B 3883

# KARSZTOS MINTATERÜLETEK TALAJAINAK TÁPANYAG-GAZDÁLKODÁSA ÉS NEHÉZFÉMTERHELÉSE

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Zseni Anikó

Szegedi Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék

Szeged, 2003

SZEGED

## 1. Előzmények, célkitűzések

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 keresztülszivárgó 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.

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 talajösszetétel változásoknak. Az antropogén tevékenységből, ülepedésből származó anyagok, de a talajerózió is a felszínhez közeli, tápanyagokban gazdagabb talajhorizont károsodását eredményezi. Az egyébként nagyon kiterjedt tápanyag-gazdálkodással foglalkozó szakirodalmakban igen kevés a *karsztok talajaira* vonatkozó, annak ellenére, hogy a talajok továbbfejlődése a területek hasznosítása (erdőgazdasági-, mezőgazdasági-, valamint a rét- és legelő hasznosítás) szempontjából fontos. A tápanyagok eltérő nagyságrendű jelenléte hat a talaj egyéb összetevőire (pl. nyomelemtartalmára) és tulajdonságaira.

A talajokat érő káros - napjainkban egyre inkább a figyelem középpontjába kerülő - környezeti hatások egyike a talajok **nehézfémmel való szennyeződése**. Mint a káros szennyezőkre általában, ezekre is igaz, hogy a terhelés növekedésével egyre hatékonyabb szűrő és pufferelő képességgel kell rendelkeznie a talajnak a káros hatás semlegesítésére. 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 rendelkezzünk, 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 $km^2$-nyi területének, valamint a Nyugat-Mecsek Orfűtől délre eső karsztos területe) talajainak tápanyag- és nehézfémtartalmát 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. Egyidejűleg azt is vizsgáltam, hogy hogyan befolyásolja a *növényborítottság* és a *lejtőhelyzet* a vizsgált talajparaméterek alakulását. A céloknak megfelelően

- a kijelölt mintaterületeken a különböző ökológiai adottságú területekről talajmintákat gyűjtöttem, a mintagyűjtés helyén a felszínt borító növényzet fajlistáit felvételeztem,
- a begyűjtött talajmintákat laboratóriumban elemeztem (pH($H_2O$), pH(KCl), szénsavas mész tartalomra, szervesanyag-tartalomra, a növények számára felvehető $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^+$, $Na^+$-tartalomra, a növények számára felvehető és az összes Zn, Cd, Pb, Co és Cr-tartalomra vonatkozóan),
- összehasonlítottam a különböző mintaterületek talajainak kémhatásában, szénsavas mész és szervesanyag-tartalmában, a növények számára felvehető kalcium-, magnézium-, kálium- és nátriumtartalmában, S-értékében és nehézfémtartalmában fennálló különbségeket,
- megvizsgáltam az összefüggést a talajok tápanyagtartalma és a területet borító növényzet között,
- korrelációs analízist végeztem a talajok felvehető kalcium-, magnézium-, kálium- és nátriumtartalma közötti összefüggések kiderítésére, valamint megvizsgáltam, hogy hogyan hat a talajok kémhatása és szervesanyag-tartalma a felvehető kationok és a nehézfémek mennyiségére,
- összehasonlítottam a királyvizes feltárással (összes nehézfémtartalom) és a Lakanen-Erviö módszerrel (növények számára felvehető) kapott nehézfémtartalmakat, és az eredmények alapján mobilitási sorrendet állítottam fel a vizsgált nehézfémekre,
- megvizsgáltam a dolinák különböző kitettségű lejtőinek talajtulajdonságaiban fennálló különbségeket,
- megvizsgáltam a domborzat hatását a talajok szervesanyag-, tápanyag- és nehézfémtartalmának lejtő menti eloszlására.

## 2. Alkalmazott módszerek

### *2.1. Talajmintavétel, minta-előkészítés, mérés*

A **talajmintákat** különböző ökológiai adottságú területekről gyűjtöttük be. A **Bükk-fennsíkon** bükkerdő, bükkelegyes fenyőerdő, fenyőerdő, csemetekert és nyílt rétek talajait mintáztuk meg, **Aggtelek és Jósvafő között** tölgyerdő, elegyes bükkerdő, fenyőerdő, gabonatarló és nyílt rétek talajaiból gyűjtöttünk mintát, a **Nyugat-Mecsekben** tölgyerdő, elegyes tölgyerdő, szurdokerdő és irtásrét talajait vizsgáltuk. A talajokat 40 cm-es mélységig, 10 cm-enként mintáztuk meg. Ahol kisebb mélységben elértük az alapkőzetet, illetve a nagyon magas kőzettartalom akadályozta a mélyebb mintavételt, ott természetesen kevesebb mintát gyűjtöttünk. Mind az Aggteleki Karszt, mind a Bükk-fennsík területén sor került egy-egy **dolina vizsgálatára** is. A dolinák 4 fő égtáj szerinti lejtőin - lejtőközépen -, a lejtő alján, valamint a lejtő peremén is történt mintavétel. A kutatás során a **domborzat hatásának vizsgálatára** is sor került. Ehhez az aggteleki mintaterületen két lejtő, a Bükk-fennsíkon és a Mecsek hegységben három-három lejtő talajait mintáztuk meg a lejtő alján, közepén és tetején.

A talajmintákat szobahőmérsékleten légszáraz állapotig szárítottam. A kőzetdarabokat, növényi maradványokat 2 mm-es lyukbőségű szitán történő átszitálással távolítottam el a talajokból.

A **kémhatás** meghatározása elektrometriásan, digitális pH-mérővel történt, 1:2,5-ös arányú talaj-desztillált víz, illetve talaj-1 mol/dm$^3$-es KCl szuszpenzióban. A **szénsavas mész tartalmat** Scheibler-féle kalciméterrel mértem. A talajok **szervesanyag-tartalmát** kálium-dikromátos oxidáció után spektrofotométerrel határoztam meg. A **növények számára felvehető kálium, kalcium és magnézium** vizsgálatát ammónium-acetátos módszerrel végeztem el. A leszorított $K^+$ és $Na^+$-ionokat lángfotométerrel, a $Ca^{2+}$- és $Mg^{2+}$-ionokat atomabszorbciós spektrofotométerrel határoztam meg.

A talajok **nehézfémtartalmának** vizsgálatakor kétféle feltárást végeztem. A kétféle módszert az indokolta, hogy a nehézfémek a talajokban különböző formákban (különböző erősségű kötésekben) vannak jelen, és szükségesnek tartottam mind a talajban jelenlévő összes, mind a mobil, növények számára felvehető nehézfémtartalom ismeretét. A **királyvízzel végzett feltárás** a talajban jelenlévő nehézfémek összes mennyiségének meghatározására szolgál. A **Lakanen-Erviö módszerrel** a növények számára felvehető, azaz könnyen mobilizálható állapotban jelen lévő nehézfémtartalom tárható fel. A nehézfémeket mindkét feltárással kapott módszer szerint Perkin Elmer 3110

típusú atomabszorpciós spektrofotométerrel mértem meg. A vizsgált nehézfémek a következők voltak: Zn, Cd, Pb, Co és Cr.

Az **adatok feldolgozása** során a számításokat, a grafikus megjelenítéseket (ábrák) a Microsoft Excel ®2000 szoftver segítségével végeztem el. Ugyancsak az Excel segítségét vettem igénybe a korrelációs analízisek elvégzésekor. A korrelációs vizsgálatokat megelőző normalitás vizsgálatokat ill. a korrelációs analízisek egy részét az SPSS® for Windows™ 8.0.0 programrendszerrel végeztem el.

A **vegetáció vizsgálata** során a talajmintavételi helyek növényzetének felmérésére került sor. Részletes **fajlista** készült az aggteleki 17-22., a bükki 1-16., valamint a mecseki 1-10. mintavételi helyeken. A fajlista birtokában a vegetációt az ökológiai indexek alapján értékeltem. Az ökológiai indexek közül a természetvédelmi kategóriákat, a Zólyomi-féle hőháztartás, vízháztartás és talajreakció számait használtam fel.

## 3. Eredmények

**1. A talajok kémhatása** vonatkozásában megállapítottam, hogy a vizsgált mintaterületeken a *gyengén savanyú és a savanyú talajok vannak többségben.* Az egyes mintavételi helyek talajainak kémhatása közti alapvető *különbséget* nem a növényborítottság, hanem *a talaj típusának különbözősége okozza:* a kőzetdarabokkal átkevert köves-sziklás váztalajoknak ill. barna és fekete rendzináknak magasabb a pH-ja, mint a vörösagyagos rendzináknak és az agyagbemosódásos barna erdőtalajoknak. A kémhatás a mélységgel nő, ez a növekedés a kőzettel átkeveredett rendzinákban azonban nagyobb fokú, a mészkődarabok jelenléte okozta nagyobb fokú visszameszeződés miatt. A mély termőrétegű barna erdőtalajokban a ΔpH érték magasabb, mint a sekély termőrétegű rendzinákban, 1 körüli értékei pedig azt jelzik, hogy a talajok egy része savanyodásra hajlamos. Szénsavas mész jelenléte csak a kőzetdarabokkal átkevert talajokban volt regisztrálható.

**2. A talajok szervesanyag-tartalma** magas, helyenként igen magas. A Bükk-fennsíki talajminták szervesanyag-tartalma magasabb, mint az aggteleki mintáké. Ez egyrészt az aggteleki talajok nagyobb fokú talajeróziójával magyarázható. A Bükk-fennsíkon jobbára rendzina talajokkal találkozunk, amelyeket igen magas szervesanyag-tartalom jellemez. Az aggteleki mintaterület talajai között inkább a magas agyagtartalmú erdőtalajok ill. vörösagyagos talajok dominálnak. A Bükk-fennsíki alacsonyabb hőmérséklet és több csapadék következtében a szerves anyagok lebomlása lassú, így a talaj több

elbomlatlan ill. félig elbomlott szerves maradványt tartalmaz. A mintaterület talajainak humuszminősége a sok elbomlatlan, még bomlófélben lévő nyers humusz miatt nem a legjobb, azonban a nagy mennyiség 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. A *kőzetdarabokkal átkevert sekély termőrétegű rendzina talajok magasabb felvehető kalcium-tartalommal rendelkeznek, mint a kőzettel nem átkevert vörösagyagos rendzinák és barna* erdőtalajok, ami a rendzina talajok kőzetdarabokból történő kalcium-utánpótlását jelzi. Amennyiben a talajtípusokat nem, csupán az egyes növényzeti típusokat tekintjük, megállapítható, hogy *az erdős vegetáció alatti talaj felvehető $Ca^{2+}$-tartalma magasabb, mint a rétek talajaié*, ami összefüggésben áll azzal, hogy az erdők gyökérrendszerének erősebb szívóhatása miatt a gyökérzónában nagyobb fokú a sófelhalmozódás. *A legmagasabb felvehető kalcium-tartalommal a Bükk-fennsíki talajminták rendelkeznek*, ezt követik az aggteleki, végül a mecseki minták. *A talajok kalciummal való ellátottsága jó. A kalcium S-értékből való részesedése a 3 vizsgált mintaterületen különböző.* A Bükk-fennsíki talajokban a legmagasabb az értéke, átlagosan 96,6 %. Az aggteleki talajmintákban átlagosan 87,1 %, míg a mecsekiekben 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.*

4. 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. Az *aggteleki talajok* döntő többsége *magnéziummal jól és közepesen ellátott, a Bükk-fennsíki talajok magnéziummal* való ellátottsága különösen az *alsóbb talajrétegekben többnyire gyenge*, a *felső réteg* ellátottsága viszont sokszor *közepes ill. jó*. A *mecseki* barna rendzinák magnézium-ellátottsága *jó*, az agyagbemosódásos barna erdőtalajok magnézium-ellátottsága *közepes és gyenge*. A réteket mind az aggteleki, mind a bükki talajminták esetében alacsonyabb felvehető magnézium-tartalom jellemzi, mint az erdők talajait, ami a kalciumnál már említett gyökérzónában történő sófelhalmozódás okoz. A *magnézium S-értékből való részesedésében* is tükröződik a *3 terület talajainak* felvehető magnéziumtartalmában 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.

5. A **felvehető kálium mennyisége** átlagosan az aggteleki talajmintákban a legmagasabb. A Bükk-fennsíki talajok alacsony K-tartalmának - hasonlóan a magnéziumnál megállapítotthoz - 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. Az *aggteleki talajok kálium-ellátottsága döntően igen jó és jó, helyenként, főleg az alsóbb talajrétegekben közepes is lehet.* A *Bükk-fennsíki rendzina talajok K-ellátottsága többnyire igen jó és jó, a dolina alji és barna erdőtalajok közepesen és gyengén ellátottak.* A mecseki *rendzina talajokban a talajok K-ellátottsága igen jó*, az *agyagbemosódásos barna erdőtalajok K-ellátottsága pedig közepes ill. gyenge.* 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 rétek talajában magasabb a K S%, mint az erdők talajában.

6. A **$Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ és a $K^{+}$ ionok közötti összefüggések** vizsgálata során alkalmazott korrelációs analízis alapján megállapítottam, 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 kalcium-tartalmú mintáknak magasabb a magnéziumtartalma. A *Bükk-fennsíki talajokban* a felvehető kalcium mennyisége minden esetben szignifikánsan korrelál a káliuméval, tehát azokban a talajokban, *ahol az adszorbeált és vízoldható $Ca^{2+}$-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 mindhárom ion-pár között szignifikáns a korreláció.*

**7. A talaj kémhatásának és szervesanyag-tartalmának hatását vizsgálva a kationok mennyiségére** megállapítottam, hogy az *aggteleki mintaterület* talajaiban 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 kálium és a pH között is szignifikáns a korreláció. 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 (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 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 mindhárom ion mennyiségét igen erősen befolyásolja a talaj kémhatása és szervesanyag-tartalma, a korreláció minden esetben szignifikáns. A *Vörös-hegy barna rendzina talajaiban pH, a szervesanyag-tartalom, a felvehető $Ca^{2+}$-, $Mg^{2+}$-, $K^{+}$-tartalom mindegyike jelentősen magasabb, mint a Szuadó-völgy és a Körtevélyesi-árok agyagbemosódásos barna erdőtalajaiban.*

**8.** Mindhárom mintaterületen megvizsgáltam a talajok **nehézfémtartalmát**. A *mecseki talajok nehézfémtartalma a legalacsonyabb*, minden vizsgált nehézfém tekintetében, és szennyezettségi határérték túllépés nem fordul elő. Az *aggteleki talajok* nehézfémterhelése nem jelentős a Zn, Pb és a Co tekintetében: a nehézfémtartalmak 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 indokolttá teszi a figyelem felhívását. 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*. 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.

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 mobillá válik. Hazánk Cd-szennyezettsége magas, fő forrása alapvetően

légköri eredetű: az ÉNy-i irányú légmozgásokkal a kelet-német, lengyel és cseh iparvidékekről származik. 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. Főként a felső, alacsonyabb kémhatású (pH<6,5) talajrétegekben lehet gond a Cd megfelelő fixálása. A felvehető kadmium-tartalmak ismeretében azonban elmondható, hogy *még a magas, 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 táplálékláncra. A *mély termőrétegű barna erdőtalajokban alacsonyabb a Cd-tartalom, mint a rendzinákban és köves-sziklás váztalajokban.*

A *króm* csak az aggteleki talajokban fordul elő a szennyezettségi határérték feletti mennyiségben. Mivel a Cr pH<4,5 esetén válik mobilabbá, így a talajok számára a kémhatás szempontjából megfelelő pufferkapacitású környezetet áll rendelkezésre. A növények számára felvehető Cr-tartalom rendkívül alacsony, és csak igen nagy fokú savanyodás esetén kell tartani a mobilizációjától.

Az *aggteleki terület* fő növényzeti típusait hordozó talajok nehézfémtartalmának értékelése során megállapítható, hogy az össz-Cd és Pb az átlagértékeket tekintve közel hasonló koncentrációban vannak jelen a tölgyesek és a rétek talajaiban. Az össz-Co és össz-Cr, valamint a felvehető Co mennyisége kicsit magasabb a rétek talajaiban, mint a tölgyesekében. A tölgyesek talajainak viszont átlagosan magasabb az össz-Zn, valamint a felvehető Zn, Cd, Pb és Cr-tartalma. A *Bükk-fennsíkon* végzett kutatások alapján a bükkerdők talajainak össz-nehézfémtartalmainak átlaga minden vizsgált nehézfém esetében meghaladja a fenyvesek és a rétek talajainak össz-nehézfémtartalmát. A felvehető nehézfémek esetében a Cr kivételével (amelyeknél nincs jelentős eltérés a növényzeti típusok szerint) szintén a bükkerdők talajait jellemzik a legmagasabb értékek.

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 meghatároztam a **nehézfémek mobilitási sorrendjét:**

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.

**9.** A talajok **nehézfémtartalmának kémhatással való kapcsolata** a korrelációs vizsgálatok alapján a *mecseki talajokban* igen jellemző: Co kivételével mindegyik vizsgált nehézfém össz-koncentrációja szignifikáns korrelációt mutat a kémhatással. A Cr esetében nemcsak az összes, hanem a felvehető formában jelen lévő nehézfém is szignifikánsan korrelál a pH-val. Az össznehézfémtartalommal 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. Az eredmények természetesen nem jelentik azt, hogy általában a talajok magasabb kémhatásával magasabb nehézfémtartalom jár együtt: csak az általam vizsgált rendzina talajokra és a néhány mélyebb termőrétegű barna erdőtalajra vonatkoznak.

A **szervesanyag- és nehézfémtartalom között** is szignifikáns korreláció áll fent. 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 nehézfém mennyiségére erősebben hat a szerves anyag mennyisége, mint az összes nehézfémtartalomra.*

Mindhárom mintavételi hely adatait együtt vizsgálva az állapítható meg, hogy a *Cd és Pb felvehető formában jelen lévő mennyiségéért elsősorban az illető össz-nehézfémtartalom a felelős* (ez esetben a legmagasabb a korrelációs koefficiens), a *felvehető* formában jelen lévő *Cr mennyiségében a kémhatás, a felvehető* formában jelen lévő *Co mennyiségében* pedig *elsősorban a szerves anyag mennyisége a meghatározó.* A *felvehető Zn esetében nehéz eldönteni, hogy a szerves anyag* (Bükk-fennsíki talajokban) *vagy az össz-Zn* (mecseki talajok) *mennyisége a meghatározóbb.*

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

**10.** A **dolinavizsgálatok** során a legszembeötlőbb eredményeket az *egyes talajparaméterek égtájak szerinti jellegzetes eloszlása* jelenti. A legmarkánsabb különbségek a bükki dolinában lelhetők fel: a *déli és nyugati lejtők talajában* a kémhatás, a szénsavas mész és a szervesanyag-tartalom, valamint a felvehető kation- és a nehézfémtartalom is *magasabb*, mint a dolina másik két lejtőjén illetve a dolina alján. Az aggteleki dolinában is fellelhetőek ezek a különbségek, de nem minden vizsgált paraméter esetében (elsősorban a nehézfémek tekintetében nem) és nem is olyan markánsan, mint a bükki dolinában. A nehézfém vizsgálatok során szennyezettségi határérték túllépéssel az aggteleki dolinában a Cd és a Cr esetében, a bükki dolinában pedig a Cd esetében találkozunk (akárcsak a mintaterületek talajai esetén). *Dolinavizsgálataim alátámasztják a korábbi kutatások eredményeit: a különböző kitettségű lejtőkön a talajtulajdonságok eltérnek, összefüggésben a speciális mikroklíma és a növényzet befolyásolta talajfejlődési viszonyokkal.*

**11.** A vizsgált 8 lejtő közül egyedül a mecseki Szuadó-völgyben (lösszel takart mészkő) *mutatható ki egyértelműen a* **lejtő menti áthalmozás:** mindegyik vizsgált paraméter (szerves anyag, nehézfémek, kalcium, magnézium, kálium) mennyisége feldúsulást mutat. A többi lejtőn azonban több anyag koncentrációja is csökken a lejtő mentén vagy egyenletes eloszlású, bár több alkalommal is megfigyelhető, hogy a lejtőközépi mintában mért értékek meghaladják a lejtő tetején mért értékeket: az áthalmozási folyamat megindulhatott. A vizsgált lejtők közül a Körtevélyesi-árok és a Szuadó-völgy mészkőlejtőjét fiatal löszös üledéktakaró borítja. A Bükk-fennsíki lejtőkön a talajok alatt közvetlenül mészkő található, az Aggteleki karszt vizsgált lejtőit pedig helyenként vörösagyag fedi. Az eredmények igazolják, hogy a *mészkő alapkőzetű talajokban a lejtő menti áthalmozási folyamatok eltérnek a nem-karsztos alapkőzeten végbemenőtől.* A mészkő alapkőzetű lejtőkön ugyanis *a felületi erózió mértéke korlátozott*: a víz beszivárog a karsztos repedéshálózatba, miközben számos elemet magával vihet a mélybe. A másik jellemző különbség a nem-karsztos kőzetekhez képest, hogy a lejtőteteji, lejtőközépi sekélyebb termőrétegű, ezáltal kőzetdarabokkal átkevert, a kilúgozódást jobban akadályozó semleges kémhatású, magas szervesanyag-tartalmú talajokban a vertikális áthalmozási folyamatok különböznek a lejtőalji vastagabb termőrétegű, inkább agyagos, savasabb talajokétól. Tehát *a karsztos területeken nem elég csak a lejtőirányú áthalmozódási folyamatokban gondolkozni, meg kell vizsgálni a lejtő alján a mélyebb talajok vertikális kimosódási folyamatait is a lejtő menti áthalmozás vizsgálatakor.*

**A témában eddig megjelent publikációk jegyzéke:**

*Keveiné Bárány Ilona - Hoyk Edit - **Zseni Anikó*** (1999): Karsztökológiai egyensúlymegbomlások néhány hazai karsztterületen. - Karsztfejlődés III. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 79-91.

***Zseni Anikó*** (1999): Research on the soils of karst areas in Hungary (example from Bükk Mountain). - Acta Carsologica , 28/2, 12, Ljubljana, pp. 203-210.

***Zseni Anikó*** (1999): A talaj szerepe a mészkõjárdák kialakulásában. - CD, A táj és az ember - geográfus szemmel. Geográfus Doktoranduszok IV. Országos Konferenciája, Szeged, Internet: http://phd.ini.hu

***Anikó Zseni*** (2000): Soils on karst areas of the Bükk Mountain, Hungary. - Essays in the ecology and conservation of karst, Special Issue of Acta Geographica Szegediensis for the International Geographical Union Comission, edited by I. Bárány-Kevei and J. Gunn, Szeged, pp. 40-46

***Zseni Anikó*** - *Keveiné Bárány Ilona* (2000): Nagy-Britannia mészkõjárdái és a talaj hatása azok fejlõdésében. - Karsztfejlõdés V. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 181-194.

***Zseni Anikó*** (2000): Comparative analysis of some soil characteristics on Bükk and Aggtelek Karst (Hungary) with special regards to organic material. – ACTA Geographica Szegediensis Tom. XXXVII. pp. 141-148.

***Zseni Anikó*** (2000): A talaj kémhatása és a növényzet kapcsolata néhány hazai karsztterületen. – Földrajz az egész világ: Geográfus Doktoranduszok V. Országos Konferenciája, Miskolc, konferenciakötet, pp. 67-74.

*Bárány-Kevei, I. , Goldie, H. - Hoyk, E. -* ***Zseni, A.*** (2001): Heavy metal content of some Hungarian and English karst soils. – Acta Climatologica et Chorologica, Universitas Szegediensis, Tom. 34-35., pp. 81-92.

***Zseni Anikó*** (2001): 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 Anikó – Keveiné Bárány Ilona* (2001): Talajtulajdonságok változása és jellemzői dolinákban. - A földrajz eredményei az új évezred küszöbén: A Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. Szeged, CD kiadvány: MFK2001.html

*Zseni Anikó* (2001): Karszttalajok tápanyagvizsgálata hazai példákon. - Karsztfejlödés VI. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 195-207.

*Anikó Zseni* (2002): The role of soil cover in the evolution of karrenfelds. - In: Carsologica: Evolution of karst: from prekarst to cessation (ed. F. Gabrovsek), Postojna-Ljubljana, pp. 299-306.

*Zseni Anikó* (2002): Karrmezők talajainak vizsgálata magyarországi és angol területeken. - Karsztfejlődés VII., Szombathely, pp. 281-295.

*Keveiné Bárány Ilona - Zseni Anikó - Kaszala Rita* (2002): A talaj és növényzet nehézfém-tartalmának vizsgálata karsztos mintaterületen. - Karsztfejlődés VII., Szombathely, pp. 297-315.