76,68

**Kimenő paraméterek (Output):**

Kezelt talajfelszín: 500 m<sup>2</sup>

Kezelt talajmennyiség: 450 kg

Kémiai adalékanyag mennyiség: 22 kg

Kezelt talajban mért fémmennyiség:

**Összes fémtartalom királyvizes feltárás után**

Kezelt talaj+ adalék kg	Fém koncentráció					Fém mennyiség				
	As mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	As g	Cd g	Cu g	Pb g	Zn g
472 kg	327	7,12	345	1540	1430	154,34	3,36	162,84	726,88	674,96

**Kezelt talaj mobilis fémtartalma (vizes kivonat)**

Kezelt talaj (talaj +adalék) kg	Fém koncentráció					Fém mennyiség				
	As mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	As g	Cd g	Cu g	Pb g	Zn g
472 kg	<kh	0,01	0,41	<kh	0,55	<kh	0,0047	0,193	<kh	0,259

**Stabilizált fémmennyiség**

Kezelt talaj (talaj +adalék) kg	Fém koncentráció					Fém mennyiség				
	As mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	As g	Cd g	Cu g	Pb g	Zn g
472 kg	<kh	0,94	0,22	<kh	161,92	<kh	<b>0,443</b>	<b>0,103</b>	<kh	<b>76,42</b>

**Következtetések**

A kémiai stabilizáció anyagmérlege hosszú távú mikrokozmosz vizsgálatok alapján a Cd, Cu, Zn mennyiségekre vonatkoztatva:

Bemenő Cd – Kimenő Cd = Stabilizált Cd mennyiség

Összesen **0,443 g arzén** stabilizálódott az alkalmazott technológiával

BemenőCu – Kimenő Cu = Stabilizált Cu mennyiség

Összesen **0,103 g réz** stabilizálódott az alkalmazott technológiával

Bemenő Zn – Kimenő Zn = Stabilizált Zn mennyiség

Összesen **76,42 g cink** stabilizálódott az alkalmazott technológiával

Az anyagmérlegből meghatározható a technológia hatékonysága. Az anyagmérleg alapján a technológia kibocsátására és környezeti kockázatára is következtethetünk.

## 2. Gazdasági értékelés

A **költség-haszon felmérés** olyan kvantitatív döntéstámogató rendszer, amely pénzürtékben fejezi ki a döntési változatok költségeit illetve hasznait. A jövőbeni területhasználat és ezzel összefüggésben a célállapot különbözhet az egyes döntési alternatíváknál, lehetővé teszi például a területfejlesztés tervezése során egy nagyobb hasznot hozó jövőbeni területhasználat

választását egy költségesebb kockázatsökkentési megoldás mellé. Mind a hasznokat, mind a költségeket forintosítjuk, így hasonlítjuk össze a két oldalt.

**A költség-hatékonyság felmérést** azonos célértékhez és jövőbeni használathoz tartozó megoldási alternatívák egymáshoz viszonyított értékelésére használják, általában olyankor, ha nincs elég adat a komplett költség-haszon felméréshez. Az összehasonlíthatóságot fajlagos költségek képzésével biztosítják és ugyanahhoz a célértékhez vezető legkisebb költségű alternatívát választják.

**A kockázatsökkentési megoldás kiválasztása** tehát minden esetben megoldási alternatívák technológiai és gazdasági összehasonlítását jelenti.

## **2.2. Költség-haszon illetve költséghatékonyság felmérés**

A költségek és hasznok számítása és az összehasonlító vizsgálat során az alábbi fitoremediációs változatokat vettük figyelembe, illetve értékeltük:

1. A „0” változat: nem remediálunk. Ekkor is szükséges a kontroll és a monitoring, hiszen veszélyes anyagot tartalmazó területről van szó, tehát a teljes szennyezett terület ki kell zárni a használatból. Ehhez kapcsolódó teendők: a terület körbekerítése, monitoringja, a spontán növényzet szükséges kezelése, begyűjtése, égetése, stb.
2. Fitoextrakció I.: az előzetes felmérés alapján számított minimális időigénnyel számolva. Talajcserével, illetve talajelhordással kombinálva: a patakhoz közeli 3 m-es legszennyezettebb sáv eltávolításának figyelembe vételével.
3. Fitoextrakció II.: az előző változathoz képest reálisabb kétszeres időigénnyel számolva (és kapcsolódó talajelhordás, kémiai+fitostabilizáció)
4. Fitoextrakció mobilizáló adalékkal
5. Fitoextrakció adalékkal és növényhasznosítással
6. Fitostabilizáció adalék nélkül
7. Fitostabilizáció adalékkal
8. Fitostabilizáció adalékkal és hasznosítással
9. Fitostabilizáció talajcserével, illetve talajelhordással kombinálva (a patakhoz közeli 3 m-es legszennyezettebb sáv eltávolításának figyelembe vételével)
10. Teljes talajcsere

**A szennyezett terület célértékét** egységesen a háttérérték figyelembevételével a 33/2000-es Kormányrendeletben szereplő szennyezettségi határérték kétszeresében állapítottuk meg.

A célérték értelmezésében is felmerül a korábban már említett probléma, hogy hogyan vegyük figyelembe az immobilis, biológiailag hozzá nem férhető szennyezőanyag hányadot. Kutatási-demonstrációs munkánk során mindvégig a növények számára felvehető fémtartalmat vesszük figyelembe, mely a szabványban is rögzített kivonási módszerrel (Lakane-Erviő) kinyerhető fémmennyiségen alapul.

### **Fitoremediáció költségei**

#### **A kontextus, másokra terhelhető költségek**

A kiskertek fitoremediációjával párhuzamosan folyik a patakmeder és a meddőhányó helyreállítása. A patakmedertől számított 3 méter széles sáv rendkívül szennyezettnek bizonyult, mint láttuk fitoextrakcióval akár 50 évnél hosszabb ideig is eltart. Ezért fitoextrakció esetén

nem remediáljuk, hanem ezt a földmennyiséget ( $6\,000\text{ m}^3 \Rightarrow 9\,600\text{ t}$ ) kitermeljük, és a meddőhányóra szállítjuk, és ott lerakjuk. A meddőhányó izolálásával együtt ez a szennyezett talaj is letakarásra kerül. A föld kitermelésével lehetőség nyílik a patakmeder végleges rendezésére, kiszélesítésére, patakparti turistaösvény kialakítására. Ezekből a költségekből a kitermelés földmunkája és a talaj meddőhányóra történő szállítása merül fel mint költség. Ha nem lenne ez a helyspecifikus lehetőség, akkor a végleges lerakás költségével kellene végezni a számítást, ami ezt a megoldást valószínűleg nem tenné lehetővé, illetve nagyon megnövelné ennek a változatnak a költségét.

### A fitoremediáció költségei

Előkészítő munkák és talajmunkák egységárai:

- |   |               |
|---|---------------|
| • Kutatás, tervezési alapadatok kimérése:         | 7 500 000 Ft  |
| • Hangár építése                                  | 15 000 000 Ft |
| • Szennyezett talaj (felső 30–50 cm) kitermelése: | 1 000 Ft/t    |
| • Talaj meddőhányóra szállítása:                  | 1 000 Ft/t    |
| • Szennyezett talaj szállítása (50–100 km)        | 3 000 Ft/t    |
| • Jó minőségű talaj szállítása                    | 3 000 Ft/t    |
| • Jó minőségű talaj ára                           | 3 000 Ft/t    |
| • Lerakóban történő elhelyezés                    | 30 000 Ft/t   |

A remediációt megelőző években végzett laboratóriumi és szabadföldi előkísérletek költsége **7 500 000 Ft**.

A remediáció elkezdése előtt a hobbitelkekhez közel a mezőgazdasági termények szárításhoz és átmeneti tárolásához felépítünk egy  $200\text{ m}^2$ -es hangárt, amelybe a sóskaival vagy salátáival tervezett fitoextrakció céljára 4 db 21 m hosszú, 1 m széles, 3 m magas, drótháló polcos rendszerrel, más növények feldolgozására ennek megfelelő változatait építjük fel, melynek költségét egységesen **25 000 000 Ft**-ban határoztuk meg.

A fitoremediációt megalapozandó, őszi tarlóhántást és őszi szántást kell végeznünk a területen. Az őszi szántást a vetések előtt, a sóska 4–5 évenkénti újravetése esetén például a 4. és a 8. évben újra el kell végezni.

*A mezőgazdasági tevékenységek egységárai vállalkozóktól kért árajánlat alapján:*

- |                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| • Őszi tarlóhántás:           | 4 500 Ft/ha  |
| • Szántás:                    | 6 300 Ft/ha  |
| • Talajzárás fogas simítóval: | 4 500 Ft/ha  |
| • Magágy előkészítés:         | 4 000 Ft/ha  |
| • Vetés:                      | 4 500 Ft/ha  |
| • Vetőmag (2kg/ha)            | 4 000 Ft/kg, |

Ha a terület fitoremediációját sóskaival végezzük, akkor ideális esetben az első két évben 6,8 hektáron termelünk sóska, a 3-7. évben csak 2,4 hektáron, a 8-13. évben pedig már csak 1,2 hektáron, 2-szeres biztonsági faktorial számolva kétszer ennyi ideig.

Minden évben felmerülő növénytermesztési költségek:

- |                                   |              |
|-----------------------------------|--------------|
| • Tavaszi fejtrágyázás:           | 10 000 Ft/ha |
| • Permetezés, rovarirtás:         | 2 000 Ft/ha  |
| • Öntözés:                        | 50 000 Ft/ha |
| • Kapálás:                        | 4 000 Ft/ha  |
| • Zöld növény betakarítása géppel | 17 Ft/kg     |

- Betakarítása géppel (50t/ha) 850 000 Ft/ha.

**A fitoextrakció költségeinek kiszámításához szükséges fémeltávolítási és növény (sóska) termesztési adatok összefoglalása**

A bemutatott és levezetett számítások alapján készült és a költségbecsléshez összefoglalt kiindulási adatokat az 1. táblázat mutatja. A fitoextrakcióhoz szükséges idő kétféle változatban szerepel, az első (I.) optimális körülmények és maximális intenzitás feltételezésével számított időigény, a II. változat ennek kétszerese, amely ismert okok miatti reális időigényt tükrözi. A maximális időigény ennek többszöröse is lehet. A számítás további pontosítására az előkísérletek után és a szabadföldi technológia során nyert adatok alapján kerülhet sor. A 2. táblázat a remediálandó terület nagyságának és a termelt növényi biomassa mennyiségének évenkénti változását mutatja. A 3. táblázatban összefoglalóan láthatjuk az eltávolítandó fém-mennyiséget, az ehhez szükséges növény mennyiséget és az időszükségletet.

1. táblázat: A szennyezett földterület jellemző adatai

	Sáv hossza (m)	Terület nagysága (ha)	Talaj térfogata (m <sup>3</sup> )	Talaj tömege (t)	Becsült időtartam I. (év)	Becsült időtartam II. (év)
<b>0-3 m</b>	3	1,2	6 000	9 600	>30	>60
<b>3-6 m</b>	3	1,2	6 000	9 600	13	26
<b>6-9 m</b>	3	1,2	6 000	9 600	5	10
<b>9-20 m</b>	11	4,4	22 000	35 200	2	4

2. táblázat: A fitoextrakcióval remediálandó terület nagysága és a termelt növény mennyiség változása az évek során (I. időigény szerint)

Év	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Terület (ha)</b>	6,8	6,8	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
<b>Sóska (t)</b>	340	340	120	120	120	120	120	60	60	60	60	60	60

3. táblázat: A fitoextrakció költségbecsléséhez végzett számítások eredménye:

<b>Eltávolítandó fém (kg)</b>					
	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>
<b>0-2m</b>	2 947,2	13,20	-	8 832	2496
<b>2-3m</b>	649,9	6,355	-	2947,2	916,8
<b>3-6m</b>	116,6	12,14	-	2 227,2	1041,6
<b>6-9m</b>	18,58	5,386	-	285,1	293,76
<b>9-20m</b>	38,18	-	-	-	96,46
<b>Szükséges növény mennyiség (t)</b>					
<b>0-2m</b>	1 307,5	555,8	-	43 294	1 085,2
<b>2-3m</b>	617,3	273,5	-	20 639	468,9
<b>3-6m</b>	721,3	658,8	-	43 728	764,9
<b>6-9m</b>	162,9	392,0	-	11 900	266,6
<b>9-20m</b>	346,9	-	-	-	95,59
<b>Eltávolítás idő I. (év)</b>					
<b>0-2m</b>	33	14	-	1 083	27
<b>2-3m</b>	31	14	-	1 032	24
<b>3-6m</b>	12	11	-	729	13

<b>6-9m</b>	3	7	-	199	5
<b>9-20m</b>	2	-	-	-	1
<b>Eltávolítás idő II. (év)</b>					
<b>0-2m</b>	66	28	-	2 166	64
<b>2-3m</b>	62	28	-	2 064	58
<b>3-6m</b>	24	22	-	1 458	26
<b>6-9m</b>	6	14	-	398	10
<b>9-20m</b>	4	-	-	-	2

### A fitoextrakció befejezésekor felmerülő költségek

A pataktól 9-20 m távolságban lévő 4,4 hektáros földszávet, miután 2 (4) éves fitoremediáció során megszabadítottuk a mobilis toxikus nehézfémektől, a 2. (4.) évben felszántjuk, hogy a sóskát a talajból kiforgassuk. Ezután stabilizáljuk a maradék szennyezőanyagot a talajban erőművi hamu alkalmazásával vagy mészkőpor adagolásával, hogy a pH növelésével és a kevésbé mozgékony fémformák kialakításával megteremtjük a végső, biztonságos állapotot.

Ugyanígy járunk el 7. (14.) évben a pataktól 6-9 m távolságban lévő 1,2 hektárnyi területen is; majd a maradék 1,2 hektáros területen a 13. (26.) évben.

### A talaj meszezése

Irodalmi adatok alapján 1 hektárra mintegy 10 t mészkőport kell kiszórni. 1 t mészkőpor ÁFA-val 2 000 Ft (Egri Mészkőfeldolgozó és Értékesítő Kft.). Szállítása: 3 500 Ft/t. A géppel történő kiszórás 3000 Ft/ha, tehát a meszezés teljes költsége: 3 000 Ft/ha + 5 500 Ft/t\*10 t/ha = 58 000 Ft/ha. A meszezést egy-egy részterület befejezése után és az egész remediáció lezárásakor meg kell ismételni, majd a talaj savanyodásától függő mértékben időnként ismételni kell.

### A talaj stabilizálása erőművi pernyével

Az erőművi pernyéből előkísérleteink alapján 3 %-ot alkalmazunk a talajhoz viszonyítva. Ez hektáronként 150 t pernyét jelent (a 30 cm-es felső réteggel számolva). A pernye ára 20 Ft/t, kitermelése 980 Ft/t, szállítása 3 000 Ft/t, gépi kiszórás 15 000 Ft/ha, tehát a pernye teljes költsége: 15 000 Ft/ha + (20 + 980 + 3 000 Ft/t)\*150 t/ha = 615 000 Ft/ha. 5 % alkalmazása esetén: 1 025 000 Ft/ha. A pernyével való stabilizálás átlagos szennyezettségű talajnál egyszeri alkalommal végezve is megfelelő eredményt biztosít. Az extrán szennyezett parti sáv esetében 5 %-nyi pernyével és kétszeri alkalmazással kalkulálunk.

### A szennyezett biomassza szárítása

A learatott sóska (saláta) levelet begyűjtjük majd természetes úton szárítjuk, így tömege legalább 90 %-kal csökken (93 %-a víz). A sóskalevelet a felépített szárító hangárban, dróthálós polcokon, 10 cm vastagon kiterítve, naponta végzett kézi átforgatással, két hetes tartózkodási idő alatt szárítjuk ki. Áprilistól szeptemberig terjedően működik a szárító.

Első 2 (4) évben 6,8 hektáron, 50 t/ha termésátlagot véve alapul, 340 t/év sóskalevél terem átlagosan, tehát 34 t/év szárított sóska levél keletkezik. A következő 5 (10) évben 2,4 hektáron termelt 120t/év-ből 12 t/év száraz levelet kapunk. Az utolsó 6 (12) éves szakaszban pedig 1,2 hektáron 60 t/év nedves sóska, és ebből 6 t/év száraz sóskalevél keletkezik.

A szárítás időarányos költségei:

- A szárítóhangár rezszi költsége: 400 000 Ft/év ÁFA-val (világítás)



- A sóska forgatása, és a szárítóhangár üzemeltetése: 3 000 000 Ft/év ÁFÁ-val (5 db időnyomkás) az első 2 (4) évben. A következő 5 (10) évben 1 500 000 Ft/év, ugyanis kevesebb munkát igényel a kisebb levélmennyiség megforgatása. Az utolsó 6 (12) évben már csak 1 000 000 Ft/év költséggel számolunk.

A szárított sóska (saláta) nagy toxikus fém tartalma miatt veszélyes hulladéknak minősül, tehát a kockázat csökkentés érdekében kezelése megoldandó.

### **A fémtartalmú növényi anyag kezelésének lehetséges megoldásai és költségei**

- hulladéklerakás rendezett veszélyes hulladéklerakóban
- hulladék elégetése már létező veszélyes hulladékot fogadó hulladékégetőben
- hulladék elégetése vagy a helyszínen felépített, és engedélyezett hulladékégetőben.

A fenti lehetőségek közül egy összehasonlító költségbecslés alapján végül az égetést választottuk, azt is már működő égetőben. A veszélyes hulladéklerakóban történő elhelyezés árban megegyezik az égetéssel, de még annyira sem tekinthető „végleges” megoldásnak, mint az égetés (a hamu elhelyezése miatt ez sem marad következmények nélkül). A döntést az is befolyásolta, hogy a veszélyes hulladéklerakók nem vállalják biológiai anyagok kezelés nélküli lerakását. A helyszínen felépítendő hulladékégető kemence ötletét, a különböző cégektől kapott árajánlatok, a magas üzemeltetési, és amortizációs költségek miatt elvetettük, ugyanis:

- A szükséges 100 kg/nap kapacitású égetőkemence (szükséges utánégetővel) kb.25-30 millió Ft-ba kerül
- Ezen kívül szükség van, a füstgázban előforduló illékony toxikus fémek kiszűrésére alkalmas félszáraz füstgáztisztítóra, ami 20-25 millió Ft.
- Ahhoz, hogy működési engedélyt kapjon a kemence, megfelelő füstgáz monitoring rendszer kiépítése szükséges ami további 10-15 millió Ft.
- Évi 25%-os amortizációs költséggel kell számolnunk.
- 30-40 m<sup>3</sup>/h földgáz igénye van az utóégetőnek (30 Ft /m<sup>3</sup> a földgáz ára átlagosan)
- Ezenkívül egy nagyteljesítményű ventilátor állandó üzemeltetésére lenne szükség a fúvatáshoz.
- A munkaerőt legalább egy főállású alkalmazott.

Tehát kb. 100 milliós beruházás lenne, melyet nem tudnánk gazdaságosan üzemeltetni és egész évben hasznosítani. Igaz, hogy hőt termelhetnénk, amit felhasználhatnánk egy nagyobb ház fűtésére, de az így keletkezett haszon elenyésző a költségekhez mérten.

### **A szennyezett biomassza veszélyes hulladékként történő elégetése**

Több kisebb-nagyobb cégnél érdeklődtünk, az áraik körülbelül azonosak a feladatban adott hulladékfajta elégetésére. Végül a szállítási költségek döntöttek, így a legkedvezőbb a Dorogi Hulladékégető Kft. árajánlata lett.

- Égetés egységára: 110 Ft/kg, azaz 110 000 Ft/tonna.
- Szállítás: 5m<sup>3</sup>-es préskonténerekben (260 Ft + ÁFA)\*km. A távolság Dorog és Gyöngyösorosi között 110 km. A préskonténerekben az összepréselés után számolhatunk a sóska 400 kg/m<sup>3</sup>-es sűrűségével. Így az első 2 (4) évben: 34 t /év száraz sóska /0,4 t/m<sup>3</sup>= 85 m<sup>3</sup>/év a szállítandó anyag, a következő 5 (10) évben 12 t /év száraz sóska/0,4 t/m<sup>3</sup>= 30 m<sup>3</sup>/év. Az utolsó 6 (12) évben pedig 6t /év száraz sóska/0,4 t/m<sup>3</sup>= 15 m<sup>3</sup>/év. Tehát:

Szennyezett biomassza szállítás költsége:

Első 2 (4) évben:  $260 \text{ Ft/km} * 1,12 * 110 \text{ km} * 17 \text{ db konténer} = 544\,544 \text{ Ft/év}$

A következő 5 (10) évben:  $260 \text{ Ft/km} * 1,12 * 110 \text{ km} * 6 \text{ db konténer} = 192\,192 \text{ Ft/év}$

Az utolsó 6(12) évben:  $260 \text{ Ft/km} * 1,12 * 110 \text{ km} * 3 \text{ db konténer} = 96\,096 \text{ Ft/év}$

**Szennyezett biomassza égetés költsége:**

Első 2 (4) év:  $110 \text{ Ft/kg} * 1,12 * 34 \text{ t} * 1000 = 4\,188\,800 \text{ Ft/év}$

Azt követő 5 (10) évben:  $110 \text{ Ft/kg} * 1,12 * 12 \text{ t} * 1000 = 1\,478\,400 \text{ Ft/év}$

Utolsó 6 (12) év:  $110 \text{ Ft/kg} * 1,12 * 6 \text{ t} * 1000 = 739\,200 \text{ Ft/év}$

### **Kockázatkommunikáció költsége**

A kockázatkommunikáció megvalósításához, két részfoglalkozású szakembert, egy környezetmérnököt, és egy agrármérnököt alkalmazunk, akik megfelelő módon követik, publikálják és hetente egyszer fogadják az érdeklődőket az önkormányzat által biztosított helyiségben.

Havi fizetésük bruttó 50 000 Ft/ fő, járulékok:

29% TB járulék

3% munkaadói járulék

3 500 Ft/fő Egészségügyi Hozzájárulás

Mindezt összevetve: havi: 135 500 Ft, azaz 1 626 000 Ft/év

### **Monitoring költsége**

A terület remediációját követő monitoring költsége évenként változó, a számítás alapját képező monitoring terv elkészült. A terv alapján készült költségeket a 5.táblázatban találjuk meg.

5 táblázat: A monitoringra költendő összeg

Ezer HUF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Technológia-monitoring	600	600	300	300	300	300	300	150	150	150	150	150	150			
Minőségellenőrző monitoring		1800					900						450			
Utómonitoring			170	170	170			85	85	85				85	85	85
Összesen/év	600	2 400	470	470	470	300	1 200	235	235	235	150	150	600	85	85	85
Mindösszesen	<b>7 770</b>															

A 5. táblázat a minimális időigénnyel kalkulált változat részletes költségbecslését tartalmazza, évekre lebontva. A többi változat költségét ennek alapján, illetve ehhez viszonyítva adjuk meg a 6. táblázatban.

5. táblázat: Fitoextrakciós technológia költségei 16 évre

<b>Költség</b>	<b>Ft/ha</b>	<b>0 év</b>	<b>1 év</b>	<b>2 év</b>	<b>3 év</b>	<b>4 év</b>	<b>5 év</b>	<b>6 év</b>	<b>7 év</b>
Szennyezett talaj kitermelése (Ft)		9 600 000*							
Talaj meddőhányóra szállítása		9 600 000*							
Talaj hulladéklerakóba szállítása*		28 800 000							
Kitermelt talaj végleges lerakása*		288 000 000							
Előkísérletek (Ft)		7 500 000							
Komplett szárító építése (Ft)		25 000 000							
Szárítás (munkabér)			3 000 000	3 000 000	1 500 000	1 500 000	1 500 000	1 500 000	1 500 000
Szárító rezszi			400 000	400 000	400 000	400 000	400 000	400 000	400 000
Őszi tarlóhántás	4 500	30 600							
Őszi szántás	6 300	42 840				15 120			
Talajzárás	4 500		30 600				10 800		
Tavaszi fejtrágyázás	10 000		68 000	68 000	24 000	24 000	24 000	24 000	24 000
Magágy előkészítés	4 000		27 200				9 600		
Vetés	4 500		30 600				10 800		
Permetezés, rovarirtás	2 000		13 600	13 600	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800
Öntözés			340 000	340 000	120 000	120 000	120 000	120 000	120 000
Vetőmag 2 kg/ha	8 000		54 400				19200		
Kapálás	4 000		27 200	27 200	9 600	9 600	9 600	9 600	9 600
Betakarítás géppel 17 Ft/kg	850 000		5 780 000	5 780 000	2 040 000	2 040 000	2 040 000	2 040 000	2 040 000
Utószántás	6 300			27 720					7 560
Meszezés**	58 000			255 200					69 600
Pernyével kezelés**	615 000			2 706 000					738 000
Növényi anyag szállítása konténerben	80 080		544 544	544 544	192 192	192 192	192 192	192 192	192 192
Égetés Dorogon	616 000		4 188 800	4 188 800	1 478 400	1 478 400	1 478 400	1 478 400	1 478 400
Menezsment, szervezés, őrzés		4 878 000	4 878 000	4 878 000	4 878 000	4 878 000	4 878 000	4 878 000	4 878 000
Monitoring			600 000	2 400 000	470 000	470 000	470 000	300 000	1 200 000
Kockázat kommunikáció		1 626 000	1 626 000	1 626 000			1 626 000		
<b>Összeg (Ft/év)</b>		<b>39 077 440</b>	<b>21 608 944</b>	<b>23 549 064</b>	<b>11 116 992</b>	<b>11 132 112</b>	<b>12 793 392</b>	<b>10 946 992</b>	<b>11 924 152</b>
<b>Összeg* (Ft/év)</b>		<b>355 877 440</b>							
<b>Összeg ** (Ft/év)</b>				<b>25 999 864</b>					<b>12 592 552</b>

\*ha a meddőhányó nem működik, mint befogadó, akkor a talaj elszállítása: 4 000 Ft/t, végleges lerakása: 30 000 Ft/t \*\*meszezés, vagy pernyével kezelés

25. táblázat folytatatása	8 év	9 év	10 év	11 év	12 év	13 év	14-16. év	Utómunka	Összeg (Ft)
<b>Szennyezett talaj kitermelése (Ft)</b>									<b>9 600 000*</b>
<b>Talaj meddőhányóra szállítása (Ft)</b>									<b>9 600 000*</b>
<b>Talaj hulladéklerakóba szállítása*</b>									<b>28 800 000</b>
<b>Kitermelt talaj végleges lerakása*</b>									<b>288 000 000</b>
<b>Előkísérletek</b>									<b>7 500 000</b>
<b>Komplett szárító építése</b>									<b>25 000 000</b>
<b>Szárítás (munkabér)</b>	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000			<b>19 500 000</b>
<b>Szárító rezsi</b>	400 000	400 000	400 000	400 000	400 000	400 000			<b>5 200 000</b>
<b>Őszi tarlóhántás</b>									<b>30 600</b>
<b>Őszi szántás</b>	7 560								<b>65 520</b>
<b>Talajzárás</b>		5 400							<b>46 800</b>
<b>Tavaszi fejtrágyázás</b>	12 000	12 000	12 000	1 2000	12 000	12 000			<b>328 000</b>
<b>Magágy előkészítés</b>		4 800							<b>41 600</b>
<b>Vetés</b>		5 400							<b>46 800</b>
<b>Permetezés, rovarirtás</b>	2 400	2 400	2 400	2 400	2 400	2 400			<b>65 600</b>
<b>Öntözés</b>	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000			<b>1 640 000</b>
<b>Vetőmag 2 kg/ha</b>		9600							<b>83 200</b>
<b>Kapálás</b>	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800			<b>131 200</b>
<b>Betakarítás géppel 17 Ft/kg</b>	1 020 000	1 020 000	1 020 000	1 020 000	1 020 000	1 020 000			<b>27 880 000</b>
<b>Utószántás</b>						7 560			<b>42 840</b>
<b>Meszezés**</b>						69 600	394 400	394 400	<b>1 183 200</b>
<b>Pernye alkalmazása**</b>						738 000			<b>4 182 000</b>
<b>Növényi anyag szállítása konténerben</b>	96 096	96 096	96 096	96 096	96 096	96 096			<b>2 626 624</b>
<b>Égetés Dorogon</b>	739 200	739 200	739 200	739 200	739 200	739 200			<b>20 204 800</b>
<b>Menedzsment, szervezés, őrzés</b>	4 878 000	4 878 000	4 878 000	4 878 000	4 878 000	4 878 000	1 626 000	1 626 000	<b>71 544 000</b>
<b>Monitoring</b>	235 000	235 000	235 000	150 000	150 000	600 000	255 000	255 000	<b>8 025 000</b>
<b>Kockázatkommunikáció</b>	1 626 000					1 626 000	1 626 000	1 626 000	<b>13 008 000</b>
<b>Összeg (Ft/év)</b>	<b>10 081 056</b>	<b>8 472 696</b>	<b>8 447 496</b>	<b>8 362 496</b>	<b>8 362 496</b>	<b>10 515 656</b>	<b>3 901 400</b>	<b>3 901 400</b>	<b>204 193 784</b>
<b>Összeg (hulladéklerakóval)*</b>									520 993 784
<b>Összeg (pernyével)**</b>						<b>11 184 056</b>			<b>207 192 584</b>

\*ha a meddőhányó nem működik, mint befogadó hulladéklerakó, akkor a talaj elszállítása 4 000 Ft/t, végleges lerakása pedig 30 000 Ft/t

\*\* vagy meszezés, vagy pernyével kezelés

A 6. táblázatban szereplő fitoextrakciós kockázatcsökkentési alternatívák költségei igen nagy különbségeket mutatnak. Az egyik legnagyobb befolyásoló tétel a Toka-patak legszennyezettebb parti sávjának eltávolítása. Amennyiben mód van ennek a legszennyezettebb talajhányadnak az amúgy is rekultiválandó meddőhányóra hordására, akkor viszonylag kis költséggel megszabadulhatunk a legkockázatosabb talajoktól. A másik súlyos tétel a biokoncentráció, esetleg hiperakkumuláló növények veszélyes hulladékként történő kezelése, égetése és hamujának lerakása. A költségek főként akkor rúgnak magasra, ha a minimális időigény nem elegendő a fitoextrakció lezajlására. A kétszeres idővel végzett kalkuláció jól mutatja, hogy a költségek gyakorlatilag megduplázódnak, emiatt irreális lesz a költségigény.

A fitoextrakcióhoz képest lényegesen kisebb költséggel oldható meg a fitostabilizáció, illetve a kémiai stabilizációval kombinált fitoremediáció, hiszen itt nem keletkezik veszélyes hulladék, viszont a fémek gyakorlatilag a területen maradnak, ha nem is hozzáférhető formában.

### **A kémiaival kombinált fitostabilizáció költségei**

A fitostabilizáció esetében ugyanazokkal az egységárakkal számolunk, mint fitoextrakciónál. A fitoextrakcióhoz képest a különbségek az alábbiakból adódnak:

- A pernyés stabilizálást alkalmazzuk.
- Nem számolunk a szennyezett talajhányad veszélyes hulladéklerakóba szállításával, mert ha nem áll rendelkezésre a meddőhányón való lerakás olcsóbb megoldása, akkor azt a talajhányadot is stabilizáljuk. A legszennyezettebb talajhányadra 5 % pernyét kalkulálunk és kétszeri kezelést.
- Még nem döntöttük el, hogy milyen növényt termelünk, így a növénytermelés költségeit azonosnak vesszük a fitoextrakciónál alkalmazottéval. Ennek pontosítására a kísérletek befejeztével kerülhet sor.
- A megtermelt növényzetet nem kell veszélyes hulladékégetőbe szállítani (hasznosítható: ez a hasznoknál jelentkezik).
- Nincs szükség a szárítóhangárra.

A fitostabilizációs eljárás költségeit a 26. táblázatban foglaltuk össze.

A költségbecslés pontosítására mind a fitoextrakciós, mind a fitostabilizációs technológiák esetében az előkísérletek befejezése és a növények kiválasztása után kerül sor. Természetesen a számítás elve és menete nem fog változni, legfeljebb az árak. Az árváltozások egy része az összes változatot többé-kevésbe egyformán befolyásolja, ezek az egymáshoz viszonyított relatív eredményt nem fogják lényegesen módosítani.

Lényeges módosulást okozhat viszont a hasznosításból származó bevétel. A hasznosításnál megkülönböztetjük a remediáció során termelt növény hasznosításából eredő hasznot és a remediáció befejeztével jelentkező, a területek értéknövekedéséből, a jövőbeni területhasználatokból adódó hasznokat. A remediáció során termelt növények hasznát az eddigi kísérleti eredményekből mennyiségileg még nem lehet megbecsülni. A terület értéknövekedéséből adódó hasznok mennyiségi becslése sem értékelhető, amíg nem ismerjük az elért célértéket és a területrendezés utáni használatokat. A hasznokra vonatkozó kvantitatív számítást ezért a kísérletek befejezése után fogjuk véglegesíteni, ebben a stádiumban a számítási metodikára és a költséghatékonyságra helyezük a fő hangsúlyt. Hogy a hasznok is figyelembe legyenek véve, kidolgoztunk egy relatív értékelési rendszert, melyben súlyozott pontszámokkal jellemezzük a költségeket, a maradék kockázatot, és a hasznokat (növénytermesztés + terület értéke).

7. táblázat: Kémiai stabilizációval kombinált fitostabilizáció költsége 16 évre

<b>Költség</b>	<b>Ft/ha</b>	<b>0 év</b>	<b>1 év</b>	<b>2 év</b>	<b>3 év</b>	<b>4 év</b>	<b>5 év</b>	<b>6 év</b>	<b>7 év</b>
Szennyezett talaj kitermelése (Ft)		9 600 000*							
Talaj meddőhányóra szállítása (Ft)		9 600 000*							
Patakmenti sáv stabilizálása pernyével	1 025 000	1 230 000					1 230 000		
Előkísérletek (Ft)		7 500 000							
Pernyével kezelés	615 000	4 182 000							
Őszi tarlóhántás	4 500	30 600							
Őszi szántás	6 300	42 840				15 120			
Talajzárás	4 500		30 600				10 800		
Tavaszi fejtrágyázás	10 000		68 000	68 000	24 000	24 000	24 000	24 000	24 000
Magágy előkészítés	4 000		27 200				9 600		
Vetés	4 500		30 600				10 800		
Permetezés, rovarirtás	2 000		13 600	13 600	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800
Öntözés			340 000	340 000	120 000	120 000	120 000	120 000	120 000
Vetőmag 2 kg/ha	8 000		54 400				19 200		
Kapálás	4 000		27 200	27 200	9 600	9 600	9 600	9 600	9 600
Betakarítás géppel 17Ft/kg	850 000		5 780 000	5 780 000	2 040 000	2 040 000	2 040 000	2 040 000	2 040 000
Utószántás	6 300			27 720					7 560
Menedzsmenet, szervezés, őrzés		2 439 000	2 439 000	2 439 000	2 439 000	2 439 000	2 439 000	2 439 000	2 439 000
Monitoring			600 000	2 400 000	470 000	470 000	470 000	300 000	1 200 000
Kockázat kommunikáció		1 626 000	1 626 000	1 626 000			1 626 000		
<b>Összeg (Ft/év)</b>		<b>35 020 440</b>	<b>11 036 600</b>	<b>12 721 520</b>	<b>5 107 400</b>	<b>5 122 520</b>	<b>6 783 800</b>	<b>4 937 400</b>	<b>5 844 960</b>
<b>Összeg* (Ft/év)</b>		<b>15 820 440</b>					<b>8 013 800</b>		

\*ha a meddőhányó nem működik, mint befogadó hulladéklerakó, akkor a legszennyezettebb sávot is kémiai stabilizációval kezeljük

7. táblázat folytatása

	8 év	9 év	10 év	11 év	12 év	13 év	14-16. év	Utómunkák	Összeg (Ft)
Szennyezett talaj kitermelése (Ft)									9 600 000*
Talaj meddőhányóra szállítása (Ft)									9 600 000*
Patakmenti sáv stabilizálása pernyével 2x									4 920 000
Előkísérletek									7 500 000
Stabilizálás pernyével									4 182 000
Őszi tarlóhántás									30 600
Őszi szántás	7 560								65 520
Talajzárás		5 400							46 800
Tavaszi fejtrágyázás	12 000	12 000	12 000	1 2000	12 000	12 000			328 000
Magágy előkészítés		4 800							41 600
Vetés		5 400							46 800
Permetezés, rovarirtás	2 400	2 400	2 400	2 400	2 400	2 400			65 600
Öntözés	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000	60 000			1 640 000
Vetőmag 2 kg/ha		9 600							83 200
Kapálás	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800	4 800			131 200
Betakarítás géppel 17 Ft/kg	1 020 000	1 020 000	1 020 000	1 020 000	1 020 000	1 020 000			27 880 000
Utószántás									35 280
Menedzsment, szervezés, őrzés	2 439 000	2 439 000	2 439 000	2 439 000	2 439 000	2 439 000	2 439 000	2 439 000	39 024 000
Monitoring	235 000	235 000	235 000	150 000	150 000	600 000	255 000	255 000	8 025 000
Monitoring a parti sáv stabilizálásakor	235 000	235 000	235 000	150 000	150 000	600 000	255 000	255 000	8 025 000
Kockázatkommunikáció	1 626 000							1 626 000	9 756 000
<b>Összeg (Ft/év)</b>	<b>5 406 760</b>	<b>3 798 400</b>	<b>3 773 200</b>	<b>3 688 200</b>	<b>3 688 200</b>	<b>4 138 200</b>	<b>2 694 000</b>	<b>4 320 000</b>	<b>118 081 600</b>
<b>Összeg *</b>									<b>111 826 600</b>

\*ha a meddőhányó nem működik, mint befogadó hulladéklerakó, akkor a legszennyezettebb sávot is stabilizációval kezeljük. Ekkor a monitoringban jelentkezik többletköltség.

## Az egyes technológiaváltozatok költségeinek becslése

A felsorolt technológiaváltozatok a következők voltak:

1. A „0” változat: nem remediálunk, de monitoring és kontroll szükséges. Ennek a változatnak a költsége a fitoextrakciós eljáráséhoz hasonló, de nem merül fel a talaj elszállítása, stabilizálószer alkalmazása és természetesen nem lesz hasznosítható a termék.
2. Fitoextrakció I.: 16 éves fitoextrakció utáni kémiai stabilizálás (talajcserével, illetve talajelhordással kombinálva: a patakhoz közeli 3 m-es legszennyezettebb sáv eltávolításának figyelembe vételével:
  - 2a. Gyorsított meddőhányóra hordással, meszes utósztabilizálással,
  - 2b. Gyorsított meddőhányóra hordva, pernyés utósztabilizálással,
  - 2c. Veszélyes hulladéklerakóba szállítva, meszes utósztabilizálással.
3. Fitoextrakció II. a minimális időigény reálisabb kétszeresével kalkulálva.
4. Fitoextrakció mobilizáló adalékkal (EDTA, citromsav: irreálisan magas ár).
5. Fitoextrakció adalékkal és növényhasznosítással (ez a költségekben nem jelent különbséget, csak a haszonban fog jelentkezni).
6. Fitostabilizáció (kémiai stabilizáló adalék nélkül a növény felveheti a toxikus fémeket, így a termék felhasználhatósága korlátozott).
7. Fitostabilizáció talajcserével, illetve talajelhordással kombinálva (a patakhoz közeli 3 m-es legszennyezettebb sáv eltávolításának figyelembe vételével)
8. Fitostabilizáció csak adalékkal
9. Fitostabilizáció adalékkal és hasznosítással
10. Teljes talajcsere: a szennyezett talaj teljes mennyiségének kitermelésével és elszállításával (28 800\*8,0ha:1,2 ha) valamint jó minőségű talaj helyszínre szállításával kalkuláltunk. Utóbbi ára és a szállítása együttesen a szennyezett talaj elszállításának kétszerese.

A 6. és 7. táblázatban részletezett költség számítások alapján a 8. táblázatban megadjuk fenti kockázatsökkentési alternatívák költségeit. Mivel ugyanarról a területről van szó, hektárban és térfogatban egyaránt a költségek sorrendje és a belőlük képezhető fajlagos költségek sorrendje azonos lesz, tehát a költségek alapján felállítható sorrend egyúttal a költséghatékonyság sorrendje is.

Természetesen a költség-hatékonyság önmagában nem mérvadó, hiszen a célérték, a célkockázat sem azonos az egyes alternatívák esetében, tehát mindenképpen figyelembe kell venni valamiképpen az anyagi és pénzben ki nem fejezhető hasznokat is, mellyel a következő fejezetben foglalkozunk.

A 8. táblázat adatait elemezve, egy sor fontos következtetésre juthatunk.

A „0” alternatíva jár a legkisebb költséggel, de, mivel a probléma semmit nem változik, a kockázat nem csökken, a szennyezettségi állapot nem változik, ennek az összegnek az elköltése teljesen haszontalan, ugyanakkor nem kerülhető meg. A „0” változatot azért sem támogatnám, mert ebből az összegből a legolcsóbb fitostabilizációs módszer költségének 40 %-a kitelik. Ha sikerül a termelt növények hasznosítását megoldani, akkor – optimista előrejelzés szerint – ebből az összegből remediálható a teljes terület.



8. táblázat: Alternatívák költségei

	1 „0”	2a FE I.	2b FE I.	2c FE I.	3a FE II.	3c FE II.	7 FS	8 FS	TCS 10a	TCS 10b
<b>Szennyezett talaj kitermelése (Ft)</b>		<b>9 600 000</b>	<b>9 600 000</b>		<b>9 600 000</b>		<b>9 600 000</b>		<b>64 000 000</b>	
<b>Talaj meddőhányóra szállítása (Ft)</b>		<b>9 600 000</b>	<b>9 600 000</b>		<b>9 600 000</b>		<b>9 600 000</b>		<b>64 000 000</b>	
<b>Talaj hulladéklerakóba szállítása</b>				<b>28 800 000</b>		<b>28 800 000</b>				<b>192 000 000</b>
<b>Kitermelt talaj végleges lerakása</b>				<b>288 000 000</b>		<b>288 000 000</b>				<b>1 920 000 000</b>
<b>Előkísérletek</b>		<b>7 500 000</b>	<b>7 500 000</b>	<b>7 500 000</b>	<b>7 500 000</b>	<b>7 500 000</b>	<b>7 500 000</b>	<b>7 500 000</b>		
<b>Komplett szárító építése</b>		<b>25 000 000</b>	<b>25 000 000</b>	<b>25 000 000</b>	<b>25 000 000</b>	<b>25 000 000</b>				
<b>Szárítás (egyéb kezelés: munkabér)</b>		19 500 000	19 500 000	19 500 000	39 000 000	39 000 000				
<b>Szárító rezsi</b>		5 200 000	5 200 000	5 200 000	10 400 000	10 400 000				
<b>Őszi tarlóhántás</b>		30 600	30 600	30 600	61 200	61 200	30 600	30 600		
<b>Őszi szántás</b>		65 520	65 520	65 520	131 400	131 400	65 520	65 520		
<b>Talajzárás</b>		46 800	46 800	46 800	93 600	93 600	46 800	46 800		
<b>Tavaszi fejtrágyázás</b>		328 000	328 000	328 000	656 000	656 000	328 000	328 000		
<b>Magágy előkészítés</b>		41 600	41 600	41 600	83 200	83 200	41 600	41 600		
<b>Vetés</b>		46 800	46 800	46 800	93 200	93 200	46 800	46 800		
<b>Permetezés, rovarirtás</b>		65 600	65 600	65 600	131 200	131 200	65 600	65 600		
<b>Öntözés</b>		1 640 000	1 640 000	1 640 000	3 280 000	3 280 000	1 640 000	1 640 000		
<b>Vetőmag 2 kg/ha</b>		83 200	83 200	83 200	166 400	166 400	83 200	83 200		
<b>Kapálás</b>		131 200	131 200	131 200	262 400	262 400	131 200	131 200		
<b>Betakarítás géppel (sóska:17 Ft/kg)</b>		27 880 000	27 880 000	27 880 000	55 760 000	55 760 000	27 880 000	27 880 000		
<b>Utószántás</b>		42 840	42 840	42 840	85 680	85 680	35 280	35 280		
<b>Stabilizálás meszezéssel</b>		<b>1 183 200</b>		<b>1 183 200</b>	<b>1 183 200</b>	<b>1 183 200</b>				
<b>Stabilizálás pernyével</b>			<b>4 182 000</b>				<b>4 182 000</b>	<b>9 102 000</b>		
<b>Növényi anyag szállítása konténerben</b>		2 626 624	2 626 624	2 626 624	5 253 000	5 253 000			<b>384 000 000*</b>	<b>384 000 000*</b>
<b>Égetés Dorogon</b>		20 204 800	20 204 800	20 204 800	40 409 600	40 409 600				
<b>Menedzsment, szervezés, őrzés</b>	<b>27 886 000</b>	71 544 000	71 544 000	71 544 000	143 088 000	143 088 000	<b>39 024 000</b>	<b>39 024 000</b>	15 000 000	15 000 000
<b>Monitoring</b>	<b>8 025 000</b>	8 025 000	8 025 000	8 025 000	16 050 000	16 050 000	<b>8 025 000</b>	<b>16 050 000</b>		
<b>Kockázatkommunikáció</b>	<b>6 504 000</b>	13 008 000	13 008 000	13 008 000	26 016 000	26 016 000	<b>9 756 000</b>	<b>9 756 000</b>		
<b>Összeg (eFt/16 év)</b>	<b>42 415</b>	<b>204 194</b>	<b>207 193</b>	<b>520 994</b>	<b>393 904</b>	<b>691 504</b>	<b>118 081</b>	<b>111 826</b>	<b>527 000</b>	<b>2 511 000</b>

\* jó minőségű talaj, szállítással

Az egyes alternatívák költség szerinti sorbaállítását nem automatikusan az abszolút értékek alapján végeztük el, mert a növényhasznosítások miatt csökkenő költséget még nem tudjuk mennyiségileg meghatározni, ezért a növényi anyag hasznosításának költségcsökkentő hatását pontszámokkal vettük figyelembe és ezek szerint a pontszámok szerint rendeztük sorrendbe az egyes megoldásokat, amint ezt a 9. táblázat mutatja.

9. táblázat: A technológiaalternatívák költség szerinti sorrendje

<b>Remediálási alternatíva</b>	<b>K</b>	<b>K</b>
	<b>MFt</b>	<b>pont</b>
9b. FS adalékkal és növényhasznosítással	-	7
9a. FS növényhasznosítással	-	6
1. „0” változat:	42	5
8. FS adalékkal, talajelhordás nélkül	110	5
6. FS talajelhordással (a)	114	5
7. FS adalékkal és talajelhordással (a)	118	5
5b. FE adalékkal és növényhasznosítással	-	4
2a. FE I. Meddőhányóra, meszes utóstab.	204	4
2b. FE I. Meddőhányóra, pernyés utóstab.	207	4
5a. FE növényhasznosítással	-	3,5
4a. FE mobilizáló adalékkal (a,b) (becslés)	250	3,5
3a. FE II. Meddőhányóra, meszes utóstab.	394	1
3b. FE II. Meddőhányóra, pernyés utóstab. stabilizálás	397	1
2c. FE I. Veszélyes hulladéklerakóba, meszezés	521	0
10a. TCS Meddőhányóra	527	0
3c. FE II. Veszélyes hulladéklerakóba, meszezés	692	-1
10b. TCS Veszélyes hulladéklerakóba	2 511	-5

A költség pontszámának (**K**) képzésekor az alábbiak szerint jártunk el:

7 pont	25 millió alatti kiadás (költség–növényhasznosítás)
6 pont	50 millió alatti kiadás (költség–növényhasznosítás)
5 pont	100 millió körüli költség
4 pont	200 millió körüli költség
2–3 pont	300 millió
1 pont	400 millió
0 pont	500 millió
-1 pont	600 millió
-5 pont	2 500 millió

A költségek sorbaállításából jól látszik, hogy a fitostabilizációs módszerek megelőzik a fitoextrakciókat, a teljes talajcsere teljesen irreális, még a részleges talajcsere is elviselhetetlenül nagy költségekkel jár. A „0” alternatíva viszont más, csak a költség oldal figyelembe vételével kimutathatatlan okok miatt kerül elvetésre, hiszen annak alkalmazásával gyakorlatilag nem csökken a terület kockázata. Az is látszik, hogy a természetett növények hasznosítása

javíthat a mérlegen: jól megválasztott növény esetében minimális költségek mellett is megoldható a remediáció.

### **Költség-haszon relatív számítása pontszámok alapján**

Láthatjuk, hogy a költségekből önmagukban, de még a fitoremediációhoz felhasznált növény hasznosításából adódó közvetlen hasznok figyelembevételével sem kapunk reális képet, a költség eredmények magukban nem szolgáltatnak jó minőségű információt a technológiaválasztással kapcsolatos döntésekhez. A megfelelő döntés-előkészítő alpinformáció a kvantitatív költség–haszon felmérés eredménye lenne, de ezt a kutatás-fejlesztés jelen stádiumában még nem lehet jó minőségben véghezvinni.

Áthidalásképpen a döntésben szerepet játszó legfontosabb paramétereket pontszámok formájában fogjuk figyelembe venni.

**K:** mint láttuk a K a költség pontszáma, az előző fejezetben megadott szempontok szerint képezve.

**M:** a maradék környezeti kockázat pontszáma. Kvantitatív kockázatfelmérés esetén a kockázati tényező mérőszámával arányos pontszámokat kreálhatnánk, ráadásul kétféle: a remediáció alattit és utánit. Mivel kvantitatív kockázatfelmérést sem végeztünk a célértékek, és remediáció időigénye ismeretének hiánya miatt, áthidaló megoldásként a pontszámot az alábbi szempontok szerint képezzük:

- 5 pont: teljesen kiextrahált fém vagy eltávolított szennyezett talaj
- 4 pont: részben kiextrahált, részben stabilizált szennyezőanyag
- 4 pont: kémiaiailag irreverzibilisen stabilizált közepes szennyezettség
- 2–3 pont: kémiaiailag stabilizált nagy szennyezettség
- 0 pont: nem stabilizált közepes szennyezettség
- 1 pont: nem stabilizált nagy szennyezettség.

**H:** a haszon pontszáma. Kétféle hasznót különböztetünk meg: H1 és H2.

**H1:** a fitoremediációhoz alkalmazott növény hasznosításából adódó haszon (a fitoremediáció során, illetve mezőgazdasági hasznosítás esetén a fitoremediáció befejeztével is).

- 5 pont: korlátozás nélkül bármilyen növény termelhető, annak minden része használható
- 4 pont: a termelt növény föld feletti részei korlátozás nélkül hasznosíthatóak
- 3 pont: a használt növény egyes részei hasznosíthatóak (pl. olajos magvak)
- 2–3 pont: dísnövények termesztésére alkalmas a terület
- 0 pont: különleges rendszabályok alkalmazása mellett hasznosítható (pl. speciális égetőben, hamu veszélyes hulladékként kezelésével)
- 1 pont: nem hasznosítható, veszélyes hulladék

**H2:** a terület hasznosításából, értéknövekedéséből, jövőbeni használatából adódó haszon, mely a terület értéknövekedését és bármilyen jövőbeni használatot is figyelembe vesz.

- 6 pont: a remediáció befejeztével korlátlanul használható terület
- 5 pont: lakóterületként használható
- 3–4: mezőgazdasági használatra alkalmas
- 2 pont: ipari használatra alkalmas
- 0 pont: használhatatlan terület
- 1 pont: monitorozandó, lezárt terület

A haszon pontszáma az első 16 évre vonatkozik, hosszabb távon vizsgálva, módosulhat a kép. Speciális extrahálóképességű vagy más különleges tulajdonsággal bíró növények alkalmazásakor változhat a hasznosítás képe.

A K (költség), az M (maradék kockázat) és a H1 és H2 (haszon) pontszámok összege alapján sorba állítjuk a vizsgált kockázatsökkentő alternatívákat, hogy közülük a legelőnyösebbeket kiválasszuk, vagy alkalmazásukat tovább kutassuk. A pontszámokat a 29. táblázat, az összpontszám alapján kialakult sorrendet a 30. táblázat mutatja.

10. táblázat: A kiválasztott és értékelt alternatívák **Költség**, **Maradék kockázat** és **Haszon** pontszámai

<b>Remediálási alternatíva</b>	<b>K</b>	<b>K</b>	<b>M</b>	<b>H1+H2</b>	<b>Össz</b>
	<b>MFt</b>	<b>pont</b>	<b>pont</b>	<b>pont</b>	<b>pont</b>
1. „0” változat:	42	6	-1	-1+0	<b>4</b>
2. Fitoextrakció (FE) I.:					
2a. Meddőhányóra, meszes utóstabilizálással	204	4	3,5	0+4	<b>11,5</b>
2b. Meddőhányóra, pernyés utóstabilizálással	207	4	4	0+4	<b>12</b>
2c. Veszélyes hulladéklerakóba, meszezéssel	521	0	4	0+4	<b>8</b>
3. FE II.					
3a. Meddőhányóra, meszes utóstabilizálással	394	1	3,5	0+4	<b>8,5</b>
3b. Meddőhányóra, pernyés utóstabilizálással	397	1	4	0+4	<b>9</b>
3c. Veszélyes hulladéklerakóba, meszezéssel	692	-1	4	0+4	<b>7</b>
4a. FE mobilizáló adalékkal (a,b) (becslés)	250	3,5	4	0+4	<b>11,5</b>
5a. FE növényhasznosítással	-	3,5	4	1+4	<b>12,5</b>
5b. FE adalékkal és növényhasznosítással	-	4	4	1+4	<b>13</b>
6. Fitostabilizáció (FS) talajelhordással (a)	114	5	4	1+3	<b>13</b>
7. FS adalékkal és talajelhordással (a)	118	5	4	5+4	<b>18</b>
8. FS adalékkal, talajelhordás nélkül	110	5	3	4+4	<b>16</b>
9a. FS növényhasznosítással	-	6	3	4+4	<b>17</b>
9b. FS adalékkal és növényhasznosítással	-	7	4	5+4	<b>20</b>
10. Teljes talajcsere					
10a. Meddőhányóra	527	0	5	5+6	<b>16</b>
10b. Veszélyes hulladéklerakóba	2 511	-5	5	5+6	<b>11</b>

**K:** költség, **M:** maradék kockázat **H:** haszon

A négy pontszám már jobb differenciálást tesz lehetővé. A pontszámok 4 és 20 között változnak és egyértelmű sorrend állítható fel. A „0” alternatíva az utolsó helyre szorult, a fitostabilizáció és a fitostabilizációhoz felhasznált növények hasznosítása egyértelmű pontszámnövelő jellemzők. A fitoextrakció átlagos esetben lemarad a fitostabilizáció mögött, természetesen ez nem jelenti azt, hogy speciális képességű növények, pl. szerves anyagokat bontó, vagy fémeket szelektíven akkumuláló növények nem kerülhetnek előnyösebb pozícióba a rangsorban.

Az itt kidolgozott kvalitatív (relatív) értékelés elvei kvantitatív értékelés alapjául is szolgálhatnak, a különbség mindössze annyi lesz, hogy a mostani pontszámok helyett valódi számértékek (lehetőleg forintban) kerülnek a táblázatokba. A költség esetében már most is van szám szerű értékünk, a hasznok esetében ezek még nincsenek meg, de információk, adatok és mérési eredmények birtokában ezek a projekt végére kiszámíthatóak lesznek. A kockázatot kocká-

zati tényezővel jellemezhetjük, ami egy abszolút mérőszám, de költségként nehezen fejezhető ki, a hasznok egyértelműen forintosíthatóak.

A 11. táblázat az összpontszám alapján kapott rangsort mutatja.

11. táblázat: A kockázatcsökkentő alternatívák rangsora a relatív költség–haszon értékelés alapján

<b>Remediálási alternatíva</b>	<b>K</b>	<b>K</b>	<b>M</b>	<b>H1+H2</b>	<b>Össz</b>
	<b>MFt</b>	<b>pont</b>	<b>pont</b>	<b>pont</b>	<b>pont</b>
9b. FS adalékkal és növényhasznosítással	-	7	4	5+4	<b>20</b>
7. FS adalékkal és talajelhordással (a)	118	5	4	5+4	<b>18</b>
9a. FS növényhasznosítással	-	6	3	4+4	<b>17</b>
8. FS adalékkal, talajelhordás nélkül	110	5	3	4+4	<b>16</b>
10a. TCS Meddőhányóra	527	0	5	5+6	<b>16</b>
5b. FE adalékkal és növényhasznosítással	-	4	4	1+4	<b>13</b>
6. FS talajelhordással (a)	114	5	4	1+3	<b>13</b>
5a. FE növényhasznosítással	-	3,5	4	1+4	<b>12,5</b>
2b. FE I. Meddőhányóra, pernyés utóstab.	207	4	4	0+4	<b>12</b>
2a. FE I. Meddőhányóra, meszes utóstab.	204	4	3,5	0+4	<b>11,5</b>
4a. FE mobilizáló adalékkal (a,b) (becslés)	250	3,5	4	0+4	<b>11,5</b>
10b. TCS Veszélyes hulladéklerakóba	2 511	-5	5	5+6	<b>11</b>
3b. FE II. Meddőhányóra, pernyés utóstabilizálás	397	1	4	0+4	<b>9</b>
3a. FE II. Meddőhányóra, meszes utóstab.	394	1	3,5	0+4	<b>8,5</b>
2c. FE I. Veszélyes hulladéklerakóba, meszezés	521	0	4	0+4	<b>8</b>
3c. FE II. Veszélyes hulladéklerakóba, meszezés	692	-1	4	0+4	<b>7</b>
1. „0” változat:	42	6	0	0+0	<b>6</b>

**K:** költség, **M:** maradék kockázat **H:** haszon

Gyöngyösorosziban 2003-ban megindult a bányabezárás és a terület teljes körű remediációjának tervezése, mert a kormány a terület remediálása mellett döntött. Ilyen kontextusban igen fontos a legmegfelelőbb megoldások megtalálása, hiszen milliárdokat és a lakosság életminőségét, a község és a régió jövőbeni fejlődését meghatározó döntések alapját fogja képezni. A sorrend alapján a fitostabilizációs módszereket az a talajcserével járó megoldás követi, melynek lényeg, hogy minden szennyezett talajt felhordunk a flotációs meddőhányóra és azzal együtt kapszuláljuk. Ezt az alternatívát egyedül a költségessége nem engedi prioritáshoz jutni, ha a költséget le lehetne szorítani, az egyik esélyes alternatívává léphetne elő.

A költségbecslés pontosításának feltétele, hogy ismerjük meg a területen tervezett és kivitelezésre kerülő technológiákat és műveleteket és azok tervezett költségét is, mert a kettőt csak együtt érdemes tárgyalni. Nagyon valószínű, hogy a helyszínen folyó hatalmas földmunkákkal párhuzamosan lényegesen kisebb költséggel lehet a tervben szereplő feladatokat elvégezteni. Továbbmegyek és felteszem, hogy a kiskertekből eltávolított talaj még hasznosítható is lenne a meddőhányó újraformálásakor, vagy többretegű letakarásakor. Elképzelhető, hogy olcsó vagy ingyen talajhoz is lehetne jutni és ezzel a kitermelt szennyezett talajt pótolni a kiskertekben. A patakmeder remediálása, esetleges új meder kiképzése is előnnyel járhat a konkrét talajremediáció és annak költségei szempontjából.

### 3. A kockázat jellemzése

A remediáció végeredményeképpen előálló helyzetet a hasznok részeként kezeltük kvalitatív (pontoszamos) értékelési rendszerünkben. Egy másik lehetőség az lenne, hogy ezt a mutatót nem hasznok között tüntetjük fel, hanem külön mutatóként alkalmazzuk a végső értékelésben.

A másik kockázattípus a technológia alkalmazásával összefüggő kockázat értékelése kvantitatív értékelés is lehetne, de benne az esetben egy kvalitatív értékelési rendszer részeként kvalitatív értékelést alkalmazunk.

Mind a fitoextrakciós, mind a fitostabilizációs technológia rendelkezik saját kockázattal.

A fitoextrakciós technológia saját kockázatai az alábbiakból adódnak össze:

- Teljes növényi borítottságot megelőző időszakban széllel, porral történő szennyezőanyag terjedés. Ez az időszak hosszú lehet, hiszen a nagy fémtartalmú talajokban nehezen telepsznek meg a növények, és hiperakkumulálók ráadásul lassan növekszenek, kicsi a hozamuk. > nagy kockázat
- Teljes növényi borítottság előtti időszakban vízerózióval történő szennyezőanyag terjedés. > nagy kockázat
- A talaj mozgékony fémtartalmának tovaterjedése beszivárgó és lefolyó vizekkel
- A mozgékonyság növelésével fokozott mozgékonyság, terjedés: pl. bemosódás talajvízbe, felszínen lezúduló csapadékkal és erózióval felszíni vízbe, stb.
- A megtermelt növényi anyag nagy fémtartalma
- A megtermelt növényi anyag tenyésztől függő érintkezési ideje az ökoszisztémával és az emberrel
- A fémtartalmú növényi anyag szállítása, feldolgozása, megsemmisítése során történő kibocsátás

Ezeket a potenciális kibocsátásokat a technológia igen hosszú ideig tartó alkalmazása miatt az évek számával megszorozva, igen nagy kockázati értéket kaphatunk.

A maradék kockázat is számottevő, hiszen a mozgékony fémek 15–50 év alatti eltávolítása után is a talajban maradnak a nehezen mobilizálható és extrahálható fémek, így az ólom, a króm és az arzén, stb.

A fitostabilizáció kockázatai is számottevőek, de messze alatta maradnak a fitoextrakciónak:

- Teljes növényi borítottságot megelőző időszak rövid, gyorsan növő, nagy hozamú, jól borító növényeket választunk. A kémiai stabilizálás toxicitáscsökkentő hatása gyorsítja a növénytakaró kialakulását. > kis kockázat
- Teljes növényi borítottság előtti időszakban vízerózióval történő szennyezőanyag terjedés. > kis kockázat
- A talaj mozgékony fémtartalmának tovaterjedése beszivárgó és lefolyó vizekkel: > elhanyagolható kockázat

- A mozgékonyság növelésével fokozott mozgékonyság, terjedés: pl. bemosódás talajvízbe, felszínen lezúduló csapadékkal és erózióval felszíni vízbe, stb. > nem létező kockázat, hiszen az adalék lecsökkenti a mozgékonytságot
- A megtermelt növényi anyag nagy fémtartalma > nem létező kockázat, mert a fitostabilizációhoz kiválasztott növény nem akumulál a föld feletti részében szennyezőanyagot
- A megtermelt növényi anyag tenyésztőtől függő érintkezési ideje az ökoszisztémával és az emberrel. > nem létező kockázat
- A fémtartalmú növényi anyag szállítása, feldolgozása, megsemmisítése során történő kibocsátás > nem létező kockázat

A technológia az első növénymegtelepedéstől fogva hatékony, minimálisra csökkenti a kibocsátást.

A z összes fémre hat a kémiai stabilizáció, a legmozgékonyabbak a mérvadóak, azok alapján kell tervezni a stabilizációt.

#### 4. SWOT-analízis

A toxikus fémekkel szennyezett talaj kezelésére alkalmazott, kémiaival kombinált fitoremediációs technológiát SWOT analízisnek is alávetjük. A SWOT analízis a jellemzők angol rövidítéséből álló betűszó:

- S = Strengths = erősségek
- W = Weaknesses = gyenge pontok
- O = Opportunities = lehetőségek
- T = Threats = kockázatok, fenyegetések.

##### A kémiaival kombinált fitostabilizáció erősségei

- Környezetbarát biotechnológia, kevésbé bolygatja meg az ökoszisztémát.
- Kihhasználja az ökoszisztéma adottságait, figyelembe veszi a természetes evolúciós folyamatokat és trendeket.
- Tervezhető: *in situ*: a környezet egy részének reaktorként kezelésével.
- Növény-mikroorganizmus együttműködés hasznosítható.
- Előkísérletek során eldönthető a technológia alkalmazhatósága, hatékonysága.
- Tervezhető a beavatkozás fajtája és mértéke és ez a kivitelezés során is változtatható.
- Kis energia- és költségigényű.
- Egy felkínálható technológiai alternatíva.
- Különböző talajtípusokra alkalmazható.
- Terület-specifikussá tehető.
- Megfelelő módszerekkel monitorozható és szabályozható.
- Adalékok igény szerint alkalmazhatóak.
- Az általunk alkalmazott adalékok az alkalmazott technológiai paraméterek mellett a környezetre nem kockázatosak.
- Az arbuskuláris mikorrhiza gombáknak (AM) a szimbiózisa, mint kölcsönös előnyökön alapuló együttélési forma nagyobb fémtoleranciát biztosít a növénypartner számára, mikorrhiza gomba jelenlétében a gazdanövények fémfelvétele csökken.

- AM gombatorzsekből előállított oltóanyagok szabadföldi alkalmazása mind fitostabilizációs, mind pedig fitoextrakciós módszerek hatékonyságát növeli.
- A kezelési idő csökkenése csökkenti a kezelés összköltségét. Ez a csökkenés meghaladhatja az alkalmazott energia és adalékok költségét.
- A kezelési idő csökkenése korábbi hasznosítást tesz lehetővé, ezzel időarányosan nő a terület használatából, jövőbeli hasznosításából adódó haszon.
- Az *in situ* technológiaalkalmazás gyakran megengedi a felszín használatát, hasznosítását a remediáció ideje alatt. Ez a haszon-oldalt növelő tétel.
- A szóban forgó technológiák szociálisan elfogadhatóak, mert végleges megoldást jelentenek a terület egésze szempontjából, nem csak egyik fázisból egy másik fázisba átkerülést, nem teszik tönkre a talaj élővilágát és nem igényelnek nagy energiafelhasználást.

### ***Erősségek technológiai oldalról: gyorsítási, intenzifikálása lehetőségek:***

- Technológiai paraméterek pl. adalékmennyiség, növényfajta, stb. az optimumon működtetése megoldható.
- Optimális nedvességtartalom öntözéssel vagy injektálással biztosítható.
- Olcsó kémiai stabilizálószer alkalmazhatóak, pl. egyes hulladékok.
- Növények remediációra alkalmassága és hatékonysága javítható.
- Mikroorganizmusok és növények együttműködése hasznosítható, pl. irányított mikorrhizáció.
- Az AM-gombák jelenléte a növények számára jobb talajkihasználást tesz lehetővé mind a tápanyag-, mind a vízfelvétel szempontjából.
- A fitoremediációs eljárás során használt gazdanövények ellenálló képessége nő.
- A terület fenntartás során szükséges műtrágya és növényvédő szerek használata mérsékelhető.
- A rizoszféra mikroflórája manipulálható mennyiségileg és minőségileg. Az AM-gombákkal együttélő növények gyökérkörnyezetében élő mikroba közösség összetétele módosul. A növény növekedést elősegítő egyéb mikroorganizmusok (nitrogénkötő baktériumok, foszformobilizáló baktériumok stb.) száma nő.
- Az AM-gomba hifák behálózzák a talajt, hifáik és azok felszínén kiválasztott glomalin növeli a talaj mikro- és makro aggregátumainak a számát, amely fokozza a talaj vízmegtartó képességét és terhelt talajok esetében csökkenti a kiporzás okozta kockázatot.
- Az AM-gomba oltóanyagok könnyen beszerezhető és olcsó összetevőkből állnak.
- Az oltóanyagok alkalmazása a szántott talaj felső 20-30 cm-t érinti.
- Szimbiózis, asszociáció, mesterséges kialakítása lehetséges.
- A mezőgazdaságban és növénynevelésben szerzett tapasztalatok hasznosíthatóak.

### **A kémiaival kombinált fitoremediáció gyenge pontjai**

- Tudáshiány: a jelenlegi tudásszintünk alacsony, fejlesztésre szorul.
- A kémiaival kombinált fitoremediációs eljárások ismertsége korlátozott.
- Kevés jó referencia létezik Magyarországon.
- A talajban működő közösség megismerésének korlátai vannak.
- A talaj bonyolult rendszerének és a kölcsönhatások megismerésének korlátai vannak.
- Heterogenitás a talajban: a szilárd fázis heterogenitása nagyfokú, a vízfázis sem teljesen homogén, még állandó cirkuláció esetén sem (felúszó, leülepedő folyadékok, lencsék, stb.).
- *In situ* csak a talajvíz és levegő mintázható, a talaj még a lehető legjobb mintázási eljárás mellett sem ad hű képet a talaj egészéről.



- Egyes adalékok magas ára, pl. pernye, rontja költség-haszon mérleget.
- Hasznos és használható hulladékok engedélyeztetése problémát jelenthet, Magyarországon nem szabályozott. Az adalékanyagok felhasználását kockázatfelmérés alapján kellene megítélni és engedélyezni.
- Az AM-gombatörzsek oltóanyagok előállítása, szelektálása, felszaporítása, minőség ellenőrzése, a gombakultúrák fenntartása, tisztaságának és fertőzőképességének kontrollja költséges és időigényes folyamat.

#### **A kémiaival kombinált fitoremediáció új lehetőségei**

- Az elfekvő, használatból kizárt szennyezett területek újrahasznosításában nagy szerepe lehet.
- A technológia hatékonyságának növelésével versenyképes technológiává fog válni a hagyományos fizikai-kémiai talajkezelések és a „talajcsere” mellett.
- A kockázatmenedzsment modernizálásával, a jövőbeni használatokból eredő hasznok figyelembevételével versenyképes alternatívává válik.
- A költség-haszon felmérés finomodásával, a kockázatcsökkenés, mint haszn figyelembevételével a kémiaival kombinált fitostabilizációs technológiák jobb minősítést kaphatnak, mint a fizikai-kémia technológiák vagy a talajcsere.
- Megbízható adatbázis és képzett vállalkozók a kémiaival kombinált fitoremediáció nagymértékű elterjedését teszik majd lehetővé: az USA-ban van is már ilyen adatbázis (VISITT), Európában most készül: EURODEMO).
- A környezetvédelmi technológiák között a fenntartható fejlődés letéteményese.

#### **A kémiaival kombinált fitoremediációs technológiával kapcsolatos fenyegetések**

- Valós fenyegetés, hogy a toxikus szennyezőanyag nem tűnik el teljesen a rendszerből, maradék kockázat hosszú időn keresztül fennállhat. Ez tulajdonképpen az elhúzódó bonntással azonos problémakör. Ilyenkor utókezelésre szükség lehet. *In situ* technológiaalkalmazásnál lehet jelentős probléma.
- A költség-haszon felmérésben nem állják meg a helyüket, mert a mérleg felvételénél nem veszik figyelembe a pénzben ki nem fejezhető károkat és hasznokat. A költség-haszon felmérés metodikájának fejlődése ezt a problémát ki fogja küszöbölni.

## **6. Összefoglaló értékelés**

A fitoremediáció olyan világszerte növekvő jelentőségű technológia, melyben szennyezett talaj vagy üledék, esetleg szennyvíz vagy szilárd hulladék vegyi anyagok okozta kockázatainak csökkentésére zöld növényeket hasznosítunk a

- a szennyezőanyag eltávolítására (elpárologtatás, extrakció)
- a szennyezőanyag talajban való rögzítésére (növényen kívül),
- a szennyezőanyag növényben történő rögzítésére és tárolására,
- a szennyezőanyag inaktiválására, vagy
- a szennyezőanyag elbontására.

A szennyezőanyagok különböző mechanizmusok szerint történő ártalmatlanítása megfelelően kiválasztott növények és segédanyagok segítségével történik.

Az USA-ban jellemző gyakorlatias szemlélet következtében egy sor megvalósult fitoremediációt lehet felmutatni, Európában inkább a kutatás és az ahhoz kapcsolódó demonstrációs alkalmazások valósultak meg.

A fitoremediáció előnye, hogy költsége kicsi, segítségével *in situ* remediáció valósítható meg, a társadalmi ellenszenv, el nem fogadás nem sújtja annyira, mint más remediációs módszereket, könnyen kezelhető, bevezethető technológia, hiszen gyakorlatilag csak agrotechnikákat alkalmaz, amennyivel több, az az elméleti háttér, a növény kiválasztása, az időzítés, az adalékok alkalmazása, a monitoring.

Európában is megvalósult már néhány sikeres nemzetközi fitoremediációs projekt, legtöbbjük Belgiumban, az Egyesült Királyságban, Dániában, Svájcban, Svédországban, Lengyelországban és Spanyolországban.

Az EU 5 keretprogram is támogatott egy sor fitoremediációs kutatást 1998-2002 között, valamint a LIFE és az FP 6 programokban is központi szerephez jutott a fitoremediáció.

Ezek közül érdemes megemlíteni a *PHYTOC*, a *MYRRH*, a *MICOREM*, az *ENDEGRADE* és a *PIRAMID* projekteket. Ezt megelőzően a FP 4-ben is voltak fitoremediációs projektek, pl. a *PHYTOREHAB*, a *BIORENEW*, a *PHYTOREM* és a *RHYZODEGRADATION* projektek.

Az EU Life projektjében egy Gyöngyösorszihoz nagyon hasonló esetben, egy franciaországi aranybánya bezárása és a pontforrások eltakarítása után megmaradt nagyterjedésű diffúz szennyezőforrás remediálására kidolgozott kombinált kémiai–fitostabilizációs eljárás szabadföldi kipróbálására és alkalmazására került sor. Ennek tapasztalatait mi is hasznosítjuk szabadföldi kísérleteinkben.

A COST Action 837 1998 óta aktív. Mindezekhez képest az USA kormány által finanszírozott fitoremediációs kutatás a gyakorlati alkalmazás területén sokkal előbbre jár, egy sor program, környezetvédelmi szervezet kutatja, alkalmazza és értékeli a fitoremediációs eredményeket.

A fitoremediációs eljárásokat alapvető osztályozás aszerint történik, hogy a szennyezőanyag talajból történő eltávolítása folyik-e, ez a fitoextrakció vagy pedig olyan típusú átalakítása, mely a szennyezőanyag mozgékonyságának és felvehetőségének csökkentése által vezet kockázatcsökkentéshez, ez a fitostabilizáció.

A szennyezőanyag típusa szerint is osztályozhatjuk a növényekre alapozott talajremediációt:

Szerves anyagok metabolizálása, biodegradációja történhet a növényekben vagy a rizoszférában. Talajba ültetésen kívül mesterséges lápok, élőgépek, rizofiltráció lehetnek a konkrét megoldások.

A radionukleotidok fitoextrakció és rizofiltrációja is megvalósítható.

Legtöbb fitoremediációs eljárás a toxikus fémek ártalmatlanítását tűzi ki feladatul.

Fitostabilizációhoz kiválasztott növény legyen fémtűrő, de ne akkumuláljon a föld feletti részben, nagy hozama legyen, jól termesztető és hasznosítható legyen.

Egyre nagyobb jelentőségre tesznek szert azok a fitostabilizációs technológiák, amelyek adalékokkal növelik a szennyezőanyagok stabilitását, lehetőleg irreverzibilis megkötését a talajban, biológiailag hozzáférhetetlen állapot hosszú távú fenntartását. A fitostabilizáció esetében a növény fémtűrése kevésbé szigorú követelmény (mint a fitoextrakciónál), ezzel párhuzamosan nőhet a többi követelménnyel kapcsolatos elvárt szint, például a nagy hozam, a könnyű betakaríthatóság és a hasznosíthatóság.

Fitoextrakcióhoz toleráns növény, gyors növekvés, nagy biokoncentráció képesség kell, fontos, hogy a levélben, illetve a föld feletti részekben történjen meg a szennyezőanyag koncentrációja, könnyen termesztendő, nagy hozamú és könnyen betakarítható legyen. Génebeszkek is dolgoznak hiperakkumuláló, gyors növekedésű, nagy biomasszát produkáló fajok előállításán.

A fitoextrakciót is intenzifikálhatjuk adalékokkal, főként, ha a limitáló tényező a növényi felvétel. EDTA (etilén diamin tetraacetát), NTA (nitrilo triacetát), citromsav a leggyakrabban alkalmazott mobilizáló adalékok. (Ezek kockázata is ugyanebből adódik: a szennyezőanyag megnövelt mozgékonyasága). Természetes kelátok, mikroorganizmusok és növényi gyökerek által termelt természetes kelátképzők is fontos szerepet játszanak. Olyan fajt kell választani, amely képes a szennyezőanyagot mobilizálni. Génmanipulációval is bevihető a fitokelatin gén.

A fitoremediációt végző növények kölcsönhatása, illetve együttműködése a baktériumokkal, gombákkal, mikorrhiza gombákkal és más növényekkel módosítja a fémek mozgékonyaságát, felvehetőségét, fitotoxikus hatását, stb. Az ideális kelátképző mikroba – növény komplex megtalálása gyakran a technológia kulcsát jelenti.

A fémek kémiai átalakítása is közös munka eredménye: kevésbé hozzáférhető formák alakulhatnak ki a redox állapot megváltoztatásával is.

A fitoremediációs eljárások nagyüzemi elterjedésének legfőbb akadályai az alábbiak

- nagy időigény

- a felhasznált növény fémtűrőképessége

- a felhasznált növény hozama

- az a tény, hogy csak a biológiailag hozzáférhető toxikus anyaghányad kezelése illetve eltávolítása oldható meg.

A biológiailag hozzáférhető illetve a nem hozzáférhető anyaghányadok megítélésével komoly problémák vannak: ezek kockázatának megkülönböztetésére általában nem tér ki a jogi szabályozás és ennek megfelelően a standardizált metodika sem, akár a környezeti analízis akár a kockázatok értékelése vagy a célértékek megállapítása van terítéken. Ahhoz, hogy a fitoremediáció hatékonysága és haszna helyesen legyen értékelhető, okvetlenül figyelembe kell venni, elsősorban talajok és üledékek esetében, a hozzáférhetőséggel összefüggő kockázati, metodikai és technológiai következményeket, meg kell alapozni az ezzel harmonizáló metodikai hátteret és ki kell dolgozni a megfelelő mérési és értékelési módszereket. A hatóságoknak is állást kell foglalniuk a stabil formák kockázatának megítélésével kapcsolatban és bevezetni a kockázaton alapuló helyszínspecifikus határértékeket és döntési procedúrákat.

Kockázaton alapuló fitoremediációs eljárás az általunk javasolt és kísérleteinkbe is bevont eljárás, **a kémiai stabilizációval kombinált fitostabilizáció**, melynek során a talajkezelő adalék nagyban csökkenti a fémek hozzáférhetőségét, így sikeres növénytelepítés várható. A szennyezett talajon növő növények nem veszik fel az adalék által stabilizált fémeket, azok nem képesek kifejteni a növényekre toxikus hatásukat. A növényi növekedésre gyakorolt gátló hatás elmaradása a növényzet gyors megtelepedését eredményezi, a növénytakaró pedig megakadályozza a szennyezőanyag bemosódással, kémiai vagy biológiai kioldással, erózióval vagy deflációval történő terjedését a korábban kopasz, mindezeknek kitett területeken.

A fitoremediáció költséghatékonyságának és költség-haszon felméréséhez 10+5 fitoremediációs változat költségét hasonlítottuk össze.

A költség hatékonyság érdekes eredményeket hozott, de önmagában nem ad elegendő információt a helyes döntéshez, a technológia kiválasztásához, hiszen nemcsak a költségek, hanem a hasznok és a célminőség is döntőek lehetnek. A költségek közötti nagyságrendi különbség-

gek leszűkítik a választandók körét, illetve megadják, hogy mekkora hasznot kell produkálni ahhoz, hogy esetleg költségesebb megoldások is versenyképesek maradjanak.

A költség-haszon értékelésnél elsősorban az anyagi hasznok kvantitatív értékelését kell megoldani, melyhez a projekt jelen állásában még nincsenek meg az alapadatok. Áthidalásul és a költség-haszon felmérés alapelveinek lefektetéséhez kidolgoztunk egy olyan relatív költség-haszon értékelési módszert, ahol a költséget, a maradék kockázatot és a fitoremediáció közvetlen hasznát valamint a terület jövőbeni értékéből és hasznosításából adódó hasznokat vetjük figyelembe. Ezt a számítás-mintát kvantitatív értékeléshez is használhatjuk, a mostani pontszámokat valódi forint értékekkel kicserélve.

Továbbra is probléma a nem anyagi jellegű hasznok (egészségkockázat csökkenés, ökológiai kockázat csökkenése, egészségi és szociális hasznok, életminőség javulás, stb.) figyelembe vétele. A kvantitatív értékelés helyett ezeknél megtartjuk a félkvantitatív vagy pontszámon alapuló relatív értékelési módot, és az ilyen módon létrehozott pontszámok vagy indexek értékével módosítjuk a költség-haszon pénzértékben kifejezett eredményét.

Az összehasonlító értékelés eredménye szerint Gyöngyösoroszi kiskertjeiben alkalmazható fitoremediációs módszerek közül azok a fitostabilizációs eljárások vezetnek a rangsort, amelyek kémiai stabilizálással és a termesztett növények hasznosításával kombinálják a fitostabilizációt. Ezeket követi az a helyspecifikus lehetőség, hogy a kiskertek szennyezett talajhányadát egy másik, párhuzamosan remediálendő pontszerű szennyező forrással, a 2 millió m<sup>3</sup>-es flotációs meddőhányó anyagával együtt izolálnák. Ez a talajcsere kivételesen, a helyi adottságok miatt érhető el olyan nagy pontszámot, hogy realitása legyen a megoldásnak. A „0” megoldás a költség-haszon felmérés során az utolsó helyre került, korábban, a költségek illetve e költség-hatékonyság alapján még előkelő helyezése volt.

A levezetett példa is bizonyítja, hogy a költség-haszon felmérés nem csak a döntéshozó, de kutató és a technológus számára is igen fontos információkat ad, emiatt célszerű, hogy minden tervezési és fejlesztési feladatnak részét képezze.