

### 6.3. Szennyezett üledékkel elárasztott kiskertek talaja

A szennyezett üledék egyik veszélyes és állandóan folyó transzportjának végpontja a talaj. A Toka-patak völgyében szinte minden létező területhasználatot megtalálhatunk, az elárasztott talajok lehetnek természetes területen, ipari területen, de leggyakrabban mezőgazdasági művelés alatt lévő területekről van szó, azon belül is a kiskertek és hobbikertek teszik ki a túlnyomó többséget, ami még tovább növeli a kockázatot a kiskertekben történő termeléssel járó fogyasztási szokások miatt.

#### A hobbikertek talaja és az onnan származó termények kockázatának jellemzése

##### Jellemző folyamatok

- áradás, üledék lerakódás
- mállás
- növekvő mozgékonyosság és biológiai hozzáférhetőség
- bioakkumuláció.

##### Területhasználat

- zöldség- és gyümölcsstermesztés
- bogyósok termelése
- pihenőkert, füvel,
- parlag.

##### Expozíciós utaktápláléklánc, meg növekedett ADI (average daily intake)

- belégzés
- bőrkontaktus. A patak menti, rendszeresen elárasztott kertek talaja nagymértékben

szennyezett. Az áradással a talajra kerülő üledék anyaga, – az aprózódott kőzet, a flotációs meddőanyag vagy a meszes csapadék – a mezőgazdasági talajokra jellemző viszonyok között (savas pH, aktív mikrobiológiai tevékenység) azonnal mállásnak indul és a kőzetben kötött fémek mobilizálódnak, ionos formában kötődnek a talajban. A növények ezeket felveszik és emberi fogyasztásra kerülve vagy állati takarmányként növelik az egészségkockázatot (13). A pataktól távolodva csökken a fémtartalom, mely a patak szállító szerepét bizonyítja (10. táblázat).

**10. táblázat: A patakparti kiskertek talajának fémtartalma**

Távolság a pataktól	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	As (mg/kg)
5 m	1 685	462	7.5	210	110
15 m	998	248	1.0	127	63
30 m	520	120	0.6	200	31
50 m	208	63	0.6	131	41

A kertek talaja az ökotoxikológiai vizsgálatok eredménye szerint toxikusabb, mint az üledék vagy a meddőanyag, pedig fémtartalmuk kisebb, de a fémek kémiai formájából adódó mozgékonyosság, biológiailag hozzáférhetőség, növényi felvehetőség, nagyobb, amint az 40 talajminta összes (királyvizes feltárás után mérve) és mobilis (acetátpufferes kivonatból) fémtartalmának összehasonlító vizsgálatából bizonyított. A talajminták %-ban kifejezett átlagértékét a 11. táblázat mutatja.

**11. táblázat: A talajminták mobilis fémtartalma az összfémtartalom %-ában**

Talajminta	Zn (%)	Pb (%)	Cd (%)	Cu (%)
Kossuth utca, átlag	32,4	38,0	62,0	41,3
Hobby, átlag	37,0	38,5	63,4	56,4
VNK, átlag	43,1	47,3	78,1	62,3

A kerti talajok fémtartalma 30-80%-ban mobilis, amint azt a királyvizés feltárással és a acetátpufferes kivonással nyert fémtartalom összehasonlításából láthatjuk (10. és 11. táblázat).

A szennyezett talaj a hozzáférhetőség fokozatos növekedése miatt egyre nagyobb kockázatot jelent a Toka-patak völgyében. Egy átlagos elárasztott telken, ahol az elmúlt 15 év alatt a Zn elérte az 1500, a Pb az 1000, a Cd az 5, a Hg az 5, az As a 100 mg/kg koncentrációértéket, várható hogy újabb 15 év alatt ezek az értékek megduplázódnak. A kockázatot tovább növeli, hogy a kertekben élelmiszernövényeket termelnek, elsősorban saját használatra, ami sokszorosára emelheti a tulajdonosok kockázatát, hiszen a kiskert tulajdonosokra nem az átlagosan érvényes fogyasztott mennyiség és minőség érvényes, hanem több és lényegesen szennyezettebb.

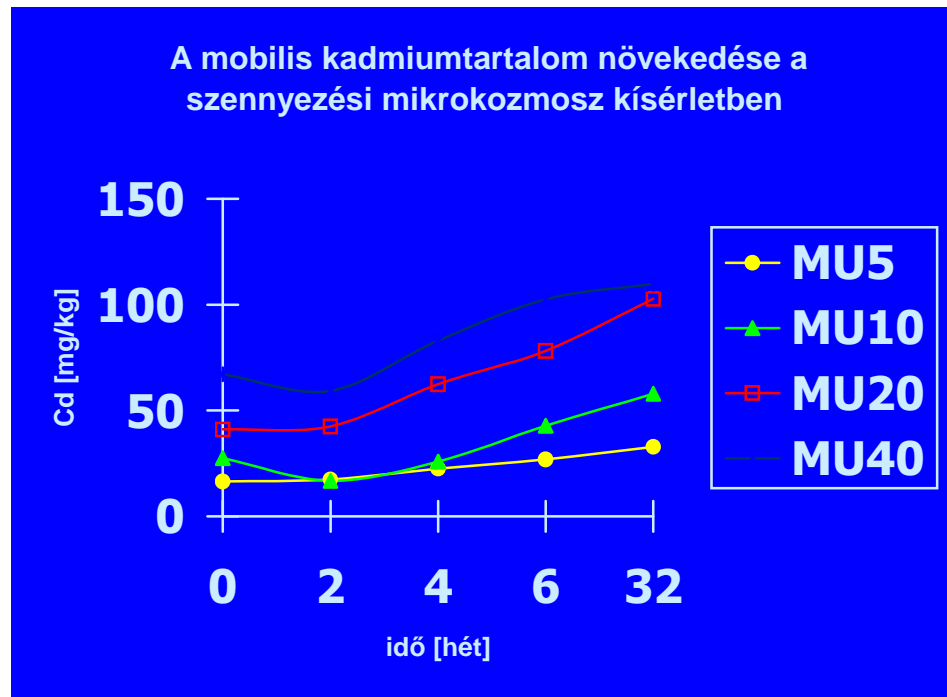
A kockázatot növelő két folyamat: 1. a talajra került bányászati hulladék mállása és a 2. növények bioakkumulációja.

Minkét folyamat követhető a Toka-patak völgyében megfelelően megtervezett monitoringgal, de, ezen mérési eredmények alapján extrapolációval vagy becsült számításokkal (modellezéssel) hosszabb távra is előre jelezhetjük a kockázatot. A folyamatok dinamikájának, a szennyezett talaj viselkedésének vizsgálatára kísérletes megközelítés is ajánlható. Az ilyen folyamatok követésére legalkalmasabb tesztípus a mikrokozmosz teszt, ahol a környezet legfontosabb, meghatározó tulajdonságait megtartjuk és követjük az amúgy szigorúan kontrollált kísérlet során.

Jelen kutatás keretein belül is végzünk mikrokozmosz kísérleteket, melyek célja részben a metodika kidolgozása, részben pedig a Toka patakban fennálló kockázatok előrejelzése. A mikrokozmosz kísérletek egy része a feltáródás modellezésére szolgál, azt megállapítandó, hogy hogyan, milyen ütemben, milyen törvényszerűségek szerint mobilizálódnak a toxikus fémek a talajba bekerült, kezdetben szinte neutrális hulladékanyag mállási folyamatai során, és hogy mik a korlátozó illetve elősegítő tényezők. A mikrokozmosz kísérletek másik része a bioakkumuláció jellegzetességeire és részleteire igyekszik fényt deríteni.

Előljáróban egyetlen példával szeretnénk alátámasztani a fémtartalmú bányászati hulladékok mállásával kapcsolatos kockázatok vizsgálatának fontosságát. A kísérletsorozatban a talaj növekedő mennyiségű üledékkel szennyeztük mesterségesen és mértük a mobilizálódás időbeni lefolyását kémiai-analitikai és ökotoxikológiai módszerekkel.

A háromféle bányászati hulladék egyenként 4 koncentrációjával folyó mikrokozmosz kísérletből egyetlen momentumot kiragadva, a 31. ábrán láthatjuk a kadmium viselkedését. A kadmium szinte azonnal mobilizálódni kezd, ahogy a hulladékot belekevertük a talajba. A kezdeti kadmiumkoncentrációk azt is megmutatják, hogy a legnagyobb relatív kioldódás a legkisebb talajba kevert mennyiségnél (M5) mérhető. Ez érthető, ha figyelembe vesszük, hogy, amíg az üledék semleges pH-jú, apró szemcséjű anyag, melynek fémtartalma a vízzel



borított mederben, anoxikus körülmények között immobilis, kikerülve a partra aerob körülmények közé, enyhén savanyú pH-jú, aktív mikrobiológiai és növényi működéssel jellemezhető talajba kerül, ahol az M5 üledék van leginkább kitéve a talajból származó feltáródást segítő körülményeknek. Ez a jelenség felhívja a figyelmet a kockázat szempontjából rendkívül veszélyes folyamatra, a hígulásra.

**31. ábra: A kadmium feltáródását mutató szennyezési mikrokozmosz kísérlet**

#### 6.4. A meddőhányón folyó feltáródási folyamatok

A meddőhányó anyaga 4 millió m<sup>3</sup> flotációs meddőanyag, nagy fémtartalommal (12. táblázat), izoláció nélkül. A déli lejtőre egy épületalapról kiásott alapkőzetet hordtak kb. 10 éve. Ez vizuálisan elfedi a szürke meddőanyagot, és részlegesen gátolja az eróziót és a deflációt.



**32. ábra: A meddőhányó 1995-ben: a takarórétegen kezd a növényzet megtelepedni**



**33. ábra: Az eródeált takaróréteg alól előtűnik a szürke flotációs meddőanyag**

**12. táblázat: A flotációs meddőanyag fémtartalma (13)**

Meddőanyag jele	Zn (%)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Co (mg/kg)
3M	9.1	7 041	6	5 940	1 680	606
4M	11.3	21 120	1	6 140	1 450	0
8M	1.9	2 970	46	1 010	90	175

A meddőhányó anyagának legnagyobb hányadát a szürke színű flotációs meddőanyag adja, de a meddőhányó tetején más hulladékok is azonosíthatóak és sajnos, illegális hulladék lerakatok is egyértelműen behatárolhatóak. A vékony takaróréteg izoláció nélkül lett a meddőhányóra hordva, ami a réteg vékonysága miatt az eróziótól sem véd, de a veszélyes hulladékkal való közvetlen érintkezés miatt veszélyes közvetítőnek minősül a meddőanyag és az ökoszisztéma között, hiszen mind a közvetlen keveredés, mind pedig a kapilláris erőkkel

történő felszívás a toxikus fémek talajba kerülését segítik elő, a talajból pedig tovább, a táplálékláncba kerülést.



**34. ábra: Az erózió nyomán előtűnő rétegek: 20-30 cm-es takaróréteg izolálás nélkül**

A takaró talajréteg toxicitására a területen végzett szűrővizsgálatszerű ökotoxikológiai tesztelés hívta fel a figyelmet.

**13. táblázat: A flotációs meddőanyag és a takaróréteg toxicitása (14)**

Réteg	<i>Azotobacter agile</i> dehidrogenáz	<i>Sinapis alba</i> gyökér- és szárnövekedés	<i>Vibrio fischeri</i> biolumineszcencia
Takaróréteg	Nagyon toxikus	Toxikus	Nagyon toxikus
Szürke meddő	Nem toxikus	Enyhén toxikus	Nem toxikus

Az ökotoxikológiai eredmények hívták fel a figyelmet a takaróréteg nagy toxicitására, mely sokszorosán meghaladja a letakart flotációs meddőanyag toxicitását (13. táblázat) A takaró réteg keveredik a meddőanyaggal, mely ettől mállásnak indul, a szabaddá váló fémek pedig kapilláris erőkkel feljutnak a takarórétegbe. A meddőhányón növekvő növények nagymértékben szennyezettek: a pöfeteggombában például nem ritka az élelmiszer határérték 100-szorosa.

**13. táblázat: Teljes és oldható fémtartalom a meddőhányó egyes rétegeiben (13)**

Réteg	pH	Teljes fémtartalom (mg/kg)			Mobilis fémtartalom (mg/kg)		
		Zn	Pb	Cu	Zn	Pb	Cu
Takaróréteg	4.7	603	186	72	42.2	1.9	0.5
Szürke réteg	7.0	31 858	4 971	2 450	3.4	1.2	0.6
Piros alsó réteg	7.1	2 248	481	114	4.3	0.1	0.0
Sárga alsó réteg	7.3	7 571	2 766	984	3.9	1.7	0.6

A bányászati hulladékok talajjal való keveredése tehát megengedhetetlen folyamat, a kockázatot nagymértékben növeli, a mállási-feltárási folyamatok gyorsaságától függően. A leghatékonyabb ellenintézkedés a teljes mértékű izoláció lenne. A meddőhányó izolálása és rekultivációja sokat javítana a terület környezeti állapotán és a területen található kisebb mennyiségű hulladékokat, üledékeket, csapadékokat, szennyezett talajt és mederüledéket a flotációs meddőanyaggal együtt lehetne kapszulálni és így kockázatuktól megszabadulni.

Amíg a veszélyes hulladékok mesterséges és tökéletes izolációja nem valósul meg, addig a természetes izolációs folyamatok gyorsítása és elősegítése is célunk lehet, szem előtt tartva, hogy ez olyan kényszermegoldás, amely csökkenti ugyan az izolálás nélküli megoldáshoz képest a kockázatot, de nem képes hosszú távon biztosítani az elfogadhatóan alacsony kockázati szintet sem az ember sem az ökoszisztéma számára. A transzportfolyamatok közül lelassítja a szétszóródást, az eróziót, a deflációt, a hígulást, de alkalmasint növeli a növényekbe és rajtuk keresztül a táplálékláncba kerülést, és végső soron állandóan növekvő „háttérértékhez” vezet.

#### **6.5. Természetes izoláció**

A meddőhányó beszikkadt tavaiba behullott holt szerves anyagon (levelek, növények) megindult a humuszképződés, betelepült a nád, a sás, mely gyökereivel átszövi a humuszréteget és egybefüggő szőnyeget vont a meddőanyag fölé. Ez jó fizikai izolációt és stabilizációt jelent, csökkentve az erózióval és deflációval szállított és szétszórt meddőanyag kockázatát. Ugyanakkor viszont a nád maga igen szennyezett, benne állatok élnek, fészkelnek, táplálkoznak, tehát ez az fizikailag izoláló, stabilizáló növényzet ugyanakkor kémiai szempontból mobilizál, ezzel veszélyezteti a táplálékláncokat.

Természetes izolációnak tekinthető a meddőhányóra hordott takaróréteg lassú, spontán revegetációja vagy a meddőkőzet kupacok felszínének kioldása utáni igen lassú benépesülése. Tudnunk kell, hogy az ökoszisztéma minden áron a túlélésre törekszik. Ennek érdekében minden biokémiai és genetikai potenciálját mozgósítja. Adaptálódik, oly módon, hogy a közösségek tűrő fajai egyre nagyobb részarányukkal újfajta fajeloszlást alakítanak ki, és a túlélő fajok az élővilág minden leleményességét kihasználva próbálják kiküszöbölni a toxikus anyagok káros hatásait (15). Leggyakoribb védekezési módjuk, hogy a káros vegyületet semlegesített formában elraktározzák, ami nekik túlélést, de a táplálékláncban felettük álló, az őket fogyasztó számára hatványozott veszélyt jelentenek.

#### **4.6. Természetes mobilizáció és bioakkumuláció**

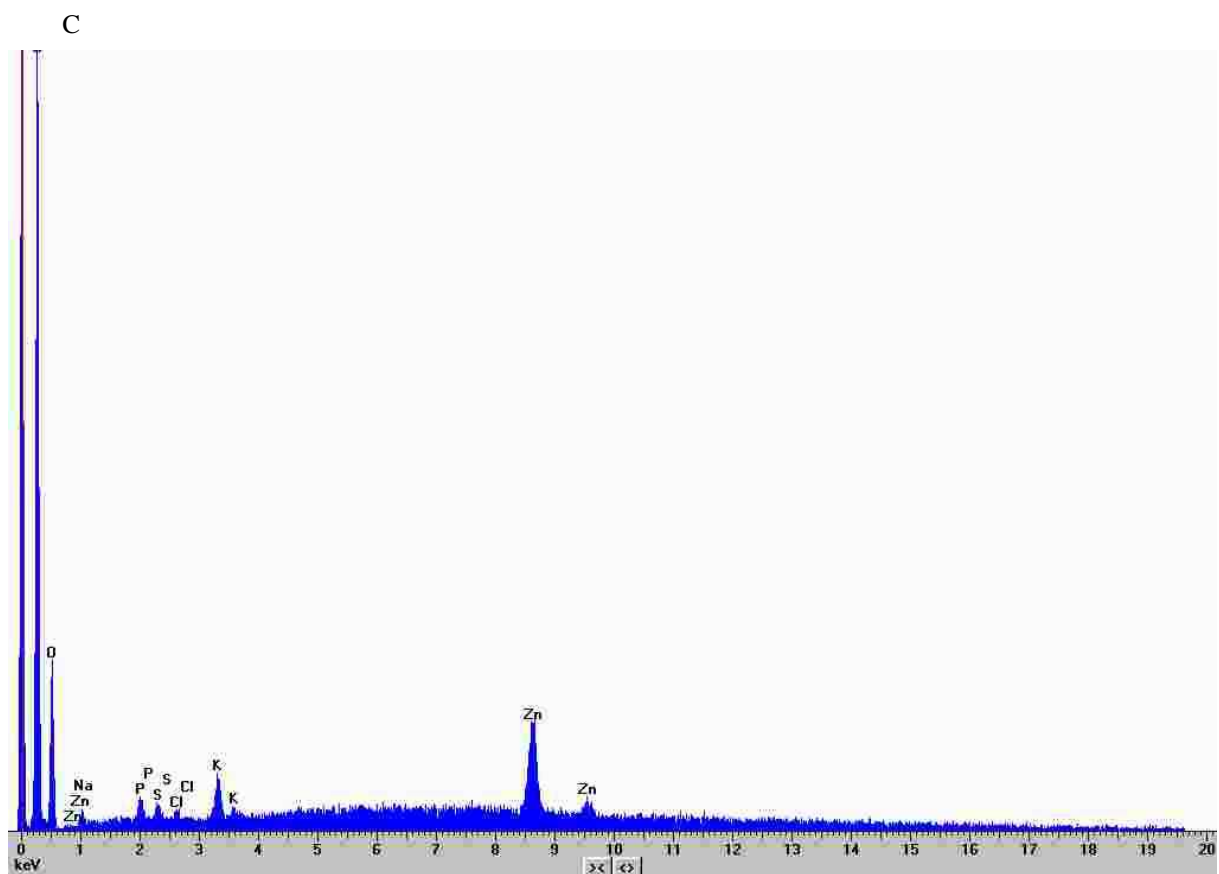
A bányászati hulladékok feltáródását, mobilizálódását nemcsak a meddőhányón figyelhetjük meg, hanem a meddőkupacok és a talajra került hulladékok esetében is. A flotációs meddőanyag nem tökéletes takarórétege érintkezik és keveredik a meddőanyaggal: a csapadék beszívódás és kapilláris vízfelszívás állandó kölcsönhatást biztosít a meddőanyag és takaróréteg között. Az első figyelmeztetés az ökotoxikológiai eredmény. A mobilizálódott fémet a növények könnyedén felveszik, a biokoncentrációs hajlamúak, mint amilyenek a gombák, pedig felhalmozzák. A meddőhányóról izolált mikroorganizmusok, mikrogombák és nagytestű gombák extrém bioakkumulációt mutattak.

A meddőhányó talajából izolált egyik gomba sztereomikroszkópos képét és elemanalízissel mért cinktartalmát mutatja a 35. és 36. ábra, a meddőhányóról gyűjtött pöfeteggomba fémtartalmát és fogyasztásából adódó kockázati tényezőket mutatja a 14. táblázat. A fogyasztók egészségkockázatának megítéléséhez tudni kell, hogy a még elviselhető kockázat nagysága:  $HQ=1$ .



**35. ábra: A meddőhányó takarórétegéből izolált fonalas gomba sztereomikroszkópos képe**

Az izolált gomba fémtartalmú táptalajon növesztve több cinket tartalmazott, mint foszfort, kenet és káliumot együttesen, amint azt az elektronmikroszkóphoz csatolt röntgendiffrakciós elemalizátor által felvett spektrumon láthatjuk (36. ábra).



**36. ábra: A meddőhányóról izolált fonalas gomba elemalizise: a Zn több mint a K, S és P együttesen**

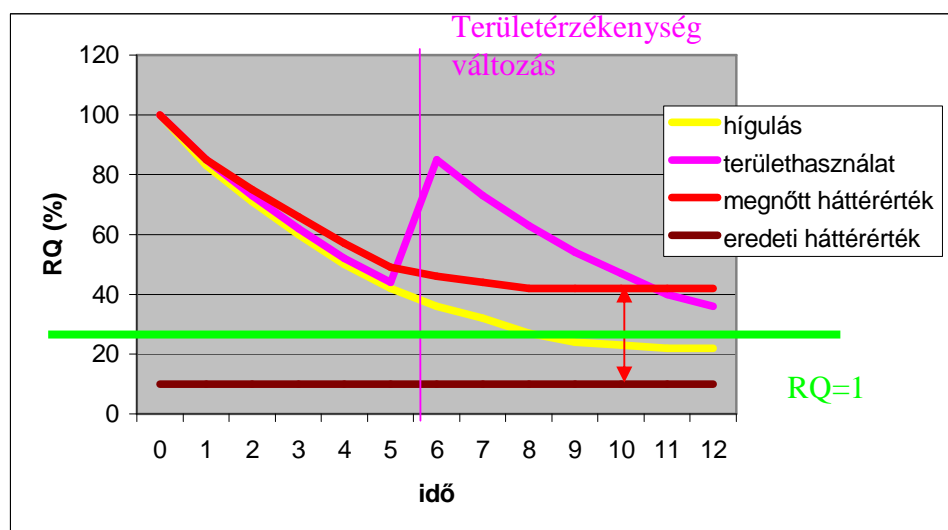
Nem csak a mikrogombák, de a nagytetű gombák is nagymértékű akkumulációra képesek. A növények bioakkumulációját külön fejezetben részletesen vizsgáljuk és tárgyaljuk a kutatás egy későbbi fázisában.

**14. táblázat: A pöfeteggomba fémtartalma és a számított kockázati tényező (16)**

	As	Hg	Pb	Cd	Cu	Zn	Összes
Határérték (mg/kg)	0,5	0,05	1,0	0,1	10,0	20,0	
C gomba (mg/kg)	4,60	1,43	5,23	6,54	24,1	89,5	
Kockázati tényező	9,2	28,6	5,2	65,4	2,4	4,5	Kb 130

### 6.7. A hígulás

A bányászati hulladékok talajjal való keveredéséből adódó mobilizálódásának mechanizmusát és jellegzetességeit mikrokozmosz kísérletekben próbáltuk tisztázni. Különböző koncentrációkban mezőgazdasági talajhoz kevertük a Toka-patak völgyét veszélyeztető bányászati hulladékokat: a flotációs meddőanyagot, a szennyezett üledékeket és a meszes csapadékot. A fél éven keresztül folytatott kísérlet monitorozása alapján jellemeztük a keverés után beálló új egyensúlyi állapotot és a mobilizálódás jellegzetességeit. Először meglepő, de logikus az a jelenség, hogy minél kisebb a szennyezőanyag részaránya a talajban, annál gyorsabb a feltáródás. Emiatt nagyon kockázatos folyamatnak kell tekintenünk a fémtartalmú hulladékok hígulását, és nagy súlyt fektetni a hulladékok izolációjára (37. ábra).



- Hígulás: kockázatcsökkenés, de nagyobb terület
- Hígulás utánpótlódással





Hígulás+transzport: a szennyezőanyag érzékenyebb területre ér



Állandó terhelés miatt megemelkedett háttérérték

A hígulás veszélyességét növeli, hogy

1. a hulladékból vízbe kerülhet a toxikus fém, ahol - a 3 nagyságrenddel kisebb határérték is utal erre - ugyanannak a mennyiségnek a veszélyessége nagyságrendekkel nagyobb,
2. a hulladékból talajba kerülve, mállás és kioldás során más a kémiai forma, pl. a hulladékban jellemző atom- vagy molekularácsból ionos formába kerülve mozgékony, biológiailag felvehető állapotúvá alakul át,
3. a hígulással egyre nagyobb területet ér el,
4. a terjedés során a hígulás ellenére nagyobb kockázatot jelenthet egy érzékenyebb területhasználatot elérve,
5. megemeli a háttérértéket.

**6.8. A szerves mikroszennyezők környezetbe kerülésével kapcsolatos természetes folyamatok és kockázatok összefoglaló táblázata (12)**

<b>FOLYAMAT</b>	<b>EREDMÉNY</b>
1. Szulfid ásványok kilúgzása	Megnövekedett KK felszíni vízben és talajban
2. A redoxpotenciál növekedése	Mobilitás nő, KK nő
3. A pH csökkenése	Mobilitás nő, KK nő
4. A kémiai forma változásai	Mobilitás nő vagy csökken, KK nő/csökken
5. Megoszlás fázisok között	A KK új megoszlása fázisok között
6. Fémek immobilizációja az üledékben	A víz KK-ja csökken, de az üledékben kémiai időzített bomba alakul ki
7. Mállás: kőzet, hulladék	Megnövekedett mobilitás, nagyobb KK
8. Hígulás	Helyileg csökkent KK, de nagyobb terület lesz szennyezett, érzékenyebb területen nagyobb KK, magasabb háttérték
9. Az ökoszisztéma adaptálódása	Kisebb KK a őshonosakra, de nagyobb KK a területet használó emberre
10. A szennyezett talaj revegetációja	A stabilizáció miatt csökkent KK, de a táplálékláncba történő bevitel növeli a KK-t
11. Áradás	Növekvő KK a talajban
12. Bioakkumuláció	Megnőtt KK a táplálékláncban és az emberben
13. Biomagnifikáció	Megnőtt KK a táplálékláncban és az emberben