

Zárójelentés

”A karsztökológiai rendszer állapotváltozásai, egyensúly megbomlások a rendszerben (domborzat, talaj, karsztvíz), hatásuk a karsztok tájváltozásaira”c. OTKA pályázatról

Bevezetés

A karsztokon az ember *közvetlen hatások* (a barlang lakóhely, a karsztvíz, mint ivóvíz, az erdőhasználat, a kőbányászat) mellett *közvetve* (a talajon keresztül szivárgó vízzel, a növényborítással, a klímaváltozással stb.) is *kedvezőtlenül befolyásolta* a karsztok működését (karsztvízszint csökkenés, a szivárgó vizek savanyodása, a nehézfém tartalom növekedése, a cspkkó visszaoldódás). A közvetett emberi hatások következményeit csak hosszabb idő elteltével észleljük, amikor már nincs, vagy csekély a lehetőségünk a beavatkozás következményeinek korrekciójára. A földrajztudományi kutatásokban elsősorban a kedvezőtlen antropogén hatások miatt nyert polgárjogot a komplex tájökológiai kutatás, melynek célja a *tájalkotó tényezők összhatásában* kialakuló, illetve fejlődő *geoökörendszerek szerkezetének és működésének feltárása*. Ezen kutatások egyik fontos területe a karsztok ökológiai rendszerének vizsgálata.

A jelen kutatás ennek a gondolatnak a jegyében, egy korábban megkezdett munka folytatásaként a fenti cél megvalósítására törekedett. A pályázat indoklásában hangsúlyoztuk, hogy az utóbbi időben került előtérbe a környezet-érzékeny karsztok gyakorlatorientált vizsgálata. Ennek egyik okaként a karsztvíznek, mint ivóvíz potenciálnak a megőrzését jelöltük meg (a Föld lakosságának egy negyede karsztvizet iszik). Az utóbbi néhány évben felértékelődött a kutatás azért is, mert a globális felmelegedéssel együtt fellépő általános szárazodás nem kíméli a karsztokat sem. Jelen kutatási projekt, felhasználva a korábbi eredményeket, a domborzat, karsztvíz és a talaj részletes elemzését vállalta fel, de a munka során nem nélkülözhattük a tájhasznosítás jelenlegi formáinak értékelését (pl. az erdőgazdálkodás) sem.

Módszerek

A munka első fázisát képezte az adatgyűjtés és anyaggyűjtés.. A domborzat vizsgálatához, a talajok elemzéséhez, a karsztvíz minősítéshez, valamint a karsztos erdőgazdálkodás mintaterületeinek kijelölésére terepbejárásokat végeztük három karsztterületen (Aggteleki-hegység, Bükk-hegység és Mecsek-hegység), majd a laboratóriumi elemzéshez begyűjtöttünk a szükséges mintákat. (A kutatáshoz megfelelő mennyiségű anyag begyűjtése a kutatás időtartama alatt a tervezett ritmusnak megfelelően történt).

A domborzatértékeléshez a Bükk-fennsíkon 15 km²-es területen 20 méteres mintavételezéssel, szabálytalan háromszöghálóval (TIN) 43370 pontot mértünk meg. Ezt követően *digitális domborzatmodellt készítettünk* 2-m-es felbontással. Az adatok elemzéséhez és megjelenítéséhez ERDAS IMAGINE térinformatikai képfeldolgozó és elemző térinformatikai szoftvert használtunk.

A *karsztvíz vizsgálatokat* az Aggteleki Karszton és a Délkeleti-Bükk forrásaiban végeztük. Az aggteleki mintákat a barlangi szivárgó vizekből és a forrásokból gyűjtöttük meghatározott időpontokban. 2006-ban kezdtük meg a *rendszeres vízvizsgálatot a Bükk hegységben*, a Kács-Sály vízrendszerben. Kéthetente gyűjtöttünk be a vízmintákat, amit folyamatosan laboratóriumban elemeztünk. Az elemzés a pH, az elektromos vezetőképesség, a Ca, Mg, HCO₃⁻, Na, K, PO₄²⁻, Cl⁻ tartalom, és a nehézfém tartalom meghatározására terjedt ki. A rendszer feltérképezéshez 11 mintavételi pontot választottunk. A vízmintákat a gyakorlatban meghatározott időn belül laboratóriumban megvizsgáltuk (24 órán belül). A vízmintavételek kéthetes gyakorisággal történtek, mert ez az az intervallum, amikor még nyomon követhetők egyes hatások, amelyek a vízgyűjtő területet érték. Fontos, hogy a

megvett mintákat a lehető leghamarabb megvizsgáljuk, ugyanis a megváltozott környezet (hőmérséklet, levegő összetétele) megváltoztatja a minta minőségét is. A mintavételkor a helyszínen mértük a víz és a levegő hőmérsékletét, valamint a víz pH-ját és elektromos vezetőképességét. A WTW Cond 400 i típusú műszerrel történtek a helyszíni vizsgálatok. A nehéfmeghatározást az SZTE Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék ASS laboratóriumában végeztük (ugyancsak itt történt a talajok hasonló vizsgálata).

A talajvizsgálatokhoz a korábbi felvételezések folytatásaként az Aggteleki Karszton egy határ-menti erdőrezervátum területén 63 talajfúrást és 6 db talajszelvényt készítettünk. Laboratóriumi elemzéshez a gyökérszóna és a felszín közeli minták anyagait gyűjtöttük be. A laboratóriumi elemzést a mechanikai összetételre (aerométeres elemzés) és a tápanyag tartalomra vonatkozóan (spektrofotométerrel) végeztük el. A Mecsek-hegységben terepi feltárással készítettük el a típusos talajszelvényeket.

Az erdőre vonatkozó kutatásokhoz *faállomány-szerkezeti felmérést* végeztünk az erdőrezervátum pillanatnyi állapotának rögzítésére Aggteleken, ami a későbbi állapotok összehasonlítása alapjául szolgál. A felmérést 2006 áprilisában kezdtük meg, ami jelenleg is folyamatban van. A felvett adatok lehetőséget biztosítanak a faállomány és a talaj, valamint az egyéb termőhelyi tényezők kapcsolatainak feltárására a karszton. A Bükk-hegységben történt erdővizsgálatoknál, 100 km²-es területen a nagy pontosságú domborzatmodell segítségével 2 időpontra (1964, 2004) előállított famagasság-térkép felhasználási lehetőségeit értékeltük. A mintaterületről készített domborzatmodell, és a fotogrammetriai eljárással készült felületmodell magasságkülönbségeiből készítettük a digitális famagasság térképeket.

Eredmények

A karsztos területek változatos felszíne, a formák gazdagsága, összességében a geodiverzitás jól tükröződik a makro-, és mikroformák sokféleségében (GRAY, M 2005., CERRANO CANADAS, E. és RUIZ FLANO, P., 2007). A karsztos domborzat diverzitása a korábbi felmérések domborzatrajzában – a topográfiai szemlélet, és a méretarány következtében – nem mutatkozott meg értékelhető módon. A formakincs megítélésében kulcsfontosságú felszíni változatosság bemutatásához szükséges a domborzat pontosítása. (A valós viszonyokat jobban közelítő morfológiai térképek készítése megkívánja ezt a pontosítást). Ebből a szempontból az oldásos dolinák, a mérsékeltövi karsztok jellemző formái képezték a vizsgálati objektumainkat.

A felmérés pontossága nagyban függ a mérések számától. Digitális fotogrammetriai eljárásokkal nagyban növelhető a mérés hatékonysága. A Bükk-fennsík területén a fenti módszerrel 275 dolina felmérése megtörtént. A mérés eredményei térinformatikai (GIS) rendszerben, *digitális domborzatmodell* formájában kerültek tárolásra. A domborzatmodell területe – a térképekhez hasonlóan – a felszín síkba eső vetületét jelenti, az adatállomány jelen esetben UTM WGS84 ZONE34 vetületi rendszerben van. A térinformatika alkalmazása lehetőséget ad a lejtőkategória vizsgálatára, ami a lejtés szögének meghatározását jelenti a felszín minden egyes pontjában. Minél nagyobb a beesési szög az adott pontban, annál nagyobb lesz a felszín nagyságának eltérése a síkba eső vetülettől. A felszín nagysága a terület/cos α (α : beesési szög) hányadosa alapján meghatározható, az adatbázis táblázatában definiált formulaként a teljes területre kiszámolható. A felszín nagyságának pontos ismeretére a tényleges oldási felszín meghatározása miatt van szükségünk. Korábbi vizsgálatainkban (Bárány-Mezősi 1993) csak közelítő adatokkal dolgozhattunk, ezért ez az eljárás pontossá tette a meghatározást.

Vizsgálatunkban a legkülső, záródó szintvonalon belüli területre kiszámítottuk a korábban felmért 275 dolina korróziós felszínét. A *vetület/felszín hányados alapján*

meghatároztuk a mélységi viszonyokat jellemző rátát, mint új morfológiai paramétert. Összefüggést találtunk a kapott értékek területi elhelyezkedése és a dolinatípusok között.

A talajok esetében a domborzattal való kapcsolatot vizsgáltuk először. A vizsgált aggteleki területen a legelterjedtebb barna rendzínák a lejtőkön, völgyoldalakon és gerinceken is megtalálhatók. Wettersteini mészkövön vagy dolomiton vastagságuk változó, jellemzően 20-60 cm mélységűek. A színén kívül számos tulajdonsága markánsan megkülönbözteti a fekete rendzínától ezt a talajt, pl. a humusztartalom, vastagság, szerkezet, vagy az AC szintek közötti átmenet jelleg. A fekete rendzina a területen foltszerű elterjedésben fordul elő tetőhelyzetben, gerinceken, lejtőpihenőkön jellemző. A Wettersteini mészkövön képződött talajok mélysége sehol nem haladja meg a 20-30 cm-t. A vörösayagos rendzínák még ennél is jelentéktelenebb kiterjedésűek, a területen csak néhány kisebb foltban jelennek meg a nyergeken és völgyfőkön. Alapközetük korábbi humid klímán kialakult agyagos málladék, melynek eredete máig vitatott. Az agyagbemosódásos barna erdőtalajoktól élesen elkülönülő erdőtalaj típus színe élénkebb, a szelvény maga homogén, vízgazdálkodási paramétereiben és pH-jában is jelentős eltéréseket mutat. A kémhatása jellemzően savanyú. A típusos kifejlődése nem jellemző, előfordulásuk csak a völgyfők és a völgytalpak egyes szakaszaira korlátozódik, alapközetét különböző eredetű agyagos málladékok képezik. Szelvényeik általában 100-120 cm mélyek. Ezzel szemben a völgytalpakon és a lejtők alsó szakaszain a lejtőhordalék talajok általánosan elterjedtek, vastagságuk akár a 2 m-t is elérheti.

Az agyagbemosódásos barna erdőtalajok és a lejtőhordalék talajok sajátos keveredése, illetve jellemző folyamataik együttes jelenléte néhány szelvénynél nagyon szépen megfigyelhető. A talajtulajdonságokban a lejtő mentén is változások figyelhetők meg. A szénsavas mésztartalom és a humusz % esetében hasonló tendenciákat tapasztalunk a lejtő mentén: a legmagasabb értékeket az egyenes lejtőn elhelyezkedő rendzina talajok mutatják, majd a lejtőhordalék talajok. Azok a pontok, ahol anyag-elmozdulás valószínűsíthető alacsonyabb értékekkel jellemezhetőek, míg a legalacsonyabb értékeket a völgy alján kifejlődött barna erdőtalaj 'A' szintjének esetében kaptuk.

A talaj összes nitrogéntartalma a lejtő mentén a humuszhoz hasonlóan változik. A dolomitos alapközeten elhelyezkedő keresztshelvényben a vizes pH (pH(H₂O)) értékeiben nincsenek komoly különbségek, mindegyik szelvény esetében elsősorban a semleges tartományban, 7 körül mozognak. A kisebb eltérések arra utalnak, hogy ez a tulajdonság nem elsősorban a lejtőn való elhelyezkedéstől, hanem inkább az erózió mértékétől és jellegétől függően változik. Jelentősebb eltérést csak a két nem-dolomit alapközetű szelvény esetében találtunk. Ez arra utal, hogy a szénsavas mésztartalom mennyisége, az alapközet jellege a mikroformáknál is jelentősebben befolyásolhatja a vizes pH értékét. A negatív formákban felhalmozódott agyagos üledék jelenléte (még akkor is, ha több m-es ráhordódás van) negatív irányban tolja el a jellemző pH értékeket.

A terület talajainak tulajdonságait digitális domborzatmodell, illetve származtatott paraméterek alapján, modell segítségével kiterjesztettük a megmintázott terület határain túlra. A talajtípusok megjelenése szoros kapcsolatot mutatott a domborzati helyzettel, ami a fűszárú vegetáció fajösszetételében is tükröződik. A talajtulajdonságok domborzati paraméterekkel való összefüggésének vizsgálata kimutatta azt is, hogy a talajmélység és a savanyodási hajlam szignifikáns kapcsolatban van az eróziós mutatókkal.

A Mecsek hegységben a talajok típusossági értékelés során megállapítottuk, hogy az előforduló talajtípusok közül típusos a barna rendzina, második a típusossági sorban a Ramann-féle barnaföld ill. az agyagbemosódásos barna erdőtalaj. Harmadik az erősen savanyú, nem podzolos barna erdőtalaj, amit a pszeudoglejes barna erdőtalaj szelvénye követ a típusosság szempontjából. A típusosságot negatív irányban leginkább a kémhatás, a hidrolitos-aciditás és a kicserélődési savanyúság befolyásolta, ami annak köszönhető, hogy a

mecseki talajok savanyúak, kémhatásuk a típusosnál alacsonyabb. A hidrolitos aciditás magas értékei is a savanyodásra utalnak. Ez a *terület savanyodás általi veszélyeztetettségi tendenciáját mutatja*. A az *erdők állapotát Nyugati-Mecsekben természetközelinek* minősítettük. A vizsgált terület északi részén a jelenlegi társulások és az optimális társulások között jelentős az egybeesés. Ez azt jelenti, hogy az *erdők védelem alá helyezése itt indokolt*. Ezt igazolták azok a vizsgálatok is, amelyek az alapkőzet és a vegetáció, a talaj és a lejtőszög, a talajtípus és a növényzet kapcsolatát elemezték.

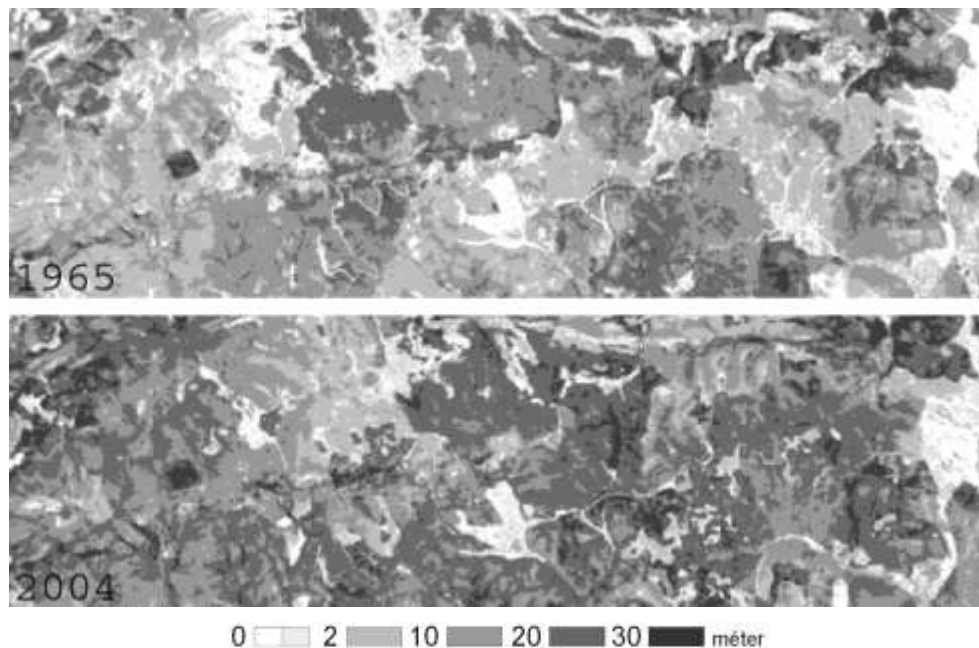
A *karsztvíz vizsgálat*, elsősorban a *vízminőség meghatározására*, illetve annak *változás vizsgálatára* vonatkozott. A vizsgálat célja volt választ keresni arra, hogy mutatkozik-e szennyeződés a vizsgált vizekben, van-e hasonlóság az egyes mintavételi helyek vízminősége között, s hogyan változik a vizsgált elem koncentrációja, van-e öntisztulás, vagy a terhelés a karsztban növekszik. Források és barlangi csepegő vizek vizsgálatát végeztük el az Aggteleki Karszton (Baradla-barlang, Jósva források, Béke barlang, Komlós forrás, Kossuth barlang, Nagy-Tohonya forrás, Vass Imre barlang, Kis-tohonya forrás, Rákóczi barlang és a Földváry barlang). A vízmintákban az ólom, kadmium, cink, kobalt, réz, vas, mangán, nikkel és króm koncentrációját határoztuk meg. Az eseti mintavételeknél *ólommal és kadmiummal szennyezett volt a víz*, az ivóvíz-minősítésnél megengedett határértéket túllépte. Az eseti vizsgálatok jelzés értékűek. Feltétlenül kívánatos a vizsgálatok folytatása, mivel a lakosság vízellátását is szolgáló karsztvizek nehézfém szennyezése a jövőben komoly egészségügyi problémát okozhat.

A Bükk-hegység hidrodinamikai rendszerében a szabad vízmozgás és a szivárgó rendszerek egyaránt jelen vannak. A vízzáró és a karsztosodó kőzetek határán víznyelősorok alakultak ki, az egyes barlangrendszerek, valamint a szerkezeti vonalak mentén kialakult jó vízvezető zónák közötti területeken, pedig a kis repedésekkel jellemezhető, szivárgó rendszerek helyezkednek el. A Kács-Sályi forráscsoport geológiai vízgyűjtő területe a Déli-Bükk területére esik. A források jól karsztosodó eocén mészkőben (Szépvölgyi formáció) lépnek a felszínre, de vízgyűjtőterületüket triász mészkő, az ún. Felsőtárkányi formáció alkotja, dolomit betelepülésekkel. Ez a kőzettípus kevésbé jól karsztosodik, színe a sötétszürkétől a világosszürkéig terjed. Finomszemcsés, afanitos szerkezetű, változó mértékben tüzkölcens és márgatelepüléses, kora felső-Triász. A bükki karsztrendszer jellegét tekintve *Grund típusába sorolható, azaz egységes, összefüggő, szabad túlfolyással rendelkező víztároló rendszer, amelynek lehetnek viszonylag önálló részletei, de jelentőségük regionális értelemben alárendelt*. Ez azt is jelenti a gyakorlatban, hogy a különböző „egyéni” vízrendszerek túlzott használata befolyásolhatja hosszabb távon a szomszédos rendszereket, és átvitt értelemben befolyásolhatja az egész hegység vízháztartását. Az is ismert, hogy a Bükk karsztvíz-készletének mintegy 90 %-a a kisebb repedésrendszerekben tározódik, és hosszú idő átlagában a felszínről, csapadékból és patakokból utánpótlódó vízhozam egyensúlyban van a rendszerből távozó vízmennyiséggel.

A Bükk hegység langyos-, hideg- és kevertvízű forrásaiban a fontosabb *elemtartalmat és a nehézfémeket* (kalcium, magnézium, nitrát, foszfát, szulfát, kálium, ólom, cink, réz, kadmium) mintavétel után laboratóriumi elemzéssel mutattuk ki. Célunk volt nyomon követni a települések hatását is a patakok vízminőségében, ezért mintavételi pontot jelöltünk ki a falvakban és a falvakon kívül. Összesen 11 mintavételi ponton mértünk, melyből 8 forrás és 3 patakvíz volt. Minden mintavételnél rögzítettük a vízszint –, és a környezetváltozásokat, valamint a levegő hőmérsékletét, a víz hőmérsékletét, pH-ját és elektromos-vezetőképességét. A Ca^{2+} és a Mg^{2+} értéke mindegyik forrásban magas. A Mg többlet származhat a dolomitos kőzetekből (Felsőhámori dolomit, Belvácsi dolomit), de betudható a víz karsztban eltöltött hosszabb időtartamának is. A meleg és kevertvízű forrásokban nem találtunk különbséget a magnézium tartalomban. A HCO_3^- mennyisége mindenütt nagyjából azonos, mennyisége a keménység változási tendenciáival szinkronban változik. A pH értékek 6-8 között mozogtak,

ősz végétől január elejéig csökken, majd a beszivárgó vizek forrásokhoz érkezése után nőtt az értéke. A Na^+ és a K^+ a Sályi és a kácsi Máriás forrásban magasabb, mint a többi mintában, ami alacsonyabb nehézfém tatalommal együttjelentkezik. Ugyanitt a Cl^- ionok mennyisége is magasabb, ami a vulkanikus kőzetekből származik (ami mindkét vizsgált patak vízgyűjtőjén megtalálható). A SO_4^{2-} tartalmat tekintve gyengén szulfátos források közé sorolhatók. A szennyező anyagok közül a PO_4^{2-} tartalom a Kácsi patakban magas, ami a település csatornázatlanságával magyarázható antropogén szennyezés következménye. A megelőző nehézfém-vizsgálatok hívták fel a figyelmet a borsodi ivóvízrendszerbe kapcsolódó források vízminőség vizsgálatára. Eddigi méréseink szerint *az ólom és a kadmium haladta meg a megengedett határértéket*, ami szinkronban van a korábbi talaj nehézfém tartalom vizsgálatainkkal. Mind az Aggteleki Karszt, mind a Bükk Karsztja tehát érintett az emberi tevékenység révén, ami a vízszennyezésekben mutatkozik.

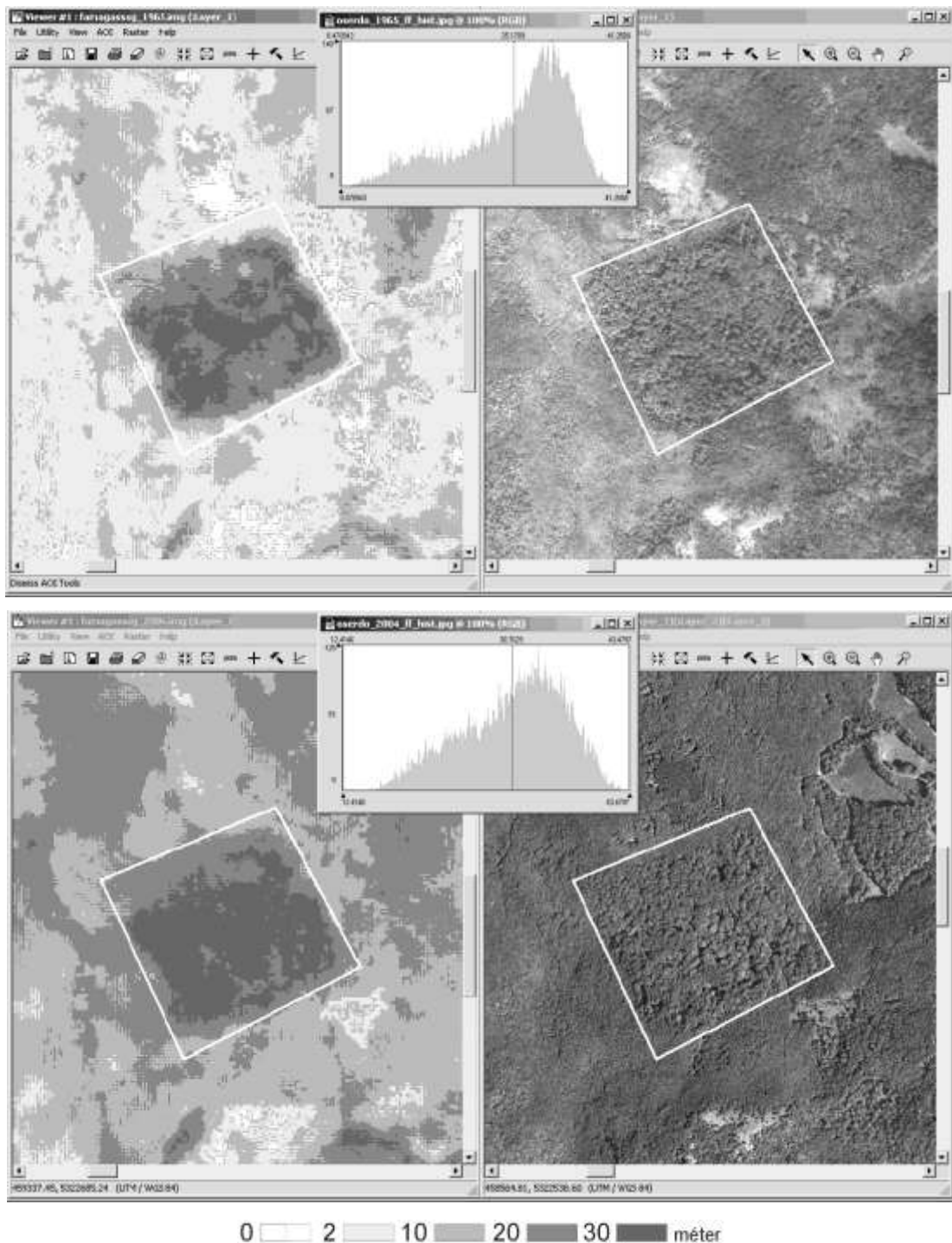
A növényzet változását domborzatmodell és famagasság térkép segítségével értékeltük. Választott mintaterületünk a Bükk - hegységben és Aggteleki Karszton a Haragiastya Lófej erdőrezervátumban volt. A Bükk-fennsíkon mintegy 100 km²-es területen a nagy pontosságú domborzatmodell segítségével 2 időpontra (1964, 2004) előállított famagasság-térkép felhasználási lehetőségeit értékeltük. A mintaterületről rendelkezésre álló domborzatmodell, és a fotogrammetrai eljárással készült felületmodell magasság különbségeiből digitális famagasság térképeket készítettünk (1. ábra). A magassági adatok számszerűsítése nélkül is szembetűnő, hogy összességében véve növekedett a területen található erdők magassága (és ezzel párhuzamosan a kora), ami elsősorban a Nemzeti Park megalakulásának, és a fenntartható erdőgazdálkodásnak köszönhető.



1. ábra. A mintaterület famagasság térképe 1965 és 2004 évekből

Következő lépésként a *Bükk-fennsík* DNy-i részén egy 27 hektáros szigorúan védett területet, az *Őserdőt* választottuk ki vizsgálatra, ahol már közel 200 éve nem folyik erdőgazdálkodás. Az 1965-ös légi-felvételen látható, hogy a magas fák szigetszerűen emelkednek ki a környező területekből. Ez a famagasság-térképnél is jelentkezik. A 2004-es állapot már kevésbé kontrasztos, az Őserdő körüli erdők megközelítették az erdőgazdálkodás

alól kivont terület magasságát. A két időpontból vett famagasság térképen a magasabb fák elhelyezkedésének a struktúrája az *Őserdőben* hasonló képet mutat, a famagasságok azonban láthatóan növekedtek. A területen belüli magassági adatok hisztogramjait elemezve kiderült, hogy az átlagos famagasság több mint 5 méterrel, a famagasságok módusza (leggyakoribb előfordulás) 3 méterrel, a legnagyobb famagasságok 41 méterről 43 méter fölé emelkedtek (2. ábra).



2. ábra: Az Őserdő területén bekövetkezett famagasság változások (balra), torzításmentes légifelvétel, ortofotó (jobbra), továbbá az Őserdőn belüli magassági adatok hisztogramjai az 1965-ös (fent) és 2004-es (lent) állapotok szerint

A gyakorisági értékek alapján az erdővel borított területek aránya 2004-re 7 %-os növekedést mutat. A legnagyobb fmagasságok összhangban vannak a bükk fatermési tábláinak átlagos maximális értékeivel (120 éves állomány: 40 m). A grafikont elemezve megállapítható, hogy 1965-ben egy idősebb (15-20 méteres) valamint egy fiatalabb (5-10 méteres) állomány volt domináns, míg 2004-re ez a két maximum egy kétszer akkora értékű egyetlen maximumban egyesült. Ezek alapján következtethetünk arra, hogy a II. világháború utáni ipari mértékű erdőirtások helyén az újraterelített erdők 2004-re utolérték a II. világháború előtt telepített állományok magasságát.

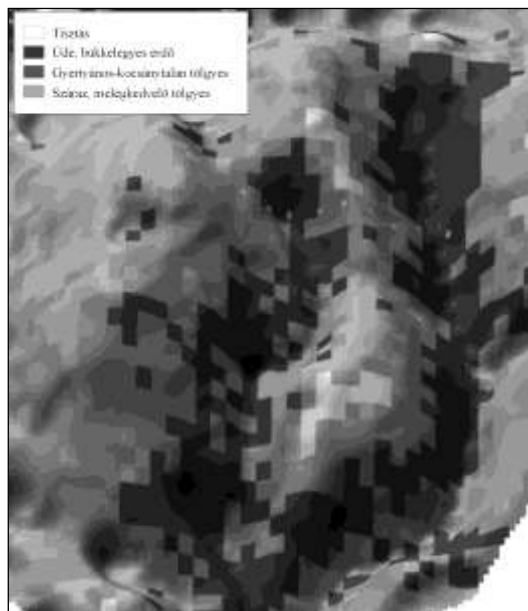
A vizsgált aggteleki mintaterületen, a Haragistya-Lófej erdőrezervátumban a leggyakoribb fafajok a kocsánytalan tölgy, a mezei juhar és a gyertyán. Fekete rendzinán molyhos tölgyes, barkócaberkenye és bükk jelenik meg. Általában jellemző, hogy a *genetikai talajtípusok egymás közötti átmeneteit a fászszerűak fokozatosan változó fajösszetétele is tükrözi*. A kocsánytalan tölgy a leggyakoribb faj, szinte minden domborzati helyzetben és talajtípuson. A mezei juhar és a gyertyán hasonlóan viselkedik, de az üdőbb, jobb vízháztartású talajokon az előbbi ritkábbá, az utóbbi gyakoribbá válik.

Az erdőrezervátumban 10 m-es felbontású domborzatmodellt készítettünk. A 2004 évi fmagasság-térkép pontosságát, egy 31 mintapontban elvégzett terepi fallomány-szerkezeti felmérés adataival összevetve vizsgáltuk meg, majd összevetettük az automatikusan előállított felületmodell értékeit manuális fotogrammetriai mérések eredményeivel.

Az eredmények azt mutatják, hogy az így készített fmagasság-térkép nagy területen könnyen áttekinthetővé teszi az erdők pillanatnyi állapotát, valamint idősoros vizsgálat esetén, a változás nyomon követését nagyon megkönnyíti. Bár az egyes mérések bizonytalanságai miatt a módszerek összevetése nehézkes, az eredmények azt jelzik, hogy a felületmodell készítése során a szoftver a magasságmérés alapjául szolgáló pontokat elsősorban az uralkodó lombkoronaszintből veszi, így az adott pontra leginkább jellemző fmagasságot írja le. A modell alkalmazhatósága függ az állomány jellegétől és záródásától is.

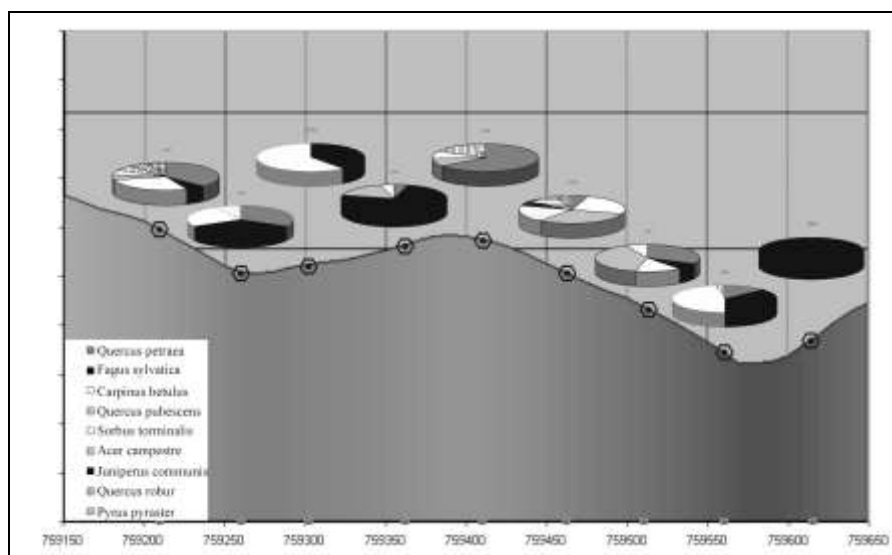
A faállomány jelenlegi állapotának feltérképezése is célunk volt Haragistya-Lófej erdőrezervátumban. A vizsgálathoz mintapontokra kiszámítottunk néhány, a leggyakrabban alkalmazott szerkezeti és diverzitási mutatót. Megvizsgáltuk ezek térbeli eloszlását, valamint értékeltük egymással való kapcsolatukat. Megállapítottuk, hogy *a faállomány-szerkezetet jelentősen befolyásolja a termőhely mellett a domborzat is*.

A karsztos erdőgazdálkodás vizsgálata során itt először az erdők változásait értékeltük. Az értékeléshez beszereztük az erdőgazdasági üzemterveket, a különböző katonai felmérések térképeit, néhány légifotót (1952, 1956, 1988, 1997 évekből) és űrfelvételt (LANDSAT 1979, 1987,200). A faállomány szerkezetének méréséhez egy módszer kidolgozása céljából próba felméréseket végeztünk GPS-el meghatározott pontokon. Fmagasság mérés az erdődinamika meghatározásához nyújtott adatokat. Elkészült néhány tematikus térkép: Magyarország és ezen belül a karsztok erdősültségi térképe, az erdők korosztály viszonyainak térképe. A mintaterület faállománya kis területen belül nagy változékonyságot mutat mind faji összetételében, mind szerkezetében. Az aggteleki karszt fennsíkjának délkeleti részén nagymértékű Ny-K-i irányú változatosság is megfigyelhető (3. ábra).



3. ábra. A növényzet típusai az Aggteleki Karszt fennsíkján választott mintaterületen egy 2000-ben készült LANDSAT felvétel alapján

A képen egy 2000-es Landsat műholdfelvétel irányított osztályozása látható, ráfeszítve a terület 10 m-es felbontású domborzatmodelljére. Az osztályozással szétválasztott *típusok* láthatóan *kötődnek a domborzati formákhoz*. Érdekes, és csak hosszú távon megválaszolható kérdés, hogy a jelenleg eltérő képet mutató állományok további fejlődése is eltérő lesz-e. Azaz a lejtőn elfoglalt helyzet függvényében elkülöníthetőek-e az eltérő fejlődési sorok, vagy pedig a jelenlegi változatosság a korábbi kezelés eredménye (s a későbbiekben a fejlődés során a változatosság csökkenni fog). A kérdés megválaszolásához az első lépés a különböző talajtípusok és a faállomány kapcsolatának vizsgálata. A LANDSAT-felvételből készített térképen látható fajösszetétel-különbségeket a terepi mérések adatai is igazolják (4. ábra).



4. ábra A fajösszetétel alakulása a lejtő mentén

A két völgyben jellemző az árnyéktűrő fajok (bükk és gyertyán) dominanciája, míg a lejtőn nyíltabb, fényben gazdagabb tölgyeseket találunk, jellemzően több elegyfajjal. Néhány faj (barkócaberkenye, mezei juhar) a lejtő szinte teljes hosszában megtalálható.

Összességében megállapíthatjuk, hogy a *karsztökológiai rendszerben a domborzat jelentősen megváltoztatja a talaj állapotát, eróziós veszélyeztetettségét. Ezzel szoros*

kapcsolatban változik a növényborítás. A növényzet típusa meghatározza a beszivárgó víz mennyiségét ezért a felszínborítás minőségének vizsgálata igen fontos a karsztokon. Ehhez kapcsolható a karsztvíz vizsgálat, amely a növényzet és talaj hatására megváltozhat, különösen, ha az emberi tevékenység ezt jelentős mértékben befolyásolja.

A három vizsgált karszthegységben Aggteleki hegység, Bükk hegység és a Mecsek-hegység) a folyamatok többsége hasonlóképpen játszódik le. Mivel a *domborzat meghatározza a vízvezetést a karsztokon, s a víz minősége pedig, szoros kapcsolatban van a növény és talajborítással,* a fenti vizsgálatok alapján megállapíthatjuk, hogy a *felszínborítás (erdők, talajok) jelentős mértékben befolyásolja (puffer közegként) a beszivárgó vizek minőségét.* A jövőben rendszeres monitorozással lenne célszerű ezen paramétereket folyamatosan ellenőrizni, s az eredmények alapján javaslatot lehet tenni az antropogén hatás csökkentésére a karsztokon.

A fenti kutatás a domborzat, a talajok, a karsztvíz, és ezek függvényében a növényzet a megváltozásának tendenciái, az egyensúly megbomlások nagyságrendjének becslését, s összességében a karsztok tájváltozásainak megértését és jövőbeni feladatok javaslatának elkészítését szolgálják. A karsztrendszer integritása a rendszer faktorok kapcsolatrendszerétől függ. Bármely zavarás ebben a rendszerben kedvezőtlen hosszabb távon érvényesülő hatást fejt ki, károsodást eredményez.

A kutatás új eredményei:

Domborzat: a domborzat befolyásolja a talajok elhelyezkedését, a vízvezetést és a növényzet elrendeződését is, ezért pontosítani kívántuk a mikro- és mezo- formák felületének meghatározását

- 275 dolina térinformatikai (GIS) rendszerben történt felmérése alapján, *digitális domborzatmodell* felhasználásával a *dolinák esetén 5-m-es szintkülönbség eltérést találtunk a topográfiai térképhez viszonyítva,* ezzel a további morfológiai értékelésekhez újabb adatokat szolgáltatunk.
- A *dolinák vetület/felszín hányadosa alapján* meghatároztuk a *mélységi viszonyokat jellemző rátát, mint új morfológiai paramétert.* Összefüggést találtunk a kapott értékek területi elhelyezkedése és a dolinatípusok között.

Talaj: a talajok és a domborzat kapcsolata elsősorban az erózió veszélyeztetettség szempontjából fontos, de a többi talajtulajdonságot is jelentősen befolyásolhatja. Ezek feltárása mellett elkészítettük a védelemre szoruló Ny-Mecseki karszt típusos talajszelvényeit

- *A talajok szelvényére, az agyagvándorlás mellett a lejtőhatásra bekövetkező, a völgyoldalakra induló talajfolyások és lejtőleöblítés formájában, folyamatosan vagy periodikusan, anyagáthalmazás jellemző.*
- *Az Aggteleki területen a legelterjedtebb barna rendzinák a lejtőkön, völgyoldalakon és gerinceken is megtalálhatók. A fekete rendzina a területen foltszerű elterjedésben fordul elő tetőhelyzetben, gerinceken, lejtőpihenőkön, az agyagbemosódásos barna erdőtalajok a völgyfők és a völgytalpak egyes szakaszaira korlátozódnak, a völgytalpakon és a lejtők alsó szakaszain a lejtőhordalék talajok az általánosan elterjedtek.*
- *A talajtulajdonságokban a lejtő mentén változások figyelhetők meg, a szénsavas mésztartalom és a humusz % a legmagasabb értékeket az egyenes lejtőn található rendzina talajokban mutatta, ezt követték a lejtőhordalék*

talajok. A talaj összes nitrogéntartalma a lejtő mentén a humuszhoz hasonlóan változik.

- A terület talajainak tulajdonságait digitális domborzatmodell, illetve származtatott paraméterek alapján, modell segítségével kiterjesztettük a megmintázott terület határain túlra. A talajtípusok megjelenése szoros kapcsolatot mutatott a domborzati helyzettel, ami a fásszárú vegetáció fajösszetételében is tükröződik.
- A Mecsek hegységben a talajok típusossági értékelése során megállapítottuk, hogy a típusosságot negatív irányban leginkább a kémhatás, a hidrolitos-aciditás és a kicserélődési savanyúság befolyásolta. A hidrolitos aciditás magas értékei a savanyodásra utalnak, ami a terület savanyodás általi veszélyeztetettségi tendenciáját mutatja.
- A az erdők állapotát Nyugati-Mecsekben természetközelinek minősítettük. A vizsgált terület északi részén a jelenlegi társulások és az optimális társulások között jelentős az egybeesés. Ez azt jelenti, hogy az erdők védelem alá helyezése itt indokolt. Ezt igazolták azok a vizsgálatok is, amelyek az alapkőzet és a vegetáció, a talaj és a lejtőszög, a talajtípus és a növényzet kapcsolatát elemezték.

Karsztvíz vizsgálatok: a karsztok feltétele a megfelelő vízmozgás, ezért részletes elemzésük minden karsztvizsgálatban alapvető.

- Vízvizsgálataink alapján megállapítottuk hogy a Bükk vízrendszere a Grund által megadott típusba sorolható, azaz egységes, összefüggő, szabad túlfolyással rendelkező víztároló rendszer, amelynek lehetnek viszonylag önálló részletei, de jelentőségük regionális értelemben alárendelt.
- A Ca^{2+} és a Mg^{2+} értéke mindegyik forrásban magas. A Mg^{2+} többlet származhat a dolomitos kőzetekből (Felsőháromi dolomit, Belvácsi dolomit), de betudható a víz karsztban eltöltött hosszabb időtartamának is.
- A nehézfém tartalom általában a megengedett határ alatt volt a vizsgált mintákban, de az ólom és a kadmium meghaladta a megengedett határértéket, ami szinkronban van a korábbi talaj nehézfém tartalom vizsgálatainkkal. A szennyező anyagok közül a PO_4^{2-} tartalom a Kácsi pataokban magas, ami a település csatornázatlanságával magyarázható antropogén szennyezés következménye.

Növényzet vizsgálata: a karsztok növényzete hatással van a vízvezetésre, a beszivárgó vizeket biztosítja, s meghatározza a talajok tápanyag ellátottságát is

- A bükki Őserdőben az átlagos famagasság több mint 5 méterrel, a famagasságok módusza (leggyakoribb előfordulás) 3 méterrel nőtt 1965 és 2004 között, a legnagyobb famagasságok 41 méterről 43 méter fölé emelkedtek. A gyakorisági értékek alapján az erdővel borított területek aránya 2004-re itt 7 %-os növekedést mutat. Ez azért fontos adat, mert itt az emberi tevékenység nem okozott egyensúly megbomlást.
- A Haragistya Lófej erdőrezervátumban a genetikai talajtípusok egymás közötti átmeneteit a fásszárúak fokozatosan változó fajösszetétele is tükrözi. Megállapítottuk azt is, hogy a faállomány-szerkezetet jelentősen befolyásolja a termőhely mellett a domborzat is.

A kutatás a karsztok védelme érdekében zajlott. A védelemnek ki kell terjednie a teljes karszt területre. Mivel a karsztnak természetes víz és levegő ciklusa van, a táj sajátos klimatikus és biotikus háztartással rendelkezik. A felszín hasznosításakor a víz zavartalan beszivárgását kell biztosítani, számolni kell azzal, hogy a karsztokon a vízhálózat felszín alatt szétágazik és a külső anyagokat gyorsan bejuttatja a rendszerbe. A talajoknál minimalizálni kell az eróziós veszteséget, biztosítani kell a jó levegőzést, az aggregátumok stabilitását, a szerves-anyagtartalmat, ami fontos feltétele az élővilágnak. A stabil vegetáció a legfontosabb az erózió és a talajösszetétel szempontjából. A kőzet kitermelését, a talaj, vegetáció megváltoztatását vagy a vízkivételt gondosan meg kell tervezni, s a környezethatást minimalizálni kell. Dokumentálni kell a védelem számára a karsztok és barlangok védelmének szükségességét. Adatbázist kell létrehozni a védett és a még védelem alatt nem álló területekről, hogy hosszabb távon azokat a világ örökség részévé nyilváníthassuk. Ez utóbbiak alapján megállapíthatjuk, hogy az egyensúly megbomlások vizsgálata mind a jelen, mind a jövő kutatásai számára igen fontos.

Az OTKA pályázat egyik vállalása volt egy karsztökológiai kötet megjelentetése, amelyben a kutatások összegzésére kerül sor. A zárójelentéshez mellékelem az alábbi címen megjelent, a szalmi körök érdeklődésére és az egyetemi hallgatók felkészítésére szolgáló könyvet:

Keveiné Bárány Ilona: A karsztok ökológiai rendszere. Szerkezet, működés, környezeti hatások a rendszerben. JATEPress Szeged, 2009.