KARSZTFEJLŐDÉS VII.
Szombathely, 2002. pp. 297-315.

A TALAJ ÉS NÖVÉNYZET NEHÉZFÉM-TARTALMÁNAK VIZSGÁLATA KARSZTOS MINTATERÜLETEN

KEVEINÉ BÁRÁNY ILONA[1]-ZSENI ANIKÓ[2]-KASZALA RITA[1]

[1]Szegedi Tudományegyetem, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2. keveibar@earth.geo.u-szeged.hu, rita@geo.u-szeged.hu
[2]Szegedi Tudományegyetem, Természetföldrajzi Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2. zseniani@sze.hu

Abstract: The heavy metal content of soils and plants in two dolines was examined in the karstic regions of Bükk Plateau and Aggtelek Karst (North-East Hungary). The ecological conditions can vary in short distances in dolines according to the different slope exposures so the characteristics of soils and plants are also variable. The paper introduces the results of heavy metal analysis of soils and plants.

Bevezetés

Kutatásaink során a Bükk-fennsík és az Aggteleki Karszt egy-egy dolinája talajainak és növényzetének a nehézfémtartalmát határoztuk meg. A vizsgálatok a fenti területeken lévő mintaterületeinken folyó kutatásokhoz kapcsolódnak, amelyek egyik célja a karsztos talaj állapotának általános felmérése (általános fizikai, kémiai tulajdonságok, felvehető kationok, nehézfémek). Az állapotfelmérésen túl ezek a vizsgálatok a dolinák esetében azért is érdekesek, mert kis területen belül a különböző kitettségű lejtők különböző ökológiai feltételeket kínálnak, és ezek a különbségek a talaj tulajdonságaiban is nyomon követhetőek. Jelen tanulmány a talajok nehézfém-tartalmára koncentrál, bemutatja a talajok összes és növények számára felvehető nehézfémeinek mennyiségét, a kettő közti kapcsolatot, a különböző kitettségű lejtők talajaiban megfigyelhető különbségeket, valamint a nehézfémek talajszelvényen belüli mélységi eloszlását. A talajmintavételi helyek növényzetének nehézfém vizsgálataival egyrészt adatokat szolgáltatunk a karsztos területek lágyszárú vegetációjának nehézfémtartalmáról, másrészt megkísérlünk összefüggéseket keresni a talajok és a növényzet nehézfémtartalma között.

A karsztos térszínek leggyakoribb felszínformáinak, a dolináknak a kialakulását és fejlődését számtalan ökológiai tényező befolyásolja. A dolinák a környezeti tényezők egymásra hatásaként kialakult önálló dinamikai egységek, ezért a karsztökológiai vizsgálatokra különösen alkalmas mikrotérségek (*KEVEINÉ BÁRÁNY I.* 1987). A dolinák fejlődésében a leg-

fontosabb szerepet a mikroklíma játssza, amely kölcsönhatásban van a talajjal, a talajban lejátszódó biológiai folyamatokkal és ezzel összefüggésben a talaj alatti korróziós denudáció dinamikájával (*KEVEINÉ BÁRÁNY I.* 1985). Hasonlóan más karsztvizsgálatokhoz, a dolinavizsgálatok is abból az alapfeltevésből indulnak ki, hogy a karbonátos alapkőzeten a víz oldó hatása a legfontosabb tényező. A víz összetételének változása kis területen belül is különbségeket hoz létre a karbonátos kőzetek oldódásának mértékében. A dolinák talajai különböző kitettségű, lejtőszögű felszíneken helyezkednek el, és ez alapvetően meghatározza azok fizikai és kémiai tulajdonságait. A talajréteg vastagsága, áteresztőképessége, textúrája, szerkezete, kémiai tulajdonságai meghatározó szerepet töltenek be a denudációs folyamatban, de egyidejűleg szűrik és pufferolják a külső, karsztidegen anyagokat. A felszíni areális és a talajbani áthalmozási folyamatok lejtőirányban játszódnak le. Mivel ezek határozzák meg a talajon keresztül szivárgó víz oldóképességét, különösen fontos a talajban lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok ismerete. A folyamatokat alapvetően befolyásoló mikroklímával szoros kölcsönhatásban fejlődik a kőzetet borító talaj, változnak a talajban lejátszódó biológiai folyamatok, s velük összefüggésben alakul ki a talajok alatti korróziós denudáció dinamikája. A dolinafeneken és a lejtők nagy részén az erdőtalajok dinamikáját jelző agyagos talajok, a kőzetkibukkanásos részeken és különösen a D-i lejtőn (É-i kitettség) a fekete rendzina talajok fordulnak elő (*KEVEINÉ BÁRÁNY I.* 1987).

A nehézfémek vizsgálatakor a fentiek értelmében szükségünk van a talajok pufferkapacitását meghatározó tulajdonságok ismeretére. A kémhatás, a szénsavas mész, agyag- és szervesanyag-tartalom, valamint az agyagásványok minősége, mint a pufferkapacitást leginkább meghatározó tényezők, jelentős szereppel bírnak a nehézfémek mobilitása szempontjából is. A megfelelő kémhatású, magas agyag- és szervesanyag-tartalmú talaj ugyanis nagyobb mennyiségű nehézfém adszorpcióra képes, ezáltal csökkenti azok mobilitását. A talajoldatba kerülő nehézfémek egyrészt a növények számára felvehető formát jelentenek, másrészt a mészkövek gyakran igen sekély talajrétegén át könnyen elérhetik a repedezett alapkőzetet, majd a fontos ivóvízbázist jelentő karsztvizet.

Anyagok és módszerek

1998 nyarán került sor egy-egy dolina vizsgálatára a Bükk-fennsíkon és az Aggteleki Karszton. A dolina 4 fő égtáj szerinti kitettségű lejtőin - lejtőközépen - a dolina aljában, valamint az aggteleki dolinában ezeken kívül a peremen is történt mintavételezés. A talajokat 10 cm-enként mintáztuk

meg, általában 40 cm-es mélységig. A bükki dolina D-i és Ny-i lejtőin csak 20 cm-es volt a fekete rendzina talajtakaró, így ott csak 2-2 talajminta vételezésére volt lehetőség. A talajok kőzetdarabokkal igen átkevertek, kivétel a dolinák aljának talajai, ahol nagy vastagságú, agyagos talaj fordult elő. A dolina növényzetét szőrfüves gyeptársulás alkotta, helyenként megjelent a boróka, a kökény, és fásszárú csemeték is (vadkörte, mogyoró, tölgy). A talajmintavételezési helyeken 1 m^2-nyi terület lágyszárú növényzetét (gyökérzet nélkül) gyűjtöttük be, kaszálással.

A talajvizsgálatok során meghatároztuk a pH(H_2O)-t, pH(KCl)-t, a szénsavas mész és szervesanyag-tartalmat, valamint a nehézfémtartalmat. A talajok kémhatását 1:2,5-ös szuszpenzióban (desztillált vízzel ill. 1 mol/dm^3 KCl oldattal) (*TALAJ- ÉS AGROKÉMIAI VIZSGÁLATI MÓDSZERKÖNYV 2.*, 1988), a szénsavas mész tartalmat Scheibler-féle kalciméterrel mértük meg (*TALAJ- ÉS AGROKÉMIAI VIZSGÁLATI MÓDSZERKÖNYV 2.*, 1988). A talajok szervesanyag-tartalmát kénsavas közegben $K_2Cr_2O_7$ oldattal oxidáltuk, majd spektrofotométerrel mértük (*BECK–BURGER–PFEFFER–TEICHMANN,* 1994). A nehézfém-vizsgálatokhoz az 5-10 és a 30-40 cm-es (sekélyebb talajoknál a legalsó) talajrétegeket használtuk fel. A nehézfémek mennyiségét kétféle (királyvizes ill. Lakanen-Erviö-féle) feltárást követően atomabszorpciós spektrofotométerrel mértük meg (*BECK–BURGER–PFEFFER–TEICHMANN,* 1994). A királyvizes feltárással gyakorlatilag a talajok összes nehézfém-tartamát tudtuk meghatározni, míg a másik módszer a mobil, növények számára felvehető formában jelen lévő nehézfémek meghatározására szolgál (*BECK–BURGER–PFEFFER–TEICHMANN,* 1994).

A növények nehézfémtartalmának meghatározásakor a kiszárított és dörzsmozsárban összetört növényi anyagból 2,5 g-ot 10 ml HNO_3 hozzáadásával 120 °C-on 2-4 órán át tártuk fel. Lehűlés után 3-4 ml 70 %-os perklórsavat adtunk hozzá és ismét 120 °C-on 1 óra hosszat folytattuk a feltárást. Ezt követően atomabszorpciós spektrofotométerrel határoztuk meg a nehézfémtartalmat (*ROWELL, D. L.* 1994).

A dolinák talajainak kémhatása, szénsavas mész és szervesanyag-tartalma *1. táblázat*
pH, carbonate content and organic matter content of soils of dolinas *Table I.*

Bükk dolina	pH(H_2O)	pH(KCl)	DpH	Karbonát tartalom [%]	Szervesanyag-tartalom [%]
É/5-10	5,90	5,30	0,60	0,0	46,6
É/10-20	5,88	5,26	0,62	0,0	29,1
É/20-30	6,13	5,49	0,64	0,0	14,2
É/30-40	6,12	5,24	0,88	0,0	15,8
K/5-10	5,87	5,06	0,81	0,0	53,7
K/10-20	5,99	5,23	0,76	0,0	28,9
K/20-30	6,20	5,40	0,80	0,0	24,0
K/30-40	6,20	5,09	1,11	nyomokban (ny)	
D/5-10	6,84	6,42	0,42	ny	igen magas
D/10-20	7,37	6,88	0,49	0,8	84,7
Ny/5-10	6,93	6,61	0,32	0,5	73,4
Ny/10-20	7,20	6,85	0,35	0,9	58,6
A/5-10	5,03	4,46	0,57	0,0	igen magas
A/10-20	5,45	4,77	0,68	0,0	igen magas
A/20-30	6,40	5,84	0,56	0,0	8,3
A/30-40	6,51	5,84	0,67	0,0	10,4
A/40-50	6,52	5,83	0,69	0,0	10,9
Aggtelek dolina	pH(H_2O)	pH(KCl)	DpH	karbonát-tartalom [%]	szervesanyag-tartalom[%]
É/5-10	6,10	5,24	0,86	0,0	25,4
É/10-20	6,36	5,42	0,94	0,0	28,3
É/20-30	6,58	5,81	0,77	ny	38,2
É/30-40	7,01	6,32	0,69	ny	27,3
K/5-10	5,53	4,52	1,01	0,0	24,1
K/10-20	5,64	4,65	0,99	0,0	17,3
K/20-30	6,17	5,16	1,01	0,0	16,7
K/30-40	6,03	4,81	1,22	0,0	16,5
D/5-10	7,05	6,53	0,52	ny	47,1
D/10-20	7,24	6,45	0,79	ny	21,2
D/20-30	7,20	6,03	1,17	ny	12,0
D/30-40	7,20	6,00	1,20	ny	12,9
Ny/5-10	5,80	4,90	0,90	0,0	30,5
Ny/10-20	6,39	5,56	0,83	0,0	18,0
Ny/20-30	6,53	5,43	1,10	0,0	35,2
Ny/30-40	6,56	5,42	1,14	0,0	23,4
A/5-10	5,54	4,70	0,84	0,0	41,8
A/10-20	5,68	4,64	1,04	0,0	17,6
A/20-30	5,86	4,54	1,32	0,0	27,4
A/30-40	5,85	4,70	1,15	0,0	21,0
A/40-50	5,70	4,70	1,00	0,0	25,5
P/5-10	5,95	5,14	0,81	0,0	38,0
P/10-20	6,06	5,16	0,90	0,0	38,8
P/20-30	6,52	5,63	0,89	0,0	28,9
P/30-40	6,29	5,09	1,20	0,0	23,3

Eredmények

A pufferképességet meghatározó talajtulajdonságok

A dolinákban kimutattuk, hogy a talaj kémhatása uralkodóan gyengén savanyú, helyenként savanyú, semleges, de gyengén lúgos kémhatások is előfordulnak (*I. táblázat*) (*ZSENI A. – KEVEINÉ BÁRÁNY I.* 2001). A kémhatás a mélységgel lefelé haladva nő. Égtájak szerint jelentős különbségek mutathatók ki: a bükki dolinában a D-i és Ny-i lejtőkön semleges ill. gyengén lúgos a kémhatás (pH=7 körül), az É-i és K-i lejtőn, valamint a dolina aljában gyengén savanyú (pH=6 körül). Az aggteleki dolinában ugyancsak magasabb (pH=7) kémhatással találkozunk a D-i lejtőn, azonban itt a Ny-i lejtőn már alacsonyabb, gyengén savanyú a talaj kémhatása. Az égtájak szerint a talajok kémhatása az alábbi sorrendben csökken az aggteleki dolinában: D>É>Ny>Perem>K>Alj. A ΔpH értékek (azaz a vizes és a KCl-os kémhatás különbsége, amely a talajok savanyodási tendenciájáról nyújt számunkra információt: a magas, 1 körüli értékekkel rendelkező talajokban a savanyodási tendencia erősebb, mint a kisebb értékkel bíró talajokban) magasabbak az aggteleki dolinában (0,5-1,3) mint a bükkiben (0,3-1,1). A talajok szénsavas mész tartalma a gyengén savanyú kémhatásoknak megfelelően 0%, kivétel a semleges kémhatású talajok, ahol nyomokban (1% alatt) megjelenik (*I. táblázat.*).

A szénsavas mész hiánya miatt a talajok pufferképességét a magas szervesanyag-tartalom növeli meg azokban a talajokban is, ahol a kémhatás alacsony (*I. táblázat*). (A szervesanyag-tartalom meghatározása során gondot okozott, hogy sok talajminta esetében – mint ez a rendzina talajokra jellemző – a talaj rendkívül sok elbomlatlan illetve félig elbomlott szerves maradványt tartalmazott, és csupán nagyon kevés ásványi alkotórészt. A talajok 0,2 mm-es szitán történő átszitálása sem tette teljesen lehetővé ezen félig elbomlott növényi részek elválasztását. Mivel nézetünk szerint ezek is a talaj alkotórészeinek tekintendők, lévén meghatározó szerepük van a talaj tulajdonságok kialakításában, ezért nem érezzük gondnak, hogy emiatt nagyon magas szervesanyag-tartalmakat mértünk.) A bükki dolina D-i és Ny-i lejtőin, valamint a dolina alján 5-20 cm-en 70-80 %-ot meghaladó, a fekete rendzinára jellemző értékeket mértünk (*ZÁMBÓ L.-TELBISZ T.* 2000). Az É-i és K-i lejtőkön a legfelső talajréteg ugyancsak nagyon sok szervesanyagot tartalmaz, azonban a mélyebb szintekben az érték lecsökken (15-25 %), akárcsak a dolina alján, ahol a 20 cm-es mélységtől a talaj szemmel láthatóan is megváltozik, agyagos, világos színű lesz, a felszíni réteghez képest kisebb (10 %-os) szervesanyag-tartalommal. Az égtájak szerinti kü-

lönbözőséget az okozza, hogy a D-i és Ny-i lejtőn a kitettség miatt (É-i és K-i) kedvezőtlenebbek a biológiai lebomlás feltételei, mint a Ny-i és D-i kitettségű K-i és É-i lejtőn. Az északi és keleti kitettségű lejtőkön ugyanis a talajok nedvesebbek és hidegebbek, ezért a biológiai lebomlás lassúbb. Ezért itt nagyon sok elbomlatlan szerves maradvánnyal találkozunk. Az aggteleki dolinában az égtájak szerint nem figyelhetünk meg ennyire markáns eltéréseket, de a felszíni réteg szervesanyag-tartalma itt is a D-i és Ny-i lejtőn, a dolina alján és peremén a legmagasabb. A magas szervesanyag-tartalom megnöveli a talajok pufferkapacitását, mivel kötött formában képes tartani a nehézfémek egy részét.

Nehézfém-vizsgálatok a dolinákban

A mészkövek nehézfémtartalma nem túl magas. *MERIAN E.* (1984) vizsgálatai szerint a mészkövek az alábbi átlagos koncentrációban tartalmazzák a különböző nehézfémeket: Cu: 4, Co: 2, Cd: 0,165, Ni: 15, Pb: 5, Zn: 23, Mn: 700 ppm. *KABATA-PENDIAS A.-PENDIAS H.* (1984) a következő értékeket közli: Cu: 2-10, Co: 0,1-30, Cd: 0,035, Ni: 7-20, Pb: 3-10 ppm.

BRÜMMER G. W. et al. (1991) a következő mobilitási sorrendet állította fel a kémhatások viszonylatában: a Cd: pH<6-6.5, a Mn, Ni, Zn, Co pH<5.5, az Al, Cu pH<4.5, az Pb pH<4 esetében válik mobilabbá. Ebből is kitűnik, hogy az alacsonyabb kémhatás elősegíti a nehézfémek mobilitását, azaz talajoldatba kerülését.

A talajok Zn, Cd, Pb, Ni, Co és Cr-tartalmát határoztuk meg (*II, III. táblázat*) (A táblázatban az „Ö" az összes, az „F" a felvehető nehézfémeket jelenti, az „F/Ö%" pedig a felvehető nehézfémnek az illető összes nehézfémhez viszonyított %-os mennyiségét jelenti.). Minden nehézfémnél feltüntettük a 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelete által megadott, rá vonatkozó szennyezettségi határértéket és háttér koncentrációt (*MAGYAR KÖZLÖNY*, 2000 b). (A háttér koncentráció egy reprezentatív érték, egyes anyag természetes vagy ahhoz közeli állapotot jellemző koncentrációja a talajban, míg a szennyezettségi határérték a talajok multifunkcionalitásának és a felszín alatti vizek szennyezésével szembeni érzékenységének figyelembe vételével meghatározott kockázatos anyag koncentráció (*MAGYAR KÖZLÖNY*, 2000 b).) A talajok a Cd és Ni tekintetében bizonyultak szennyezettnek. (A táblázatban kiemeltük a szennyezettségi határértéket meghaladó eredményeket.) Az aggteleki dolina Co és Cr tartalma egyértelműen magasabb, a Cd tartalma alacsonyabb a bükki dolina talajaihoz képest.

II. táblázat
Table II.

A dolinák talajainak kadmium, nikkel és ólom-tartalma
Cadmium, nikkel and lead content of soils of dolinas

Dolina	Cd [ppm]		Cd	Ni [ppm]		Ni	Pb [ppm]		Pb
Bükk	Ö	F	F/Ö[%]	*Ö*	F	F/Ö[%]	Ö	F	F/Ö[%]
É/5-10	0,69	0,67	97,1	*43,0*	1,7	4,0	34,3	13,4	39,1
É/30-40	0,34	0,21	61,8	*43,1*	1,5	3,5	25,1	8,9	35,5
K/5-10	3,25	2,28	70,2	*47,6*	1,7	3,6	43,0	14,0	32,6
K/20-30	2,14	0,95	44,4	*47,0*	0,7	1,5	24,5	6,2	25,3
D/5-10	6,66	6,11	91,7	*56,3*	5,0	8,9	116,2	73,0	62,8
D/10-20	7,38	6,10	82,7	*68,1*	5,5	8,1	66,6	34,7	52,1
Ny/5-10	9,78	8,40	85,9	*65,9*	8,3	12,6	71,1	31,2	43,9
Ny/10-20	9,93	8,52	85,8	*66,5*	8,8	13,2	61,5	23,1	37,6
A/5-10	1,18	1,08	91,5	*30,8*	2,0	6,5	32,0	15,6	48,8
A/40-50	0,61	0,52	85,2	*41,7*	1,0	2,4	26,7	12,1	45,3
Aggtelek									
É/5-10	0,91	0,24	26,4	*51,2*	3,1	6,1	78,3	24,7	31,5
É/30-40	1,23	0,19	15,4	*59,4*	3,3	5,5	71,7	23,0	32,1
K/5-10	0,50	0,19	38,0	*50,2*	2,3	4,6	76,0	17,7	23,3
K/30-40	1,02	0,06	5,9	*64,0*	1,8	2,8	70,1	16,4	23,4
D/5-10	0,87	0,27	31,0	*49,1*	2,2	4,5	49,2	9,5	19,3
D/30-40	0,99	0,00	0,0	*48,4*	1,5	3,1	38,4	5,4	14,2
Ny/5-10	1,14	0,30	26,3	*57,0*	3,1	5,4	66,8	13,8	20,7
Ny/30-40	1,40	0,18	12,9	*63,7*	2,1	3,4	61,0	11,5	18,9
A/5-10	0,71	0,40	56,3	*43,2*	3,1	7,2	88,6	17,4	19,6
A/40-50	0,99	0,39	39,4	*47,7*	2,9	6,0	81,3	12,9	15,9
P/5-10	0,89	0,37	41,6	*48,8*	2,5	5,0	81,8	17,7	21,6
P/30-40	1,00	0,23	23,0	*55,3*	2,3	4,1	73,1	15,5	21,1
háttér konc.	0,5			*25*			25		
szenny. hat.	1			*40*			100		

A bükki dolina talajának nehézfémtartalma

A bükki dolina talajaiban egyértelműen megmutatkozik az égtájak szerinti elkülönülés. A dolina D-i és Ny-i lejtőjének talajában a vizsgált nehézfémek nagyobb mennyiségben fordulnak elő, mint az É-i és K-i lejtőn *(II, III.. táblázat)*. Ez a felvehető nehézfémtartalmak esetében is megfigyelhető, kivéve a felvehető Cr-tartalmat, mert a króm felvehető formában gyakorlatilag nincs jelen a dolina talajában. A dolina alján feldúsulás nem tapasztalható. Az É-i lejtőn valamivel alacsonyabbak az értékek, mint a K-in. Szennyezettségi határérték-túllépés a kadmium és a nikkel esetében fordul elő (az ólom-tartalom egy talajmintában haladja meg a határértéket). A cink,

kobalt és króm esetében nem mutatható ki terhelés a dolina talajában. A felvehető nehézfémtartalmakat az összes nehézfémtartalomhoz viszonyítva a következő mobilitási sorrendet lehetett felállítani: Cd > Pb > Co ~ Zn > Ni > Cr, azaz a króm a legjobban, a kadmium pedig a legkevésbé fixálódik a talajokban.

III. táblázat
Table III.

A dolinák talajainak cink, kobalt és króm-tartalma
Zinc, cobalt and chrome content of soils of dolinas

Bükk	Zn [ppm]		Zn	Co [ppm]		Co	Cr [ppm]		Cr
Dolina	Ö	F	F/Ö[%]	Ö	F	F/Ö[%]	Ö	F	F/Ö[%]
É/5-10	72,4	4,7	6,5	10,7	1,1	10,3	14,4	0,1	0,7
É/30-40	65,3	3,3	5,1	10,3	0,1	1,0	1,6	0,1	6,3
K/5-10	98,2	4,3	4,4	12,8	1,3	10,2	10,8	0,0	0,0
K/20-30	78,9	1,3	1,6	12,9	0,3	2,3	6,1	0,0	0,0
D/5-10	177,3	69,0	38,9	9,6	3,1	32,3	57,4	0,0	0,0
D/10-20	161,8	33,1	20,5	12,4	3,2	25,8	40,2	0,0	0,0
Ny/5-10	199,2	54,6	27,4	14,8	5,4	36,5	28,4	0,1	0,4
Ny/10-20	177,7	40,8	23,0	15,2	5,0	32,9	31,0	0,0	0,0
A/5-10	82,7	15,3	18,5	8,9	0,5	5,6	20,5	0,0	0,0
A/40-50	77,4	4,3	5,6	11,7	0,4	3,4	0,0	0,0	
Aggtelek									
É/5-10	106,5	5,6	5,3	17,3	5,4	31,0	57,4	0,1	0,1
É/30-40	111,7	2,6	2,3	15,5	6,5	42,0	*76,9*	0,1	0,1
K/5-10	121,5	5,2	4,3	18,6	3,6	19,5	58,0	0,1	0,2
K/30-40	133,9	3,1	2,3	16,9	4,3	25,6	*86,0*	0,1	0,1
D/5-10	104,2	6,7	6,4	14,5	1,8	12,1	56,6	0,0	0,0
D/30-40	82,5	1,2	1,5	13,8	1,3	9,2	69,2	0,0	0,0
Ny/5-10	147,2	9,0	6,1	14,4	2,4	16,9	57,1	0,1	0,2
Ny/30-40	145,5	3,6	2,5	12,6	2,7	21,7	*80,9*	0,1	0,1
A/5-10	112,0	6,2	5,5	23,6	2,5	10,5	43,4	0,0	0,0
A/40-50	123,7	3,1	2,5	20,2	2,3	11,4	64,3	0,0	0,0
P/5-10	104,3	4,1	4,0	17,6	2,8	16,1	46,4	0,0	0,0
P/30-40	116,4	2,0	1,7	15,2	2,6	17,2	71,2	0,0	0,0
háttér konc.	100			15			30		
szenny. hat.	200			30			75		

Jelentős mértékű kadmium szennyezettségi határérték-túllépés a D-i és Ny-i lejtőkön tapasztalható: 7-10-szer magasabb a Cd tartalom a megengedett 1 ppm-nél (*II. táblázat*). A K-i lejtő talajában is 2-3-szoros a határérték túllépés. A felvehető Cd-tartalmak szinte megegyeznek az összes Cd-tartalommal, ami azt jelenti, hogy a Cd alig fixálódott a talajban, mobil állapotban fordul elő csaknem kizárólagosan. Az 5-10 cm-es talajrétegben a felvehető Cd-tartalom 70-97 %-a az összesnek, míg a mélyebb talajrétegben az összes Cd 44-86 %-a van felvehető formában. Megfigyelhető, hogy a déli és nyugati lejtőkön kicsit magasabb az arány, mint a többi mintavételi helyen. A kémhatás ugyanakkor éppen e két lejtő talajában a legmagasabb (pH = 6,8-7,4), ami arra hívja fel a figyelmünket, hogy hiába a 6,5-nél magasabb pH (amely felett kevésbé mobil a Cd), ilyen jelentős nehézfémtartalmat már nem képes kötött állapotban tartani az igen magas szervesanyag-tartalom ellenére sem. A fokozottan érzékeny területekre vonatkozó intézkedési szennyezettségi határérték a Cd esetében 2 ppm (*MAGYAR KÖZLÖNY*, 2000 a, b). Ezt az értéket a dolina keleti, déli és nyugati lejtője talajának Cd-tartalma is meghaladja. A Cd mélységbeli eloszlására a 40 cm-es mélységig megmintázott talajokban a felszínközeli feldúsulás jellemző. A mindössze 15-20 cm-es talajmélységű déli és nyugati lejtőn értelemszerűen nem mutatkozik ilyen markánsan a mélységbeli különbség.

A talajok nikkel-szennyezettsége a kadmiuménál kisebb mértékű: a határérték 1,5-szerese volt mérhető a D-i és Ny-i lejtő talajában, a többiben ennél kisebb a határérték-túllépés (*II. táblázat*). A megfelelő fixáció miatt a felvehető Ni koncentrációja alacsony, a legnagyobb értékkel rendelkező nyugati lejtő talajában sem éri el a 9 ppm-et. Az összes Ni mennyiségének 3-13 %-a (a mélyebb talajrétegekben 1-13 %-a) található meg felvehető formában. A déli és nyugati lejtők talajában nagyobb a mobil Ni aránya (8-13 %), mint a keleti és északi lejtőn illetve a dolina alján (1,5-6,6 %). A fixált Ni magas aránya nem meglepő, ha figyelembe vesszük, hogy csak a dolina alján, a felső talajrétegben fordul elő 5,5-nél alacsonyabb pH, a többi talajmintában mindenütt a mobilitási határt jelentő 5,5 feletti a pH-érték. Ez magas szervesanyag-tartalommal társulva megfelelő pufferképességet biztosít a talajnak a Ni tekintetében.

Az ólom összmennyisége csupán a déli lejtő talajában haladja meg kis mértékben a szennyezettségi határértéket, de mindegyik talajmintában a háttér koncentrációnál nagyobb a koncentráció (*II. táblázat*). A déli és nyugati lejtőkön az Pb esetében is megfigyelhető a magasabb koncentráció. A felvehető ólom mennyisége természetesen kevesebb, ám az égtájak szerinti különbségeket jól mutatja. A talajok kémhatása az ólom fixációja számára igen kedvező (jóval a mobilitási határt jelentő pH = 4 felettiek az értékek),

ám az összes Pb mennyiségének viszonylag nagy hányada fordul elő felvehető formában. A felvehető Pb-tartalom aránya az összes Pb-tartalomhoz viszonyítva a felső talajrétegben magasabb (32-63 %), mint a talaj mélyebb rétegeiben (25-52 %), és a déli lejtőn figyelhető meg a legmagasabb arány. Az ólom jellemzően a felső talajrétegben dúsul, ami nem meglepő, mivel az ólom jellegzetes eloszlását a talajokban a szerves anyagokhoz való erős kötődése határozza meg leginkább, így a talajok felső, humuszban leggazdagabb rétegeiben halmozódik fel.

A cink esetében nem fordul elő szennyezettségi határérték túllépés, ám a déli és keleti lejtőkön a háttér koncentrációnál magasabb, a szennyezettségi határértéket közelítő koncentrációkat tapasztalhatunk (*III. táblázat*). A Zn-tartalom égtájak szerinti különbsége megfigyelhető az összes és a felvehető fém mennyisége esetében is. A felvehető mennyiségek különösen markánsan különböznek az egyes lejtőkön: a déli és nyugati lejtők talajaiban több tízszer nagyobb koncentrációban van jelen a mobil Zn, mint a dolina északi és keleti lejtőjének illetve aljának talajában (*III. táblázat*). Az összes Zn-tartalom 4-40 %-a fordul elő felvehető formában az 5-10 cm-es talajrétegben (a déli és nyugati lejtő talaját jellemzik a magasabb, a többi talajmintát az alacsonyabb értékek). A mélyebb talajrétegekben ez az arány kb. a felére csökken, 2-23 % figyelhető meg. A mélységbeli eloszlásra a felszínközeli talajréteg magasabb Zn-tartalma jellemző. A felszíni feldúsulás nagyobb mértékű a mobil Zn-tartalom tekintetében.

A kobalt összmennyiségét tekintve az égtájak szerinti, a többi vizsgált nehézfém esetében megfigyelt jellegzetes eloszlás kevésbé markánsan mutatkozik, ám a mobil Co mennyisége már mutatja a jellegzetes különbséget (*III. táblázat*). Az összmennyiség közelíti a háttér koncentrációt (15 ppm), a felvehető fémkoncentráció pedig a déli és nyugati lejtő talajában 3-5 ppm, a többiben 1 ppm körüli vagy az alatti. Az összes Co mennyiségének kb. harmada felvehető formában van jelen a déli és a nyugati lejtők talajában (32-36 % a fenti illetve 26-33 % a lenti talajrétegekben), míg a többi mintavételi helyen jóval nagyobb mértékű a Co fixációja (az össz-Co tartalomnak csak 5-10 %-a van felvehető formában a fenti, 0,5-4 %-a pedig a lenti talajrétegekben). A fém mélységbeli eloszlása változatos.

A króm a háttér koncentráció feletti értékekkel van jelen a déli és nyugati lejtők talajában, ám a keleti és északi lejtőn, valamint a dolina aljában ennél alacsonyabbak az értékek (*III. táblázat*). Az EDTA-s kirázással kapott Cr mennyisége igen alacsony, gyakorlatilag nem kimutatható, azaz a Cr nagyon erősen fixált a talajokban, az összmennyiségnek csupán 0-0,3 %-a van jelen felvehető formában.

Az aggteleki dolina talajának nehézfémtartalma

Az aggteleki dolina nem mutatja a bükki dolinában megfigyelt égtájak szerinti jellegzetes eloszlást a talajok nehézfém-tartalmának tekintetében. Szennyezettségi határérték túllépéssel a nikkel, kadmium és a króm esetében találkozunk. A Cr elég egyöntetű eloszlású, a dolina alján és peremén valamivel kisebb értékeket mértünk. A Ni sem mutat markáns elkülönüléseket, a dolina alján, peremén és D-i lejtőjén mutathatók ki alacsonyabb értékek. Az Pb és Co esetében megfigyelhető, hogy a dolina alján kicsivel magasabb a fémtartalom, a D-i és Ny-i lejtő talajában pedig alacsonyabb. A Zn és Cd a Ny-i lejtőn magasabb értékekkel van jelen, mint a többi mintavételi helyen. A nehézfémek mélységbeli eloszlása csak az Pb és a Co tekintetében mutat kis mértékű feldúsulást a felszíni talajrétegben, míg a többi nehézfém a mélyebb talajrétegben vesz fel magasabb értékeket a felszínhez képest *(II. III. táblázat)*. A felvehető nehézfémtartalmakat az összes nehézfémtartalomhoz viszonyítva a következő mobilitási sorrendet lehetett felállítani: Cd > Pb > Co ~> Ni ~> Zn > Cr, azaz a króm a legjobban, a kadmium pedig a legkevésbé van fixálva a talajokban.

A Cd-szennyezettség kisebb mértékű az aggteleki dolinában, mint a bükkiben: a határ koncentráció 1,5-szeresét nem haladják meg az értékek, és nem is mindegyik talajmintában figyelhető meg a túllépés *(II. táblázat)*. A felvehető Cd-tartalom 0-0,4 ppm. Míg az összes Cd-tartalmat tekintve a mélyebb talajrétegekben figyelhető meg magasabb érték, addig a felvehető Cd mennyisége a felszínközeli talajrétegben magasabb. Égtájak szerint markáns elkülönülés nem figyelhető meg, de mind az összes, mind a felvehető Cd-tartalmat tekintve a nyugati lejtő talajában mértük a legmagasabb értéket. Az összes Cd mennyiségének 26-56 %-a van felvehető formában jelen a fenti, és 0-40 %-a a mélyebb talajrétegben. A magasabb mobilitási arányok a dolina aljáról és pereméről vett mintákban észlelhetőek.

Az aggteleki dolina talajaiban mért nikkel összmennyisége (40-60 ppm) hasonló a bükki dolinában mérthez: a szennyezettségi határértéket (40 ppm) mindenütt meghaladja *(II. táblázat)*. A felvehető mennyiség viszont igen csekély az össztartalomhoz viszonyítva: 3-7 %. (Ez, a bükki dolinánál már leírtakhoz hasonlóan, a kedvező talajkémhatással és a magas szervesanyag-tartalommal lehet összefüggésben.) Égtájak szerint nincsenek jelentős eltérések, a dolina alján, peremén és déli lejtőjén kisebb az össz- és felvehető Ni-tartalom. A mélységi eloszlás ellentétes az összes és a felvehető Ni tekintetében: az összes Ni-tartalom a mélyebb talajrétegekben több, míg a felvehető Ni mennyisége a felszíni rétegekben jelentősebb.

A talajok összes ólom-tartalma minden mintában a szennyezettségi határérték alatt van, ám a háttér koncentrációnál kb. 3-szor magasabb (*II. táblázat)*. A déli és nyugati lejtőket alacsonyabb, a dolina alját és peremét magasabb értékek jellemzik. A felvehető ólom mennyisége (10-20 ppm) 14-32 %-a az össztartalomnak. A déli és nyugati lejtők talajában az alacsonyabb, az északi és keleti lejtőkön pedig a magasabb értékek jellemzők a felvehető Pb-tartalom abszolút és relatív értékét tekintve. Mind az összes, mind pedig a felvehető Pb-tartalom a felszínközeli talajrétegben magasabb, mint az alsóbb talajrétegben (a magyarázat a bükki dolinánál már leírtakkal egyezik meg).

A dolina talajainak összes cink-tartalma szennyezettségi határérték alatti (100-150 ppm). A legalacsonyabb értékkel a déli, legmagasabbal a nyugati lejtő talajában találkozunk (*III. táblázat)*. A felvehető Zn mennyisége 10 ppm alatti. A mobil Zn mennyisége a felszíni talajrétegekben 4-6,4 %-a, a mélyebb rétegekben pedig csak 1,5-2,5 %-a az összes Zn-tartalomnak. Az össz-Zn tartalom a mélyebb rétegekben kicsit magasabb, mint a felszínközeli talajrétegben. A mobil mennyiség tekintetében azonban pont fordított a helyzet.

A talajok összes kobalt-tartalma a háttérkoncentráció (15 ppm) körüli értékekkel jellemezhető, a dolina aljában figyelhető meg ennél magasabb érték (*III. táblázat)*. A felvehető Co mennyisége az északi és keleti lejtő talajában 4-6 ppm, míg a többi mintavételi helyen 2-3 ppm körüli, azaz az összes Co mennyiségének 10-31 %-a (az arány az északi lejtő talajában a legmagasabb). Az összes Co mennyiségét tekintve kismértékű felszíni feldúsulás tapasztalható, ám a mobil mennyiségek mélységbeli eloszlása változatos.

A talajok króm-tartalma itt magasabb (40-80 ppm), mint a bükki dolina talajaiban, helyenként kis mértékben meghaladja a szennyezettségi határértéket (*III. táblázat)*. A mélyebb talajrétegekben a Cr akár 1,5-szer nagyobb mennyiségben van jelen, mint a felszín közelében, és a határértéktúllépések is a mélyebb rétegekben fordulnak elő. Égtájak szerinti elkülönülés nem figyelhető meg, ám a dolina alján és peremén alacsonyabb értékeket mértünk. A felvehető Cr mennyisége elenyésző, 0,1 ppm alattiak az értékek, azaz a króm szinte teljes mennyiségben kötött formában van jelen a talajokban.

IV. táblázat
Table IV.

A talajok összes és felvehető nehézfémtartalma és a növények nehézfémtartalma közti korrelációs együtthatók
Correlation coefficiens of heavy metal content of soils and plants

Korrelációs együtthatók					
Bükki dolina 5-10 cm (n=5)			Bükki dolina 30-40 cm (n=5)		
	Összes	Felvehető		Összes	Felvehető
Zn	-0,068	0,205	Zn	-0,033	-0,098
Cd	-0,067	-0,067	Cd	-0,091	-0,169
Pb	-0,141	-0,123	Pb	-0,308	-0,250
Ni	-0,863	-0,585	Ni	-0,733	-0,662
Co	-0,567	-0,504	Co	-0,249	-0,347
Cr	0,246	-0,991	Cr	-0,120	-0,368
Aggteleki dolina 5-10 cm (n=6)			Aggteleki dolina 30-40 cm (n=6)		
	Összes	Felvehető		Összes	Felvehető
Zn	0,183	-0,327	Zn	0,515	0,475
Cd	-0,510	-0,510	Cd	-0,750	0,086
Pb	0,605	0,871	Pb	0,611	0,782
Ni	-0,499	0,528	Ni	-0,076	0,706
Co	-0,770	-0,527	Co	-0,742	-0,549
Cr	0,144	0,316	Cr	0,016	0,191

V. táblázat
Table V.

A dolinák növényzetének nehézfémtartalma
Heavy metal content of plants in the dolinas

Növényminta		A dolinák növényzetének nehézfémtartalma (ppm)					
		Cd	Ni	Pb	Zn	Co	Cr
Bükki dolina	észak	0,021	0,039	0,040	1,081	0,000	0,065
	kelet	0,040	0,059	0,350	1,459	0,000	0,103
	dél	0,036	0,023	0,190	1,947	0,000	0,113
	Nyugat	0,020	0,026	0,110	1,019	0,000	0,040
	alja	0,027	0,110	0,290	1,924	0,005	0,110
Aggteleki dolina	Észak	0,027	0,117	0,360	1,157	0,033	0,250
	kelet	0,035	0,102	0,190	1,249	0,035	0,047
	Dél	0,029	0,064	0,150	0,898	0,071	0,032
	nyugat	0,021	0,071	0,190	1,039	0,048	0,083
	alja	0,031	0,130	0,280	0,968	0,023	0,120
	perem	0,043	0,065	0,200	1,044	0,056	0,024

A dolinák növényzetének nehézfémtartalma

A növények nehézfémfelvétele számos tényezőtől függ: a növény fajtájától, a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaitól, az évszaktól. A növények három fő csoportba sorolhatók aszerint, hogy hogyan válaszolnak a talaj növekvő nehézfémtartalmára: megkülönböztetjük az akkumuláló, az indikátor és az excluder fajokat (a talaj egy kritikus nehézfém-koncentrációjának eléréséig nem veszik fel a nehézfémet) (*BACKER A. J. M.* 1981, *BÁRÁNY-KEVEI, I. – MEZŐSI, G.* 1999). A nehézfémtartalom a növény típusától függően a gyökérben, szárban, levélben, termésben is más és más. Az általunk alkalmazottnál jóval részletesebb vizsgálatok (mintagyűjtés faj, növényi szerv stb. szerint) lennének csak megfelelőek a talaj-növény kölcsönhatások részletes elemzésére. Azonban a vizsgálatunk célja alapján a kevert lágyszárú vegetáció talajfelszín feletti növényi részeinek begyűjtését elegendőnek gondoltuk. Arra voltunk kíváncsiak, hogy a dolina növényzete mekkora szerepet játszik a talaj nehézfémtartalmának csökkentésében (a felvétel által), megfigyelhető-e a talaj összes illetve felvehető nehézfémtartalma, kémhatása és a növényzet összes nehézfémtartalma között valamilyen összefüggés.

A talaj és a növényzet nehézfémtartalma közti összefüggés vizsgálatára korrelációs analízist végeztünk. A korrelációt elvégeztük a talaj felső és alsó talajrétegére is, mind az összes, mind a felvehető nehézfémtartalom tekintetében. (Az adatszám (n) bükki dolinában: n=5, az aggteleki dolinában: n=6.) Összefüggést elsősorban az 5-10 cm-es talajréteg felvehető fémtartalma és a növényzet fémtartalma között vártunk. A korrelációs koefficiensek azonban az esetek túlnyomó többségében nem mutatnak összefüggést (*IV. táblázat*). Igen gyakori a negatív korrelációs együttható (a bükki dolinában szinte csak ez fordul elő), azonban ezek abszolút értéke is igen alacsony. (A negatív korrelációnak esetünkben nincs is értelme.) Az aggteleki növények esetében a 0,7 abszolút érték feletti korrelációs együtthatók nagyobb számban vannak jelen, mint a bükki növényeknél.

Az aggteleki dolinában pozitív, összefüggést sejtető korrelációs együttható figyelhető meg a talaj felvehető (r=0,87 a felső, r= 0,78 az alsó talajrétegben) és összes ólom-tartalma (r= 0,61 a felső és alsó talajrétegben is) tekintetében, bár ez utóbbi esetében nem igazán meggyőző az együttható értéke. Hasonló összefüggés a bükki dolinában nem figyelhető meg.

Összefüggésre utaló pozitív korreláció ezen kívül csak a felvehető nikkel esetében figyelhető meg, szintén csak az aggteleki dolina esetében: r=0,53 (5-10 cm) és r=0,71 (30-40 cm).

Azaz a várt pozitív korrelációt a talaj felvehető nehézfémtartalma és a növény nehézfémtartalma között mindössze az ólom és - csekélyebb mértékben ugyan - a nikkel mutatja, ám csak az aggteleki dolinában.

Elvégeztük a korrelációs analízist a növényzet nehézfémtartalma és a talaj 5-10 cm-es rétegében a felvehető nehézfém össz-fémtartalomból való %-os részesedése között. Egyedül az aggteleki dolinában, az ólom és a nikkel esetében kaptunk értékelhető pozitív korrelációs együtthatót (r= 0,76 ill. r=0,77), azaz ezen nehézfémek esetében minél magasabb a talaj felvehető nehézfém-tartalmának aránya az illető nehézfém összes mennyiségéből, annál több nehézfém található a növényzetben.

Összefüggést kerestünk a talaj kémhatása és a növények nehézfémtartalma között is. A bükki dolinában a növények nikkel-tartalma esetében megfigyelhető, hogy amely talajokban alacsonyabb a kémhatás, ott a növényzet Ni-tartalma magasabb, ami összefüggésben áll a csökkenő kémhatás okozta nagyobb nehézfém-felvehetőséggel. Hasonlóan egyértelmű összefüggést a többi mintavételi helyen nem sikerült kimutatni.

A korrelációs analízis világossá tette, hogy a különböző mintavételi helyek talajainak felvehető vagy összes nehézfémtartalma alapján nem lehet következtetéseket levonni az ezen mintavételi helyek növényzetének nehézfém-tartalmára. A szignifikáns korreláció elmaradása sokféleképpen magyarázható: pl. a felvehetőnek tekintett nehézfémtartalmak nem tesznek eleget ennek a feltételnek, a növényzet különböző fajai különböző mértékben veszik fel a nehézfémeket. A mérések azonban hasznos információt szolgáltathatnak a karsztos területek lágyszárú vegetációjának átlagos nehézfémtartalmáról.

A Mecsekben végzett nehézfém-vizsgálatok (*SZABÓ-KEVEY-TÖLGYESI* 1985) a Tubes triász mészkövén az alábbi növényi elemtartalmat mutatták ki (a vizsgálat több elemre vonatkozott, itt csak a cink adatát használjuk fel összehasonlításra):

	Zn (mg/kg)
Asperula taurina	29,3
Melica uniflora	16,4
Geum urbanum	44,8
Glechoma hederacea	24,5

A dolinák növényzetének általunk mért Zn-tartalma (1-2 mg/kg) egy nagyságrenddel kisebb, mint a mecseki lágyszárúaké (*V. táblázat*).

Fűmintákból Budapestről és az M7-es autópálya mellől vannak adatok, az ólomtartalomra az alábbiak (*KÁDÁR I.* 1995):

	Növényben (mg/kg)			Talajban (mg/kg)		
	Min.	Max.	Átlag	Min.	Max.	Átlag
Rózsadomb	10	13	11	21	42	31
Vérmező 13	19	16	42	42	42	
M7 autópálya						
1m távolságra	13	120	56	120	906	411
5m távolságra	14	36	23	30	55	37
10 m távolságra	18	28	21	18	26	22
30m távolságra	13	84	37	8	51	24
100m távolságra	10	28	17	8	19	15

A talajra vonatkozó adatok nagyságrendileg megegyeznek a dolinákban mért ólom-tartalommal *(II. táblázat)*. A növények ólom-tartalma azonban akár két nagyságrend eltérést is mutat: 0,4 ppm (mg/kg) alatti értékeket mértünk a dolinák növényzetében (*V. táblázat*). A nagy különbség a budapesti és az autópálya menti mintákhoz képest ez utóbbiak jelentős szennyezettsége miatt adódik.

A vizsgált nehézfémek közel azonos mennyiségben vannak jelen a két dolinában (*V. táblázat*). Nagyságrendnyi eltérés csupán a kobalt esetében volt megfigyelhető: a bükki dolina növényzetében gyakorlatilag nem lehetett a kobaltot kimutatni. A növények ólom- és nikkel-tartalma kisebb, cink-tartalma pedig nagyobb a bükki dolinában, mint az aggtelekiben, de az eltérés nem jelentős.

Összefoglalás

A kutatásaink során a Bükk-fennsík és az Aggteleki Karszt egy-egy dolinája talajainak és növényzetének a nehézfémtartalmát határoztuk meg. A dolina 4 fő égtáj szerinti kitettségű lejtőin - lejtőközépen - a dolina alján, valamint az aggteleki dolinában ezeken kívül a peremen is történt mintavételezés. A talajokat 10 cm-enként mintáztuk meg, általában 40 cm-es mélységig. A talajvizsgálatok során meghatároztuk a pH(H_2O)-t, pH(KCl)-t, a szénsavas mész és szervesanyag-tartalmat, valamint a talajok összes és növények számára felvehető Zn, Cd, Pb, Ni, Co és Cr tartalmát. A talajmintavételezési helyeken 1 m^2-nyi terület lágyszárú növényzetét (gyökérzet nélkül) is begyűjtöttük.

A vizsgálatok alapján az alábbi megállapításokat tehetjük.

- A bükki dolina talajaiban egyértelműen megmutatkozik a nehézfémek mennyiségének égtájak szerinti elkülönülése. A dolina D-i és Ny-i lejtőjének talajában a vizsgált nehézfémek nagyobb mennyiségben fordulnak elő, mint az É-i és K-i lejtőn.

- Az aggteleki dolina esetében ilyen egyértelmű különbség nem figyelhető meg a különböző kitettségű lejtők talajainak nehézfémtartalma között.
- A talajok a Cd és Ni tekintetében bizonyultak szennyezettnek, a többi vizsgált nehézfém esetében nem vagy csak elenyésző mértékben és számban fordul elő a szennyezettségi határérték túllépése.
- A kadmium-szennyezettség a bükki dolina déli és nyugati lejtőjén a szennyezettségi határértéket 7-10-szer haladja meg, de a keleti lejtőn és a dolina aljában is magasabb a Cd-tartalom a határértéknél. A Cd alig fixálódott a talajban, mobil állapotban fordul elő csaknem kizárólagosan, még a semleges kémhatású talajokban is. Ez arra hívja fel a figyelmünket, hogy ilyen jelentős nehézfémtartalmat már a jó pufferképességű talaj sem képes kötött állapotban tartani, hiába segítene ebben még az igen magas szervesanyag-tartalom is.
- A kadmium-szennyezettség kisebb mértékű az aggteleki dolinában, mint a bükkiben: a határérték 1,5-szeresét nem haladják meg az értékek. Az összes Cd mennyiségének 26-56 %-a van felvehető formában jelen a fenti, és 0-40 %-a a mélyebb talajrétegben, azaz a fixáció sikeresebb ezen dolina talajaiban, mint a bükkiében.
- A talajok nikkel-tartalma a szennyezettségi határérték maximum 1,5-szerese. A megfelelő fixáció miatt (kedvező pH és magas szervesanyag-tartalom) a felvehető Ni koncentrációja mindkét dolinában alacsony.
- A nehézfémek mélységbeli eloszlása különböző. A bükki dolina talajaiban az összfémtartalmak tekintetében a Zn, Cd, Pb és Cr többnyire a talajok felszíni rétegében található nagyobb mennyiségben, a Ni és Co a mélyebb rétegekben vesz fel kicsit magasabb értékeket. Ha a felvehető nehézfémtartalmakat tekintjük, akkor a Zn, Cd, Pb esetében a felszíni rétegben jellemzőbb a feldúsulás, míg a többi fém esetében az eloszlás nem egyértelműen határozható meg.
- Az aggteleki dolinában a királyvizes feltárással meghatározott nehézfémek mélységbeli eloszlása az Pb és a Co tekintetében mutat kis mértékű feldúsulást a felszíni talajrétegben, míg a többi nehézfém a mélyebb talajrétegben vesz fel a felszíninél kicsit magasabb értékeket. A felvehető nehézfémtartalmak tekintetében általában a felszínközeli rétegekben magasabb a nehézfémtartalom.
- A felvehető nehézfémtartalmakat az összes nehézfémtartalomhoz viszonyítva a következő mobilitási sorrendet lehetett felállítani a bükki dolinában: Cd > Pb > Co ~ Zn > Ni > Cr, azaz a króm a legjobban, a kadmium pedig a legkevésbé van fixálva a talajokban. Az aggteleki dolinában csupán egy kicsit módosul a sorrend: Cd > Pb > Co ~> Ni ~> Zn > Cr.

- A talaj és a növényzet nehézfémtartalma közti összefüggés vizsgálatára korrelációs analízist végeztünk. A korrelációt elvégeztük a talaj felső és alsó talajrétegére is, mind az összes, mind a felvehető nehézfémtartalom tekintetében. A korrelációs koefficiensek azonban az esetek túlnyomó többségében nem mutatnak összefüggést. Igen gyakori a negatív korrelációs együttható, azonban ezek abszolút értéke is igen alacsony. A várt pozitív korrelációt a talaj felvehető nehézfémtartalma és a növény nehézfémtartalma között mindössze az ólom és - csekélyebb mértékben ugyan - a nikkel mutatja, ám csak az aggteleki dolinában.
- Összefüggést kerestünk a talaj kémhatása és a növények nehézfémtartalma között is, de csak a bükki dolinában volt megfigyelhető, hogy amely talajokban alacsonyabb a kémhatás, ott a növényzet Ni-tartalma magasabb, ami összefüggésben áll a csökkenő kémhatás okozta nagyobb nehézfém-felvehetőséggel. Hasonlóan egyértelmű összefüggést a többi mintavételi helyen nem sikerült kimutatni.
- A korrelációs analízis világossá tette, hogy a különböző mintavételi helyek talajainak felvehető vagy összes nehézfémtartalma alapján nem lehet következtetéseket levonni az ezen mintavételi helyek növényzetének nehézfém-tartalmára.
- A mérések azonban hasznos információt szolgáltathatnak a karsztos területek lágyszárú vegetációjának átlagos nehézfémtartalmáról. A vizsgált nehézfémek közel azonos mennyiségben vannak jelen a két dolinában.

IRODALOM

A felszín alatti vizek minőségét érintő tevékenységekkel összefüggő egyes feladatokról szóló 33/2000. (II. 17.) Korm. rendelet. – Magyar Közlöny 2000/23. szám, p. 1078-1098.

A felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről szóló 10/2000. (VI.2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelete. - Magyar Közlöny 2000/53. szám, p. 3156-3167.

BACKER A.J..M. (1981): Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. – Journal of Plant Nutrition, 3 (1-4), p. 643-654.

BÁRÁNY-KEVEI, I. – MEZŐSI, G: (1999): The relationship between soil chemistry and the heavy metal content of the vegetation on karst. - Essays in the ecology and conservation of karst (edited by I. Bárány-Kevei - J. Gunn), Special Issue of Acta Geographica Szegediensis, Acta Geographica Tomus XXXVI, Szeged, 1999, p. 47-53.

BECK – BURGER – PFEFFER – TEICHMANN (1994): Laborskript – Ein Handbuch für die Benutzer des laboratorien der Physischen Geographie der Universität Tübingen, Tübingen

BRÜMMER G.W. - HORNBURG V. - HILLER D. A. (1991): Schwermetallbelastung von Böden. - Mitteilungen Dt. Bodenkundl. Gesellschaft 63, p. 31-42.

KABATA-PENDIAS A. - PENDIAS H. (1984).: Trace elements in soil and plants. - CRC Press, Boca Raton, 315p.

KÁDÁR I. (1995): Környezet- és Természetvédelmi Kutatások. – MTA Agrokémiai és Talajtani Kutató Intézet, Budapest, p. 138-139.

KEVEINÉ BÁRÁNY I. (1985): A karsztdolinák talajainak és növényzetének sajátosságai. - Földrajzi Értesítő XXXIV. 3. p. 195-207.

KEVEINÉ BÁRÁNY, I. (1987): Karsztfelszínek ökológiai adottságai, különös tekintettel a felszínt borító talajokra és a növényzetre. - Oktatási Intézmények Karszt- és Barlangkutató Tevékenységének II. Országos Tudományos Konferenciája, Szombathely, p. 31-36.

MERIAN E. (ed), (1984): Metalle in der Umwelt. - Verlag Chemie GmbH, Weinheim, Florida, Basel, 722 p.

ROWELL, D.L. (1994): Soil Science: Methods and Applications. – Longmann Group UK Limited, P350

SZABÓ L. - KEVEY B .- TÖLGYESI GY. (1985): Makro- és mikroelem akkumuláció és alig felhalmozó növényfajok a Mecsek gyertyánostölgyeseiben, különböző alapkőzeten. -Botanikai Közlemények, 72. 1-2 p. 77-88.

Talaj és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei. - (szerk. Buzás I.), Mezőgazdasági Kiadó Budapest, 1988. p. 243

ZÁMBÓ L. – TELBISZ T. (2000): A mikrobiális befolyásoltságú karsztkorrózió vizsgálata magyarországi karsztok talajaiból származó kismintákon. – Karsztfejlődés V. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p.21-39.

ZSENI A. – KEVEINÉ BÁRÁNY I. (2001): Talajtulajdonságok változása és jellemzői dolinákban. - A földrajz eredményei az új évezred küszöbén: A Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. Szeged, 2001. okt. 25-27. CD kiadvány: MFK2001.html