

NEHÉZFÉMVIZSGÁLATOK AZ AGGTELEKI KARSZT, A BÜKK-FENNSIK ÉS A NYUGAT-MECSEK KARSZTJÁNAK MINTATERÜLETÉN

ZSENI ANIKÓ

Bevezetés

Az ipari forradalom óta egyre növekvő mértékű a környezetünkre nehezedő nyomás, mivel számos forrásból egyre több szennyező anyag kerül a levegőbe, vízbe, talajba. Ezek közé a szennyező anyagok közé tartoznak a nehézfémek is. Nehézfémeknek az 5 g/cm^3 -nél nagyobb sűrűségű fémeket nevezik. Természetes források által is jelen vannak a geoszférákban, ám az idők folyamán egyre jelentősebb lett az antropogén eredet. A nehézfémek használata már igen korán, ötezer évvel ezelőtt elkezdődött, az ólom használatának elterjedésével. A nehézfémek felhasználási területe napjainkban természetesen sokkal szélesebb körű és változatosabb, így nagyon sokfajta tevékenység (ipar, közlekedés, mezőgazdaság) okoz szennyezést a hidropedo- és atmoszférában. Innen pedig továbbjuthatnak a növényzetbe, állatokba és az emberbe is.

A talajok nagyon jelentős szerepet töltenek be a nehézfém-szennyeződések mérséklésében, a nehézfémek tárolásában. A megfelelő pufferkapacitású talaj ugyanis képes a nehézfémeket kivonni a levegő-víz-talaj-élővilág körforgásból. Ez a hatás azonban csak időleges: a talaj tulajdonságaiban bekövetkező káros változások illetve a nehézfém-tartalom adott határon túli növekedése megnöveli a nehézfémek felvehetőségét.

A nehézfémek talajbeli mobilitását több tényező is befolyásolja. Az egyik legfontosabb a talaj kémhatása, amely elsősorban a nehézfémek oldhatóságára van hatással, valamint befolyásolja az agyagásványok és szerves anyagok adszorpciós képességét is. *Brümmer et al.* (1991) a következő mobilitási sorrendet állította fel a kémhatások viszonylatában: Cd: pH<6-6,5; Mn, Ni, Zn, Co pH<5,5; Al, Cu, Cr pH<4,5; Pb pH<4 esetében válik mobilabbá. Ebből is kitűnik, hogy az alacsonyabb kémhatás elősegíti a nehézfémek mobilitását, azaz talajoldatba kerülését.

A nehézfémek eloszlásában igen nagy szerepe van a talajok szervesanyag-tartalmának, elsősorban a különféle humuszanyagoknak. A szerves anyagok ugyanis fém-organikus komplexeket képeznek a nehézfémekkel, ezáltal növelik a nehézfémek fém-visszatartó képességét. A kadmium, ólom és cink különösen erős hajlamot mutat a fém-organikus komplexek képzésére. A szerves anyagban gazdag talajokban is mobilizálódást okoz azonban a kémhatás csökkenése: a kadmium és a cink kisebb mértékű pH-csökkenésre, az ólom nagyobb mértékű pH-csökkenésre válik mobilissá, amint az a Brümmer-féle mobilitási sorból is adódik (*Fisher, W. R.* 1987, *Nelson, W. O.–Campbell, P. G. C.* 1992).

A kémhatáson és szervesanyag-tartalmon kívül a fémek vízben való oldhatósága, kémiai alakja, a talaj típusa, a szénsavas mész- és nedvességtartalom, valamint a kationcserekapacitás is jelentős szerepet játszik a nehézfémek megkötődésében illetve mobilizálásában.

A környezeti változások – pl. talajok savanyodása, a szervesanyag-tartalom csökkenése – hatására a korábban kötött formában jelen lévő nehézfémek mobilizálódhatnak, azaz előidéződik az ún. kémiai időzített bomba effektus (*Csillag J. et. al.* 1994).

1. Vizsgálati módszerek

Munkám során a Bükk-fennsík és az Aggteleki-karsztvidék kb. 8-8 km²-nyi területének, valamint a Nyugat-Mecsek Orfűtől délre elhelyezkedő karsztos területének talajait vizsgálom. Az aggteleki és a bükki mintaterületek nemzeti parkokban találhatóak, a mecseki egy tervezett tájvédelmi körzet határain belül helyezkedik el. A talajmintákat különböző ökológiai adottságú területekről gyűjtöttük be. A Bükk-fennsíkon bükkerdő, büккеlegyes fenyőerdő, fenyőerdő, csemetéskert és nyílt rétek talajait mintáztuk meg, összesen 26 mintavételi helyen. Aggtelek és Jósvafő között tölgyerdő, elegendő bükkerdő, fenyőerdő, gabonatarló és nyílt rétek talajaiból gyűjtöttünk mintát, összesen 22 mintavételi helyen. A Nyugat-Mecsekben tölgyerdő, elegendő tölgyerdő, szurdokerdő és irtásrét talajait vizsgáltuk, összesen 10 mintavételi helyen. A talajokat 40 cm-es mélységig, 10 cm-enként mintáztuk meg. Ahol kisebb mélységben elértük az alapkőzetet, illetve a nagyon magas kőzettartalom akadályozta a mélyebbre ásást, ott természetesen nem történt meg 40 cm-es mélységig a vizsgálat.

A talajok nehézfém tartalmának meghatározására kétféle feltárással történt. A kétféle módszert az indokolta, hogy a nehézfémek a talajokban különböző formákban (különböző erősségű kötéseken) vannak jelen, és szükségesnek tartottam mind a talajban jelenlévő összes, mind a mobil, növények számára felvehető nehézfém tartalom ismeretét. A királyvízzel végzett feltárás a talajban jelenlévő nehézfémek összmenyiségének meghatározására szolgál. A Lakanen–Erviö-módszerrel a növények számára felvehető, azaz könnyen mobilizálható állapotban jelen lévő nehézfém tartalom mérhető meg. A vizsgálatok során a talajok Zn, Cd, Pb, Ni, Co és Cr-tartalmát határoztam meg, atomabszorpciós spektrofotométer használatával.

A nehézfémekkel kapcsolatos vizsgálatok során természetesen szükségünk van a talajok alapvizsgálatai adatainak megismerésére is. Ennek során a talajok kémhatását, szénsavas méz- és szervesanyag-tartalmát mértem meg.

Az eredmények értékelése során megvizsgáltam az összes és a felvehető nehézfém tartalmak mennyiségeit a határértékhez viszonyítva (*1. táblázat*). Kiszámoltam a fő növényzeti típusok talajaiban mért összes és felvehető nehézfém tartalmak átlagait, mind a felső, mind az alsó talajrétegre vonatkozóan. Mind az összes, mind a felvehető nehézfém tartalmak esetében kiszámoltam a felső és alsó talajréteg fémtartalmának hányadosait, hogy értékelni tudjam a nehézfémek mélységbeli eloszlásának jellemzőit. A fő növényzeti típusok esetében kiszámoltam ezen értékek átlagát is.

1. táblázat

A Magyarországon érvényes határértékek a vizsgált nehézfémekre vonatkozóan
(forrás: Magyar Közlöny, 2000)

Elem	Háttér-koncentráció	Szennyezettségi határérték	Intézkedési szennyezettségi határérték
Zn	100	200	500
Cd	0,5	1	2
Pb	25	100	150
Ni	25	40	150
Co	15	30	100
Cr	30	75	150

A vizsgálódásom következő tárgya az volt, hogy az illető nehézfém felvehető formája milyen arányban részesedik az illető nehézfém összes mennyiségéből. Ehhez kiszámoltam a felvehető és az összes nehézfém hányadosát, és százalékban adtam meg az értékeket (F/Ö %-nak jelölöm a továbbiakban). Az F/Ö %-okat kiszámoltam a felső és alsó talajrétegekre és a

kettőre együtt is. Az F/Ö %-ok átlagainak ismeretében megadtam a nehézfémek mobilitási sorrendjét az egyes területeken. A mobilitási sorrend felállításakor az összes talajminta (felső és alsó talajréteg egyaránt) adott nehézfémre vonatkozó F/Ö %-át vettem figyelembe. Külön-külön az egyes fő növényzeti típusok esetén is felállítottam a mobilitási sorrendet a felső és alsó talajrétegre is.

Az egyes nehézfémek mennyisége és a talaj kémhatása illetve szervesanyag-tartalma közötti kapcsolatot korrelációs analízis segítségével számszerűsítettem.

2. Az eredmények értékelése

A három mintaterület nehézfémtartalmainak összehasonlítása alapján (2., 3., 4. táblázat) a mecseki talajoknak a legalacsonyabb a nehézfém-tartalma, minden vizsgált nehézfém tekintetében. (A 2. és 3. táblázatban az „összes fent” és az „összes lent” az összes vizsgált talajminta felső ill. alsó talajrétegében mért értékek átlagait jelenti, azaz nem csupán a fő növényzeti típusokét. A „totál” a gyűjtött összes – felső és alsó talajrétegből származó egyaránt – talajminta mért értékeinek átlagát adja meg.) A mecseki talajokban csupán a nikkeltartalma haladja meg a szennyezettségi határértéket. Az aggteleki és a bükk-i talajok viszonylatában jelentősebb mennyiségi eltérés a Cd, Co és a Cr esetében tapasztalható: a Cd a bükk-i, a Co és a Cr az aggteleki minták talajában van jelen nagyobb mennyiségben a másik mintaterülethez viszonyítva.

2. táblázat

A talajok összes (Ö) és felvehető (F) nehézfém-tartalmának átlagai, növényzeti típusok szerint, Aggteleki-karszt

	Zn ppm		Cd ppm		Pb ppm		Ni ppm		Co ppm		Cr ppm	
	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F
tölgy fent	102,4	10,1	0,99	0,61	57,8	18,0	53,6	3,8	16,5	4,8	48,4	0,3
tölgy lent	114,2	5,4	0,70	0,41	49,8	13,6	56,9	3,9	16,0	4,9	61,5	0,1
rét fent	96,9	7,6	1,07	0,49	54,4	12,0	52,6	3,1	18,9	5,3	59,9	0,1
rét lent	74,0	3,2	0,43	0,34	49,5	11,1	52,8	2,8	19,7	6,6	78,4	0,1
összes fent	98,9	9,6	0,93	0,53	54,5	15,9	52,2	3,6	16,6	4,8	47,2	0,2
összes lent	100,6	4,7	0,56	0,34	47,2	12,2	53,9	3,4	16,7	5,3	59,6	0,1
totál	99,8	7,2	0,75	0,44	50,9	14,1	53,1	3,5	16,7	5,1	53,4	0,2

3. táblázat

A talajok összes (Ö) és felvehető (F) nehézfém-tartalmának átlagai, növényzeti típusok szerint, Bükk-fennsík

	Zn ppm		Cd ppm		Pb ppm		Ni ppm		Co ppm		Cr ppm	
	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F
bükk fent	123,7	25,9	2,23	1,67	66,9	34,5	48,4	2,2	11,4	2,4	42,9	0,2
bükk lent	111,4	8,7	2,17	1,33	44,8	18,3	58,8	2,5	12,3	2,1	50,7	0,2
fenyő fent	92,3	10,2	0,95	0,64	42,3	19,6	49,3	1,7	9,5	1,6	30,5	0,2
fenyő lent	79,3	3,0	0,90	0,43	29,4	9,6	54,9	3,1	9,4	0,6	23,2	0,1
rét fent	84,8	8,0	1,15	0,79	42,3	19,6	45,5	1,1	10,0	1,6	25,0	0,4
rét lent	75,1	2,4	0,76	0,33	34,8	10,9	54,4	0,6	10,9	0,8	26,7	0,3
összes fent	106,8	17,6	1,60	1,17	55,6	27,4	47,0	1,8	10,7	2,1	34,7	0,3
összes lent	96,0	5,6	1,52	0,87	39,7	14,6	56,6	2,2	11,4	1,4	37,8	0,2
totál	101,4	11,6	1,56	1,02	47,7	21,0	51,8	2,0	11,1	1,8	36,3	0,3

A talajok összes (Ö) és felvehető (F) nehézfém tartalmának átlagai, Mecsek

	Zn ppm		Cd ppm		Pb ppm		Ni ppm		Co ppm		Cr ppm	
	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F
összes fent	79,2	8,0	0,1	0,3	28,8	9,9	46,2	3,0	9,1	2,0	12,7	0,2
összes lent	71,4	5,1	0,1	0,2	23,6	6,3	46,8	2,8	9,1	1,7	9,0	0,1
totál	75,3	6,5	0,1	0,2	26,2	8,1	46,5	2,9	9,1	1,9	10,9	0,2

Az aggteleki terület fő növényzeti típusait hordozó talajok nehézfém tartalmának értékelése során megállapítható, hogy az összes Cd, Pb és Ni esetében az átlagértékeket tekintve közel hasonló koncentrációkban vannak jelen e nehézfémek a tölgyesek és a rétek talajaiban. Az összes Co és Cr, valamint a felvehető Co mennyisége kicsit magasabb a rétek talajaiban, mint a tölgyesekében. A tölgyesek talajainak viszont átlagosan magasabb az összes Zn, valamint a felvehető Zn, Cd, Pb, Ni és Cr tartalma.

A Bükk-fennsíkon végzett kutatások alapján a bükkerdők taljai összes nehézfém tartalmának átlaga minden vizsgált nehézfém esetében meghaladja a fenyvesek és a rétek talajainak összes nehézfém tartalmát. A felvehető nehézfémek esetében a Ni és Cr kivételével (amelyeknél nincs jelentős eltérés a növényzeti típusok szerint) szintén a bükkerdők talajait jellemzik a legmagasabb értékek.

A mecseki mérési eredményeket nem a növényzeti típusok szerint elemeztem. Ott három lejtő mentén történt a mintavétel, és a nehézfémek lejtőmenti eloszlása volt az értékelés tárgya. A területi korlátok miatt azonban ezen eredmények bemutatására nem térek ki.

Az aggteleki talajok Zn-, Pb- és Co-tartalma nem haladja meg a szennyezettségi határértékeket. A Cd, Ni és Cr esetében azonban előfordulnak határérték-túllépések, amelyek nem jelentősek, de védett területek talajairól van szó, s ez mindenképpen indokolttá teszi a figyelem felhívását.

A bükk-fennsíki talajok nehézfém-terhelése nem jelentős a Zn-, Pb-, Co- és Cr-tartalom tekintetében: a szennyezettségi határértékeket nem haladják meg, csupán az ólom esetében, két mintavételi helyen. A Cd- és Ni-tartalom viszont a minták többségében határérték feletti.

A határérték feletti mennyiségben jelen lévő nehézfémek közül a kadmium a legveszélyesebb, mivel ez a legmobilabb nehézfém a vizsgáltak közül: már 6-6,5 pH alatt mobilá válik. Ha megvizsgáljuk a szennyezettnek tekinthető talajokban a kémhatást is, akkor arra a következtetésre juthatunk, hogy főként a felső, alacsonyabb kémhatású (pH<6,5) talajrétegekben lehet gond a Cd megfelelő fixációja. De nem lehetünk biztosak abban, hogy az alsóbb, magasabb kémhatású talajrétegekben a határértéket esetenként 1,5-3-szor meghaladó Cd-tartalmak megkötésére képes a talaj. Ezt igazolják a felvehető Cd-tartalmak mennyiségei. A Bükk-fennsíkon szinte minden talajmintában meghaladja az összes Cd mennyisége a szennyezettségi határértéket. A talaj-pH>6,5 esetekben mindössze 4 talajmintában csökkent le a felvehető Cd mennyisége a határérték alá, 11 esetben azonban hiába csökkent valamelyest a felvehető Cd mennyisége az összmennyiséghez képest, így is határérték feletti. 12 mintavételi helyen összesen 20 talajmintájában haladja meg a felvehető Cd-tartalom a szennyezettségi határértéket. Azaz még a magas, semleges körüli kémhatással és az igen magas szervesanyag-tartalommal rendelkező talajok sem képesek minden esetben megfelelően fixálni, kötött állapotban tartani a kadmiumot a talajokban. Az aggteleki területen kedvezőbb a helyzet, ott 6 mintavételi helyen, 9 talajmintában haladja meg a Cd összes mennyisége a szennyezettségi határértéket. Közülük öt mintában lépi túl a növények számára felvehető Cd-tartalom is a szennyezettségi határértéket.

A nikkeltartalma mindhárom mintaterület talajaiban határérték feletti. Mivel a Ni 5,5-nél alacsonyabb pH-nál válik mobilabbá, ezért a talaj kémhatása a fixálás szempontjából

megfelelőbb, mint a Cd esetében. A felvehető nikkeltartalom mindhárom mintaterületen megnyugtatóan alacsony. Ez arra enged következtetni, hogy a talajok magas szervesanyag-tartalma kedvezően hat a nehézfém-megkötő képességre, a savas kémhatású talajokban is.

A króm csak az aggteleki talajokban fordul elő a szennyezettségi határérték feletti mennyiségben. Mivel a Cr pH<4,5 esetén válik mobilabbá, így két talajminta kivételével a talajok számára a kémhatás szempontjából megfelelő pufferkapacitású környezet áll rendelkezésre. A növények számára felvehető Cr-tartalom rendkívül alacsony, csupán 0,1-0,3 ppm körüli.

Az aggteleki talajmintákban a Cd és Pb a felsőbb talajrétegekben dúsul elsősorban, míg a Cr döntően az alsóbb talajrétegekben fordul elő nagyobb mennyiségben. A Zn, Ni és a Co szelvénybeli eloszlása nem mutat egyértelmű tendenciát. A bükki talajokban Zn, Cd és Pb a felsőbb talajrétegekben dúsul elsősorban, míg a Ni és Cr döntően az alsóbb talajrétegekben fordul elő nagyobb mennyiségben. A Co nem mutat túl jelentős eltérést a szelvénybeli eloszlásban. A mecseki talajminták esetében a Zn, Cd és Pb jellemzőbben fent dúsul, míg a Ni, Co és Cr nem mutat jellegzetes eloszlást a szelvényben. A Cd, Pb és Zn jellegzetes felszíni feldúsulása összhangban van azzal, hogy ezen fémek eloszlását a talajokban leginkább a szerves anyagokhoz való erős kötődésük határozza meg, így a felső, szerves anyagban gazdagabb talajrétegben találhatóak meg nagyobb mennyiségben.

Az összes vizsgált nehézfémet tekintve mindhárom területen a Cd fordul elő legmagasabb arányban felvehető formában a talajokban (5., 6., 7. táblázat).

5. táblázat

Az F/Ö%-ok átlaga növényzeti típusok szerint, Aggteleki-karszt

	F/Ö %-ok átlaga a felső, alsó és teljes talajszelvényben								
	Zn			Cd			Pb		
	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz
tölgyes	10,2	5,5	7,8	106,4!	57,7	86,5!	31,1	26,3	28,7
rét	7,8	4,8	6,6	44,2	56,2	49,2	22,2	23,3	22,5
összes	10,0	5,3	7,7	87,1!	54,0	72,6!	29,2	25,4	27,2

	F/Ö %-ok átlaga a felső, alsó és teljes talajszelvényben								
	Ni			Co			Cr		
	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz
tölgyes	7,5	7,2	7,3	30,3	30,5	30,4	0,6	0,2	0,4
rét	5,8	5,5	5,5	28,4	35,4	31,5	0,2	0,1	0,2
összes	7,3	6,7	6,9	30,3	32,1	31,2	0,5	0,2	0,3

6. táblázat

Az F/Ö%-ok átlaga növényzeti típusok szerint, Bükk-fennsík

	F/Ö %-ok átlaga a felső, alsó és teljes talajszelvényben								
	Zn			Cd			Pb		
	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz
bükkös	17,5	7,1	12,3	75,5	56,4	65,9	49,1	39,1	44,1
fenyves	10,2	3,8	7,0	69,4	48,3	58,8	45,4	32,8	39,1
rét	9,3	3,4	6,3	70,1	49,5	59,8	46,5	33,6	40,1
összes	14,1	5,2	9,6	73,2	53,0	63,1	47,6	35,9	41,8

	F/Ö %-ok átlaga a felső, alsó és teljes talajszelvényben								
	Ni			Co			Cr		
	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz
bükkös	4,6	4,1	4,4	22,2	16,4	19,3	0,6	0,4	0,5
fenyves	3,5	5,3	4,4	17,5	6,3	11,9	0,5	0,3	0,4
rét	2,7	1,2	1,9	17,0	6,8	11,9	1,9	1,8	1,8
összes	4,1	3,7	3,9	20,1	11,3	15,7	1,0	0,7	0,8

Az F/Ö%-ok átlaga, Mecsek

F/Ö %-ok átlaga a felső, alsó és teljes talajrétegben								
Zn			Cd			Pb		
fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz
8,5	6,1	7,3	!	!	!	34,3	26,8	30,6
Ni			Co			Cr		
fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz
5,8	5,7	5,8	22,2	18,5	20,4	4,1	1,8	3,0

(A mecseki talajok Cd-mérési eredményei meglepőek: a felvehető nehézfém-tartalom minden talajminta esetében magasabb, mint a királyvizes feltárással kapott összes Cd-tartalom. Ennek több, elsősorban mérés-technikai oka lehet. Mivel azonban minden talajmintában határérték alattiak a Cd-tartalmak (a maximális érték 0,73 ppm), valamint a Cd igen magas arányban fordul elő felvehető formában a talajban, ezért ez a mérési hiba nem okoz nagy gondot, csupán az elemzést nehezíti meg. Hasonló eredmények születtek néhány aggteleki tölgyes talajában is. Emiatt az 5. és 7. táblázatban a Cd-hoz tartozó értékek helyenként nem, vagy felkiáltójellel lettek feltüntetve.)

A felvehető nehézfémek mennyiségének az összes nehézfém mennyiségéből való százalékos részesedése alapján meghatároztam a nehézfémek mobilitási sorrendjét:

Az aggteleki talajminták esetében: Cd >> Co > Pb >> Zn > Ni >> Cr.

A bükki talajminták esetében: Cd >> Pb >> Co > Zn > Ni >> Cr.

A mecseki talajminták esetében: Cd >> Pb > Co >> Zn > Ni > Cr.

Azaz a talajokban a króm van legjobban fixálva, és a Cd található a legmobilabb állapotban. Az egyes mintavételi helyeken a mobilitási sorrendekben csupán az ólom és a kobalt esetében fordul elő helycsere.

A nehézfémek vizsgálata során fontos lépést jelentett a talajok kémhatásának és szervesanyag-tartalmának a nehézfémek mobilitására gyakorolt hatásának kiderítése. Ennek számszerűsíthető kifejezésére korrelációs analíziseket végeztem. A bevezetőben említettek alapján azt várnánk, hogy mind a kémhatás, mind a szervesanyag-tartalom pozitív korrelációt mutat a nehézfémek összes mennyiségével, míg a nehézfémek felvehető mennyiségével és az F/Ö %-kal negatív a korreláció. A korrelációs koefficiens magas, 1-hez közeli pozitív értéke ugyanis jelen esetben azt jelenti, hogy a nehézfém mennyisége a pH és a szervesanyag-tartalom növekedésével nő, vagyis a magasabb pH-jú és szervesanyag-tartalmú talajokban több nehézfém található. Ezt az összefüggést várhatjuk a nehézfémek összes mennyiségére. Ha a korrelációs koefficiens értéke negatív, de az abszolút értéke magas, akkor ez azt jelenti, hogy a kémhatás és a szervesanyag-tartalom csökkenésével nő az illető nehézfém mennyisége a talajban. Ezt az összefüggést várhatjuk a felvehető formában jelen lévő nehézfémek mennyiségére és a felvehető nehézfém mennyiségének az összes nehézfém mennyiségéből való %-os részesedésére (F/Ö %). Annak, hogy – mint látni fogjuk – ezen elméleti megfontolásoknak nem minden esetben tesznek eleget a talajok, több oka is van. Egyrészt sosem szabad szem előtt téveszteni, hogy minden egyes nehézfém összes ill. felvehető formában előforduló mennyiségére nem csupán egy, hanem több talajtényező is hatással van. Szintén befolyásolhatja a kémhatás és a szervesanyag-tartalom hatását az illető nehézfém összmennyisége: a nagyobb mennyiségben jelen lévő nehézfém több esetben nagyobb mennyiségű felvehető nehézfém-tartalommal járt együtt, függetlenül a fenti talajparaméterektől. Számos adatsort vettem vizsgálat alá, így mindegyik nehézfém esetén 7 db korrelációs koefficiens-t kaptam, mindhárom mintaterületen:

- az összes nehézfém-tartalom és a pH(H₂O);
- az összes nehézfém-tartalom és a szervesanyag-tartalom;
- a felvehető nehézfém-tartalom és a pH(H₂O);
- a felvehető nehézfém-tartalom és a szervesanyag-tartalom;
- az F/Ö% és a pH(H₂O);
- az F/Ö % és a szervesanyag-tartalom és
- az összes és a felvehető nehézfém-tartalom

adatsorai közti vizsgálatok eredményeképpen.

A korrelációs koefficienseket a 8. táblázat tartalmazza (n: az adatok száma). Szignifikancia-szintnek a $t_{0,01}$, azaz 99%-os szignifikanciát választottam. A táblázatokban a kritikus korrelációs együttható (a korrelációs együtthatónak az a kritikus értéke, amelyet ha meghalad az adott mintaszámmal elvégzett korrelációs vizsgálat, akkor a 0-hipotézis elvethető, azaz a két mennyiség közti korreláció szignifikáns 99%-os szinten) feletti értékeket megvastagítottam.

A talajok nehézfém-tartalmának kémhatással való kapcsolatát gyakorlatilag mindegyik nehézfém esetén sikerült kimutatni, de nem mindegyik mintaterületen. A Cr és a Ni az, amelyik mindhárom területen szignifikáns kapcsolatban áll a talajok kémhatásával. A felvehető Cr és a Cr F/Ö% az elméleti megfontolásoknak megfelelő negatív korrelációt jelez, a többi esetben pozitív a korreláció. A legtöbb szignifikáns kapcsolatot a mecseki, a legkevésbé az aggteleki talajok esetében sikerült kimutatni.

A szervesanyag-tartalom és a nehézfém-tartalom között is kimutatható a szoros pozitív korreláció, ám az aggteleki talajoknál csak a Cd, míg a bükki és mecseki talajoknál a Cr kivételével mindegyik vizsgált nehézfém mutat valamilyen formájában (összes, felvehető vagy F/Ö%) összefüggést a szervesanyag-tartalommal. A várttal ellentétben nem az összes, hanem a felvehető nehézfém-tartalom mutat szorosabb korrelációt a szervesanyag-tartalommal.

A Zn, Cd és Pb (felvehető és összes) a szervesanyag-tartalommal van szorosabb kapcsolatban, míg a Ni és a Cr a kémhatással mutat szorosabb összefüggést. A Co esete kevésbé értékelhető egyértelműen.

Mindhárom mintavételi hely adatait együtt vizsgálva az állapítható meg, hogy a Zn, Cd és Pb felvehető formában jelen lévő mennyiségéért elsősorban az illető összes nehézfém-tartalom a felelős (ez esetben a legmagasabb a korrelációs koefficiens), a felvehető formában jelen lévő Ni és Cr mennyisége a kémhatás, a felvehető formában jelen lévő Co mennyisége pedig elsősorban a szerves anyag mennyisége által meghatározott.

A nehézfémek és a kémhatás, valamint a szervesanyag-tartalom közötti korrelációs együtthatók

	Korrelációs koeficiensek								
	Aggtelek			Bükk			Mecsek		
	pH n=44	szerv.a. n=44	felv. n=44	PH n=52	szerv.a. n=49	felvehető n=52	pH n=20	szerv.a. n=20	felvehető n=20
összes	-0,0080	0,1795	0,2456	0,2511	0,4484	0,7422	0,5855	0,6955	0,9320
Zn felvehető	0,0391	0,2253		-0,1399	0,7825		0,5324	0,7849	
F/Ö%	0,0449	0,0873		-0,2997	0,8406		0,4931	0,8442	
összes	0,0060	0,4182	0,7215	0,3793	0,3257	0,9477	0,6271	0,7556	0,8917
Cd felvehető	0,0295	0,5869		0,2479	0,5057		0,5621	0,8324	
F/Ö%	0,1503	0,0931		-0,3054	0,6424				
összes	-0,2080	0,3612	0,7772	-0,0169	0,6578	0,9324	0,6344	0,8349	0,9455
Pb felvehető	0,0117	0,2493		-0,1770	0,8222		0,4065	0,8697	
F/Ö%	0,2644	0,1209		-0,4508	0,6792		-0,5281	0,3736	
összes	-0,0576	0,0123	0,0446	0,7988	-0,2241	0,3532	0,7845	0,0707	0,8405
Ni felvehető	0,4007	0,0973		0,4520	0,2771		0,9146	0,4415	
F/Ö%	0,4239	0,0478		0,1820	0,4452		0,8971	0,6058	
összes	-0,2942	-0,1517	0,2416	0,3351	0,1026	0,4410	0,2354	0,3504	0,5089
Co felvehető	0,3337	-0,2802		0,0663	0,5729		0,4694	0,5948	
F/Ö%	0,4789	-0,1657		-0,1655	0,6652		0,4694	0,5945	
összes	-0,1990	-0,0090	0,2580	0,3818	0,0479	-0,1359	0,6690	0,4723	-0,4773
Cr felvehető	-0,5451	0,1875		-0,4364	0,2863		-0,7264	-0,2430	
F/Ö%	-0,4190	0,1441		-0,5228	0,1961		-0,7015	-0,2096	

Összegzés

Dolgozatomban Magyarország három nyíltkarsztos területén vizsgáltam meg a talajok nehézfém-tartalmát. A mérési eredmények alapján a mecseki talajok terhelése a legkisebb. Itt csak a nikkeltartalma haladja meg a szennyezettségi határértéket. Az ország két északkeleti karsztos területének talajaiban a Cd, Ni és Cr esetében fordulnak elő határérték túllépések. Ezek esetenként nem jelentősek, de mivel védett területek talajairól van szó, így mindenképpen indokolt a figyelem felhívása.

Megvizsgáltam a nehézfémek talajszelvénybeli eloszlását: a Cd, Pb és Zn jellegzetes felszíni feldúsulása összhangban van azzal, hogy ezen fémek eloszlását a talajokban leginkább a szerves anyagokhoz való erős kötődésük határozza meg, így a felső, szerves anyagban gazdagabb talajrétegben fordulnak elő nagyobb mennyiségben. A Cr jellemzőbben az alsó talajrétegben dúsul, a Ni és a Co eloszlása nem követ egyértelmű tendenciát.

Felállítottam a nehézfémek mobilitási sorrendjét annak alapján, hogy az illető nehézfém felvehető formája milyen arányban részesedik az illető nehézfém összes mennyiségéből: Cd > Pb >> Co > Zn > Ni > Cr. A króm igen erősen fixált a talajokban, míg a Cd 60-100 %-a felvehető formában van jelen.

Az egyes nehézfémek mennyisége és a talaj kémhatása illetve szervesanyag-tartalma közötti kapcsolatot korrelációs analízis segítségével értékeltem. A korrelációs együtthatók alapján a Zn, Cd és Pb felvehető formában jelen lévő mennyiségét elsősorban az illető összes nehézfém-tartalom határozza meg, a felvehető formában jelen lévő Ni és Cr mennyiségében a kémhatás, a felvehető formában jelen lévő Co mennyiségében pedig elsősorban a szervesanyag-tartalom mennyisége a meghatározó.

IRODALOM

- 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. pp. 3156-3167.
- Brümmer, G. W.–Hornburg, V.–Hiller, D. A.** 1991: Schwermetallbelastung von Böden. – Mitteilungen Dt. Bodenkundl. Gesellschaft 63. pp. 31-42.
- Csillag, J. et al.** 1994: Study of heavy metal overloading of soils in a model experiment. – Agrokémia és Talajtan, 43. 1-2. pp. 196-210.
- Fischer, W. R.** 1997: Das Verhalten von Spurenelementen im Boden. – Naturwissenschaften, 74. 2. pp. 63-70. In: Műszaki Inf. Környezetvédelem, 4. pp. 50-54.
- Nelson, W. O.–Campbell, P. G. C.** 1992: The effects of acidification on the geochemistry of Al, Cd, Pb and Hg in freshwater environments: literature review. – Environmental Pollution, 71. 2-4. pp. 91-130. In: Műszaki Inf. Környezetvédelem, 4. pp. 7-28.