

**KARSZTOS MINTATERÜLETEK TALAJAINAK KICSERÉLHETŐ
KATIONTARTALMA ÉS NEHÉZFÉMTERHELÉSE**

ZSENI ANIKÓ

Széchenyi István Egyetem, Környezetmérnöki Tanszék
9026 Győr, Egyetem tér 1. zseniani@sze.hu

Abstract: The dissertation evaluates the nutrient and heavy metal content of soils of three Hungarian karst areas (Aggtelek Karst, Bükk Plateau and Western Mecsek). The aim of the research was state-assessment, the qualification of present state for giving information to the practical experts for formation of the future treatment and landscape utilisation. As the measurements show, the differences in the quantity of plant available nutrients are affected not only by the differences of soil types, but by the differences in geographical position (difference in climate, parent rock etc.). The vegetation has also an effect on the nutrient content of soils: available nutrient content is higher in the soils of forests than in soils of meadows. The examinations of heavy metals have shown the smallest loading in the soils of Mecsek: the heavy metal content of soils does not exceed contamination limit values. In the soils of the north-eastern karstic areas of the country in the case of Cd and Cr there are excesses of limit values; these are not significant ones but these soils belong to protected areas so the phenomenon has to be indicated. In case of chromium only a very small percentage of it is in available form in the soils so these metals do not pose hazard to the karst water and the plant-animal-human food chain. However, Cd is present mainly in mobile, available form in soils so it poses real hazard to the karst water and the plant-animal-human food chain, too.

1. Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben a karsztos területeken folyó kutatások a karsztot érő környezeti hatások kutatása és a karsztnak, mint ökológiai rendszernek a kutatása irányába fordultak. A karsztökológiai rendszerben a talajok igen fontos szerepet töltenek be szűrő-, puffer- és transzformátor képességükön keresztül. Amellett, hogy a talajon keresztül szivárgó víz befolyásolja a karsztkorrózió intenzitását, a megfelelő talaj tartósan vagy legalább időszakosan semlegesítheti azokat a kedvezőtlen környezeti hatásokat, amelyek a karsztok 3 dimenziós érzékeny rendszerében hamar érvényre juthatnak (ZÁMBÓ 1986, BÁRÁNY-KEVEI 1992, 1995, 1998).

A nemzetközi és hazai szakirodalomban szép számmal találkozunk olyan munkákkal, amelyek a karsztokon kialakult talajok vizsgálataival foglalkoznak. A vizsgálatok jelentős része azonban arra irányul, hogy milyen szerepet tölt be a talaj a karsztos formakincs kialakításában és fejlődésében. Csupán néhány kutató foglalkozik a karsztos talajok és a területhasználat kapcsolatának vizsgálatával, és ezek közül elenyésző az, amely a karsztos talajok tápanyagtartalmára vonatkozóan konkrét adatokkal is szolgál.

A karsztok rendszerében lejátszódó folyamatokon belül a talajok tápanyag-gazdálkodása, tápanyag-ellátottsága az egyik fontos indikátora a környezet hatására végbement változásoknak. Az antropogén tevékenységből, ülepedésből származó anyagok, de a talajerózió is a felszínhez közeli, tápanyagokban gazdagabb talajszint károsodását eredményezi. Az egyébként nagyon kiterjedt tápanyag-gazdálkodással foglalkozó szakirodalomban igen kevés a karsztok talajaira vonatkozó. A talajokat érő káros - napjainkban egyre inkább a figyelem középpontjába kerülő - környezeti hatások egyike a talajok nehézfémekkel való szennyeződése. A nehézfémekkel kapcsolatban egyre több publikáció jelenik meg, ám ezek közül igen kevés az, amelyik szennyezetlen vagy kismértékben szennyezett területeken zajló kutatásokról számol be. Egyre inkább szükséges, hogy ezekről a területekről is elegendő információkkal rendelkezünk, hiszen a szennyezés mértékét csak háttérkoncentrációk ismeretében lehet megállapítani. A karsztos területeken - különösen a nyílt karsztokon - a rendszer érzékenysége miatt is fontosak a nehézfémvizsgálatok.

A dolgozat a fentiek alapján három hazai karsztos mintaterület (az Aggteleki Karszt Aggtelek és Jósvafő között elterülő része és a Bükk-fennsík kb. 8-8 km²-nyi területe, valamint a Nyugat-Mecsek Orfűtől délre eső karsztos területe) talajainak tápanyag- és nehézfém-tartalmát és -eloszlását értékeli. A kutatás célja az állapotfelvétel, a jelenlegi állapot minősítése, és ezáltal információk biztosítása a gyakorlati szakemberek számára a jövőbeni kezelés és tájhasznosítás szempontjainak kialakításához, a változások nyomon követéséhez. Egyidejűleg azt is vizsgáltuk, hogy hogyan befolyásolja a növényborítottság a vizsgált talajparaméterek alakulását. Az adatgyűjtést és feldolgozást az alábbi módszerekkel végeztük:

- a kijelölt mintaterületeken a különböző ökológiai adottságú területekről talajmintákat gyűjtöttünk, a mintagyűjtés helyén a felszínt borító növényzet fajlistáit felvételeztük,
- a begyűjtött talajmintákat laboratóriumban elemeztük pH(H₂O), pH(KCl), szénsavas mész tartalomra, szervesanyag-tartalomra, a növények számára felvehető Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺-tartalomra, a növények számára felvehető és az összes Zn, Cd, Pb, Co és Cr-tartalomra vonatkozóan,
- összehasonlítottuk a különböző mintaterületek talajainak kémhatásában, szénsavas mész és szervesanyag-tartalmában, a növények számára felvehető kalcium-, magnézium-, kálium- és nátriumtartalmában, S-értékében és nehézfém-tartalmában fennálló különbségeket,
- megvizsgáltuk az összefüggést a talajok tápanyagtartalma és a területet borító növényzet között,

- korrelációs analízist végeztünk (99 %-os szignifikancia szinten) a talajok felvehető kalcium-, magnézium- és káliumtartalma közötti összefüggések kiderítésére, valamint megvizsgáltuk, hogy hogyan hat a talajok kémhatása és szervesanyag-tartalma a felvehető kationok és a nehézfémek mennyiségére,

- összehasonlítottuk a királyvizes feltárással (összes nehézfém-tartalom) és a Lakanen-Erviö módszerrel kapott (növények számára felvehető) nehézfém-tartalmakat, és az eredmények alapján mobilitási sorrendet állítottunk fel a vizsgált nehézfémekre.

A közölt eredmények összefoglaló jellegűek, a részeredmények részletes ismertetése több korábbi cikkben fellelhető (ZSENI 1999, 2000 a, b, c, 2001 a, b, 2003).

2. Vizsgálati módszerek

A talajmintákat különböző ökológiai adottságú területekről (bükkerdők, tölgyerdők, fenyvesek, elegyes erdők, rétek) gyűjtöttük be (1., 2. 3. melléklet). A talajokat 40 cm-es mélységig, 10 cm-enként mintáztuk meg. A hol kisebb mélységben elértük az alapkőzetet, illetve a nagyon magas kőzettartalom akadályozta a mélyebb mintavételt, ott természetesen kevesebb mintát gyűjtöttünk. 58 mintavételi helyen összesen 266 db talajminta felvételére került sor. A mintagyűjtéseket 1998 nyár elején (aggteleki 1-16. mintavételi hely és Bükk-fennsíki 1-16. m. h.), valamint 2000 nyár elején (aggteleki 17-22. m. h., Bükk-fennsíki 17-26. m. h. és mecseki 1-10. m. h.) végeztük el.

Az aggteleki karsztos mintaterületen vörösayagos talajokat és barna rendzinákat, a nem-karsztos területen (pliocén üledék) barna erdőtalajokat mintáztunk meg (1. melléklet). BECK-BORGER (2000) szerint a rendzina talajok csak kinézetükben rendzinák, valójában azonban az egész területre jellemző allochton üledékeken keletkezett terra fuscák az idők során csonkolódott maradványai). A vizsgált Bükk-fennsíki talajok többsége rendzina talaj (mészke alapkőzet) ill. köves-sziklás váztalaj, elvértve agyagbemosódásos barna erdőtalaj (2. melléklet). A mecseki mintaterületen barna rendzinák (mészke alapkőzet) és agyagbemosódásos barna erdőtalajok (a mészkevet borító kilúgozott mésztelen lösz alapkőzet) vizsgálatára került sor (3. melléklet).

A kémhatás meghatározása elektrometriásan, digitális pH-mérővel történt, 1:2,5-ös arányú talaj-desztillált víz, illetve talaj-1 mol/dm³-es KCl szuszpenzióban (BUZÁS 1988). A szénsavas mész tartalmat Scheibler-féle kalciméterrel mértük (BUZÁS 1988). A talajok szervesanyag-tartalmát kálium-dikromátos oxidáció után spektrofotométerrel határoztuk meg (BECK et

al. 1994). A növények számára felvehető kálium, kalcium és magnézium vizsgálatát ammónium-acetátos módszerrel végeztük el (BUZÁS 1988). A leszorított K^+ és Na^+ -ionokat lángfotométerrel, a Ca^{2+} - és Mg^{2+} -ionokat atomabszorpciós spektrofotométerrel határoztuk meg.

A talajok nehézfém tartalmának vizsgálatakor kétféle feltárást végeztünk. A kétféle módszert az indokolta, hogy a nehézfémek a talajokban különböző formákban (különböző erősségű kötéseken) vannak jelen, és szükségesnek tartottuk mind a talajban jelenlévő összes, mind a mobil, növények számára felvehető nehézfém tartalom ismeretét. A királyvízzel végzett feltárás a talajban jelenlévő nehézfémek összes mennyiségének meghatározására szolgál (BECK *et al.* 1994, KÁDÁR 1998). A Lakanen-Erviö módszerrel a növények számára felvehető, azaz könnyen mobilizálható állapotban jelenlévő nehézfém tartalom tárható fel (BECK *et al.* 1994, KÁDÁR 1998, LAKANEN-ERVIÖ 1971). A nehézfémeket mindkét feltárással kapott módszer szerint Perkin Elmer 3110 típusú atomabszorpciós spektrofotométerrel mértük meg. A vizsgált nehézfémek a következők voltak: Zn, Cd, Pb, Co és Cr.

Az adatok feldolgozása során a számításokat a Microsoft® Excel 2000 programmal végeztük. Ugyancsak az Excel segítségét vettem igénybe a korrelációs analízisek egy r részének elvégzésekor. A korrelációs vizsgálatokat megelőző normalitás vizsgálatokat ill. a korrelációs analízisek egy részét az SPSS® for Windows™ programrendszerrel végeztük el.

3. Eredmények

3.1. A talaj alapvizsgálatok értékelése

A talajok kémhatása vonatkozásában megállapítottuk, hogy a vizsgált mintaterületeken a gyengén savanyú és a savanyú talajok vannak többségben (1, 2, 3. melléklet). Az egyes mintavételi helyek talajainak kémhatása közti alapvető különbséget a talaj típusának különbözősége okozza: a kőzetdarabokkal átkevert köves-sziklás váztalajoknak ill. barna és fekete rendzináknak magasabb a pH-ja, mint a vörösayagos rendzináknak és az agyagbeimosódásos barna erdőtalajoknak (STEFANOVITS 1963). A kémhatás a mélységgel nő; ez a növekedés a kőzettel átkeveredett rendzinákban azonban nagyobb fokú, mivel a karbonátos kőzet mállása, aprózódása pufferozza a kémhatást (STEFANOVITS 1992). A mély termőrétegű barna erdőtalajokban a ΔpH érték (a $pH(H_2O)$ és $pH(KCl)$ különbsége) magasabb, mint a sekély termőrétegű rendzinákban, 1 körüli értékei pedig azt jelzik, hogy a talajok egy része savanyodásra hajlamos (STEFANOVITS 1992). Szénsavas

mész jelenléte csak a kőzetdarabokkal átkevert talajokban volt regisztrálható.

A talajok szervesanyag-tartalma magas, helyenként igen magas, különösen a rendzina talajok felső talajsintjében, ahol nagy mennyiségben vannak jelen az elbomlatlan ill. félig elbomlott szerves maradványok (SZENDREI 1998, 1, 2, 3. melléklet). A szerves anyagok nagy mennyisége kedvezően hat az adszorpciós helyek számának növelésére: elősegíti a nehézfémek megkötődését, amely következtében a talaj az esetleges szennyező mennyiségben előforduló nehézfémeket időlegesen ki tudja vonni a táplálékláncból.

3.2. A tápanyagvizsgálatok értékelése

A kőzetdarabokkal átkevert sekély termőrétegű rendzina talajok magasabb felvehető kalcium-tartalommal rendelkeznek, mint a kőzettel nem átkevert vörösayagos rendzinák és barna erdőtalajok, ami a rendzina talajok kőzetdarabokból történő kalcium-utánpótlását, valamint az erdőtalajok felső talajsintjéből történő Ca^{2+} -kilúgzást jelzi (1, 2, 3. melléklet). Amennyiben a talajtípusokat nem, csupán az egyes növényzeti típusokat tekintjük, megállapítható, hogy az erdős vegetáció alatti talaj felvehető Ca^{2+} -tartalma magasabb, mint a réteket talajaié, ami összefüggésben állhat azzal, hogy az erdők gyökérrendszerének erősebb szívóhatása miatt a gyökérszónában nagyobb fokú lehet a sófelhalmozódás. A talajok kalciummal való ellátottsága jó. A kalcium S-értékből való részesedése a 3 vizsgált mintaterületen különböző, de egy-egy mintaterületen belül nincs jelentős különbség a különböző talajtípusok között. A Bükk-fennsíki talajokban a legmagasabb a Ca S%, átlagosan 96,6 %. Az aggteleki talajmintákban átlagosan 87,1 %, míg a mecseki-ekben a legalacsonyabb, átlagosan 79,1 %. Vizsgálataim alapján a talajok Ca S% értéke alapvetően nem a növényzeti típusra, és nem is elsősorban a talaj típusára, hanem a talajalkotó kőzetre jellemző.

A felvehető magnézium mennyisége a mecseki rendzina talajokban a legtöbb, ezt követik az aggteleki talajok, majd a Bükk-fennsíkiak és a mecseki agyagbemosódásos barna erdőtalajok (1, 2, 3. melléklet). A réteket mind az aggteleki, mind a bükki talajminták esetében alacsonyabb felvehető magnézium-tartalom jellemzi, mint az erdők talajait, ami a kalciumnál már említett gyökérszónában történő sófelhalmozódás okozhat. A magnézium S-értékből való részesedésében is tükröződik a 3 terület talajainak felvehető magnézium-tartalmában megmutatkozó különbség. A Bükk-fennsíki mintákban az Mg S% értéke átlag 2 %, az aggtelekiekben 10 %, a mecsekiekben

pedig 17 %. A rétek talajában a Mg S% értéke jellemzően alacsonyabb, mint az erdők talajában.

A felvehető kálium mennyisége átlagosan az aggteleki talajmintákban a legmagasabb (1, 2, 3. melléklet). A Bükk-fennsíki talajok alacsony K-tartalmának - hasonlóan a magnéziumnál megfigyelthez- a fennsíki erősebb kilúgozó hatás és az eltérő alapkőzet az alapvető oka, de az erdőket vizsgálva szerepet játszhat benne az is, hogy a tölgyesek avarjának magasabb a K-tartalma, mint a bükkösöké, és ez a különbség jelentkezik a termőhelyek K-ellátottságában is (FÜLEKY 1999). A felvehető kálium-tartalom tekintetében kisebbek az egyes növényzeti típusokon belüli és közötti eltérések a másik két ionhoz viszonyítva. A kálium mennyisége a mélységgel csökken. A K S% átlagértéke a mecseki talajmintákban átlagosan 2,7 %, az aggteleki mintákban 2,2 %, a bükkiekben pedig 1 %.

A Ca^{2+} -, Mg^{2+} - és a K^+ -ionok közötti összefüggések vizsgálatához korrelációs analízist alkalmaztunk. A normalitás vizsgálatok figyelembe vételével elvégzett korrelációs analízis korrelációs koefficienseit az I, II. és III. táblázat tartalmazza (n=mintaszám). Ahol a minták eloszlása nem, csak a minták természetes alapú logaritmusának (ln) eloszlása volt normális, ott ez utóbbival végeztük el a további számolást. Amely adatsorozat ln-je sem volt normális eloszlású, ott nem végeztem el a korrelációs analízist. A 99 %-osan szignifikáns korrelációs együtthatókat félkövér számokkal írtuk ki. Megállapítható, hogy az aggteleki tölgyerdős talajmintákban szoros a kapcsolat Ca^{2+} - K^+ mennyiségei között, a rétek talajában pedig a Ca^{2+} - Mg^{2+} mennyiségi kapcsolata szignifikáns. Ez utóbbi esetben a korrelációs együtthatók azonban negatívak, azaz a kisebb Ca-tartalmú mintáknak magasabb a Mg-tartalma. A Bükk-fennsíki talajokban a felvehető kalcium mennyisége minden esetben szignifikánsan korrelál a káliuméval, tehát azokban a talajokban, ahol az adszorbeált és vízzeloldható Ca^{2+} -tartalom magasabb, ott a K^+ -tartalom is. Ez minden bizonnyal a magas Ca-tartalom okozta magasabb pH-val van összefüggésben, hiszen a semleges talajokból kisebb a kálium kilúgozási vesztesége, mint a savasabból. A Ca és K közti szignifikáns korreláció a rétek és fenyvesek talajában azt is igazolja számunkra statisztikailag, hogy a rendzina talajokban mind a felvehető kalcium, mind a felvehető kálium nagyobb mennyiségben van jelen, mint a barna erdőtalajokban ill. dolina alji talajokban. A K és a Mg közti szignifikáns korreláció pedig azt jelenti, hogy a rendzina talajokban a magasabb felvehető kálium-tartalommal általában magasabb felvehető magnézium-tartalom jár együtt. A mecseki talajmintákban csak az ln(Ca) és ln(K) között volt elvégezhető a korrelációs analízis, a korrelációs együttható szignifikáns.

I. táblázat

Table I.

Korrelációs együtthatók, Aggteleki Karszt

Correlation coefficients, Aggtelek Karst

Aggteleki Karszt		korrelációs együtthatók			
		pH	ln(szervesa.)	ln(Ca)	K
tölgyes (n=50)	ln(Ca)	0,7290	0,2290		0,5370
	K	0,4146	0,1120	0,5370	
	ln(Mg)	0,1900	-0,1780	0,124	0,3280
		korrelációs együtthatók			
		pH	szervesa.	Ca	K
rét (n=18)	Ca	0,8538	0,6371		0,1813
	K	0,1392	-0,0046	0,1813	
	Mg	-0,8559	-0,4000	-0,8127	-0,0756
		korrelációs együtthatók			
		pH	ln(szervesa.)		
összes (n=84)	ln(K)	0,3120	0,1809		

II. táblázat

Table II.

Korrelációs együtthatók, Bükk-fennsík

Correlation coefficients, Bükk Plateau

Bükk-fennsík		korrelációs együtthatók			
		pH	szervesa.	Ca	K
bükkös (n=45)	Ca	0,6326	0,5548		0,5263
	K	0,1055	0,6223	0,5263	
	ln(Mg) (n=40)	-0,072	0,5630	0,1820	0,5210
fenyves (n=24)	Ca	0,8494	-0,1523		0,5756
	K	0,2823	0,5176	0,5756	
	Mg	-0,3089	0,6975	-0,0806	0,4046
rét (n=20)	Ca	0,8178	-0,0962		0,6194
	K	0,2872	0,3992	0,6194	
összes (n=101)	Ca	0,7170	0,2478		0,5399
	K	0,1670	0,5043	0,5399	
	ln(Mg) (n=73)	-0,2960	0,4790	-0,078	0,3550

III. táblázat

Table III.

Korrelációs együtthatók, Mecsek

Correlation coefficients, Mecsek

Mecsek (n=38)	korrelációs együtthatók			
	ln(pH)	ln(szervesa.)	ln(Ca)	ln(K)
ln(Ca)	0,9620	0,4180		0,8530
ln(K)	0,8280	0,6380	0,8530	

A talaj kémhatásának és szervesanyag-tartalmának hatását vizsgálva a kationok mennyiségére megállapítottuk, hogy az aggteleki mintaterület talajaiban (*I. táblázat*) a kémhatással a Ca^{2+} és a K^+ szignifikánsan korrelál, azaz a magasabb kémhatású talajokban a Ca^{2+} és K^+ mennyisége több. A magnézium esetében csak a rétek talajaiban mutatható ki szignifikáns, negatív korreláció a kémhatással. A szerves anyag mennyisége a Mg- és K-ionnal nem áll szignifikáns kapcsolatban, a Ca^{2+} pedig csak a rétek talajában mutat szignifikáns összefüggést a szervesanyag-tartalommal. A bükki mintaterület talajaiban (*II. táblázat*), melyek többnyire rendzinák, a felvehető kalcium mennyisége alapvetően a kémhatással mutat összefüggést. A szervesanyag-tartalom és a kalcium-tartalom között csak a bükkösök talajaiban szignifikáns a korreláció. A magnézium és a kálium esetében azonban a szervesanyag-tartalom az, ami szignifikáns korrelációt jelez, azaz méréseink szerint e két ion mennyiségére nem a kémhatás, hanem a szerves anyag mennyisége gyakorol hatást. A szervesanyag-tartalom tehát jóval erősebb befolyásoló tényezőként jelentkezik a bükki talajokban, mint az aggtelekiekben. A mecseki talajminták esetében a Ca^{2+} és a K^+ mennyiségét is igen erősen befolyásolja a talaj kémhatása és szervesanyag-tartalma, a korreláció minden esetben szignifikáns (*III. táblázat*). A Mg^{2+} eloszlása még $\ln(\text{Mg})$ formájában sem normális. A szignifikáns korreláció sejthető is, mivel a Vörös-hegy barna rendzina talajaiban pH, a szervesanyag-tartalom, a felvehető Ca^{2+} -, Mg^{2+} -, K^+ -tartalom is jelentősen magasabb, mint a Szuadó-völgy és a Körtevélyesi-árok agyagbemosódásos barna erdőtalajaiban.

3.3. A nehézfémvizsgálatok értékelése

Mindhárom mintaterületen megvizsgáltuk a talajok nehézfém-tartalmát a felső 5-10 cm-es és az alsó, többnyire 30-40 cm-es rétegben (*4, 5, 6. melléklet*: a határérték feletti mennyiségeket félkövér számokkal írtuk ki, Ö: az összes, F: a felvehető formában jelen lévő nehézfémek mennyisége). A mecseki talajok nehézfém-tartalma a legalacsonyabb, minden vizsgált nehézfém tekintetében, és szennyezettségi határérték túllépés nem fordul elő (*6. melléklet*). Az aggteleki talajok nehézfémterhelése nem jelentős a Zn, Pb és a Co tekintetében: a nehézfém-tartalmak a szennyezettségi határértékeket nem haladják meg. A Cd és Cr esetében fordulnak elő határérték-túllépések, amik nem jelentősek, de védett területek talajairól van szó, s ez mindenképpen indokoltá teszi a figyelem felhívását (*IV. táblázat, 4. melléklet*). A Bükk-fennsíki talajok nehézfémterhelése 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-tartalom* viszont a

minták többségében határérték feletti (IV. táblázat, 5. melléklet). Az aggteleki és a bükki talajok viszonylatában jelentősebb mennyiségi eltérés a Cd, Co és a Cr esetében tapasztalható: a Cd a bükki, a Co és a Cr az aggteleki minták talajában van jelen nagyobb mennyiségben a másik mintaterülethez viszonyítva.

IV. táblázat

Table IV:

A Magyarországon érvényes határértékek a vizsgált nehézfémek összmenyiségére vonatkozóan (ppm) (10/2000. KöM-EüM-FVM-KHVM e. r.).

The valid limit values of the total heavy metal content (ppm) in Hungary

elem	A	B	C
Zn	100	200	500
Cd	0,5	1	2
Pb	25	100	150
Co	15	30	100
Cr	30	75	150

A: háttérkoncentráció (background concentration)

B: szennyezettségi határérték (contaminated limit value)

C: intézkedési szennyezettségi határérték (contaminated limit value which needed arrangements)

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. Hazánk Cd-szennyezettsége magas, fő forrása alapvetően légköri eredetű: az ÉNy-i irányú légmozgásokkal a kelet-német, lengyel és cseh iparvidékekről származik (KADÁR 1995). További vizsgálatot igényel annak kiderítése, hogy az aggteleki és Bükk-fennsíki talajok magas Cd-tartalmában milyen szerepe van az antropogén, és milyen szerepe van a geogén eredetnek. A felvehető kadmium-tartalmak ismeretében elmondható, hogy még a semleges körüli kémhatás és az igen magas szervesanyag-tartalom sem képes minden esetben megfelelően fixálni a fémet: különösen a Bükk-fennsíki talajmintákban jelentkezik ez a probléma. Ez azért fontos, mivel még az igen magas szervesanyag-tartalmú és semleges talaj sem képes bizonyos határokon túl a nehézfémeket kötött állapotban tartani a talajokban. Azaz a Cd tényleges veszélyforrást jelent a karsztvízre és a növény-állat-ember tápláléklánra. A mély termőrétegű barna erdőtalajokban alacsonyabb a Cd-tartalom, mint a rendzinákban és köves-szikkasztalajokban.

A króm csak az aggteleki talajokban fordul elő a szennyezettségi határérték feletti mennyiségben (4. melléklet). Mivel a Cr pH<4,5 esetén válik mobilabbá, így a talajok számára a kémhatás szempontjából megfelelő pufferkapacitású környezetet áll rendelkezésre. A növények számára felve-

hető Cr-tartalom rendkívül alacsony, és csak igen nagy fokú talajsavanyodás esetén kell tartani a mobilizációjától.

A talajmintákban megfigyelt Cd, Pb és Zn jellegzetes felszíni feldúsulása összhangban van azzal, hogy e fémek eloszlását a talajokban leginkább a szerves anyagokhoz való erős kötődésük határozza meg, így a felső, szerves anyagban gazdagabb talajrétegben találhatóak meg nagyobb mennyiségben.

A felvehető nehézfémek mennyiségének az összes nehézfém mennyiségéből való százalékos részesedése alapján (F/Ö %) meghatároztuk a nehézfémek mobilitási sorrendjét, amelyet alább mutatunk be (V. táblázat): az aggteleki talajminták esetében: Cd >> Co > Pb >> Zn >> Cr, a bükki talajminták esetében: Cd >> Pb >> Co > Zn >> Cr, a mecseki talajminták esetében: Cd >> Pb > Co >> Zn > Cr.

V. táblázat

Table V.

Az F/Ö %-ok átlaga a felső, az alsó és együttesen mindkét talajrétegben

Mean of F/Ö % ([available heavy metal content]/[total heavy metal content]) in the upper (fenti), below (lenti) and total (totál) soil layer

mintaterületek	Zn			Cd			Pb			Co			Cr		
	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz	fenti	lenti	össz
Aggteleki Karszt	10,0	5,3	7,7	50,5	54,0	52,2	29,2	25,4	27,2	30,3	32,1	31,2	0,5	0,2	0,3
Bükk-fennsík	14,1	5,2	9,6	73,2	53,0	63,1	47,6	35,9	41,8	20,1	11,3	15,7	1,0	0,7	0,8
Mecsek	8,5	6,1	7,3	nincs adat			34,3	26,8	30,6	22,2	18,5	20,4	4,1	1,8	3,0

A talajok nehézfém tartalmának kémhatással való kapcsolata a korrelációs vizsgálatok alapján a mecseki talajokban igen jellemző. A Co kivételével mindegyik vizsgált nehézfém össz-koncentrációja szignifikáns korrelációt mutat a kémhatással (VI. táblázat). A Cr esetében nemcsak az összes, hanem a felvehető formában jelen lévő nehézfém is szignifikánsan korrelál a pH-val. Az össz-nehézfém tartalommal a korreláció pozitív, azonban a felvehető formában jelen lévő Cr és a kémhatás között negatív a korrelációs koefficiens értéke: a vizsgált savasabb kémhatású talajokban nagyobb mennyiségben van jelen a felvehető Cr, mint a semleges talajokban. Az aggteleki talajokban a kémhatással egyik nehézfém mennyisége sincs szignifikáns összefüggésben, a bükki mintákban a Cd és Cr összes mennyisége mutat szignifikáns összefüggést a kémhatással (VI. táblázat). Az eredmények természetesen nem jelentik azt, hogy általában a talajok magasabb kémhatásával magasabb nehézfém tartalom jár együtt: csak az általunk vizsgált rendzina talajokra és a néhány mélyebb termőrétegű barna erdőtalajra vonatkoznak az összefüggések.

A szervesanyag- és nehézfém-tartalom között is szignifikáns korreláció áll fent (VI. táblázat). Az aggteleki talajokban csak a felvehető Cd, a Bükk-fennsíki talajokban az összes és felvehető formában jelen lévő Zn és Pb, valamint a felvehető formában jelen lévő Cd és Co, a mecseki talajmintákban az összes és a felvehető formában jelen lévő Zn és Pb, valamint a felvehető Co mennyisége szignifikánsan korrelál a szervesanyag-tartalommal. A korrelációs koefficiensek értéke alapján a felvehető formában jelen lévő nehézfém mennyiségére erősebben hat a szerves anyag mennyisége, mint az összes nehézfém-tartalomra.

VI. táblázat
Table VI.

A nehézfémek és a kémhatás, valamint a szervesanyag-tartalom közötti korrelációs együtthatók
Correlation coefficients between heavy metal content and pH, heavy metal content and organic matter content.
összes: total, felvehető: available, szerv.a.: organic matter, n.a.: no data)

		korrelációs koefficiensek								
		Aggtelek			Bükk			Mecsek		
		pH n=44	ln(szerv.a.) n=44	felvehető n=44	pH n=52	szerv.a. n=49	felvehető n=52	ln(pH) n=20	ln(szerv.a.) n=20	Felvehető n=20
Zn	összes	-0,0008	0,1403	0,2456	0,2511	0,4484	0,5761	0,5931	0,6345	0,9264
	felvehető	0,0391	0,3611		-0,2744	0,7647		0,5543	0,7891	
Cd	összes	0,0060	0,3630	0,8139	0,3793	0,3257	0,9477			
	felvehető	-0,0082	0,5018		0,2479	0,5057				
Pb	összes	-0,2080	0,3558	0,7772	-0,0169	0,6578	0,8238	0,6638	0,7524	0,8976
	felvehető	0,0117	0,3247		-0,2399	0,7883		0,4009	0,8026	
Co	összes	-0,2942	-0,1862	0,2416	0,3351	0,1026	0,4410	0,2750	0,3196	0,5089
	felvehető	0,3337	-0,2308		0,0663	0,5729		0,4622	0,5953	
Cr	összes	-0,1990	-0,1470	n.a.	0,3818	0,0479	n.a.	0,6764	0,4091	-0,4773
	felvehető							-0,7635	-0,1445	

Az egyes nehézfém-párok közti korrelációs analízis eredménye alapján a Zn-Cd, Zn-Pb és Pb-Cd ionpárok mennyisége között van szignifikáns korreláció, mindhárom vizsgált területen.

4. Összefoglalás

A dolgozatban több éve zajló kutatásaink és méréseink - három magyar karsztos mintaterület talajainak felvehető kation- és nehézfémvizsgálati eredményeit - összegezzük. Az állapotfeltáró talajvizsgálatok kimutatták, hogy a felvehető kationok mennyisége nem csupán a talajtípus, hanem az

eltérő földrajzi helyzet szerint is különbözik (az eltérő klimatikus és alapkötet adottságok által).

A nehézfémvizsgálatok a mecseki talajokban mutatták ki a legkisebb terhelést, és egyik vizsgált nehézfém mennyisége sem haladja meg a szennyezettségi határértéki9et. Az ország két északkeleti (védett) karsztos területének talajaiban a Cd és Cr esetében fordulnak elő határérték túllépések. A krómnak csupán csekély hányada van jelen felvehető formában a talajokban, így jelenleg nem jelent veszélyt a karsztvízre illetve a növény-állat-ember tápláléklánra. A Cd azonban nagyrészt mobil, felvehető állapotban fordul elő a talajokban, azaz tényleges veszélyforrást jelent mind a karsztvízre, mind a növény-állat-ember tápláléklánra.

A talajoknak igen nagy jelentősége van a karsztok fejlődésében, a karsztos ökoszisztémák változásaiban. A talaj mintegy indikátorszférája is a változásoknak, ezért sokirányú vizsgálata (tápanyag- és nehézfémkutatások) mind a jelen állapot megítélésben, mind a jövőbeni hasznosítás szempontjából is fontos.

I. Melléklet: A talajok alaptulajdonságai és felvehető kationtartalma (Aggteleki Karszt)
 Appendix I.: The basic features and the plant available cation-content of soils (Aggtelek Karst)

AGGT. minta	növ.	talaj- típus	pH [H ₂ O]	pH [KCl]	karb. tart. [%]	Szerves a. [%]	Ca ²⁺ [mg/kg]	Mg ²⁺ [mg/kg]	K ⁺ [mg/kg]
1/5-10	tölgy	pliocén	5,49	4,63	0,0	15,1	2238	475,5	181,3
1/10-20		üledéken	6,59	6,12	0,1	23,0	2713	609,6	155,4
1/20-30		barna	7,10	6,37	0,2	10,9	2930	621,1	172,1
1/30-40		erdőtálat	7,02	6,16	0,1	7,3	2774	557,3	144,1
4/5-10	tölgy	vörös-	5,00	3,62	0,0	12,7	3352	296,3	203,6
4/10-20		agyagos	5,25	3,66	0,0	8,6	4239	254,6	192,0
4/20-30		talaj	5,20	3,92	0,0	9,3	4577	237,1	209,0
4/30-40			5,55	4,26	0,0	5,0	4979	212,1	189,6
8/5-10	tölgy	vörös-	4,33	3,60	0,0	19,3	1806	148,6	141,4
8/10-20		agyagos	4,71	3,76	0,0	20,9	2056	166,2	114,5
8/20-30		talaj	4,93	4,06	0,0	17,2	2462	195,5	118,6
8/30-40			5,34	4,47	0,0	8,2	2938	226,3	129,5
9/5-10	tölgy	rendzina-	5,00	4,17	0,0	72,6	4362	120,5	194,6
9/10-20		szerű	7,17	6,67	0,4	50,0	9247	170,5	196,9
9/20-30		(cs. terra	7,16	6,76	1,0	75,2	9496	144,8	184,5
9/30-40		fusca)	7,31	6,91	1,6	34,1	9790	122,4	173,0
11/5-10	tölgy	rendzina-	6,29	5,60	0,2	43,1	6600	212,7	168,1
11/10-20		szerű	6,75	6,20	0,2	44,3	7270	110,7	158,0
11/20-30		(cs. terra	7,31	6,94	1,0	21,5	9315	76,4	160,0
11/30-40		fusca)	7,61	7,03	0,1	10,2	2238	141,9	72,8
12/5-10	tölgy	vörös-	4,85	3,88	0,0	29,7	3381	193,0	225,5
12/10-20		agyagos	4,60	3,47	0,0	16,8	2965	147,3	197,2
12/20-30		talaj	5,25	4,54	0,0	18,2	3415	123,1	184,9
12/30-40			6,30	5,62	0,0	10,0	5277	109,1	199,2
13/5-10	tölgy	vörös-	4,93	3,91	0,0	33,0	2957	171,4	184,3
13/10-20		agyagos	4,75	3,66	0,0	27,3	2736	105,2	116,4
13/20-30		talaj	4,94	3,56	0,0	17,1	2629	83,1	113,3
13/30-40			5,17	4,09	0,0	8,1	3417	68,3	147,4
14/5-10	tölgy	barna	4,86	4,17	0,0	18,0	2900	137,3	109,1
14/10-20		erdőtálat	5,26	4,37	0,0	18,7	2917	78,8	76,9
14/20-30			5,46	4,55	0,0	16,2	3088	88,9	79,9
14/30-40			5,55	4,81	0,0	14,9	3646	118,3	82,9
16/5-10	tölgy	vörös-	4,40	3,23	0,0	44,0	2056	202,0	159,5
16/10-20		agyagos	4,66	3,30	0,0	17,8	2269	260,1	135,4
16/20-30		talaj	5,29	3,95	0,0	15,8	3467	288,7	124,4
16/30-40			5,34	3,91	0,0	11,1	3639	278,9	129,6
19/5-10	tölgy	vörös-	6,86	6,37	0,0	21,2	5698	166,7	345,7
19/10-20		agyagos	7,44	6,74	0,9	11,6	7798	117,4	205,1
19/20-30		talaj	7,57	6,97	4,2	10,5	8455	101,3	193,1
18/5-10	tölgy	vörös-	6,25	5,39	0,0	16,8	3983	635,2	338,4
18/10-20		agyagos	6,21	4,90	0,0	11,4	3432	795,9	227,2
18/20-30		talaj	6,19	4,80	0,0	14,6	3506	888,7	216,6
18/30-40			6,37	4,88	0,0	9,5	3529	935,1	184,3

1. Melléklet folytatása
Appendix 1 continuation

AGGT. minta	Növ.	talaj- típus	pH [H ₂ O]	pH [KCl]	karb. tart. [%]	szerves a. [%]	Ca ²⁺ [mg/kg]	Mg ²⁺ [mg/kg]	K ⁺ [mg/kg]
17/5-10	tölgy	vörös- agyagos talaj	7,24	6,76	4,2	33,8	9649	268,9	465,9
17/10-20			7,40	6,84	6,0	14,7	8952	195,3	354,2
17/20-30			7,46	6,86	5,5	12,0	7468	168,5	280,4
17/30-40			7,50	7,01	3,2	12,3	6646	161,4	244,1
20/5-10	tölgy	rendzina- sz.(terra fusca)	6,52	5,89	0,0	26,6	5278	852,9	342,9
20/10-20			6,96	6,33	0,1	18,3	5128	938,0	226,3
20/20-30			7,30	6,64	3,0	16,4	5866	885,7	178,0
21/5-10	elegyes bükk	cs. terra fusca v. vörösa. talaj	6,54	5,79	0,0	22,4	4737	853,5	302,9
21/10-20			6,49	5,54	0,0	19,3	4485	931,3	171,8
21/20-30			6,76	5,96	0,0	10,2	4110	997,5	158,3
21/30-40			6,76	5,51	0,0	12,2	3910	970,4	150,6
22/5-10	elegyes bükk	vörösa. talaj v. cs. terra fusca	6,32	5,56	0,0	24,1	4577	249,8	235,2
22/10-20			5,44	4,22	0,0	12,9	2917	191,6	135,7
22/20-30			5,54	4,29	0,0	10,3	3048	169,4	120,2
22/30-40			5,97	5,02	0,0	12,5	3587	160,8	137,4
7/5-10	fenyő	vörös- agyagos talaj	5,21	4,40	0,0	15,8	3612	318,6	182,1
7/10-20			5,23	4,12	0,0	13,1	3603	295,6	143,4
7/20-30			5,00	3,88	0,0	12,3	3124	258,8	125,0
7/30-40			5,27	4,20	0,0	5,1	3300	241,6	145,7
3/5-10	rét	rendzina- szerű	7,31	6,82	0,6	12,6	5613	141,5	402,1
3/10-20			7,76	6,99	0,7	9,4	6029	111,3	271,8
5/5-10	rét	vörös- agyagos talaj	5,35	4,40	0,0	26,6	2306	242,8	142,2
5/10-20			5,43	4,44	0,0	13,4	2811	279,9	117,9
5/20-30			6,00	4,93	0,0	14,7	2897	315,4	100,2
5/30-40			6,13	5,00	0,0	5,9	2248	235,4	138,9
6/5-10			5,71	4,63	0,0	28,0	3036	221,3	146,3
6/10-20	rét	vörös- agyagos talaj	5,90	4,79	0,0	22,2	2710	181,0	123,5
6/20-30			6,20	4,95	0,0	26,0	2862	184,9	124,7
6/30-40			6,63	5,52	0,0	7,7	2935	186,7	106,9
10/5-10			rét	rendzina- szerű (cs. terra fusca)	7,03	6,54	0,8	77,8	7333
10/10-20	6,94	6,19			0,0	44,8	6429	105,0	158,7
10/20-30	7,13	6,35			0,0	50,5	6744	89,5	159,3
10/30-40	7,65	7,10			1,2	34,9	7912	70,7	202,5
15/5-10	rét	vörös- agyagos talaj	5,77	5,10	0,2	32,3	3714	248,3	562,0
15/10-20			6,03	5,34	0,0	19,2	3291	206,6	310,7
15/20-30			6,17	5,36	0,0	15,4	3139	196,8	249,6
15/30-40			6,34	5,50	0,0	17,5	2997	185,6	231,1
2/5-10	tarló	pliocén üledéken barna erdőtálat	7,66	7,29	3,0	16,3	4328	180,0	339,4
2/10-20			7,95	7,47	1,0	11,3	2864	113,9	196,5
2/20-30			7,75	7,23	0,2	13,5	1949	95,2	113,9
2/30-40			7,92	7,10	0,0	6,8	1859	115,9	90,2

2. Melléklet: A talajok alaptulajdonságai és felvehető kationtartalma, (Bükk-fennsík)
Appendix 2.: The basic features and the plant available cation-content of soils, (Bükk Plateau)

BÜKK minta	növ.	talaj- típus	pH [H ₂ O]	pH [KCl]	karb. tart. [%]	szerves a. [%]	Ca ²⁺ [mg/kg]	Mg ²⁺ [mg/kg]	K ⁺ [mg/kg]
2/5-10	bükk	rendzina	4,60	3,72	0,0	16,2	2010	49,4	115,2
2/10-20			5,04	3,88	0,0	14,9	1772	35,4	140,4
2/20-30			5,05	3,81	0,0	16,3	1622	31,2	80,8
2/30-40			5,55	4,20	0,0	6,7	2083	27,6	73,8
3/5-10	bükk	rendzina	5,33	4,92	0,2	magas	15820	244,6	186,2
3/10-20			6,65	6,10	0,5	magas	14700	128,0	122,8
3/20-30			6,96	6,50	0,6	magas	15580	107,4	143,2
3/30-40			7,06	6,57	0,7	magas	14080	99,2	111,0
9/5-10	bükk	rendzina	5,67	4,96	0,0	37,5	6016	89,0	92,4
9/10-20			6,13	5,45	0,0	29,9	9752	0,0	106,4
9/20-30			6,90	6,29	0,2	34,3	7556	21,6	76,8
9/30-40			7,30	6,61	0,6	18,0	9632	9,8	104,6
10/5-10	bükk	rendzina	5,40	3,63	0,0	34,9	n.a.	0,0	94,6
10/10-20			5,96	5,02	0,0	32,0	4254	0,0	71,2
10/20-30			6,90	6,28	0,3	20,3	7332	0,0	93,6
10/30-40			7,54	6,79	1,0	15,6	8974	0,0	86,6
15/5-10	bükk	rendzina	5,64	4,97	0,0	76,4	9394	133,6	115,0
15/10-20			6,78	6,18	0,3	66,5	11150	23,4	96,8
15/20-30			7,15	6,60	1,1	32,5	11832	23,2	104,6
20/5-10	bükk	rendzina	6,48	5,93	0,2	magas	11580	395,8	328,6
20/10-20			6,89	6,39	0,4	75,2	11810	164,1	172,6
20/20-30			6,90	6,45	0,4	56,2	11600	107,6	131,2
19/5-10	bükk	rendzina	5,29	4,20	0,0	36,6	4127	115,2	128,6
19/10-20			6,89	6,31	0,3	25,9	7195	53,6	53,5
19/20-30			7,27	6,69	0,7	20,7	9138	51,9	59,8
19/30-40			7,33	6,75	3,5	16,1	9119	45,6	90,5
18/5-10	bükk	rendzina	6,39	5,73	0,1	36,5	7267	113,9	123,2
18/10-20			7,25	6,66	0,6	28,6	8826	86,3	104,5
18/20-30			7,26	6,73	2,5	36,8	9650	72,6	96,6
17/5-10	bükk	rendzina	5,53	4,61	0	38,7	3794	102,9	67,2
17/10-20			5,24	4,16	0	31,6	2495	88,0	47,8
17/20-30			5,09	3,85	0,1	17,0	1593	60,4	25,9
17/30-40			5,44	4,06	0,0	18,1	1896	51,3	28,6
21/5-10	bükk	rendzina	6,53	6,01	0,2	81,5	10500	400,8	231,7
21/10-20			6,80	6,31	0,3	52,6	10550	140,2	134,9
21/20-30			7,17	6,59	0,6	42,3	10600	100,7	136,2
21/30-40			7,32	6,60	0,8	45,8	10160	81,0	126,1
22/5-10	bükk	rendzina	5,38	4,48	0,0	35,0	3789	103,3	105,1
22/10-20			6,20	5,23	0,1	18,1	4520	45,5	52,3
22/20-30			7,01	6,31	0,2	19,6	6037	35,1	65,6
22/30-40			7,17	6,25	0,2	16,7	5994	29,4	81,1
23/5-10	bükk	rendzina	6,47	5,74	0,2	25,9	6612	139,6	116,2
23/10-20			6,40	5,57	0,1	19,7	5761	100,6	96,8
23/20-30			7,17	6,51	0,5	23,1	8723	89,9	104,0
23/30-40			7,39	6,62	1,1	18,7	9569	83,8	116,4

2. Melléklet folytatása
Appendix 2 continuation

BÜKK minta	növ.	talaj- típus	pH [H ₂ O]	pH [KCl]	karb. tart. [%]	szerves a. [%]	Ca ²⁺ [mg/kg]	Mg ²⁺ [mg/kg]	K ⁺ [mg/kg]
5/5-10	fenyő	köves- sziklás v. talaj	7,29	6,85	2,2	25,6	9836	64,4	170,0
5/10-20			7,52	7,07	5,4	28,4	10940	44,8	142,4
5/20-30			7,59	7,11	10,7	21,7	11832	28,8	115,4
5/30-40			7,77	7,22	13,1	14,5	11872	16,2	126,2
7/5-10	fenyő	agyagbern. barna erdő- talaj	5,16	4,43	0,0	39,6	6113	130,0	93,0
7/10-20			5,83	5,22	0,0	31,3	5328	90,0	71,8
7/20-30			6,20	5,60	0,0	22,6	5044	56,6	92,4
7/30-40			6,44	5,93	0,0	11,8	4957	65,4	97,2
8/10-20	fenyő	dolina alji erdő- talaj	5,40	4,50	0,0	17,5	2458	0,0	45,6
8/20-30			5,57	4,66	0,0	15,6	2346	0,0	49,0
8/30-40			6,05	5,24	0,0	21,3	2064	0,0	30,4
8/40-50			6,05	5,07	0,0	8,0	1662	0,0	31,4
24/5-10	fenyő	rendzina	4,50	3,36	0,0	48,5	2629	108,8	124,5
24/10-20			5,60	4,36	0,1	28,1	4323	139,1	85,8
24/20-30			5,70	4,44	0,1	23,9	4692	157,6	90,6
24/30-40			6,67	5,81	0,1	19,2	6323	150,5	83,1
25/5-10	fenyő	rendzina	5,36	4,08	0,1	39,8	3784	131,5	124,7
25/10-20			6,50	5,78	0,3	25,7	5915	128,6	83,7
25/20-30			7,09	6,36	0,7	28,9	8517	115,8	92,1
25/30-40			7,33	6,65	2,6	21,0	9049	79,0	92,8
26/5-10	fenyő	rendzina	5,49	4,62	0,1	66,4	3937	197,4	150,0
26/10-20			6,42	5,71	0,2	46,4	4780	134,4	103,8
26/20-30			7,04	6,48	0,7	31,6	7022	72,1	111,0
26/30-40			7,37	6,75	10,7	15,4	8104	44,4	86,4
13/5-10	csemete- kert	köves- sziklás v. talaj	6,08	5,43	0,0	55,4	8002	175,0	135,8
13/10-20			6,33	5,82	0,0	49,5	8102	73,6	100,0
13/20-30			6,82	6,28	0,0	39,6	8248	23,4	73,6
13/30-40			7,00	6,46	0,1	24,1	9834	31,8	78,0
1/5-10	bükkel. fenyő	rendzina	4,71	3,89	0,0	39,1	3505	104,8	94,4
1/10-20			4,57	3,58	0,0	22,6	4643	91,8	95,2
1/20-30			4,60	3,61	0,0	16,0	3107	74,6	92,4
1/30-40			5,96	5,31	0,1	10,1	3035	72,4	95,0
12/5-10	bükkel. fenyő	rendzina	3,50	2,62	0,0	88,6	3275	97,2	121,2
12/10-20			4,45	3,20	0,0	56,6	3994	118,4	91,6
12/20-30			6,48	5,73	0,3	42,1	7160	84,0	85,8
12/30-40			7,13	6,57	2,6	31,3	11264	52,0	97,6
4/5-10	rét	rendzina	6,34	5,86	0,1	34,9	9198	260,0	164,4
4/10-20			6,30	5,81	0,0	37,1	7472	102,4	138,8
4/20-30			6,67	6,07	0,0	28,6	7256	35,2	128,8
4/30-40			7,42	6,84	1,2	15,0	10880	8,6	131,0
6/5-10	rét	rendzina	5,80	5,16	0,0	19,6	3928	66,8	127,8
6/10-20			6,10	5,46	0,0	19,5	4395	31,2	89,8
6/20-30			6,64	6,17	0,1	14,3	5003	22,6	72,6
6/30-40			7,32	6,71	0,4	12,2	6732	0,0	87,4
11/5-10	rét	dolina alji	4,83	3,65	0,0	55,4	1491	57,8	196,8
11/10-20			4,90	3,63	0,0	37,9	1419	0,0	72,4

2. Melléklet folytatása
Appendix 2 continuation

BÜKK minta	növ.	talaj- típus	pH [H ₂ O]	pH [KCl]	karb. tart. [%]	szerves a. [%]	Ca ²⁺ [mg/kg]	Mg ²⁺ [mg/kg]	K ⁺ [mg/kg]
11/20-30		talaj	5,04	3,60	0,0	46,4	998	0,0	37,6
11/30-40		talaj	5,10	3,62	0,0	12,0	852	0,0	27,0
14/5-10	rét	agyagb.	5,45	4,16	0,0	29,5	876	0,0	42,8
14/10-20		barna	5,55	4,30	0,0	22,4	1611	0,0	47,4
14/20-30		erdő- talaj	5,55	3,82	0,0	20,6	1277	0,0	27,0
14/30-40		talaj	5,07	3,48	0,0	13,6	813	0,0	50,0
16/5-10	rét	agyagb.	5,41	4,41	0,0	38,2	7030	121,6	112,4
16/10-20		barna	5,86	4,73	0,0	31,7	3262	9,6	50,2
16/20-30		erdő- talaj	6,00	4,78	0,0	17,0	3152	0,0	49,2
16/30-40		talaj	5,88	4,46	0,0	7,9	4556	0,0	94,8

3. Melléklet: A talajok alaptulajdonságai és felvehető kationtartalma (Mecsek)
Appendix 1.: The basic features and the plant available cation-content of soils (Mecsek)

MECSEK minta	növ.	talaj- típus	pH [H ₂ O]	pH [KCl]	carb. tart. [%]	szerves a. [%]	Ca ²⁺ [mg/kg]	Mg ²⁺ [mg/kg]	K ⁺ [mg/kg]
1/5-10	hársas- kőrises	rendzina	7,09	6,60	0,8	55,4	8693	1029,0	303,9
1/10-20			6,92	6,53	0,4	48,2	7450	1080,0	203,0
1/20-30			7,26	6,80	12,4	24,8	7446	897,9	157,6
1/30-40			7,30	6,82	13,0	29,8	8252	822,8	153,4
2/5-10	hársas- kőrises	rendzina	7,11	6,62	0,3	58,0	6601	1104,0	255,9
2/10-20			7,13	6,60	0,2	34,6	6232	1324,0	196,3
2/20-30			7,17	6,70	0,7	33,2	6178	1342,0	173,7
2/30-40			7,15	6,67	8,0	25,4	6284	1169,0	170,8
3/5-10	tölgy- hárs- kőrises	mély	6,17	5,55	0,0	46,3	3099	223,7	255,1
3/10-20		termő-	5,54	4,72	0,0	25,5	2480	156,4	129,7
3/20-30		rétégű	5,60	4,50	0,0	14,2	2442	130,8	116,5
3/30-40		rendzina	6,36	5,54	0,1	13,6	3164	121,2	136,6
4/5-10	tölgy	agyagb.	4,23	3,14	0,0	15,6	169	57,0	42,6
4/10-20		barna	4,47	3,25	0,0	16,0	279	86,3	30,6
4/20-30		erdő- talaj	4,84	3,41	0,0	16,1	606	140,0	31,2
4/30-40		talaj	5,09	3,51	0,0	6,4	878	165,4	41,5
5/5-10	tölgy	agyagb.	4,73	3,50	0,0	19,9	733	78,7	88,4
5/10-20		barna	4,70	3,47	0,0	26,9	746	73,8	56,4
5/20-30		erdőt.	5,37	4,17	0,0	14,9	1671	89,0	62,5
6/5-10	szurdok- erdő	agyagb.	4,67	3,56	0,0	28,9	623	67,0	80,0
6/10-20		barna	4,71	3,57	0,0	12,1	632	66,6	68,9
6/20-30		erdő- talaj	4,68	3,53	0,0	14,3	607	63,2	64,5
6/30-40		talaj	4,66	3,45	0,0	12,1	596	66,9	54,6
7/5-10	tölgy	agyagb.	4,20	3,11	0,0	19,5	250	56,3	74,5
7/10-20		barna	4,34	3,40	0,0	13,8	324	58,3	44,2
7/20-30		erdő- talaj	4,49	3,43	0,0	9,1	574	105,2	45,8
7/30-40		talaj	5,00	3,67	0,0	9,9	1351	173,5	48,8
8/5-10	tölgy	agyagb.	4,69	3,69	0,0	13,5	881	100,4	100,6
8/10-20		barna	4,56	3,45	0,0	10,7	536	99,1	32,1
8/20-30		erdő- talaj	4,85	3,56	0,0	6,2	940	128,0	45,2
8/30-40		talaj	5,05	3,67	0,0	7,4	1206	142,6	49,2
9/5-10	szurdok- erdő	agyagb.	4,86	3,65	0,0	19,8	1505	126,7	97,1
9/10-20		barna	4,94	3,59	0,0	11,4	1446	103,4	69,1
9/20-30		erdő- talaj	5,51	4,42	0,0	10,6	2373	119,1	77,2
9/30-40		talaj	5,71	4,52	0,0	12,0	2499	116,0	83,1
10/5-10	irtásrét	rendzina	7,44	6,63	20,0	9,4	5881	1046,0	186,7
10/10-20			7,64	6,73	3,0	8,9	9307	1094,0	247,5
10/20-30			7,64	6,87	53,0	13,2	4834	569,9	90,9

4. Melléklet: A talajok összes (Ö) és felvehető (F) nehézfém-tartalma (Aggteleki Karszt)
Appendix 4.: The total (Ö) and plant available (F) heavy metal content of soils (Aggtelek Karst)

AGGTELEK Minta	Zn [ppm]		Cd [ppm]		Pb [ppm]		Co [ppm]		Cr [ppm]	
	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F
1/5-10	120,0	13,2	2,44	1,24	96,0	31,8	22,7	5,9	54,0	0,3
1/30-40	235,4	10,9	1,60	1,00	86,4	35,3	19,1	9,8	64,6	0,2
4/5-10	103,6	3,3	0,85	0,10	36,9	6,4	14,1	2,7	69,5	0,8
4/30-40	103,4	2,7	0,68	0,12	36,2	5,8	13,2	3,9	90,4	0,1
8/5-10	75,0	5,4	0,87	0,29	46,9	12,7	18,2	4,2	53,3	0,4
8/30-40	98,6	2,0	0,46	0,30	40,6	6,8	18,3	3,5	69,4	0,2
9/5-10	143,3	7,6	1,90	1,14	75,4	17,8	15,7	1,9	62,0	0,3
9/30-40	145,4	7,7	1,89	1,43	66,0	14,1	15,6	2,2	76,6	0,1
11/5-10	114,8	5,8	2,00	1,21	57,4	13,1	13,9	2,7	67,4	0,1
11/30-40	119,0	3,0	2,74	0,37	56,9	17,0	15,8	3,9	86,2	0,1
12/5-10	111,2	10,2	0,74	0,50	58,3	19,1	13,9	3,7	65,0	0,4
12/30-40	133,0	8,7	0,46	0,33	50,6	11,9	18,8	4,3	107,8	0,1
13/5-10	111,5	6,4	0,95	0,52	68,1	19,5	27,1	4,6	87,9	0,3
13/30-40	123,3	5,3	0,00	0,14	56,3	15,3	16,7	4,3	83,1	0,3
14/5-10	91,0	14,6	1,13	0,77	56,5	19,9	20,8	6,0	52,3	0,2
14/30-40	22,7	3,9	0,00	0,51	41,0	11,2	17,6	4,5	52,4	0,2
16/5-10	93,3	7,2	0,76	0,38	53,6	18,6	13,7	5,1	55,7	0,8
16/30-40	117,0	2,5	0,25	0,15	47,7	9,7	16,1	5,1	87,1	0,2
19/5-10	86,3	8,9	0,17	0,39	48,1	17,3	14,7	8,0	0,0	0,1
19/20-30	74,1	5,0	0,23	0,15	37,9	11,3	14,6	2,9	26,2	0,0
18/5-10	54,5	7,3	0,06	0,22	39,4	12,1	14,0	4,6	10,3	0,1
18/30-40	105,2	3,4	0,00	0,01	35,0	9,2	14,8	4,1	0,0	0,0
17/5-10	103,2	28,0	0,21	0,49	50,9	24,8	12,4	7,3	33,2	0,1
17/30-40	94,2	6,1	0,00	0,16	42,7	14,8	15,7	9,6	23,3	0,1
20/5-10	122,9	13,6	0,76	0,74	63,4	21,1	13,7	5,3	18,9	0,1
20/20-30	113,3	8,3	0,73	0,64	49,9	14,3	11,9	5,1	32,5	0,0
21/5-10	116,7	11,5	0,63	0,48	60,0	19,4	13,2	5,0	0,0	0,0
21/30-40	117,0	4,8	0,31	0,22	45,6	13,6	14,5	6,4	0,0	0,0
22/5-10	97,3	9,8	0,22	0,39	42,8	16,5	13,0	5,0	0,0	0,0
22/30-40	88,9	4,4	0,20	0,17	32,0	8,9	12,4	4,0	0,0	0,1
7/5-10	82,8	6,1	0,90	0,16	42,4	9,0	14,3	3,1	67,9	0,1
7/30-40	116,8	6,8	0,25	0,05	39,0	5,4	20,2	4,3	77,8	0,1
3/5-10	95,6	6,5	1,20	0,36	43,9	11,5	17,6	6,4	72,2	0,1
3/10-20	103,4	3,8	0,49	0,28	40,5	9,6	18,9	7,5	100,3	0,1
5/5-10	100,4	10,7	0,68	0,22	68,0	11,8	24,3	6,3	56,3	0,1
5/30-40	23,4	2,0	0,26	0,11	62,7	8,7	28,4	6,6	84,5	0,1
6/5-10	80,2	5,3	0,90	0,34	47,0	8,2	19,7	4,0	55,0	0,1
6/30-40	42,7	3,4	0,45	0,24	44,5	9,2	19,2	6,2	64,3	0,0
10/5-10	105,4	5,4	1,60	0,84	56,3	15,0	14,9	4,6	62,5	0,1
10/30-40	101,4	1,8	0,94	0,65	47,0	10,7	14,0	4,4	77,2	0,1
15/5-10	102,9	10,4	0,98	0,67	56,9	13,3	18,1	5,2	53,6	0,1
15/30-40	99,0	4,8	0,00	0,42	52,9	17,5	18,2	8,6	65,6	0,1
2/5-10	64,9	14,6	0,48	0,19	29,9	10,8	14,5	4,7	40,6	0,2
2/30-40	35,8	1,9	0,39	0,00	26,7	6,9	14,1	5,6	41,8	0,1

5. Melléklet: A talajok összes (Ö) és felvehető (F) nehézfém tartalma (Bükk-fennsík)
 Appendix 5.: The total (Ö) and plant available (F) heavy metal content of soils (Bükk Plateau)

BÜKK minta	Zn [ppm]		Cd [ppm]		Pb [ppm]		Co [ppm]		Cr [ppm]	
	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F
2/5-10	86,2	9,7	1,35	1,00	45,2	14,7	7,9	1,2	19,5	0,0
2/30-40	84,9	3,6	0,84	0,39	28,8	7,8	8,1	0,6	22,6	0,1
3/5-10	174,6	95,5	2,33	2,06	134,4	88,5	5,6	2,1	33,9	0,1
3/30-40	107,0	12,4	1,47	1,18	64,6	28,8	9,2	1,3	39,5	0,1
9/5-10	93,0	6,6	1,53	1,27	48,4	26,7	11,2	1,8	29,9	0,5
9/30-40	115,5	8,1	2,00	1,24	51,8	26,1	11,7	1,2	41,2	0,4
10/5-10	113,5	3,9	2,71	1,83	39,3	19,6	10,3	1,5	30,1	0,5
10/30-40	110,4	2,1	2,82	1,41	35,0	15,3	10,2	1,0	41,5	0,4
15/5-10	106,9	15,8	2,59	1,96	71,2	31,9	13,6	2,4	37,2	0,3
15/20-30	108,2	5,3	2,52	1,45	59,2	18,6	13,5	1,6	42,6	0,0
20/5-10	186,9	74,9	3,75	3,16	113,3	62,6	7,5	2,5	30,6	0,2
20/20-30	159,5	28,7	4,09	3,05	65,3	36,5	9,4	3,4	39,1	0,2
19/5-10	110,8	7,9	1,91	0,97	53,2	23,7	13,3	2,0	71,7	0,4
19/30-40	111,8	5,1	2,87	1,48	33,6	11,2	13,2	1,7	89,6	0,1
18/5-10	127,7	14,5	3,75	2,27	60,6	28,4	12,8	3,4	83,2	0,2
18/20-30	105,5	5,7	3,32	1,82	43,9	16,0	13,1	3,0	91,2	0,1
17/5-10	102,8	14,0	1,59	1,13	52,8	23,8	12,7	2,6	53,5	0,4
17/30-40	76,6	3,2	0,83	0,32	25,4	8,2	12,8	0,9	48,6	0,4
21/5-10	172,3	47,2	3,50	2,99	83,3	47,0	13,3	4,2	36,5	0,1
21/30-40	156,6	19,0	3,74	3,01	56,8	25,9	15,9	5,2	51,2	0,1
22/5-10	95,3	10,8	0,69	0,62	50,5	23,9	13,7	1,9	50,6	0,2
22/30-40	93,7	2,8	0,65	0,26	32,3	10,5	15,4	3,4	59,1	0,1
23/5-10	114,3	9,5	1,00	0,75	51,0	23,0	15,3	3,6	38,2	0,1
23/30-40	106,6	8,3	0,87	0,35	40,8	14,9	14,8	1,5	42,2	0,2
5/5-10	102,4	9,0	1,80	1,19	48,9	16,7	11,0	2,7	46,1	0,1
5/30-40	80,2	3,2	1,56	0,79	29,3	8,2	8,4	0,7	26,1	0,0
7/5-10	79,9	6,6	1,10	0,62	27,6	11,2	7,2	0,8	28,3	0,1
7/30-40	73,8	3,0	0,81	0,36	34,7	9,9	7,6	0,8	28,0	0,0
8/10-20	63,2	2,4	0,67	0,30	23,5	10,9	6,1	1,1	23,6	0,0
8/30-40	58,2	2,3	0,62	0,24	19,9	9,2	5,3	0,3	20,4	0,1
24/5-10	120,1	24,3	0,56	0,48	57,2	37,3	8,1	2,1	30,3	0,6
24/30-40	102,0	3,4	0,52	0,37	35,6	13,3	13,2	1,4	24,3	0,3
25/5-10	97,2	10,8	0,62	0,52	49,9	21,7	12,0	1,5	29,4	0,2
25/30-40	87,2	2,9	1,02	0,53	32,1	9,1	12,4	0,4	39,4	0,1
26/5-10	90,9	8,3	0,94	0,75	46,5	19,9	12,8	1,8	25,0	0,1
26/30-40	74,3	3,0	0,89	0,29	27,1	7,7	9,7	0,0	0,8	0,0
13/5-10	119,9	12,9	1,77	1,50	82,4	30,7	14,1	2,2	33,1	0,4
13/30-40	110,4	2,8	1,83	1,13	60,6	18,9	14,7	2,0	35,7	0,4
1/5-10	111,2	5,7	1,09	0,55	47,8	14,5	11,3	1,1	23,4	0,1
1/30-40	96,4	2,4	1,35	0,58	33,8	7,5	10,7	0,5	24,2	0,1
12/5-10	84,2	27,0	0,57	0,54	47,3	36,4	7,5	3,1	22,8	0,8
12/30-40	103,1	6,1	1,14	0,69	47,7	21,7	11,9	0,7	42,0	0,5

5. melléklet folytatása
Appendix 5 continuation

BÜKK minta	Zn [ppm]		Cd [ppm]		Pb [ppm]		Co [ppm]		Cr [ppm]	
	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F
4/5-10	108,5	11,8	1,57	1,11	53,2	22,9	10,5	2,7	34,8	0,0
4/30-40	107,3	2,7	1,89	0,77	40,4	10,2	12,5	0,8	46,4	0,1
6/5-10	79,7	3,1	0,77	0,59	37,4	14,0	7,9	1,5	28,2	0,1
6/30-40	85,6	2,0	0,70	0,44	35,5	9,9	8,7	0,7	38,0	0,0
11/5-10	63,1	9,6	0,68	0,52	34,3	18,9	7,4	1,4	16,5	0,4
11/30-40	49,9	2,6	0,15	0,14	20,0	10,7	7,6	0,2	15,4	0,4
14/5-10	62,3	3,4	0,31	0,20	36,7	16,8	8,0	0,8	15,9	0,5
14/30-40	51,7	1,5	0,15	0,03	31,6	10,5	7,7	0,5	16,0	0,5
16/5-10	110,3	11,9	2,44	1,52	49,9	25,5	16,4	1,8	29,4	1,0
16/30-40	80,8	3,4	0,89	0,27	46,5	13,2	17,9	1,9	17,8	0,5

6. Melléklet: A talajok összes (Ö) és felvehető (F) nehézfém tartalma (Mecsek)
Appendix 6.: The total (Ö) and plant available (F) heavy metal content of soils (Mecsek)

MECSEK minta	Zn [ppm]		Pb [ppm]		Co [ppm]		Cr [ppm]	
	Ö	F	Ö	F	Ö	F	Ö	F
1/5-10	106,6	18,2	53,6	17,5	10,9	2,7	18,7	0,0
1/30-40	78,7	6,2	36,1	9,2	10,4	2,1	14,6	0,0
2/5-10	163,1	28,4	59,6	23,1	9,9	3,1	17,0	0,1
2/30-40	156,0	21,7	47,2	14,8	10,5	3,9	16,9	0,0
3/5-10	100,8	7,9	30,5	9,7	10,6	2,2	22,8	0,1
3/30-40	95,2	4,1	24,1	5,8	11,0	1,9	12,6	0,1
4/5-10	54,6	2,7	17,4	6,7	8,3	2,2	3,4	0,5
4/30-40	56,6	3,0	16,9	5,4	7,7	1,0	3,2	0,1
5/5-10	49,2	3,2	20,5	7,0	7,4	1,3	4,2	0,2
5/20-30	55,4	2,9	20,5	6,2	9,0	1,6	6,0	0,2
6/5-10	58,8	3,4	17,2	6,2	8,3	1,2	3,5	0,3
6/30-40	52,8	2,5	15,2	5,3	7,7	1,3	4,4	0,2
7/5-10	53,8	4,4	19,6	8,7	7,1	1,7	6,6	0,6
7/30-40	55,0	2,5	15,8	4,4	8,2	1,5	9,7	0,2
8/5-10	62,6	3,6	21,9	7,4	9,1	1,9	13,1	0,3
8/30-40	60,0	2,7	19,4	4,7	10,0	1,4	6,6	0,1
9/5-10	67,4	4,5	24,9	7,9	10,3	1,9	10,9	0,1
9/30-40	60,9	2,1	22,4	4,3	12,2	1,4	11,2	0,1
10/5-10	75,4	3,5	23,1	4,9	8,8	2,1	27,1	0,1
10/20-30	43,2	2,8	17,9	3,4	4,9	1,0	5,3	0,1

IRODALOM

- 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelet a felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről. - Magyar Közlöny 2000/53. szám
- BÁRÁNY KEVEI, I.* (1992): Karst soils as indicators of karst development in Hungarian karst. - Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Supplement, 85, p. 101-110.
- BÁRÁNY-KEVEI, I.* (1995): Factors of the environmental system of karst. - Acta Geographica Szegediensis. Tom. XXXIV. Spec. Issue p. 155-161.
- BÁRÁNY-KEVEI, I.* (1998 b): Geoecological system of karsts. - Acta Carsologica XXVII/1, Ljubljana, p. 13-25.
- BECK – BURGER – PFEFFER – TEICHMANN* (1994): Laborskript – Ein Handbuch für der Laboratorien der Physischen Geographie der Universität Tübingen. – Tübingen
- BECK, R. K. - BORGER, H.* (2000): Soils and relief of the Aggtelek karst (NE Hungary): A record of the ecological impact of paleoweathering effects and human activity. – In: Essays in the ecology and conservation of karst (szerk.: Bárány-Kevei, I. – Gunn, J.), Special Issue of Acta Geographica Szegediensis, Acta Geographica Tomus XXXVI, Szeged, p. 13-30.
- BUZÁS I.* (1988): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszertan 2. A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei. - Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 243
- FÜLEKY GY.* (1999): Tápanyag-gazdálkodás. - Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 714
- KÁDÁR I.* (1995): A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. – Környezet- és Természetvédelmi Kutatások sorozat, KTM-MTA TAKI, Budapest, p. 388
- KÁDÁR I.* (1998): A szennyezett talajok vizsgálatáról. Kármentesítési kézikönyv 2. - Környezetvédelmi Minisztérium, p. 151
- LAKANEN, E. - ERVIÖ, R.* (1971): A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soil. - Acta Agr. Fenn. 123, p. 223-232.
- STEFANOVITS P.* (1963): Magyarország talajai. - Akadémiai Kiadó, Budapest.
- STEFANOVITS P.* (1992): Talajtan. - Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- ZÁMBÓ L.* (1986): A talajhatás jelentősége a karszt korróziós fejlődésében. - Kandidátusi értekezés, MTA, Budapest, p. 170
- ZSENI A.* (1999): Research on the soils of karst areas in Hungary (example from Bükk Mountain). - Acta Carsologica , 28/2, 12, Ljubljana, p. 203-210.

- ZSENI A. (2000 a): Soils on karst areas of the Bükk Mountain, Hungary. – In: Essays in the ecology and conservation of karst, (szerk.: Bárány-Kevei, I.-Gunn, J.) Special Issue of Acta Geographica Szegediensis for the International Geographical Union Commission, Szeged, p. 40-46
- ZSENI A. (2000 b): Comparative analysis of some soil characteristics on Bükk and Aggtelek Karst (Hungary) with special regards to organic material. – ACTA Geographica Szegediensis Tom. XXXVII. p. 141-148.
- ZSENI A. (2000 c): A talaj kémhatása és a növényzet kapcsolata néhány hazai karszterületen. – Földrajz az egész világ: Geográfus Doktoranduszok V. Országos Konferenciája, Miskolc, konferenciakötet, p. 67-74.
- ZSENI A. (2001 a): Talaj és növényzet környezet hatás szempontú vizsgálata a Bükk karsztjának mintaterületén. – A földrajz eredményei az új évezred küszöbén: A Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. Szeged, CD kiadvány: MFK2001.html
- ZSENI A. (2001 b): Karszttalajok tápanyagvizsgálata hazai példákon. - Karsztfejlődés VI. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 195-207.
- ZSENI A. (2003): Karsztos mintaterületek talajainak tápanyag-gazdálkodása és nehézfémterhelése. - Doktori disszertáció, Kézirat, Szeged, p.118.

