A karsztökológiai rendszer szerkezete, működése, környezeti-hatások a klíma-talaj-növényzet rendszerben

Akadémiai doktori értekezés

Kevei Ferencné Bárány-Ilona

2002.

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

Tartalomjegyzék

Bevezetés 2

1. A kutatás indoklása 2-4

1.1. A karsztok tudományos kutatásának főbb irányai 4-7

2. Módszerek 7-9

3. A karsztok és az ember 9

3.1. A karsztok hasznosításának története 9-14

3.2. Tájhasznosítás változások a hazai karsztokon 14-15

3.3. Legújabbkori tájváltozások a karsztokon 16-24

4. A karsztok korszerű értelmezése 24-25

4.1. A karsztökológiai rendszer 26-27

4.2. A karsztökológiai rendszer szerkezete és működése 27-32

5. A karsztok klíma-talaj-növényzet rendszere 33

5.1. A klíma és mikroklíma funkciója a karsztökológiai rendszerben 33-34

5.1.1. Makroklíma 34-37

5.1.2. Mikroklíma 38-45

5.2. A karszttalajok, mint a környezetváltozások indikátorai 45-47

5.2.1. A karszttalajok fizikai és kémiai tulajdonságai 47-50

5.2.2. A talajok víz-oldható ion tartalma 50-53

5.2.3. Nehézfém-vizsgálatok a karsztok talajaiban 53-59

5.2.4. Mikrobiális tevékenység a talajokban 59-61

5.3. A karsztok növényzetének karsztökológiai jelentősége 61-62

5.3.1. A növényzet degradációja az emberi tevékenység hatására 62-65

5.3.2. Dolinák növényzete, ökológiai állapotuk 65-69

6. Erdőgazdálkodás a karsztokon 69-73

6.1. Erdőhasznosítási javaslat karsztos mintaterületen 73-87

7. A tájszerkezet fő vonásai a karsztokon 88-94

8. Kitekintés 94-95

9. Tudományos eredmények 95-100

Felhasznált irodalom 101-106

Bevezetés

Az ember érdeklődését korán felkeltették a karsztok, már a neolitikumban lakóhelyként, később erdő- és mezőgazdálkodásra használta. A modern civilizációk már céltudatosan tárták fel valamilyen hasznosítás céljára a barlangokat. Először a barlangtan (szpeleológia) tudománya fejlődött, újabb keletűek azok a kutatások, amelyek a karsztok felszíni folyamataival és formáival foglakoznak. A tudományos karsztkutatások az 1800-as évek végén, s az 1900-as évek elején indultak meg.

Az 1900-as évek közepén a különböző karsztjelenségek klímatípusokhoz rendelése, a 80-as évektől a karsztok biogén folyamatainak hangsúlyozása került előtérbe. Ebben az időszakban sok tudományos feldolgozás jelent meg a karsztmorfológia és hidrológia témakörben, s több munka foglalkozik a folyamatok és jelenségek modellezésével is. A környezeti károsodások mértékének növekedése életre hívta a geoökológiai szemléletű kutatásokat. A háromdimenziós karsztrendszerben a külső környezeti hatások rövid idő alatt jutnak érvényre. A légszennyező anyagok a csapadékvízzel savanyú oldatok formájában gyorsan bemosódnak a karsztokba, ahol károsítják a karsztvizeket, de a savanyú oldatok az évmilliók alatt kialakult cseppkőképződményeket is visszaoldhatják, s ezzel visszafordíthatatlan folyamatokat indítanak el.

Napjaink karsztkutatásainak - közöttük munkámnak is – célja a karsztok korábbi hasznosításának ismeretében az új, megváltozott rendszer működésének megismerése, s a rendszer működésének ismeretében az optimális tájhasznosítás, a tájtervezés és tájmenedzsment számára hasznosítási javaslatok megfogalmazása.

1. A kutatás indoklása

A karsztos területek kutatása az utóbbi évtizedekben a korábbi klasszikus karszt-genetikai és karsztmorfológiai problémák kutatása mellett a környezeti tényezők karsztra gyakorolt hatásának vizsgálata irányába fordult. A környezeti hatások elemzése karsztterületeken azért indokolt, mert a karsztos kőzetek speciális, más kőzettípusoktól

eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek és nagyon sérülékenyek. A ***vízvezető, víztározó és vízadó képesség a karsztos kőzetek egyik legfontosabb tulajdonsága***. Egyúttal azonban ez a ***legnagyobb veszélyforrás is***, mivel a szennyező anyagok a beszivárgó vízzel hamar bejutnak a rendszerbe.

A ***földfelszín***nek csupán ***10%-a épül fel karsztos kőzetekből,*** jelentőségük mégis igen nagy, mivel ***világ lakosságának vízellátása 25%-ban karsztvízből történik.*** Ez a tény már önmagában is indokolja a fokozott érzékenységű, háromdimenziós hatásfelületű karsztok sokirányú vizsgálatát. A megelőző kutatások kimutatták a karsztos tájak ember által okozott, gyors, kedvezőtlen változásait és az ivóvízbázisnak számító karsztvizek minőségi romlását. Egyre sürgetőbbé válik tehát ***a karsztok múltbeli és jelenlegi folyamatainak pontos megismerése,*** s azok ismeretében a ***karsztos erőforrások fenntartható hasznosítása, védelme és konzerválása*** a jövő generációk számára.

A karsztokat ***oldható kőzet, felszínalatti vízvezetés, specifikus felszíni és felszínalatti formák*** jellemzik. Típusait és fejlődését a kőzettani, klimatológiai, paleo- és hidrogeográfiai, valamint tájökológiai adottságok határozzák meg.

Korábbi kutatásaim, elsősorban a karsztos mikro-formák asszimetrikus fejlődésének feltárására irányultak (*BÁRÁNY, 1967, 1974, 1980 1983, 1985., BÁRÁNY I.- MEZŐSI G.1978)*. Bizonyítottam, hogy a dolinák asszimetriája a tektonikus preformáció mellett, nagyrészt külső geo- és tájökológiai folyamatok következménye. Egyidejűleg igazoltam, hogy a dolinák a karsztok monitoring pontjai, ahol a folyamatok gyorsan játszódnak le, vizsgálatuk elősegíti a karsztfolyamatok modellezését.

A 90-es évektől került előtérbe nemzetközi szinten is a ***karsztökológiai rendszerek gyakorlatorientált kutatása***. A karsztok korai hasznosítása lakóhelyként, mezőgazdasági és erdőgazdálkodási célra nem múlt el nyomtalanul. A vastagabb talajjal borított területeken növénytermesztés folyt, de gyakori volt a legeltetés is. Az ipar fejlődésével világszerte megkezdődött a karsztos kőzetek, elsősorban a mészkő és a különböző ércek bányászata. Ez a tájhasználat a karsztok mai arculatában visszatükröződik.

Hazánkban az ország területének csak ***5%-át borítják karsztos kőzetek. Táji értékeik, erdőgazdasági és rekreációs hasznosításuk*** révén fontos ***nemzeti érték***et képviselnek. Ahhoz hogy hosszútávon megfelelhessünk a karsztok védelmével és

kezelésével kapcsolatos követelményeknek, fokozott figyelmet kell fordítani a barlangok és azok vízgyűjtőinek védelmére. A hasznosítás során messzemenően be kell tartatni a természetvédelmi szabályokat és törvényeket, mert csak így biztosítható a korábbi egyensúly bizonyos mértékű visszaállása és a fenntartható hasznosítás.

A kutatás célja a karsztökológiai rendszer szerkezetének és működési sajátosságainak feltárása és javaslattétel a további fenntartható hasznosításra.

1. 1. A karsztok tudományos kutatásának főbb irányai

A ***tudományos karsztkutatás*** az 1800-as évek végén és az 1900-as évek elején indult meg a bécsi karsztiskola irányításával. A Dinári hegység terepbejárásos tanulmányozása során a kutatók jelentős ismeretekre tettek szert a karsztok geológiájára, kőzettani sajátosságaira, a hidrológiai rendszerére és a barlangokra, de a karsztfelszíni formákra vonatkozóan is *(CVIJIČ, 1893., GRUND, 1914., KATZER, 1909).*

A második világháborút követően az 50-es évektől légifelvételek és modern eszközök segítségével indult meg a ***karsztok klíma zónánkénti vizsgálata*** *(LEHMANN, H, 1954., JAKUCS, 1971., GAMS 1974., NICOD 1975).*

A ***karsztos oldódás és a karsztos erózió*** folyamatai, valamint a hatásukra kialakult formakincsek sokoldalúan foglalkoztatták a kutatókat *(JAKUCS 1971., BÖGLI 1976., SWEETING 1973., PFEFFER 1978., FORD-WILLIAMS 1989., GAMS 1988., NICOD 1991., SAURO 1991., HEVESI 1986., VERES 1999., ZÁMBÓ 1971., ZÁMBÓ-TELBISZ 2000).* Nagyszámban ismerünk munkákat, amelyek a ***karsztos kőzetek típusait, szerkezeti tulajdonságait*** vizsgálják *(JAKUCS 1971., NICOD 1983., ROSSI 1983., FORD-WILLIAMS 1989).* A ***karszt hidrológiai-rendszer*** kutatása ma is a legfontosabb témák közé tartozik, mivel a földalatti rendszerek feltárása és vizsgálata a vízrendszereken keresztül történik *(BROWN –SWEETING – OTLET 1983., WHITE 1988., GUNN 1999a,b).* Legtöbb munka mégis a ***barlangoknak a kialakulásával és fejlődési sajátosságaival*** foglalkozik *(JAKUCS 1971., FORD – WILLIAMS 1989,).* A barlangkutatás önálló szakiránya a ***szpeleológia*** sok vonatkozásban megelőzte a felszíni karsztok kutatását, ami a barlangok csodálatos világának köszönhető.

A 70-es évektől ***a gyakorlati kérdések*** megoldása került előtérbe. A karsztvíz felhasználási igénye tovább serkentette a karszthidrológiai kutatásokat *(BÖGLI 1980., DAY, 1979., BÖCKER 1977., BÖCKER – HŐRISZT, 1992).* Fontos állomása volt a

karsztkutatásoknak *JAKUCS* „Karsztok morfogenetikája" c. művének megjelenése (1971), amely a karsztbarlangok eróziós genetikájának elmélete mellett jelentős eredményeket hozott a felszíni karsztfolyamatok értelmezésében is. Ez a kutatás a legutóbbi időkig újabb és újabb ismereteket tárt fel a karsztrendszer egészére vonatkozóan (*JAKUCS, 1990, 1994, 2000*).

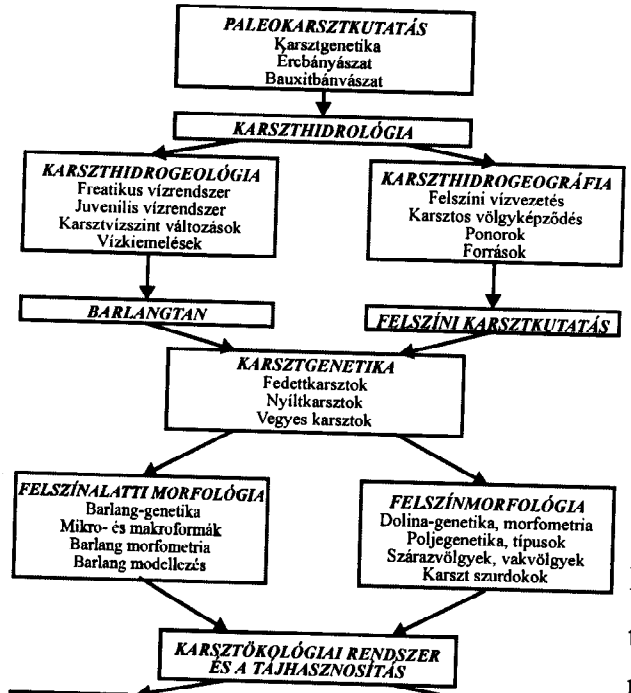
Nagy lendületet kaptak a 80-as években a ***paleokarszt* vizsgálatok** *(BOSAK 1989., KORPÁS 1998*), mivel a karsztfejlődés jövőbeni folyamatai nem prognosztizálhatók a megelőző történések ismerete nélkül. Ide kapcsolhatók azok a hazai kutatások, amelyek hazánk karsztjainak ősföldrajzi viszonyait értékelik *(HEVESI, 1995., VERES, 2000)* a mai morfológia genetikájának feltárása céljából. A hazai karsztkutatás fontos része a karsztbauxit kutatás *(BÁRDOSSY 1989., MINDSZENTHY 2000),* amely a karsztformák jelentőségét hangsúlyozza a bauxitképződésben.

A 80-as években indultak meg azok a kutatások, amelyek a karsztfejlődésben nagy jelentőséget tulajdonítottak a ***biogén folyamatok***nak *(JAKUCS 1980, ZÁMBÓ, 1998, DARABOS 1999)*. Iránymutató ebben az időszakban a *PATERSON – SWEETING (1983)* által szerkesztett munka az „Új irányzatok a karsztkutatásokban", amely a kőzetszerkezet, a karszthidrológiai rendszer, a barlangok, s a karsztok fejlődését mutatja be.

A 80-as évek végén „Karst geomorphology and hydrology" (*FORD – WILLIAMS, 1989)* címen megjelent összefoglaló munka korszerű szemlélettel dolgozta fel a nemzetközi karsztkutatások eredményeit. A 90-es években előtérbe került a ***karsztok konzerválásá***nak *(KEVEI-BÁRÁNY – GUNN, 1999)* és ***mezőgazdasági hasznosítás hatásainak*** *(BURRI-CASTIGLIONI-SAURO, 1999)* kérdése. Az 1. ábra vázlatos áttekintést nyújt a mai karsztkutatásokról.

A fentiek mutatják, hogy a ***karsztkutatások térben és időben nagyon nagy dimenziókat fognak át a felszíntől a földalatti folyamatokig, a földtörténeti múlttól napjainkig.***

Az IGU 1984-ben létrehozta a „Human Impact on Karst Terrains" bizottságot. A kutató csoport feladata az emberi tevékenység karsztokra gyakorolt hatásának vizsgálata volt. Ez a munkacsoport a megalakítását követő években több konferencián (Mallorca 1986, Sydney 1988, Brno 1990) foglalkozott a mezőgazdasági hasznosítás és a karsztok környezeti állapotának kapcsolatával, a mészkő bányászat hatásaival, a karsztvíz minőségének problémáival. 1988-tól az „Environmental Change in Karst Areas" Bizottság munkája a környezeti hatásvizsgálatokat célozta. 1996-tól a „Sustainable Development and Management of Karst Terrains" bizottság koordinálta nemzetközi szinten a földrajzi szemléletű karsztkutatásokat. 2000-ben a szöuli IGU konferencián alakult meg az „IGU Karst Commissio". A nemzetközi kutatások fejlődése jól mutatja, hogy a klasszikus kutatások mellett a környezeti károsodások karsztrendszerre gyakorolt hatásának vizsgálata került előtérbe az utóbbi évtizedekben. A szöuli (IGU 2000) és tokiói (IAG 2001) konferenciák megfogalmazása szerint a ***2000. év*** karsztkutatásainak fő feladata ***„Karsztok a változó világban"*** fő kutatási irány mentén megvizsgálni a ***karsztrendszer válaszait a klímaváltozásra, a tengerszintváltozásra, az emberi tevékenységre.*** A felmelegedés a ***karsztok szárazodás***ához vezet, csökken a cseppkőképződés, süllyed az ivóvízként használható karsztvizek szintje. Egyidejűleg a felmelegedés a ***tengerszint növekedés***ét is eredményezi, ami az édesvízi barlangokat ***brakkvízi barlangok***ká alakíthatja, s az elárasztás ugyanakkor a ***cseppkőképződés megszűnés***ehez vezet. A korallszigetek értékes ***endemikus fajai elpusztulhatnak***, mert élőhelyeik veszélybe kerülnek. Az ***emberi tevékenység a***



1. ábra. A karsztkutatások áttekintő vázlata, kapcsolatrendszerek

karsztrendszer más-más tényezőit változtatja meg, amely egy olyan folyamat láncolatot indít el, melynek hatásai beláthatatlanok.

Az ezredforduló karsztkutatásai ezért ***a karsztok rendszerének működésvizsgálatát*** célozzák. A kutatás továbbfejlesztéséhez tudnunk kell, hogy milyen körülmények között, mikor alakult ki a rendszer, milyen kőzetből épül fel, milyen a kőzet fizikai és kémiai tulajdonsága, milyen geomorfológiai helyzetben van, nyílt-, rejtett-nyílt-, vagy fedett karsztról van-e szó, milyen morfológia jellemzi, melyik klíma zónában jött létre, mennyi a kőzetoldáshoz szükséges csapadékmennyiség, milyen a vízrendszer és a felszínalatti üregrendszer.

A már ismert karsztokról ezek az információk rendelkezésre állnak, ezért az információk korábbitól eltérő rendezésére és értékelésére van szükség ahhoz, hogy a karsztökológiai rendszer működését megismerhessük. Az ember évezredek óta használja a karsztokat. Míg azonban a korai évszázadokban csak mérsékelt volt hatása, a mai civilizáció a sokféle technikai felfedezésével, nagyobb mértékben avatkozott be a táj működésébe.

A ***2000. évben*** a fentiek értelmében a ***karsztos területek védelmének, menedzsmentjének és természet-közeli hasznosítás lehetőségeinek kutatása a legfontosabb feladat. Ahhoz, hogy a kedvezőtlen hatásokat megszüntessük*** és a kutatás eredményes lehessen, ***ismernünk kell a karsztrendszer felépítését, működését, s reakcióit a változásokra.***

2. Módszerek

A karsztökológiai rendszer kutatása a klasszikus geomorfológiai módszerek mellett használja mindazokat a társtudományi módszereket, amelyek a tájökológiai alrendszerek megismeréséhez szükségesek. Ezért a klimatológia, geológia, talajtan, botanika és ökológia kutatási módszereit használtam fel a vizsgálatok során. A ***karsztökológiai rendszer tényezői közül kiemelten foglalkoztam a talaj, a mikroklíma, a növényzet és a mikrobiális tevékenység mennyiségi és minőségi változásaival***, ahol a vonatkozó tudományterületek jól bevált kutatási metodikáit alkalmaztam, s ezek ***analitikus eredményeit a földrajzi környezetbe integrálva használtam fel.***

a., A ***mikroklíma méréseket*** 10 évig rendszeres mérésekkel, majd több alkalommal eseti, ekkor már célirányos megfigyelésekkel kiegészítve végeztem. A mikroklíma mérések során a ***talaj-közeli léghőmérsékletet*** (száraz, nedves 10 és 50 cm-en), a ***légnedvességet***, a radiációs ***minimum és maximum hőmérsékletet***, a ***talajhőmérsékletet*** (2, 5, 10, 20 és 30 cm mélységben), a ***napfénytartamot, a szélsebességet*** mértem a klimatológiában használatos műszerekkel. Platina elektromos ellenállás hőmérők, elektromos és higanyos talajhőmérők, maximum és minimum hőmérők, Campbell-Stockes féle napfénytartam-mérő, kanalas szélmérők, Assmann-féle aspirációs pszichrométer képezte a műszerállományt. Folyamatosan vizuális észleléseket is végeztünk.

b., A ***talajok vizsgálat***ához a terepen kiválasztott mintaterületen, feltárásokból, illetve fúrásokból gyűjtöttem mintákat laboratóriumi elemzés céljára. A dolinákban a különböző lejtőkről és a dolinafenékről, a síkfelszíneken 1 km^2-es hálózatban különböző ökológiai környezetből 1-1 mintavétel történt. A talaj tulajdonságokat, így a ***szemcseösszetételt, kalciumtartalmat, pH értéket, hidrolitos aciditást, nehézfémtartalmat*** saját laboratóriumunkban vizsgáltuk. A szemcseösszetételt aerométeres elemzéssel, a hidrolitos aciditást titrálással, a talajok kémhatását 1:2,5-ös szuszpenzióban (desztillált vízzel ill. 1 mol/dm^3 KCl oldattal) határoztuk meg. A szénsavas mész tartalmat Scheibler-féle kalciméterrel, a talajok ***szervesanyag tartalmát*** kénsavas közegben ($K_2Cr_2O_7$) oldattal oxidálva, spektrofotométerrel mértük. A növények számára ***felvehető*** Ca^{2+}, Mg^{2+} ***és*** K^+ ***és*** Na^+ ***ionokat*** a talajkolloidok felületéről 1 mol/dm^3-es pH=7,0-es ammónium-acetát oldattal szorítottuk le, a Ca^{2+} és Mg^{2+} ionok mennyiségét atomabszorpciós spektrofotométerrel, a K^+ -ét és Na^+ -ét lángfotométerrel mértük meg. A ***nehézfém-vizsgálatok***hoz az 5-10 és a 30-40 cm-es (sekélyebb talajoknál a legalsó) talajrétegeket használtuk fel. A nehézfémek mennyiségét ***királyvizes talajfeltárás***t követően atomabszorpciós spektrofotométerrel mértük meg.

c., A biogén aktivitást az ***aerob és anaerob baktériumszám*** meghatározásával agar-agar táptalajon szélesztéssel vizsgáltuk a JATE Mikrobiológiai Tanszékén.

d., Több esetben ***növény felvételezést*** és ***növénytérképezés***t végeztünk. A növényzet részletes felvételezése során a faji összetétel meghatározás alapját ***1 négyzetméteres kvadrátok*** képezték, ahol a faji összetétel mellett a ***borítási százalék***ot

is meghatároztuk. A faji összetétel ismeretében *ZÓLYOMI B. (1964),* majd a nitrogén igényre vonatkozóan kiegészített ***ökológiai indikátor értékek*** (vízigény, hőmérséklet, talajreakció és nitrogénigény) felhasználásával értékeltem a növényzetet.

e., A ***tájhasználat változását*** különböző időpontokban készült térképek analizálásával, terepi kontrollal végeztem. Kiemelten foglalkoztam a karsztokon az ***erdőgazdálkodás*** kérdéseivel, s ***számítógéppel támogatott*** értékelést végeztem az ökológiai paraméterek területi eloszlásáról.

3. A karsztok és az ember

A karsztok környezet-érzékeny rendszerének fejlődését a természeti tényezők mellett, megjelenése óta az ember kisebb-nagyobb mértékben mindig befolyásolta. Eleinte elsősorban csak a barlangok és környezete került az emberi tevékenység hatása alá, később a földművelés általánossá válásával, fokozatosan kiterjedt tevékenysége a karsztos vízgyűjtőkre és a távolabbi területekre. Ezt a hatást először azokon a területeken fejtette ki az ember, ahol a nagyobb népességtömörülések alakultak ki (pl. mediterrán területek), később a világ minden táján megjelent az ember a karsztokon valamilyen hasznosítási típussal.

3.1. A karsztok hasznosításának története

Az első karsztos tájhasználat a mediterrán régióban és Távol-keleti civilizációknál alakult ki. Már a ***prehisztorikus időszakban*** felismerte az ember a ***barlangok multifunkcionális jelentőségét.*** Az egymástól távol élő civilizációk azonos módon használták kezdetben a barlangokat. Több mediterrán ország barlangi festményein megtaláljuk a korai igénybevételre utaló bizonyítékokat. A barlangi rajzokból kitűnik, hogy az ősember ***ivóvízként*** használta a források vizét, de állataival is a karsztvizet itatta. Kínában és a Kolumbusz előtti Amerikában is a karszt-kutak (cenote) és a barlangi források voltak a legfontosabb ivóvízforrások. A mexikói Yucatán-félszigeten a maya civilizációk idejétől kezdődően egészen a 19. századig a karszt kutak jelentették a lakosság ivóvíz potenciálját.

Évszázadokon keresztül ***védelmi funkció***ja miatt használta az ember a barlangokat. A mediterrán országokban számtalan történeti példa utal stratégiai

fontosságára (*MAIRE, 1980).* Nyugat-Európában a háborúk idején az egyház is használta, de Dél-Kínában is hagyománya volt a barlangok védelmi célú hasznosításának. A vietnami háború idején a francia csapatoknak biztosítottak rejtekhelyet a barlangok. Az is előfordult, hogy fegyvereket raktároztak benne (Posztojna), esetenként kórházat rendeztek be azokban (pl. Old St. Michel barlang a Gibraltári hegységben). **Erődként** is védelmet nyújtott néhány barlang, ilyen volt a Pred-Jama Szlovéniában az 1570-es években, de Amerikában Montezuma is épített ilyen erődöt.

Az egyházak gyakran ***templomot*** vagy ***szentélyt*** alakítottak ki a barlangokban. A mágikus vallási szertartásokat általában a barlangok mélyebb, nehezebben megközelíthető részeiben tartották (pl. Lascaux, Altamira). A neolitikumban számos országban **sírhely**ként szolgáltak a barlangok (pl. Yucatánon és Kaliforniában), de ***pogány kegyhelyek*** is voltak a barlangokban a legendák szerint (pl. a Drach Mallorcán, a Teufelshöhle a Frank Jurában). Gyakran előfordult, hogy ***megváltoztatták a barlangok előterét*** hozzáépítésekkel. A legismertebb közülük a katalán Monserrat Kolostor, de a Mont Saint Angelo szentély is Gargano félszigeten Olaszországban (ma is működik). Délkelet-Ázsiában a buddhista országokban is sok természetes barlangot alakítottak át ***buddhista kegyhellyé*** (a 4-9 század között Észak–Kínában rendszeresen használták a barlangokat kegyhelyként).

A fentiek ellenére a ***barlangok*** mindenekelőtt ***lakóhelyként*** funkcionáltak. Először csak szezonálisan, később a neolitikumtól, állandó lakóhelyként használta az ősember, mert a természetes barlangok alkalmasak voltak benntartózkodásra. Dél-Amerikában a puebló indiánok használták krisztus után 1100 - 1300 között lakóhelyként a barlangokat (a navajo indiánok a 19 században ismét használni kezdték azokat).

A ***barlangok kedvező mikroklímája*** tette lehetővé a ***sokféle hasznosítást***. Már az antik időkben jeget tároltak bennük, mivel a mikroklíma állandó hőmérsékletet és nedvességet biztosított. A híres Roquefort sajtot tradicionálisan a Mont Combalou járataiban érlelik, ahol 6-8 fok az állandó hőmérséklet (s ez optimális a Penicillium glaucum számára, ami biztosítja az érlelést). Olaszországban és Szlovákiában is van olyan barlang, ahol sajtot érlelnek.

A ***barlangok és karsztterületek idegenforgalmi látványosság***ként és ***pihenőhely***ként már a római időktől kezdődően megkülönböztetett figyelemben részesültek (ettől az időtől látogatja az ember a barlangokat).

A ***karsztforrások*** a ***városok kialakulásá***ban játszottak fontos szerepet. Karsztos termálvíz hozta létre pl. Delfit és Pamukkálét, de számos római város megalapítása is a melegvizes előforduláshoz kötődött (Aix en Provance, Bath). Krisztus után 70-ben Lorrainban a vízigény növekedése miatt már alagutas vízrendszert építettek ki. Az ősi vízvezetékeket a felszín alatt vezették (pl. Veronát a Montorio forrásból, Besancont a Vesantio forrásból látták el). A felszínalatti vízvezetés lehetővé tette a nagy távolságra történő vízszállítást. Róma ellátására 11 vezetéket építettek ki, amit a karsztforrások tápláltak. Köln vízellátását is így oldották meg a korai időkben, de hasonló volt Karthágó vízellátása a Djebel Laghonan forrásból Hadrian császár idejében. A csővezetékek és „aquaductók" (felszínfeletti vízvezetékek) jelentős problémája volt a földrengés veszélyeztetettség, és a mészlerakódás. Mindezek ellenére az akkori vízvezetékek rekonstrukció után még ma is használhatók (pl. Splitnél).

A ***karsztvíz energiájának hasznosítása*** is előfordult már a középkorban. Vízimalmokat építettek a karsztvízre az arab világban, a 18-19. században a papírgyártás használta a karsztforrások energiáját. A Vaucluse forrásra is több vízimalmot telepítettek a 19. században.

A ***mésztufa gátaknak*** (travertínók) kettős előnye volt az emberi hasznosítás számára: a víz átbukásánál energia kinyerésre volt lehetőség, s lehetővé tette gyapjúipar kialakítását (pl. Tivoli Olaszországban, vagy Fez Medina Marokkóban, Seeburg Urach környékén a Sváb Albban). Sajnos azonban az erőteljes vízhasználat csökkentette a tufagátak fejlődését.

A mediterrán területeken nagyon régi ***mezőgazdasági művelet*** volt az ***öntözés***, amelynek a bázisát a karsztvizek biztosították. Spanyolországban a Rio Mundóból öntöztek (Murciában), a Jalon völgyben az Ebro déli vízgyűjtőjén is karsztvízből öntözték a huertákat. Felső Galileában a Mont Gilboa forrásból öntöztek, a Sziklás hegységben az indiánok már a spanyol hódítás előtt öntöztek, technikájukat a missziók fejlesztették tovább. A mezõgazdasági hasznosítás a karsztokon a mediterrán területeken és Távol-Keleten jelent meg már a neolitikumban (*ROGLIC, 1972*). A mészkő szurdokokkal tagolt karszt platókon a juhlegeltetés és rétgazdálkodás folyt.

Füves területek ott alakultak ki, ahol az eredeti ***erdőket felégették***. Ilyen tájtípust találunk a Felső- Murgiában, a szlovéniai karszton, a dalmát Zagorában, az andaluziai Sierra Gorda területén és a Közép-Atlaszban.

A poljékban általában megfelelő vastagságú talajok biztosították a mezőgazdasági művelést, az időszakos elárasztások azonban a művelés folyamatosságát akadályozták (katavotrák). Ezért már az időszámítás után 41-52 között vízrendezést hajtottak végre pl. az Abruzzók egyik tektonikus poljéjában, a Fucino-tó területén. A felszín alatt 5640 m hosszú alagutat építettek ki a víz szabályozására. Hadrianus idejében fejezték be a munkálatokat. A 11-15. század között jelentősen megnőtt a lakosság száma, ezért ekkor is végeztek vízrendezéseket (pl. a Gargano félszigeten a Cuges poljében). A modern vízrendezések Olaszországban, Görögországban és Franciaországban a 19 század második felében zajlottak.

A Sváb Alb területén Bad Urach környékén a vaskorszaki égetések után kezdték mezőgazdasági művelésre használni a karsztos területeket. A savanyú talajú tőzeges depressziókban azonban nem volt túl eredményes a művelés.

Délkelet-Ázsiában a ***rizstermesztés öntözés igénye*** hívta éltre a karsztok hasznosítását. A növényzet felégetése után a karsztplatókon az esős évszakban intenzív rizstermesztést folytattak már a neolitikumban. A karsztvizek rizstermesztésre történő használatát a monszun rendszeres csapadéka nyáron biztosította. A tározókban elraktározott vízzel a száraz periódusban öntöztek. A csapadékos periódusban az erős lehordódás következtében a kőzet exhumálódott, s kialakultak az antropogén eredetű kőerdők. Hasonló folyamatok játszódtak le Fülöp-szigeteken, Jáván és Sulavesin (*UHRUSHIBARA-YOSHINO 1993*).

Dél-Amerikában és Közép-Amerikában a szubtrópusi vörös talajokon az intenzív mezőgazdasági hasznosítás miatt volt jelentős az erózió, a kőzet exhumálódása itt is bekövetkezett. A hasznosítás Yucatanon és Guatemalában a maya civilizációig vezethető vissza (i. u. 900). A mezőgazdaság itt is a karsztdepressziókban folyt.

A neolitikumi ***transzhumansz állattartás*** és ***rétgazdálkodás*** (*MAIRE, 1990*) hatására degradálódott a mediterrán területek vegetációja és kialakult a macchia, a garrigue és frigana másodlagos asszociációja. A karszt depressziók mélyebb rétegű talajain szőlő és olajfa ültetvényeket telepítettek. A Lessini Alpok területén a kaszálórét gazdálkodás már a 14. században általános volt (*SAURO, 1973*). Az erdősült és

legeltetett középhegységek hasznosítása a középkorban, majd a 18. és 19. században is folytatódott.

Az ***erdőirtások*** és ***erdőégetések*** intenzív beavatkozást jelentettek a karsztok természetes folyamataiba. A felerõsödött ***erózió növelte*** a kopár felszíneket. A lehordódott talaj a karsztvölgyekben és depressziókban halmozódott fel. A dalmát karsztokon a vas-korszakban volt legerősebb az erózió. A római időkben már kialakult a garrigue másodlagos növényzete, sőt valamelyest növekedtek az erdőterületek, s ez csökkentette az eróziót (*GAMS, 1990, 1993*).

A mediterrán területeken az erdőirtások nyomán bekövetkezett rendszertelen beszivárgás és a vegetáció változása következtében a ***cseppkőképződés és a tufaképződés*** üteme ***mérséklődött***. Franciaországban a kutatások kimutatták, hogy a neolitikum erdőirtásai generálták a tufaképződés lassulását Provanceban és Lanquedocban.

Fontos változást hozott a karsztokon az ***ásványkincsek*** és az ***építőipari nyersanyagok feltárása*** és hasznosítása. Ebből a szempontból a ***bauxit, mészkő*** és ***gipsz*** kitermelés volt jelentős. A római korban már használták a ***barlangi agyag*** és ***homok*** üledékeket festőanyagként. A ***salétrom*** és ***nitrát*** felhalmozódásokat manufaktúrák dolgozták fel Kínában, de Európában is. A karsztok ritka képződményei, mint a ***kalcit, aragonit és kék fluorit*** kedvelt díszítő anyagok voltak. A ***guanót*** trágyázásra termelték ki (*NICOD 1999*). Szardínia délnyugati partjainál a paleozoikus karsztban már a föníciaiak felfedezték az ***ezüst-galenitet***. A ***vasércet*** a kelták és a rómaiak idejétől kezdődően a 19. század közepéig bányászták. Ez a vasérc a kőzet mállásterméke volt, amely „pisolit", illetve "sziderolit" vagy „Bohnerz" formájában ülepedett le a karszt depressziókban és barlangi üregekben. Angliában a vasérc bányászat volt jelentős a karsztokon, de barlangi üregek üledékekből is kivonták a vasércet. ***Réz*** és ***ólom*** is előfordult itt (az ólom az ezüsttel együtt). A Peak Districten és Derbyshireben ***ólmot, baritot*** és ***fluoritot*** termeltek ki. A ***sziderit*** bányászata a német Amberg környékén volt jelentős (ezt az előfordulást már a rómaiak is ismerték).

A ***karsztbauxitot*** 1821-ben fedezték fel Franciaországban. A legtöbb karsztbauxitot Európában a mediterrán területeken találták. (*BÁRDOSSY, 1989; MINDSZENTY 2000*).

Emellett ***sokféle mállásmaradványt*** találunk a karsztokon. A maradvány agyag ferrallitosodik a mállás során, ***kaolin*** keletkezik, ami megtalálható Európában és Kínában is. A harmadkori poljékből olyan ***homoklencsék***et tártak fel, amelyeket a fémöntődékben használnak. Ilyen pl. a lengyel Jura Felső-Sziléziában és Morvaországban *(BOSAK at.al. 1989).* Foszforitok is találhatók a paleogén karsztokban, de szén és lignit is (pl. Tatabánya) előfordul karsztos kőzetben.

Az egykori ***bányászat*** sok paleo- és kripto-karsztformát tárt fel, ***módosította a vízrendszert, kiszárította a forrásokat.*** Ennek példái a Peak Districten és Westfáliában, de nálunk is megtalálhatók ezek.

A ***mészkő és a karbonátos kőzetek*** jó ***építőanyagok***, ezért már az Egyiptomi birodalomban használták. Gyakran használták a travertinók kristályos, porózus, laza anyagát is templomok építésére, mert az ilyen épületeknek igen jó az akusztikája. Normandiában, a Szajna völgyében és a belga Ardennekben a mésztufát bányászták, amit Németországban a Sváb Albban építkezésekhez használtak. A Caen-i mészkövet Angliába exportálták. Gyakori volt a gipszbányászat is. A bányászat hatására a későbbi korokban beszakadások keletkeztek az anyaghiány miatt a nagyvárosok közelében.

3.2. Tájhasznosítás változások a hazai karsztokon

Már az ***őskőkorban*** (paleolitikum) megtelepedett az ember a hazai karsztokon (*DÉNES, 1998*). Hasonlóképpen a világ más tájaihoz nálunk is ***szálláshelyként*** és a külső veszélyek (időjárás, állatok támadásai) elleni védekezésként használták. A Szeleta-, az Istállóskői- és Baradla- barlangban megtalálhatók a neolitikum emberének egyszerű eszközei. A bükki kultúra idejéből kunyhó nyomok találhatók a bükki barlangokban *(KORDOS, 1984).* A ***réz-, bronz- és vaskorból*** is ismerjük az ember ***lakóhelyének nyomait*** pl. az Aggteleki Karszton is, leleteik a korai tájhasználat bizonyítékai.

A ***honfoglaló magyarok*** szlávokat és bolgárokat találtak a Kárpát-medencében. Ebből az időből származtatják a kutatók a ***barlang megnevezést*** (*DÉNES, 1975*). A ***IX-XII. században*** az észak-borsodi területeken ***ősi vasfém- művesség*** volt a fő foglalatosság, amelynek a központi területe Rudabánya volt. A tatárjárás idején a lakosság egy része a barlangokban, mások az akkor még sűrű erdőkben leltek

menedéket. A ***XIII. század***ban az aggteleki karszt tágabb környezetébe német ***szőlőművelők***et telepítettek. A XVI. században elterjedt a legeltetés, ami a szőlőtermesztéssel együtt elősegítette a kopárosodást. A ***XVIII-XIX. század***ban a fő megélhetés a karsztokon a ***mész- és szénégetés***, valamint a ***favágás*** volt.

A XVII. században jelent meg először leírás a barlangokról, s még ebben a században készült el az első barlangtérkép. A XVIII. században Bél M. művében találjuk az első hazai legteljesebb leírást az addig megismert hazai barlangokról. Általában azonban ezek a leírások csak utalnak a barlangok vízgyűjtő területeinek hasznosítására, általában a barlangok használatával foglalkoznak.

A ***századfordulótól*** kezdődően hazai karsztjaink közül ***az ipari tevékenység*** hatását leginkább a ***Dunántúli-Középhegység*** szenvedte el, ma erősen terhelt terület. A ***szén és a karsztbauxit*** előfordulás meghatározó volt a tájfejlődés szempontjából. Az ipari nyersanyag és energia hordozók ***kitermelése*** évszázadon keresztül szennyezte a karsztos területeket és jelentős karsztvízszint csökkenést eredményezett.

A mecseki karszt nyugati (triász mészkőből felépült) része kevésbé zavart, szemben a ***Kelet-Mecsek*** (júra mészkő) karsztjával, ahol jelentős volt a ***bányászati tevékenység***. A ***Villányi-hegység*** karsztja a ***korai szőlőművelés talajeróziós hatásá***ra ma már csak természetközeli állapotúnak mondható.

Leginkább a ***Bükk hegység*** karsztja őrződött meg az eredetihez közeli állapotban, ami azzal magyarázható, hogy a Bükk jelentős része a többi karsztos területet jóval megelőzve Nemzeti Parkká vált. Hasonlóan mérsékelt ma az antropogén aktivitás az ***Aggteleki karszt***on. Itt azonban csak 15 éve működik a Nemzeti Park, s a ***fokozott védettség***et megelőző intenzív mezőgazdasági hasznosítás nyomai csak igen lassan tüntethetők el.

Néhány emberöltő a korábbi felszínfejlődéshez viszonyítva jelentéktelennek tűnik a tájváltozás szempontjából, mégis bizton állíthatjuk, hogy az ember drasztikusabban formálta a tájat a néhány utóbbi évszázad alatt, mint az emberiség történetét megelőző hosszú évezredek természetes folyamatai. (A fenti vázlatos áttekintés az európai hasznosítás hazai kiegészítését szolgálta).

3. 3. Legújabbkori tájváltozások a karsztokon

A *tájhasznosítás újkori változásai*nak elemzésére alkalmasak azok a katonai térképek, amelyeket a XVIII és XIX. században készítettek. Az első katonai felvételek 250 évvel ezelőtt készültek (1., 2. kép), s ekkor például a Gömör-Tornai Karszt területe az ember által még kevésbé zavart volt. Bár vannak nyomai az erdőkitermelésnek, azonban ez csak az ipari forradalom beindulását követően öltött nagyobb méreteket. Ez a második katonai felvételen már észrevehető. A Szilicei- és Pelsőci-fennsíkok környezetének részletesebb vizsgálata alapján, egyértelműen megállapítható az ember beavatkozása a természetes erdők rendszerébe. Az erdőterületek és a telepített erdők megjelenése felfedezhető. A települések száma is növekedett ebben a 100 évben, ami ugyancsak az antropogén hatások erősödéséhez vezetett.

A továbbiakban azokat a tájváltozásokat foglalom rendszerbe, amelyek a karsztok mai tájökológiai állapotának kialakításában döntő szerepet játszottak. Nagyon sokoldalúan befolyásolhatja az emberi tájhasználat a karsztok fejlődését, közülük itt elsősorban azokat rendszerezzük, amelyek hosszútávon változtatják meg a karsztos táj dinamikáját. Megismerésük azért fontos, mert a további tájhasznosítás során meg kell előzni azokat, illetve meg kell kísérelni a természetes tájháztartási egyensúly visszaállítását.

Talajelváltozások :

a, eróziós talajpusztulás,

b, kopárosodás hatása az oldásra,

c, savanyodás,

d, nehézfém terhelés.

Karsztvizek minőség változása:

h, szennyeződések a víznyelőknél,

i, szivárgó vizek szennyeződése,

j, karsztos tavak eutrofizációja,

k, karsztforrások szennyeződései.

Karsztos növényzet változásai:

e, az erdőtípus megváltozása

f, sziklagyepek degradációja

g, depressziók növényzetének deformációja

Bányászat hatása a tájváltozásra:

l, kőbányászat sebhelyeinek kialakulása,

m, vízkiemelések karsztvízszint süllyesztő hatása

A. (méretarány=1:28.000)

B. (méretarány=1:28.000)

1. ábra. A A Gömör-Tornai Karszt Szilicei –fennsíkjának és környezetének térképei 1784-ből (**A**) és 1852-60-ból (**B**)

A. (méretarány=1:28.000)

B. (méretarány=1:28.000)

2. ábra. A A Gömör-Tornai Karszt Pelsőci –fennsíkjának és környezetének térképei 1784-ből (**A**) és 1852-60-ból (**B**)

a., Természetes folyamatok- és az ***ember által előidézett talajerózió*** jelentette az első komoly tájváltozást a karsztos felszíneken, különösen azokon a területeken, ahol korán indult meg a tájhasznosítás. Kiemelkedik ebből a szempontból a mediterrán régió klasszikus karszt területe. Dél-Európa karsztjain a túllegeltetés és az erdőirtások miatt korán megindult a talajerózió, ami a későbbi teraszos művelés bevezetését vonta maga után. A természetes vegetáció helyén a mezőgazdasági művelés a talaj fellazításával jár, s ez fokozott erózió veszélyt jelent. A talajlehordódás nagyságát jelzik a dolinákban felhalmozódott üledékvastagságok, amelyek 5-10 m közöttiek.

b., A karsztok legkorábban megfigyelt károsodási folyamata ***a kopárosodás***. A talajerózió tartós hatásának következménye a kőzet felszínre bukkanása. A maradványforma jelzi a korábbi talajborítást (általában lekerekített karrok bukkannak felszínre). A világ minden táján kapcsolatban van a karrmezők kialakulása az emberi tevékenységgel. Jól ismert ez a folyamat az Aggteleki Karszton, ahol az erdőirtásokat és a korábbi szőlőtermelést követően felerősödött a talajerózió és kialakult az Ördögszántás néven ismert karrmező, de ilyen a Villányi hegység lejtője is, ahol szőlőtermelés okozta a talaj lehordódását (3. kép). A kopár karsztok sajátos formái mind a mediterrán területeken, mind az óceáni klímaterületeken nagyon gyakoriak (4. kép). A kopárosodás után, a talaj és növényzet hiányában megváltozik az oldás nagyságrendje, s ezzel változik a rendszer működése is.

3. kép A Villányi-hegység eróziós karrfelszíne

4. kép Esőcsatorna karrok Mallorcán

c., A kialakulása után magas kalcium tartalma miatt kedvezőnek tartott ***karszttalajok*** tulajdonságai részben a savas ülepedések, részben a tájhasználat következtében (erdőirtások, legeltetés) megváltoztak, bekövetkezett a talajok ***elsavanyodása.*** A tájidegen növényzet (pl. az őshonos lombos erdők helyett fenyőerdők telepítése) hatására is bekövetkezett a talajok savanyodása. Amellett, hogy ez a

kémhatás kedvez a savanyúság kedvelő növényeknek, amelyek fokozatosan kiszoríthatnak értékes karsztos növényfajokat, a savanyodó talaj felső rétege nem tudja hosszútávon biztosítani a káros fémek megkötését sem. Azok a növénybe, szélső esetben a karsztvízbe jutva igen komoly károsodást okozhatnak az ember számára.

d., A különböző légszennyezések (ipari, lakossági, közlekedési stb.) kibocsátások száraz vagy nedves ülepedéssel a karsztokra jutnak és szennyezik a rendszert. A ***nehézfémek*** jelentős veszélyforrást jelentenek a karsztokon, mivel a szivárgó vízzel a rendszerbe kerülnek, ahonnan a források formájában lépnek ki és veszélyeztetik az ivóvíz bázisokat.

e., Az **erdőgazdálkodás** során gyakran konfliktus helyzet alakul ki a természet - és környezetvédelmi szempontokból káros kezelési módok miatt. A természetvédelem és az erdőgazdaságok között a tarvágás, az új erdei utak létesítése, a természetes felújítások csökkentése, nem őshonos fafajok telepítése miatt van nézeteltérés. A hazai karsztokon, ahol a múlt-századi erdőirtásokat követően az újraerdősítések természetes, vagy természet-közeli gyepek területein, vagy erdőfelújítások révén történtek, jelentősen ***csökkent az erdők*** faji ***diverzitása.*** A ***karsztok erdőgazdálkodása*** során a ***természeti értékek védelme elsődleges*** az erdőgazdálkodás szempontjaival szemben. A természetközeli állományok felújítása természetes módon (szálalás, fokozatos felújító vágás, gyenge természetes újulat esetén alátelepítés) hajtható végre. Előtérbe kell helyezni az őshonos fajokat az újraerdősítés során.

f., A *karsztdepressziók* (elsősorban a dolinák) ***növényzetének deformációja*** az erdőirtásokra vezethetők vissza. A múltszázadvégi erdőirtás a montán bükkösök állományában okozott jelentős károkat. Az erdők helyén szőrfű gyepek, vörös-csenkeszes rétek alakultak ki, amelyek hozzájárulnak a szélsőséges mikroklíma kialakulásához. A természetes gyeptársulások helyén a legeltetés hatására a legelés-, taposás tűrő és a nedvesebb talajviszonyokat kedvelő növények, valamint nitrogén-kedvelő gyomok is megjelentek.

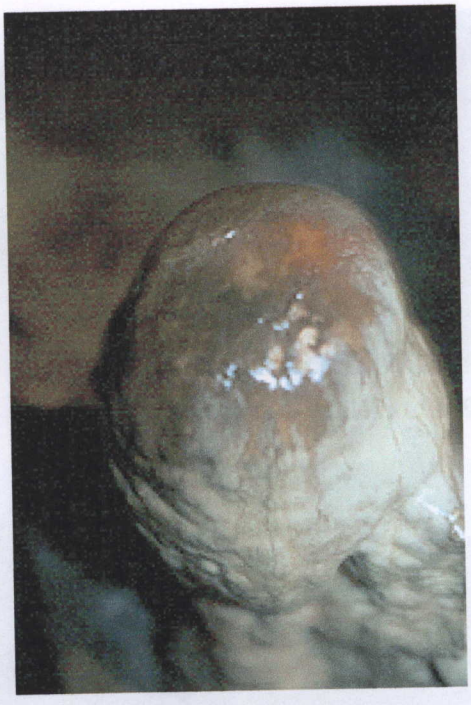
A dolinák sajátos mikroklíma-térségeiben nappal igen erős a besugárzás, éjszaka pedig a kisugárzás mellett a völgysíkjából lefolyó hideglevegő hozzáadásával hideg légtavak jönnek létre. Ez a különleges mikroklíma lehetővé teszi a hidegkedvelő növényfajok fennmaradását, ugyanakkor, a beültetett facsemeték növekedése igen lassú (5. kép).

5. kép Eltérő növekedésű facsemeték egy bükki dolinában

g., A víznyelők szennyeződései azokon a területeken gyakoriak, ahol mezőgazdasági művelés folyik, vagy települési környezet van és a nem-karsztos terület érintkezik karsztos területtel. A kőzetben eltűnő víz magával viszi azokat a szennyeződéseket, amelyek a művelés során a lefolyó és talajvízbe kerülnek. Ez szükségessé teszi a nyelő pontokban a rendszeres vízminőség vizsgálatot, s veszélyeztetettség esetén a szükséges intézkedések megtételét. A víz bejutása a felszínalatti rendszerbe a fokozódó feliszapolódás mellett a szennyező anyagok bejuttatásával megfordíthatatlan degradációs folyamatokat idézhet elő.

h., A szivárgó vizek szennyeződése és a cseppkő degradáció ott következik be, ahol a víz a mezőgazdaság által művelt területekről jelentős mennyiségű karsztidegen anyagot szállít a felszínalatti járatokba, s itt a több millió év alatt kialakult csepp-kövek visszaoldódását eredményezi (6. kép). Közép - európai barlangokban (7. kép) gyakori ez a jelenség, de az atlanti régióban (Irország, Marble Arch barlangban) is megfigyelhető ez a degradáció (8. kép.). Egyidejűleg a barlangokba jutó szennyeződött vizek az egyébként gyógyító hatású aeroszolok minőségét is rontják.

6. kép Cseppkő visszaoldódás a Baradla-barlangban



7. kép Cseppkő visszaoldódás a Demanovai-barlangban

8. kép Cseppkő visszaoldódás az írországi Marble Arch barlangban

i., A karsztos tavak eutrofizációja az előbbi hatótényezőkkel hozható kapcsolatba. Az eutrofizációs folyamat a karsztos tavakon az utóbbi 10-15 év alatt jelentős mértékben felerősödött. A benádasodás ezeken a területeken az antropogén hatásokkal van összefüggésben. Az Aggteleki tónál (9. 10. kép) egyértelmű a kapcsolat a településből származó szennyező anyagokkal. Ugyanez a jelenség a Vörös-tónál is megfigyelhető (11. 12. kép), de szlovák kollégák a Gömör-Tornai Karszt határontúli részein regisztrálták ez a folyamatot.

9. kép Az Aggteleki-tó 1984-ben

10. kép Az eutrofizálódott Aggteleki-tó 1999-ben

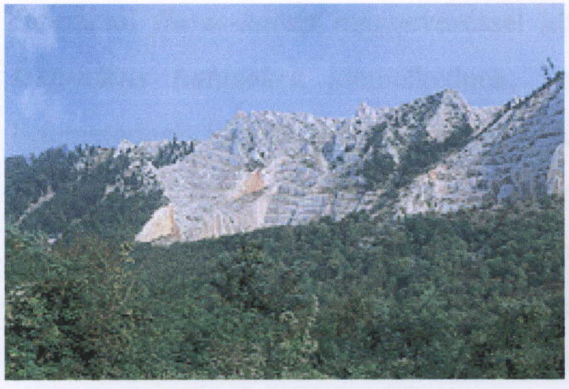
11. kép A Vörös-tó 1984-ben

12. kép Az eutrofizálódott Vörös-tó 1999-ben

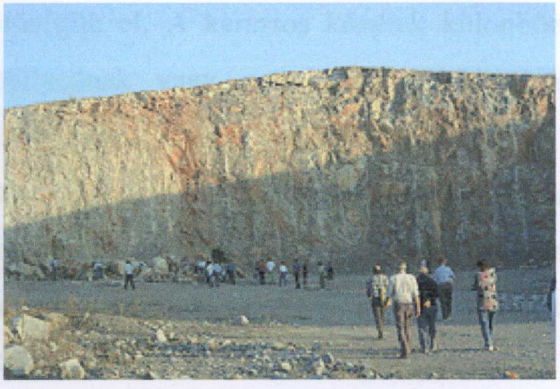
j., Karszt-források szennyeződései a karsztvízrendszerbe jutó szennyező anyagokból származnak, de a forrás kilépésnél vagy a felszíni vízvezetés során is szennyeződhetnek. Mértékét az határozza meg, hogy milyen területre jut ki a forrás és milyen területeken keresztül szállítja tovább a patak a forrás vizét. Különösen akkor lehet komoly szennyeződéssel számolni, ha a forrás igen nagy hozamú és a tágabb környezetre is kiterül vize. Ilyen áradás pl. az Aggteleki Karszton is gyakran előfordul.

k., Kőbányászat felhagyásával karsztos sebhelyek alakulnak ki mindenütt, ahol elterjedt gyakorlat a mészkőbányászat. Régóta fontos kérdés a karsztos szakirodalomban, hogy mit lehet tenni az elhagyott bányák rekultivációja érdekében. Komoly problémát jelentenek ezek a helyek az állatvilág számára, mivel igen sok esetben szakadékszerű falak maradnak vissza, amelyek a természetes bejárási útvonalakat semmisítik meg. Ugyanakkor veszélyesek a túrizmus számára is. A lebányászott kőzet helyén visszamaradt kopár felszíneken nem települ vissza a növényzet, csak nagyon lassan. Több kísérlet történt (*GUNN 1989a,b)* arra, hogy megfelelő növényzettel visszatelepítsék azokat. A Bükk hegységben Bélkőn (13. kép) a bányászat több endemikus növény biotópját tüntette el. Ma már korlátozott itt a

letermelés és a lebontott függőleges falak is védettséget élveznek. A beremendi mészkő rög bányászata során sok szép képződménnyel rendelkező barlang került napvilágra és károsodott (14. kép). Magyarországon már vannak olyan kezdeményezések, amelyek már nem is rekultivációt, hanem renaturalizációt sürgetik az elhagyott bányák helyén.



13. kép Mészkőbányászat Bélkőn



14. kép Mészkőbányászat Beremenden

l., A vízkiemelések okozta vízszintsüllyedések ott jönnek létre, ahol valamilyen nyersanyag vagy energiahordozó található a karsztos kőzetben, a bányászat nagymennyiségű vizet emel ki a vízbetörések elkerülésére. Ez történt a Dunántúli-középhegységben is, ahol a 80-as évek végén több bauxitbányát leállítottak. A 90-es évek elején megindult a vízszint emelkedése (*BÖCKER-HŐRISZT, 1992*). A több 10 m-es vízszintsüllyedés komoly gondot okozott az ivóvízellátásban, a források hőmérsékletének csökkentésével a fürdő túrizmusban, de a barlanglátogatásban is.

4. A karsztok korszerű értelmezése

A szakirodalomban a karsztok ***azonális*** képződmények, mivel a karsztosodó kőzetek földrajzi elterjedése zónától független. Egyetértve ezzel, hangsúlyoznunk kell, hogy a ***karsztosodás folyamata és a formák kialakulása a klímával szoros kapcsolatban van,*** a zónahatások messzemenően érvényesülnek a karsztfejlődésben. A különböző földrajzi zónák karsztjelenségei jelentősen eltérnek egymástól *(JAKUCS, 1971; JAKUCS – BÁRÁNY, 1984).*

A karsztkorrózió intenzitása meghatározó a típusos karsztjelenségek és karsztformák kialakulásában, a karsztos formák genetikusan azonban ***nem csupán a kőzet oldódás és a hozzákapcsolódó felszínalatti vízvezetés*** eredményeként jönnek létre. *JAKUCS (1971)* kimutatta, hogy a legjelentősebb barlangok a karsztosodó kőzetben

eltűnő felszíni vizek ***hordalékának mechanikus koptató, véső eróziója*** hatására jönnek létre. A nem-karsztos felszínről a karsztokra átöröklődő szárazvölgyek kialakulása ***a felszíni vizek munkájá***nak eredménye, ugyancsak felszíni víz alakítja ki a karsztos szurdok völgyeket. Ezeket a folyamatokat és formákat a tipikus karsztjelenségektől és formáktól ***fluvio-karszt*** megnevezéssel különítjük el. A karsztos kőzetek különböző ***tektonikus hatásokra*** kiemelkednek, lesüllyednek vagy nem-karsztos kőzetekkel betemetődnek, így karsztosodási folyamataik dinamikája megváltozik.

Egyre nagyobb jelentőséget tulajdonítunk a karsztok fejlődésében a ***tájökológiai tényezők hatásá***nak. Ezalatt azt értjük, hogy a karsztfejlődés az alapkőzeten a ***klíma*** hatására kialakult ***talajok, a talajokon megtelepedett növényzet, az ember*** tájhasznosító tevékenysége hatására jelentős mértékben megváltozik, megváltoznak a karsztfolyamatok, ami kifejeződik a forma fejlődésében is.

A ***karsztok csoportosítása*** sok szempontból lehetséges. Ezen a helyen a ***karsztökológiai rendszer működését***, illetve az azt befolyásoló ***karsztosodó kőzet helyzetét*** vizsgálva különböztetem meg a karsztok fő típusait:

- ***kopár, nyílt karsztok***, ahol a talaj természetes vagy antropogén hatásra lehordódott a kőzet felszínéről, a korrózió közvetlenül a kőzet felszínén megy végbe,
- ***rejtett nyílt karsztok***, amelyeknél a karsztos kőzetet talaj borítja, a karsztosodási folyamat a talajon keresztül zajlik, a korrózió biogén hatásra intenzív,
- ***fedett karsztok***, amikor a karsztos kőzetet nem-karsztos kőzet borítja, az oldás a pontszerűen beszivárgó víz hatására a nem-karsztos kőzet alatt megy végbe.

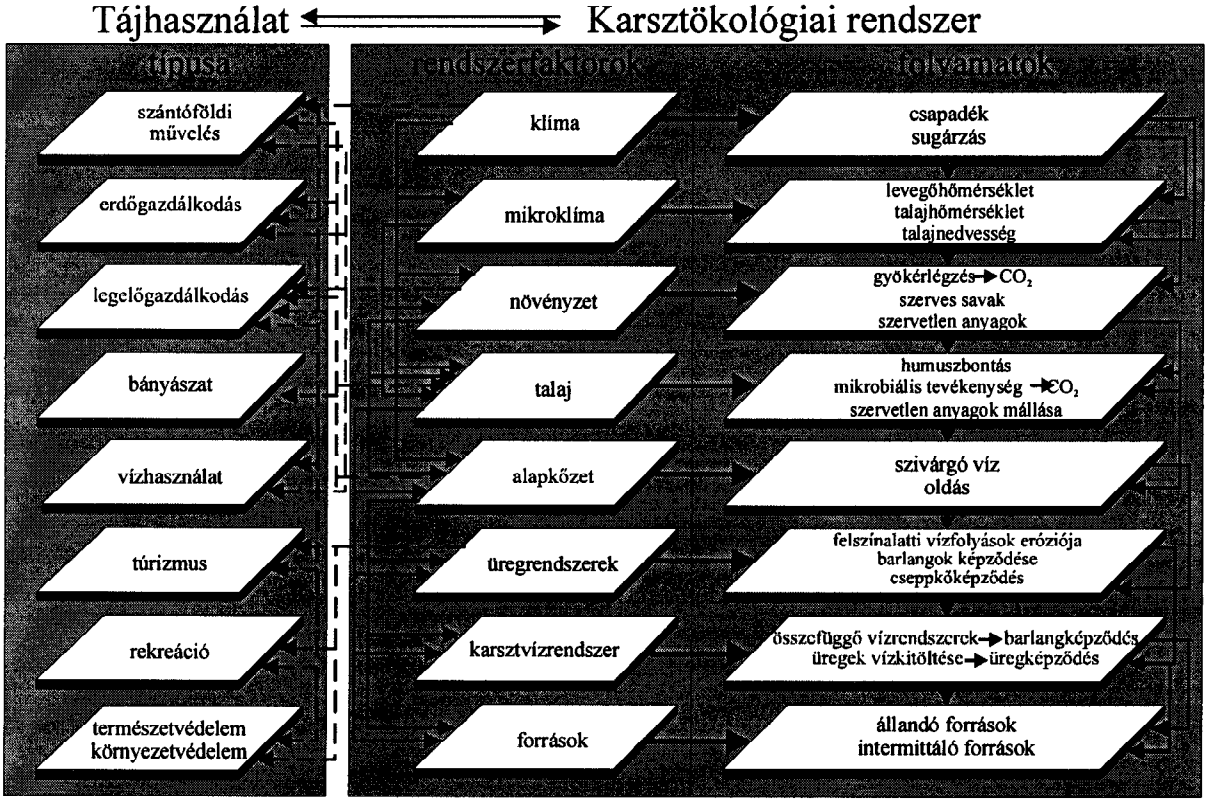
Gyakran fedett karsztípusként említik a kutatók a talajjal borított karsztokat. Véleményünk szerint *(BÁRÁNY-JAKUCS, 1984)* a folyamatok és a kialakult formák szempontjából ezek rejtett nyílt karsztok, mivel a karsztosodó kőzetet borító talaj nem gátolja, sokkal inkább felerősíti a karsztkorrózió intenzitását.

4.1. A karsztökológiai rendszer

A ***karsztrendszerben végbemenő változások okát*** napjainkban nagyrészt ***a felszíni folyamatokban kell keresni.*** A felszíni jelenségek, mint pl. a ***talajerózió hatása*** a karsztok fejlődésére *(JAKUCS 1971)*, a ***talajoknak*** a ***karsztkorrózió***ban betöltött szerepe *(JAKUCS 1971, ZÁMBÓ 1971, BÁRÁNY-KEVEI 1987)*, csak az utóbbi néhány évtizedben foglalkoztatja a kutatókat. Ugyancsak mellőzött a ***karsztos vegetáció dinamikájá***nak hatásvizsgálata *(KEVEINÉ BÁRÁNY 1985, BÁRÁNY-KEVEI – HORVÁTH 1996)* és a ***mikrobák korróziós hatékonyságá***nak értékelése *(JAKUCS 1980, BÁRÁNY-KEVEI 1982, ZÁMBÓ 1998, DARABOS 2000).* Kevés a ***karsztos területek hasznosításá***val és annak a karsztfolyamatokra gyakorolt hatásával foglalkozó tanulmány (*WILLIAMS 1999, PFEFFER 1990, TÓZSA 1997*), s nem foglalkozunk kellő mélységben a ***globális klímaváltozások***nak a karsztos ökoszisztéma folyamataira gyakorolt hatásával sem. A legutóbbi nemzetközi kutatások már a ***karsztok egész rendszerének komplex feltárásá***t célozzák.

A karsztökológiai rendszer (BÁRÁNY-KEVEI 1996) egy olyan strukturális és dinamikus rendszer, amelyben az abiogén elemek a kőzet, a víz, a talaj, a mikro- és makroklíma, biogén elemek a mikro- és makroflóra, valamint az ember. A rendszer működését az abiogén és biogén tényezők kölcsönhatása, illetve a kölcsönhatás során keletkezett anyag és energia forgalom biztosítja, szerkezetét az elemek vertikális és horizontális elrendeződése szabja meg. Specifikuma sérülékenysége, a folyamatok gyors lefutása, valamint a háromdimenziós hatásfelülete (2. ábra).

A ***karsztökológiai rendszer elemei*** egymással és a hasznosítás típusával szoros kapcsolatban állnak, s meghatározzák a ***táj működését*** (dinamikáját). Az emberi tevékenység megváltoztatja ezt a működést, ami a táj változását eredményezi. ***A karsztökológiai kutatások feladata megvizsgálni a tájban a hasznosítás során bekövetkezett változásokat. A további tájhasznosítás számára a jelenlegi állapotot kell minősíteni, s javaslatot tenni másfajta hasznosításra.*** A ***javaslatnak ki kell terjednie*** a ***karsztok fenntartható fejlődésé***nek és ***megőrzésé***nek módozataira. Ez azt jelenti, hogy ki kell dolgoznia a ***tájkezelésre, tájhasznosításra és tájmenedzsmentre vonatkozó terveket is.*** Ehhez ismerni kell azokat a hatás mechanizmusokat, melyek a karsztok ökológiai rendszerében működését jellemzik.



2. ábra A karsztökológiai rendszer

Napjainkban a földrajztudomány egészének fontos feladata a geoökológiai rendszerek megismerése, kezelési-, hasznosítási- és megőrzési javaslatainak tudományosan megalapozott kimunkálása (*PÉCSI 1972, MAROSI 1980, 1985, 2000, KERÉNYI 1991, MEZŐSI at. al. 1997, FODOR 2001)*. Kiemelten fontos ez a kutatás a környezet-érzékeny karsztokon, ahol a háromdimenziós rendszerben a folyamatok sokszorosan gyorsabban játszódnak le, mint más geoöko-rendszerekben.

4. 2. A karsztökológiai rendszer szerkezete és működése

A karsztok jelenségei és formakincse együttesen jelenti a karsztosodást (*JAKUCS, 1971*). A folyamatok és formák különböző tényezők kölcsönhatásában alakulnak ki, s mindenkor az adott környezeti állapotokat tükrözik. Ezeket a tényezőket jelentős mértékben befolyásolja a ***kőzet fizikai és kémiai tulajdonsága, oldhatósága, a kőzet rétegződési viszonyai, a felszínalatti vízvezetés, a tektonikus hatások és a hegységképző mozgások.*** Az ***időben és térben változó folyamatok*** hozták felszínre vagy a felszín közelébe a karsztos kőzeteket, amelyeken megkezdődött a mindenkori

klímafeltétel függvényében a ***külső erők*** lepusztító munkája. A ***külső erők közreműködésével alakult ki a karsztok geoökológiai rendszere, melynek tényezői*** a fent említett abiogén és biogén tényezők.

A. A ***klíma*** elsősorban az ***oldó víz*** és annak ***hőmérséklet***e révén válik a karsztosodás tényezőjévé, de a ***talaj és vegetáció típusának kialakításá***ban is, mint zonális tényező, meghatározó. Közvetett hatása éppen ez utóbbiakon keresztül érvényesül a folyamatokban.

A klíma elemek közül a ***csapadék*** tulajdonképpen alapfeltétele a karsztosodásnak. Emellett az ***anyag- és energiaáramlás közege***. Évi összege mellet fontos évszakos megoszlása. A fagymentes időszakban hulló csapadék oldó hatása és anyagszállítása lényegesen nagyobb, mint a hideg periódusban a felszínre jutó csapadéké. Kivételt képeznek ez alól a hódolinák, amelynek oldásos fejlődéséért a hó csapadék a felelős. Természetesen nemcsak a csapadék eloszlása, de az intenzitása is különbségeket eredményez a karsztos oldásban. A gyorsan, nagy mennyiséggel jelentkező csapadék a kőzet vízáteresztő képességétől és a növényborítottságtól függően különbözőképpen mozog a talajban, illetve kőzetben. Ilyenkor könnyen megtelnek a járat- és üregrendszerek a vadózus zónában, de egyidejűleg ezek a ***szivárgó vizek hígulnak is, ami újabb oldó kapacitás***t jelent. A kihígulás azonban a ***cseppkőképződés mérséklődésé***t eredményezi. Más a helyzet növényborítás esetén, amikor az ***evapotraszspirációval*** is számolni kell, tehát a vízgyűjtőre jutó csapadék egy része ismét a légkörbe kerül. Nagyobb dimenziókban a víz karsztban történő mozgása ***szabályozza a források működését illetve vízhozamát.***

A ***hőmérséklet*** alapvetően megváltoztathatja a rendszer működését. Az ***alacsony hőmérséklet nagyobb gázelnyelése ellenére, biogén $C0_2$ hiányában, mérsékli az oldási folyamatokat***, fagy esetén leáll a vízmozgás. Mérsékeltövi klímaviszonyaink között a folyamat intenzitása csökken az alacsony hőmérsékletek bekövetkeztével. A ***magas hőmérséklet is csökkentheti a korrózió intenzitását***, mivel a víz gázoldó képessége magas hőmérsékleten kisebb és az agresszív széndioxid felvétele csökken a magas hőmérsékletű vízben. ***Ennek ellenére a meleg trópusokon a legnagyobb a karsztkorrózió intenzitása, mivel a karszttalajok biogén aktivitása itt a legnagyobb***, s ez magas széndioxid szintet biztosít a talajlevegőben, illetve a szivárgó vízben *(JAKUCS 1971).*

A ***fagyváltozékonyság*** hatással van a felszíni formák fejlődésére is, ami a ***magashegységi sziklakarrokon*** tükröződik vissza. Gyakran található ***fagytörmelék*** a hegységek északi kitettségű hegyláb felszínein. Különösen a dolomit karsztokon figyelhető meg a finom dolomit törmelék. A hőmérséklet ***befolyásolja a hóborítás tartamát*** is. Különösen a tartósan önárnyékos dolinákban hosszú ideig megmarad, s alatta a korrózió az olvadékvíz hatására működik. Ez az oka a hódolinák aszimmetrikus formájának (*NICOD, 1990*).

A magas hőmérséklet ***gátat szab a nedvességkedvelő növények megtelepedésének***. A déli kitettségű lejtőkön kiszárad a talaj, sok szárazságtűrő faj jelenik meg. Az északi kitettségben a sugárzás csökkenésével az átnedvesedett talajokon nedvességkedvelő növények telepszenek meg. ***Mérsékeltövi*** körülmények között a ***hóhatár alatt*** már ***a talaj és vegetáció is fontos ökológiai tényezővé*** válik, ami szoros kapcsolatban van a hőmérsékleti adottságokkal. Mindenképpen ki kell emelni, hogy itt már a ***mikroklíma szerepe nagyon jelentős***, mivel a felszín közeli klíma folyamatok határozzák meg döntően az exogén hatások nagyságrendjét.

A klímahatások között az utóbbi évtizedekben a ***szárazodás*** igen fontos tényezővé vált minden tájtípuson. Keveset foglalkoztunk mind ez ideig a karsztok klímaváltozás hatására bekövetkezett szárazodásával, illetve ***a beszivárgás jelentős ingadozásával***, pedig ez az ivóvíz ellátás szempontjából fontos kérdéssé válhat a jövőben. Az eddigi kutatások már jelzik, hogy a klíma szárazodása is hozzájárul a karsztvízszint csökkenéséhez.

B. A ***karbonátos kőzetekben*** a ***víz*** a kőzet sokféleségének megfelelően sokféleképpen fordul elő. A karsztvízrendszer különbözik minden más vízrendszertől. Benne ***integrált rendszerben*** kapcsolódnak a járatok egymáshoz és ***nagymennyiségű víz szállítását*** teszik lehetővé. A ***karsztos területek vízgyűjtői felszíni és felszín alatti rendszerekből állnak,*** kapcsolatuk nem mindig törvényszerű, lehet esetleges is. A két eltérő dinamikájú - autogén és allogén - karszttípusnál *(JAKUCS 1971)* jelentős szerepe van a csapadéknak a karsztos felszínformálódásban. Amíg azonban a csapadék szerepe az autogén típusnál igen nagy, az allogén karsztokon a felszíni lefolyással a nem karsztos területekről idejutó felszíni vizeknek és az általuk szállított hordaléknak van jelentős szerepe a felszíni- és felszínalatti formáknak kialakulásában.

A karsztos területek ***hidrogeológiai-hidrogeográfiai jellemzőit*** alapvetően meghatározza az a tény, hogy a karsztok háromdimenziós rendszerében a rés és repedéshálózatban a felszínre jutó csapadék és a más területekről idekerülő vizek hamar eltűnnek. A felszínre jutott ***csapadékvíz szivárgó vízként halad tovább a kőzetben, szerepe a karsztok anyagszállításában*** meghatározó. Különböző mennyiségű víz jut a karsztokba attól függően, hogy milyen típusú karsztról van szó, s ezzel összefüggésben milyen a beszivárgási tényező. ***Tényleges beszivárgás***on azt a csapadékhányadot értjük, amely egy év alatt bejut a karsztba. A karsztok igen sokszínűek, talajjal, növényzettel borítottak, vagy kopárak. Ezért általános séma nem adható a beszivárgó vizek meghatározására, bár a beszivárgás törvényszerűségeinek kimutatásával sok kutató foglalkozott *(KESSLER 1954, BÖCKER 1974). BÖCKER* különböző ***beszivárgási típusok***at különített el. Ilyenek: ***a nyílt karsztos felszín beszivárgása, talajjal és növénytakaróval borított karsztfelszín beszivárgása, a vízáteresztő törmelékes üledékkel borított karszt beszivárgása, a fedett karszt beszivárgása.*** A típusok jelzik, hogy a karsztökológiai viszonyok szerint különbségek vannak a víz közvetítésével végbemenő anyagáramlásban. A ***talaj fizikai*** minősége ***befolyásolja a szivárgás mértékét.*** Ha a talaj vízvezetése nagyobb, mint a kőzeté, akkor a kőzet felszínen talajvíz gyűlik össze és mozog az általános lejtés irányába. Ha a talaj vízáteresztő képessége kisebb, vagy egyenlő a kőzet vízáteresztő képességével, akkor a víz beszivárog a kőzetbe, magában hordozva mindazon anyagokat, amelyek a talajon keresztüli átszivárgás során a szivárgó vízbe kerültek. Ezek között fokozott figyelmet kell fordítani a szennyező anyagokra.

A 80-as évek végén az ***összegző és éghajlati kapcsolati-módszer***t dolgozták ki a ***beszivárgási hányad meghatározására*** *(MAUCHA 1990)*, amellyel a tényleges csapadék és a forráshozamok figyelembevételével már pontosabban lehet számolni a beszivárgó víz mennyiségét. Ez a módszer már számításba veszi a ***karsztos vízgyűjtő nagyságát*** is. Nagyon fontosak a gyakorlat számára ezek a becslések, mivel a különböző csapadékokhoz és tározókhoz tartozó karsztvíz mennyiséget adják meg.

C. Az abiogén tényezők közül az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb hangsúlyt fektetünk a ***talaj***ra, mint a ***karsztökológiai rendszer egyik meghatározó elemé***re. A talaj fontos ***puffer és filter közeg***, amely a szivárgó víz karsztidegen anyagait megszűri. Mivel a vízzel, mint közvetítő közeggel különböző anyagok kerülnek a rendszerbe, a

karszttalajok kutatása napjainkban egyik fontos területe a nemzetközi karsztkutatásoknak is.

Korábbi karsztkutatásaimban elsősorban azt ***vizsgáltam,*** hogy a fontosabb ***ionok hogyan mozognak a karsztban***, ezzel keresve az okát a cseppkődegradációs jelenségeknek. Az anyagmozgás ***legfontosabb korlátozó vagy erősítő tényezője*** a karsztban az ***oldó víz kémiai tulajdonsága***. A ***talajok savanyodási tendenciái***t mérsékeltövi karsztokon már kimutattuk *(BÁRÁNY-KEVEI 1985)*. Az utóbbi néhány évben a talajok ***nehézfémterhelés***ét vizsgáltuk *(BÁRÁNY-KEVEI 1998, BÁRÁNY-KEVEI - MEZŐSI 1999, BÁRÁNY-KEVEI – GOLDIE – ZSENI – HOYK, 2000)*, mivel azok ***karsztvízbe jutása az ivóvízellátást teheti kétségessé*** a karsztos területeken. Ebben a vonatkozásban már sok olyan karsztterület van, ahol ***a talajok elszennyeződése*** jelentős *(XIANDONG – THORTON, 1993)* problémát okoz az ivóvíz ellátásban. Ez a felismerés irányította a figyelmet ***a karsztok terhelhetőségére.*** A jövőben sokkal nagyobb területeket kell természetvédelem alá vonni, mint napjainkban megvalósul.

D. A ***kőzet,*** mint a karsztökológiai rendszer tényezője azért itt kerül tárgyalásra, mert a térbeli (vertikális) elrendeződés elvét követi a feldolgozás. Természetesen ***alapvető tényezője*** a rendszernek, ***tulajdonságai meghatározóak az oldás, a vízvezetés, a formaképzés, a talaj- és tájfejlődés szempontjából.*** Mint ismeretes, a kőzet ***vízáteresztő képesség***ének függvénye a vízvezetés. Mindig számolnunk kell ezzel a tényezővel, ha mint vízadó környezetet vizsgáljuk a karsztokat. A karszthidrológia sokoldalúan foglalkozik a felszínalatti vízvezetéssel. E helyen a kőzetet, mint az ökológiai rendszer részét vizsgáljuk, s ebből a szempontból fontos a ***bányászat által kiemelt víz***, a kőzetben található ásványkincsek kitermelése során keletkezett ***szennyező anyagok*** és a ***kőzetkitermelés*** hatásértékelése. Nagyjelentőségűek a felszínalatti bányászat vízkitermelései és a következtükben létrejött karsztvízszint változások (pl. karsztbauxitok kitermelése a Dunántúli-középhegységben).

F. A ***biogén tényezők***et gyakran nem veszi számításba a karsztos szakirodalom. Mivel az élővilág sok irányból hatva formálja a karsztokat, messzemenően egyet kell értenünk *JAKUCS (1980)* azon koncepciójával, miszerint a karszt biológiai produktum. A karsztfejlődést a ***mikrobiális tevékenység***gel a szakirodalomban elsőként hoztam számszerű kapcsolatba *(BÁRÁNY-KEVEI 1982)*. Később mások is nyitottak ebbe a kutatási irányba *(TRANTER, J., GUNN, J. HUNTER, C. AND PERKINS, C. 1997,*

ZÁMBÓ 1998., DARABOS 1999). Mivel ***a talajbeli széndioxid nagy részét a baktériumok állítják elő, nem kétséges, hogy az általuk előállított széndioxid mennyisége valódi ökológiai nagyság.*** Ahol minimális a talajélet, a korrózió intenzitása kisebb. A biogén tényezőhöz tartozik természetesen ***a magasabb-rendű növényzet gyökérlégzése*** révén a talajlevegőbe került széndioxid is, illetve a gyökérsavak direkt korróziós hatása is. Ugyanakkor a ***szervesanyagok bomlása után*** a talajban a ***szerves kolloidok*** fontos elemei a különböző ***anyagok***, közöttük a káros kationok (pl. nehézfémek) ***megkötésé***nek is. Mindez mutatja, hogy a biológiai tényezők is sok csatornán keresztül hatnak a karsztfejlődésre. A ***biogén aktivitás szoros kapcsolatban van a talajtulajdonságokkal és a klímatényezőkkel.***

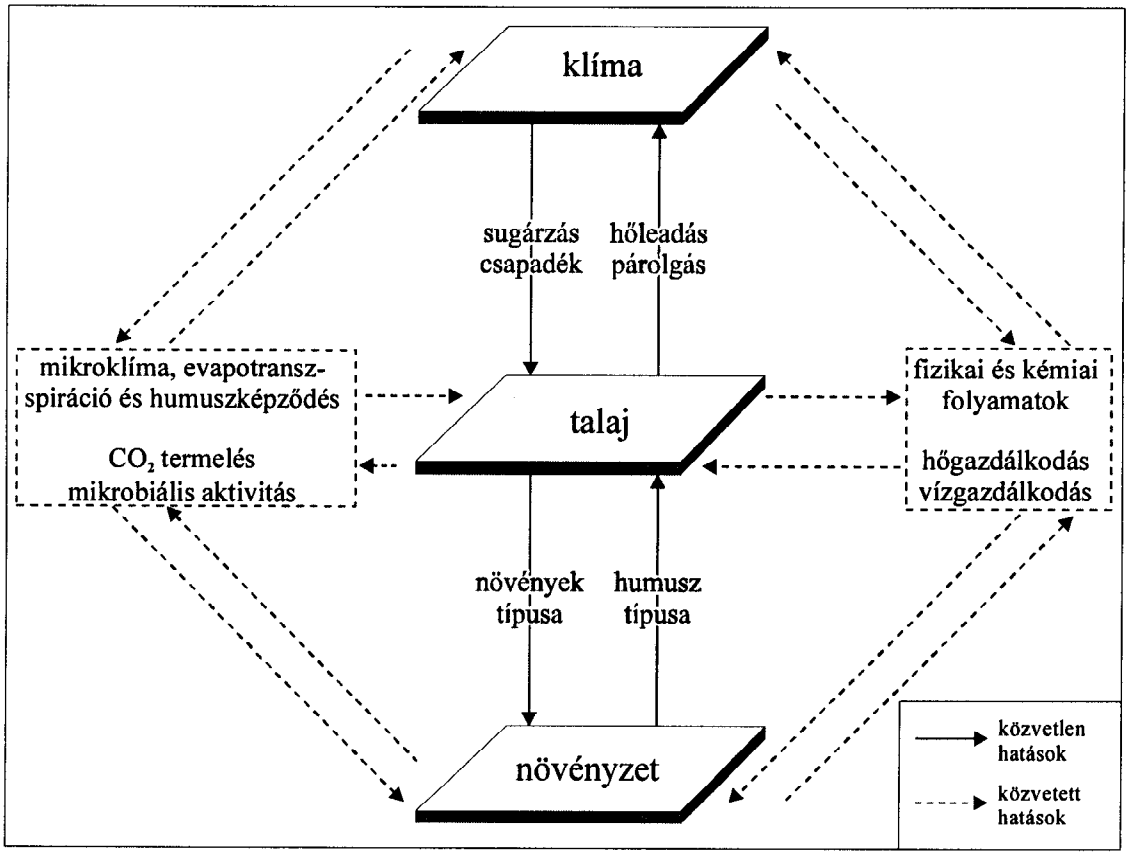
A ***talaj és a kőzet határán*** megváltoznak a körülmények, innen a víz a kőzetbe jut, ahol további lehetőség nincs a karsztidegen anyagok visszatartására, azok a szivárgó vízzel a karsztvízrendszerbe jutnak. Később, mint ***csepegő vizek károsíthatják a cseppköveket*** (*JAKUCS, 1987*), vagy a karsztvízbe jutva ***rontják a karsztvíz minőségét.***

Fontos már elől járóban rámutatni, hogy a fenti tényezők nagymértékben befolyásolják a ***karsztos területek hasznosíthatóságát***. A karsztökológiai rendszer tárgyalása során vázlatosan bemutattam azokat a kölcsönhatásokat, amelyek a karsztrendszer tényezői és a hasznosítás között fennáll. A klíma hat a ***mezőgazdasági hasznosítás***ra (az északi lejtőn csak hűvösebb klímát igénylő növények termeszthetők, míg a déli lejtőkön mediterrán kultúrák is megélnek hazai viszonyaink között). Igaz ez az ***erdőgazdálkodás***ban is. A fenti hasznosítás visszahat a klímára (erdőkben állományklíma, szántókon szélsőségesebb klíma alakul ki).

Az ***idegenforgalmi hasznosítás*** a ***táj látványértékei***vel van szoros korrelációban. A karsztok változatos felszíne, a ***dolinák, dolinasorok, a szurdokvölgyek, mésztufa gátak*** olyan értéket képviselnek, amelyek szinte determinálják az idegenforgalmi hasznosítást. ***Mérsékeltövi*** viszonyok között a ***dolinák jelentik a legfontosabb táji értéket***, ezért megőrzésük fontos feladata a természetvédelemnek. A nagyszámú túrizmus azonban a növényzet taposásával, szennyező anyagaival, a barlangokban a hőmérséklet emelésével kedvezőtlen hatásokat okoz, ami a természetes-folyamatok megzavarásával járhat. Végtelen a sor, amelyben ezeket a kölcsönhatásokat elemezhetjük. Mindenképpen fontos, hogy a tájhasznosítás számára ezeket a hatásokat minősítsük.

5. A karsztok klíma-talaj-növényzet rendszere

A karsztökológiai rendszer tényezői külön-külön és együttesen is jelentős hatással vannak a folyamatok megváltoztatására. Meggyőződésem szerint a rendszerben bekövetkező ***változások motorja a klíma-talaj-növényzet*** kölcsönhatása (3. ábra). Ez a három szféra irányítja az anyag- és energiaáramlási folyamatokat. ***Bármelyik tényező változása kiváltja a másik kettő változását, ami viszont hat az egész rendszer további működésére.***



3. ábra A klíma-talaj-növényzetrendszer kölcsönhatásai

5. 1. A klíma és mikroklíma funkciója a karsztökológiai rendszerben

A ***klíma hatással van az ökorendszerek fizikai-, kémiai- és biológiai folyamataira***, ezért a ***geo- és tájökológiai analízisben központi szerepet tölt be.*** A levegő hőmérséklete, nedvessége, a csapadék, a párolgás a ***víz és anyagforgalmat befolyásolja.*** A talaj hőmérséklete az ***állat és növényvilág életfolyamatait szabályozza.*** A ***szárazanyag-transzport*** a talaj, növényzet, relief és a klímaparaméterek függvénye.

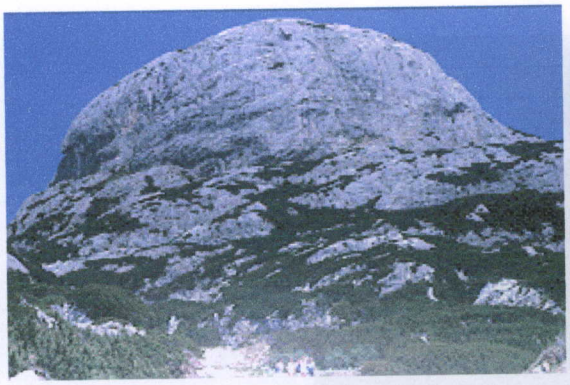
Mindezek ***visszahatnak a klímára***, illetve a ***klíma területi differenciálódására***. Ennek megfelelően a ***különböző*** adottságú ***ökológiai területegységeket sajátos folyamatok*** jellemzik.

A karsztok kialakulásának, de a karsztok egész ***felszínfejlődésének*** meghatározó tényezője a ***makroklíma, az ökológiai faktorok mechanizmusát azonban elsősorban a mikroklíma irányítja.***

5.1.1. Makroklíma

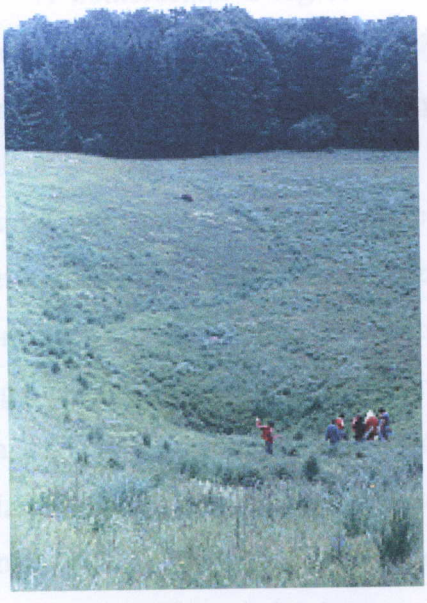
A ***klíma morfogenetikai tényező*** minden kőzettípus lepusztulási folyamatának irányításában, a karsztrendszerben ***a karsztfejlődés dinamizmusát biztosító ökofaktor.*** A ***földrajzi zónák*** eltérő ***csapadék- és hőmérsékleti viszonyai*** jelentős ***különbségek***et eredményeznek a ***karsztok formakincsében***. A hideg-száraz klímákon minimális az oldás (15. kép), a mérsékeltövben a klíma hatására kialakult növényzet és talajborítás erősítik a karsztkorrózió intenzitását (16. 17. kép). A mediterrán területeken (18. 19. kép), valamint a szubtrópusi és trópusi nedves éghajlaton (20. 21. kép) nagyintenzitású oldási folyamatok játszódnak le, melynek eredményeként karakterisztikus karsztformák jönnek létre. A sivatagi és félsivatagi klímaterületeken csak karsztos maradványformák találhatók.

A karsztokon a ***csapadék*** mennyisége döntő hatással van a felszíni és felszínalatti formafejlődésre, hatása lehet közvetlen és közvetett. A szálban álló kőzeten a csapadékvíz közvetlen oldóhatása érvényesül. A talajjal vagy egyéb üledékkel fedett karsztokon a fedő rétegek, illetve a rajtuk megtelepedő vegetáció folyamat módosításain keresztül közvetett formában hat a klíma a karsztökológiai folyamatokra. A ***víz*** ebben a rendszerben az ***anyag és energiaáramlás közvetítője***, ezért annak mennyisége, felszínre jutásának intenzitása igen fontos a karsztfejlődés szempontjából. Maga az oldási folyamat, de a talajban végbemenő abiogén és biogén átalakulások szempontjából is a csapadékkal együtt a hőmérséklet a másik fontos klímatényező (*JAKUCS-BÁRÁNY* 1984). A csapadék változását 1950 és 1990 között Miskolc adatai alapján vizsgáltam meg.

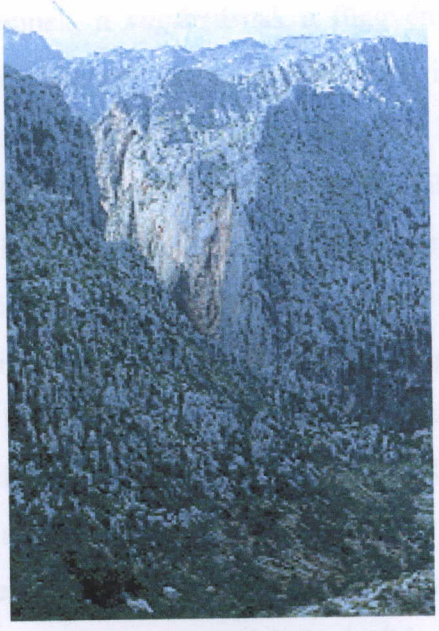


15. kép Mészkőkorróziós felszín Krippenstein 2000 m feletti magasságában

16. kép A borókás dolina Aggteleken



17. kép Szigorúan védett dolina a Nagymezőn (Bükk)



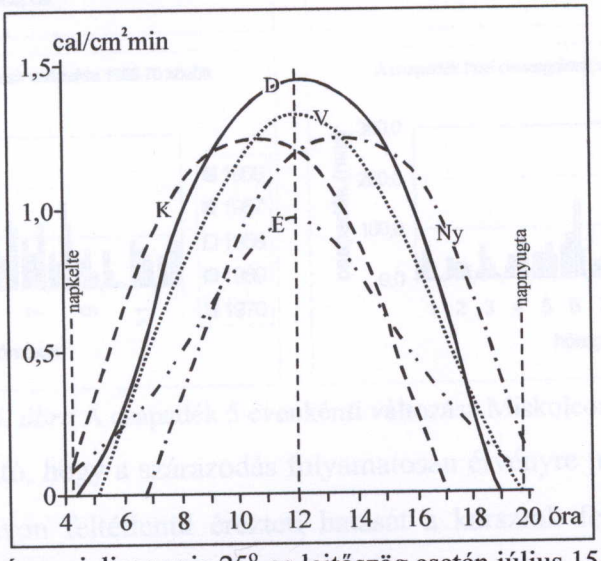
18. kép Mészkőszurdokvölgy Mallorcán

19. kép A Planina polje a Dinári Karszton

20. kép Szubtrópusi kúpkarszt a koreai Tebek-hegységben

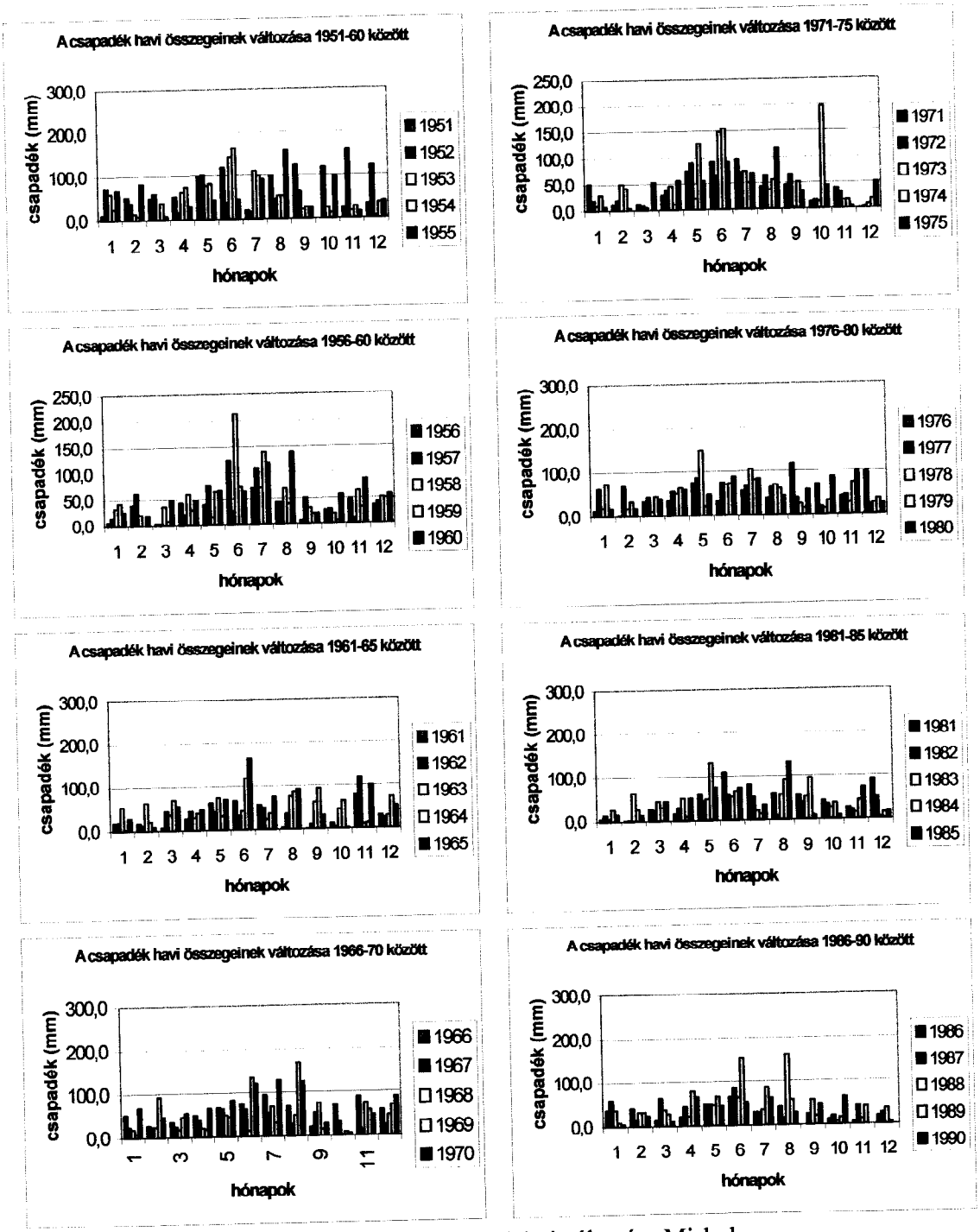
21. kép Karsztkút (cenote) a Yucatan-félszigeten

A ***hőmérséklet*** a legfontosabb klímaelemnek, a ***sugárzás***nak a függvénye. A sugárzás ***biztosítja a rendszer energiáját***. Az, hogy mennyi energia továbbítódik, illetve mennyi kerül vissza a légkörbe, függ a sugárzást felfogó felszín minőségétől. Mivel azonban a hazai karsztok többsége talajjal, illetve növényzettel fedett, általában a felszínre jutó energia jelentős része elnyelődik. A talajon keresztül a hőáramlás a kőzetre jutva a kőzet kedvező vezetőképessége révén a mélyebb szintekre jut, s különösen a kőzethatáron az oldási folyamatok intenzitását befolyásolja. A napsugárzás energia hozama függ a besugárzás tartamától, a borultságtól és a horizont-korlátozástól. A napsugarak beesési szögét hegyvidéki területeken a relief hatása jelentősen módosítja. A Nap delelési magassága mellett szerepe van a Nap tágasságának is, ami az év során változik (4. ábra). Jelentős eltérés van a felszínre jutó energia mennyiségben az északi és déli kitettségen. Ez az eltérés a napi léghőmérsékletben, de a talajhőmérsékletben is jelentős különbségeket eredményez.



4. ábra A napsugárzás napi diagramja 25°-os lejtőszög esetén július 15-én (Hoeck nyomán)
É = északi lejtő; D = déli lejtő; K = keleti lejtő; Ny = nyugati lejtő; V = vízszintes felszín

Mint azt korábban már elemeztem a hőmérséklet mellett a csapadék mennyisége fontos makrodimenzióban a karsztosodás szempontjából. A csapadék adatok változását a miskolci klímaállomás alapján megvizsgáltam 1950 és 90 között (5. ábra).



5. ábra A csapadék 5 évenkénti változása Miskolcon

Megállapítható, hogy a szárazodás folyamatosan érvényre jutott ezen a területen is, ami hosszabb távon feltétlenül érezteti hatását a karsztok fejlődésében. A 80-as években (1989. kivételével) minden évben és hónapban nagyon kevés csapadék hullott.

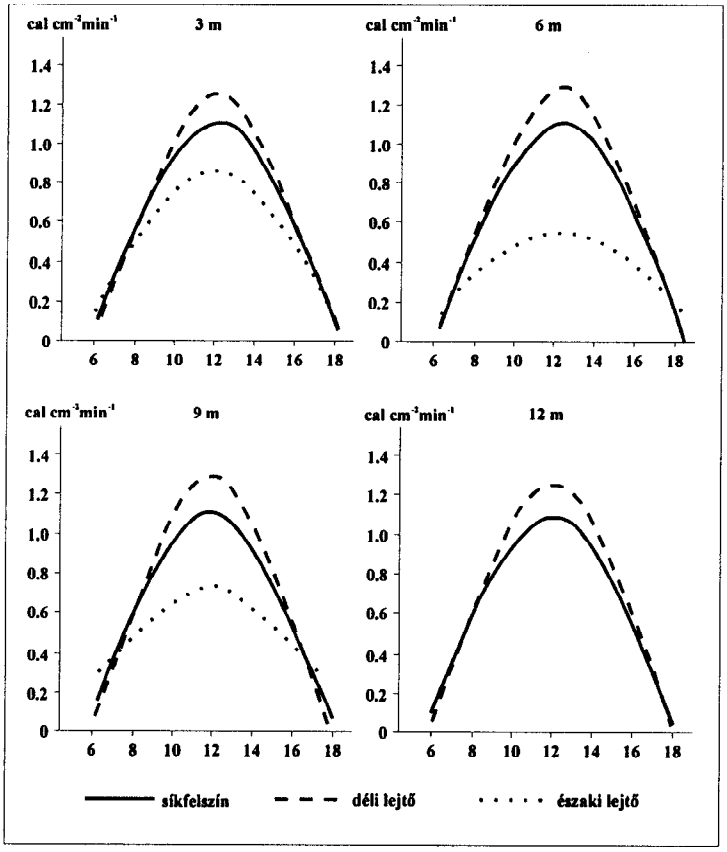
5. 1. 2. Mikroklíma

A karsztok ***középhegységi hegyi és völgyi helyi klímáján belül*** sajátos orográfiai- és morfológiai helyzetben kialakulnak ***a sugárzási hatásokat módosító mikroklíma rendszerek***. Karsztokon legjellegzetesebbek a ***dolinák mikroklímatérségei***, ahol a depresszió zártságából adódó sajátosság mellett ***érvényesül a kitettség mikroklíma-módosító hatása***. A különböző lejtők más-más nagyságrendű felmelegedése a talajhőmérsékletek alakulásában jelentős energia bevételi különbséget eredményez, s ez a talajok eltérő felmelegedését eredményezi.

A ***dolinák*** sajátos morfológiai karakterük miatt a karsztplatókon, vagy a szárazvölgyekben ***önálló, harmadrendű mikroklímateret*** hoznak létre (*WAGNER 1964).* A lejtőkön, a dolina peremén, a dolinafeneken sajátos mikroklíma folyamatok játszódnak le, amelyek a dolina egészének hatása alatt állnak, de időben és térben önállósulva hatnak az ökológiai folyamatokra. A ***dolinák légterét*** nappal igen magas hőmérsékletű, csak lokális turbulens mozgásokkal cserélődő levegő tölti ki. A lejtők ***hőbevételi és hőleadási folyamataiban*** a sugárzási viszonyoknak megfelelően időbeli és ***nagyságrendi különbségek*** mutatkoznak. A sugárzás energia hozama bármely területen a földrajzi szélességtől, a besugárzás tartamától, a horizontkorlátozástól, valamint a borultságtól függ.

A dolinákban a kitettség és a lejtőszög jelentősen módosítja a felületegységre jutó energia mennyiségét. Minél meredekebb és északra exponált a lejtő, annál nagyobb a sugárzási deficitje. A sugárzás évi és napi összege a déli kitettségű lejtőn a legnagyobb. Azonban a ***sugárzás napi menetére*** jellemző, hogy napfelkeltétől 9 óráig a keleti kitettségű lejtő részesül erőteljesebb sugárzásban a déli kitettséggel szemben. Nyári hónapokban a kora reggeli és esti órákban az északi kitettségű lejtő is kedvezőbb sugárzási helyzetben van, mint a déli kitettségű lejtő. A délutáni órákban a nyugati expozíción erősebb a besugárzás. A negatív formáknál, így a dolinák mélyedéseiben is nagy jelentőségű módosító hatást fejt ki a besugárzásra az ***önárnyék.*** A déli lejtők hődeficitjéhez a korai árnyékhatás is hozzájárul. A reggeli órák hőtöbbletét rontja a horizontkorlátozás korai bekövetkezése, a koradélelőtti óráktól már az északi kitettségű déli lejtő önárnyékban van. A sík felszínre, valamint az északi és déli lejtőkre

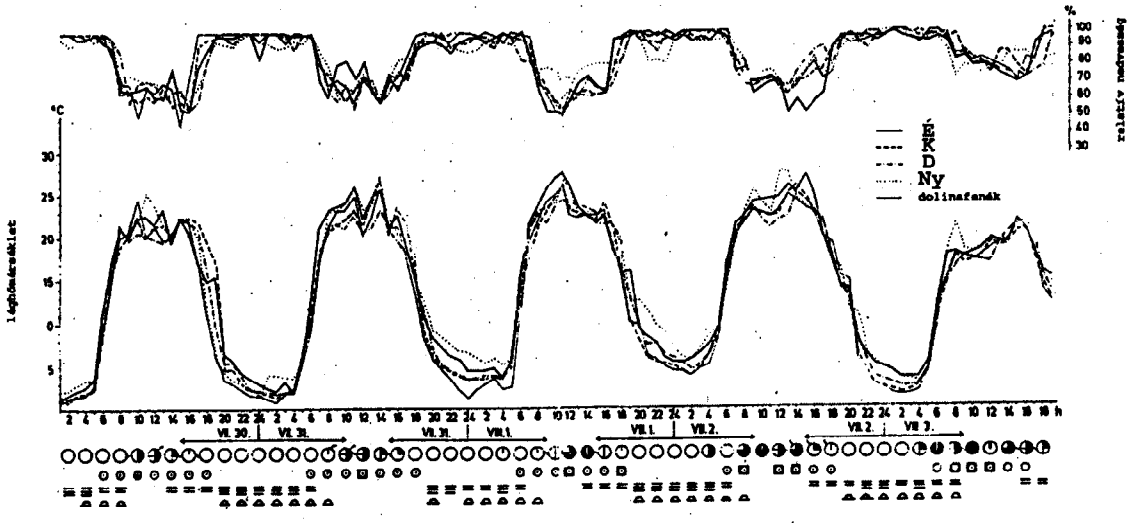
(meghatározott lejtőszögnél) kiszámítottam a lehetséges besugárzott energia mennyiségét (6. ábra).



6. ábra A felszínre érkező energia mennyisége egy augusztusi napon

Az ***északi és déli lejtőn a kitettségéből adódóan jelentősen eltér*** a ***léghőmérséklet járása***. A déli kitettségű lejtőkön 4-5 fokkal magasabb a felmelegedési szakaszban levegő hőmérséklete, mint az északi kitettségen (7. ábra). A kelet-nyugati keresztmetszetben a léghőmérséklet abszolút értékeiben nincs jelentős eltérés, annál inkább van azonban a hőmérsékleti maximumok és minimumok bekövetkezési időpontjában (8. ábra). A ***keletre néző lejtőkön reggel 8-9 óra között áll be a maximum, a nyugatra néző lejtőn viszont csak délután 2-3 óra között.*** Ez a sajátos hőmérsékletjárás ***a talajökológiai és növényökológiai folyamatokra van*** jelentős ***hatással***. Ennek megfelelően telepszenek meg a különböző fajok, más-más lejtőkön, s ***ennek függvényében*** alakulnak a ***növények ökológiai mutatói.*** A ***mikrobiális aktivitás***ra is jelentős hatással van a ***hőmérséklet,*** illetve az annak függvényében változó ***talajnedvesség*** alakulása. A fáziseltolódás a két lejtőn eltérő bioaktivitást eredményez. Dolinákban végzett megfigyeléseim szerint a nyugati és északnyugati lejtő hőmérsékleti

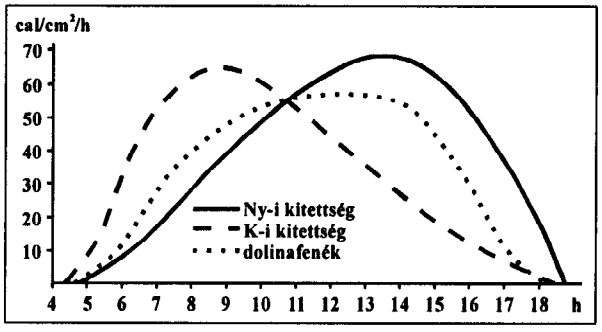
és nedvességi viszonyai felelnek meg leginkább a bakteriális tevékenységnek, a déli lejtő magas nedvességtartalma és alacsony hőmérséklete, az északi lejtő erős besugárzása miatt a talaj kiszáradása akadályozza a baktérium populáció jelentős feldúsulását. Ez az egész ökológiai rendszer szempontjából azt is jelenti, hogy a déli lejtőn lassúbb lesz a szerves-anyagok lebontása és anyagszállítás, mint a többi lejtőn.



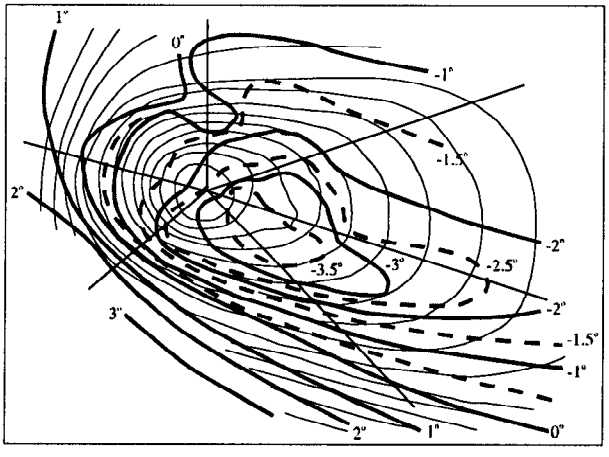
7. ábra A hőmérséklet és a légnedvesség alakulása egy bükki dolinában

Éjszaka ***hideg légtó*** tölti ki a dolina alsó szintjeit (9. ábra). Nyári periódusban (augusztus elején) a Bükk-hegység platódolináiban, de az Aggteleki dolinákban is fagypont alatti hőmérsékleteket mértünk. Két formája van a hideg légtónak. Egyik, amikor a hideg levegő a dolina alján halmozódik fel, s vagy harmat, vagy dér keletkezik. A másik típus, amikor sűrű köd képződik, a dolina alján magasabb lesz a hőmérséklet, mint a lejtőkön. A hideg-légtó kialakulása ***akadályozza a dolina növényzetének zavartalan fejlődését.*** A nappali besugárzás lejtők szerinti eltéréseit nem egyenlíti ki az éjszakai kisugárzás, mert ekkor a hideglevegő leszivárgása módosítja a hőmérsékleti rétegződést, ***hőmérsékleti inverzió*** jön létre. Ez a mikroklíma sajátosság a ***növényzet*** elrendeződésében is ***inverzió***t eredményez. A dolinafenéken alacsonyabb termetű növények fejlődnek ki, mint a magasabb peremi részeken.

A dolinákban megjelenő köd, amit *WAGNER (1964)* ***fluktuáló töbörködnek*** nevezett, a koraesti órákban tölti ki a dolinát, később ez felemésztődik, majd egy idő után ismét megjelenik. A dolina alsó részén kialakuló izoterm állapot tovább színesíti a dolinák légterének mikroklíma folyamatait.

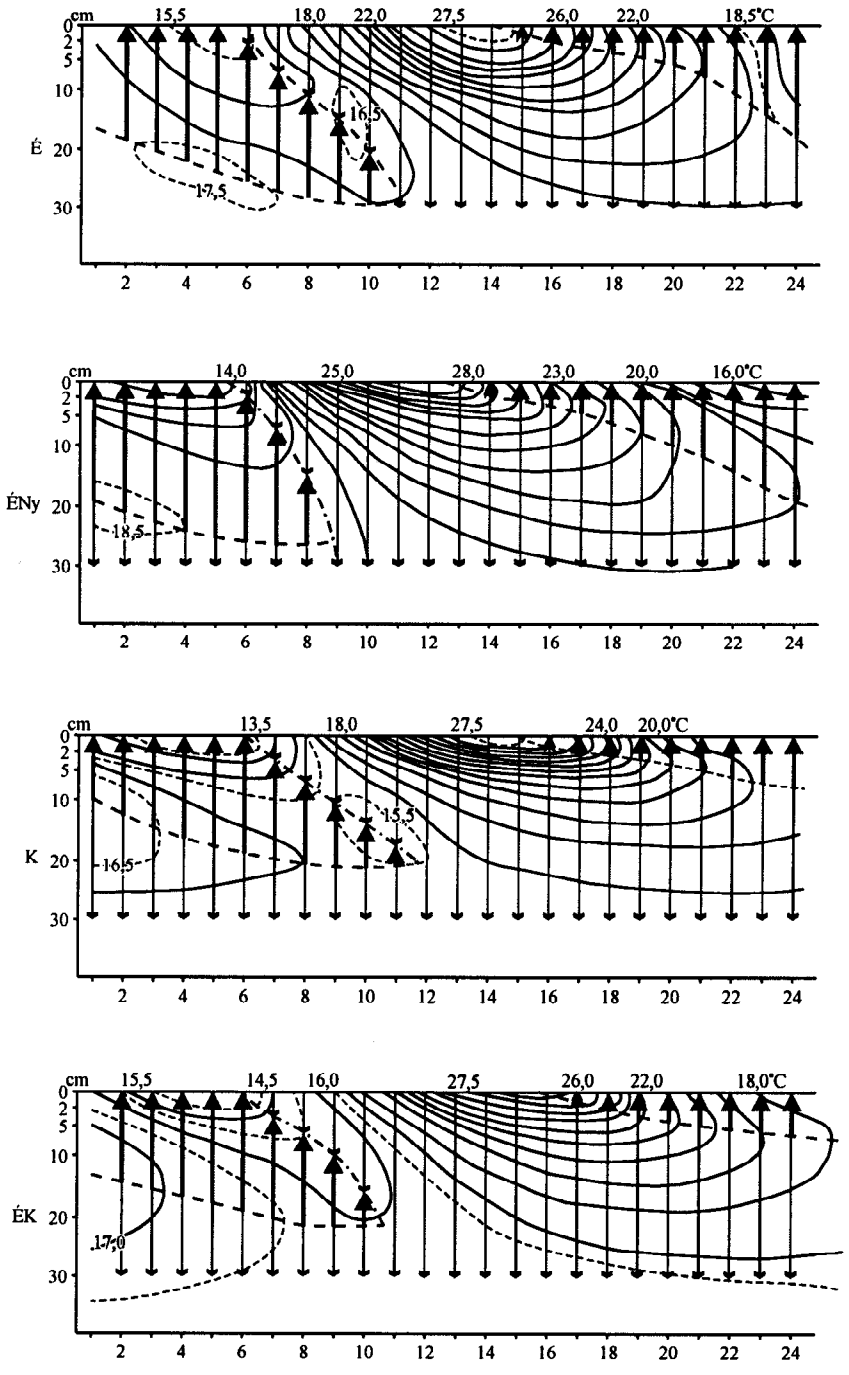


8. ábra A globálsugárzás napi menete keleti és nyugati kitettségben valamint a dolinafenéken

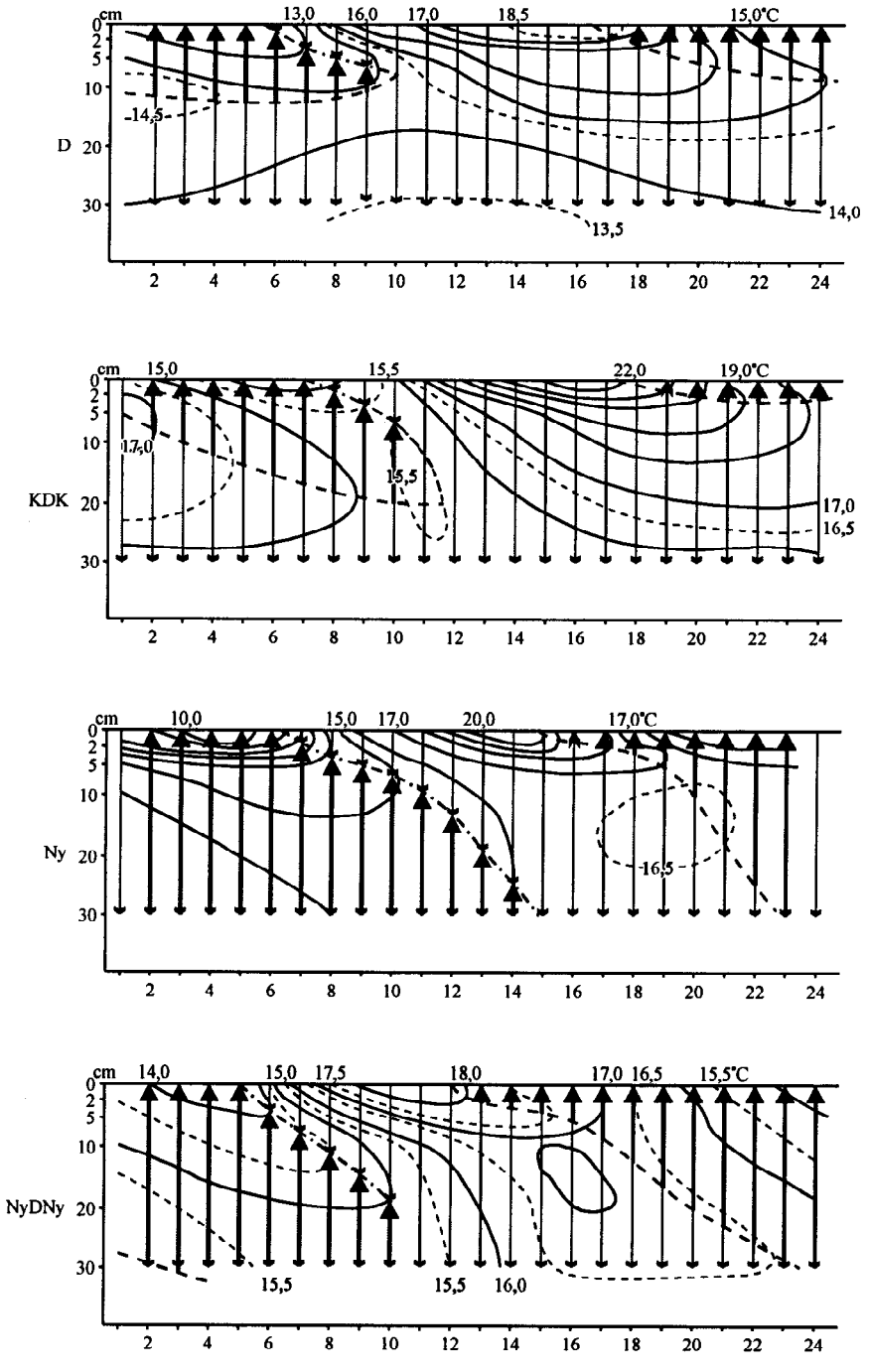


9. ábra Léghőmérsékleti izotermák egy dolinában éjszaka a hideg légtó képződésekor

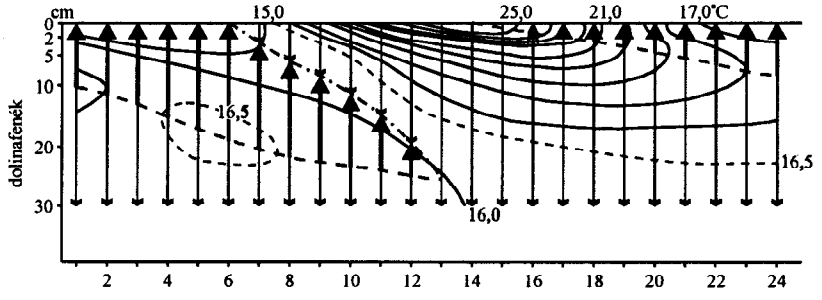
A ***talajhőmérséklet*** napi járása a léghőmérsékleti meneteket az expozíciós viszonyoknak és az árnyékhatásnak megfelelően, fáziskéséssel követi. A talajhőmérsékleti izopléták (10. 11. és 12. ábra) jól mutatják a talajban a tevékenyszint változását, s egyben a hőáramlási irányokat. Nappal a felszínközeli talajrétegben a délkeleti kitettségű lejtő, a mélyebb talajrétegben a déli kitettségű lejtő a legmelegebb. Legkorábban az északra majd a keletre néző lejtőn indul meg a felmelegedés. Ezt követően magasabb hőmérséklettel a délre néző, majd alacsonyabb maximummal a nyugatra néző lejtő melegszik fel. Leghidegebb a déli lejtő, a talaj mélyebb rétegei felé itt a legnagyobb a fáziskésés (13. ábra).



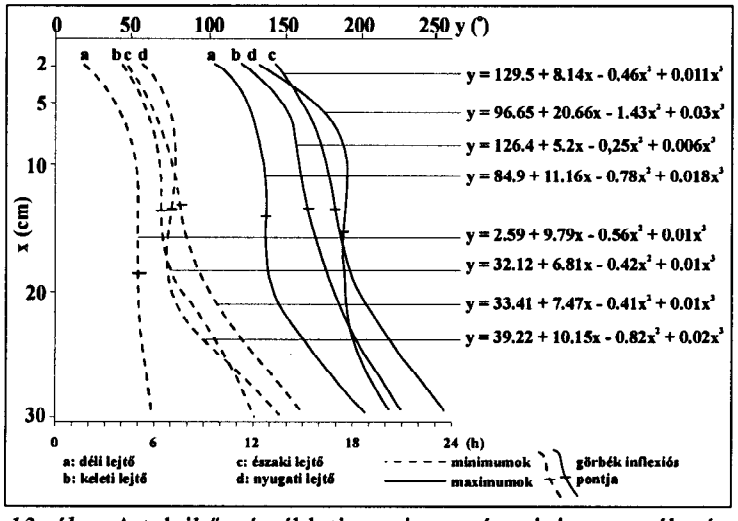
10 ábra Az É-i, ÉNy-i, K-i és ÉK-i lejtők talajhőmérséklet-izoplétái



11. ábra Az D-i, KDK-i, Ny-i és NyDNy-i lejtők talajhőmérséklet-izoplétái



12. ábra A dolinafenék talajhőmérséklet-izoplétái



13. ábra A talajhőmérsékleti maximum és minimum mélység felé történő elmozdulásának regressziós görbéi

A vizsgálatok azt is kimutatták, hogy ***a tengerszintfeletti magassággal a talajhőmérséklet napi amplitúdói jobban csökkennek, mint a léghőmérsékleti amplitúdók*** (14. ábra). Fokozottan igaz ez az erdővel borított talajokon. Ez arra hívja fel a figyelmet, hogy a levegő és a talajhőmérséklet vizsgálatánál figyelmet kell fordítani az állományok összetételére.

A tengerszintfeletti magasság növekedésével a dolinák mikroklíma jellemzői is karakterisztikusabbá válnak. Az ábrán jól látható hogy a talajhőmérsékleti amplitúdók nagysága kis távolságon belül milyen jelentősen eltér. A felszínközeli talajrétegben a déli és északi lejtő között ez a különbség elérheti az 5°C különbséget, ami a növényzet fejlődése szempontjából igen jelentős tényező. Ez a differenciálódás az izopléták alapján értelmezhető. Szembetűnő a hőátadási folyamatok különbsége az északi és déli lejtőkön.

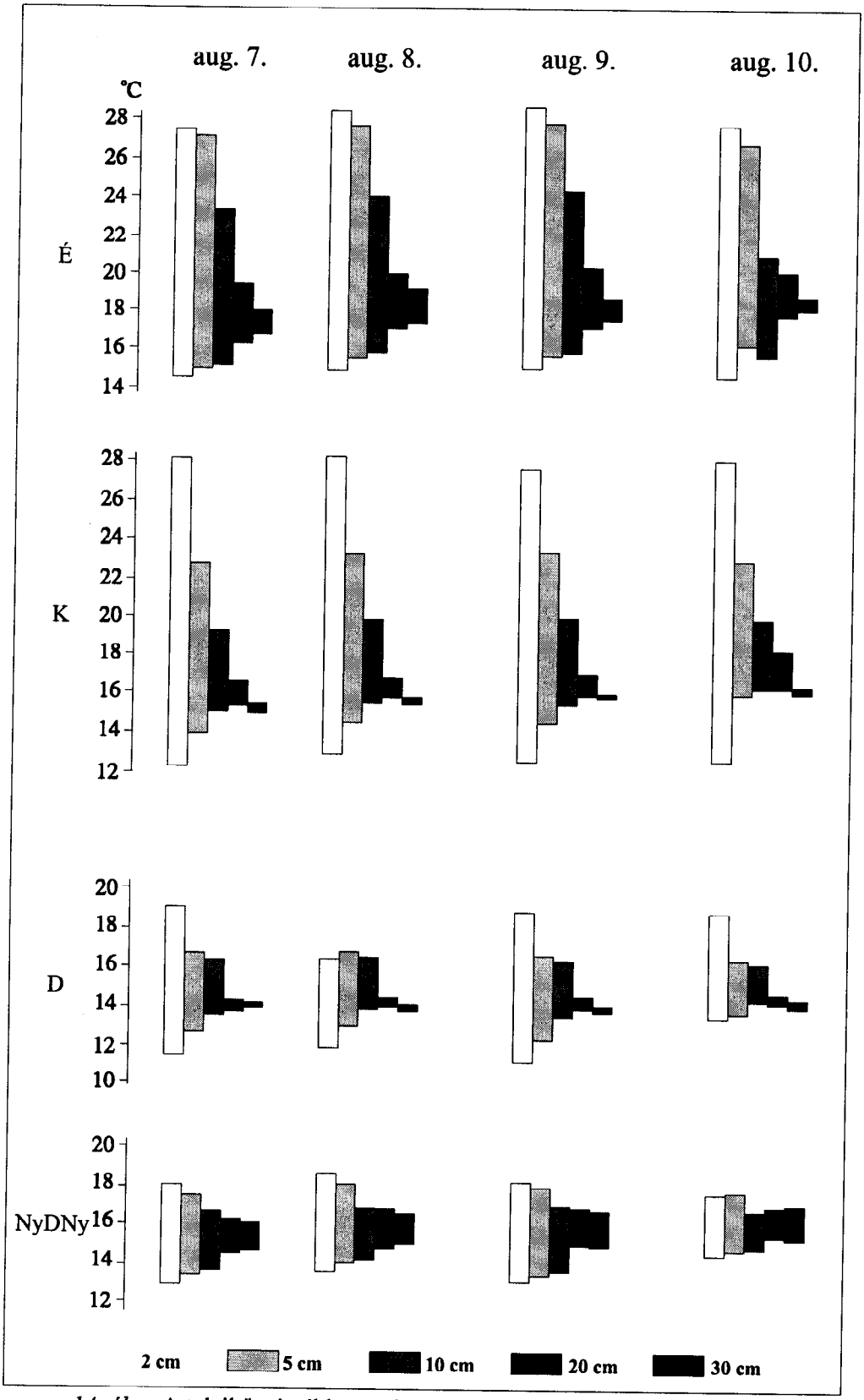
A különböző növényborítású karsztfelszíneken végzett vizsgálataink is sajátos hőmérsékleti viszonyokat tükröznek. A ***sziklagyepeken és az erdőkben*** a ***léghőmérsék-***

let maximum értékei közötti különbség a tengerszintfeletti magassággal nő, a minimumok eltérései viszont csökkennek. A ***nyílt réteken és az erdőkben nappal az alacsonyabb tengerszintfeletti magasságban a levegő hőmérséklete magasabb, éjszaka viszont alacsonyabb.*** Ez azt jelenti, hogy itt a hőmérsékleti szélsőértékek nagyobb amplitúdót eredményeznek, mint magasabban.

Alapvető különbség a füves területek és erdők mikroklímájában az, hogy ***a nyílt füves területeken a levegő hőmérséklete nappal magasabb, éjszaka alacsonyabb, mint az erdőben, de a rétek talaja mind nappal, mind éjszaka magasabb hőmérsékletű, mint az erdőké.*** Ez a sajátosság mindenképpen összefügg azzal, hogy az erdőkben az árnyékhatás egész nap érvényesül, a hővezetés lassú. Éjszaka viszont kettős hidegszint alakul ki, egy a lombkorona szint tetején, mint elsődleges tevékeny szinten, egy a talajon, mivel a hidegebb, nagyobb sűrűségű levegő leszivárog a talajra.

5. 2. A karszttalajok, mint a környezetváltozások indikátorai

A ***talajok*** igen fontos szerepet töltenek be a karsztos folyamatban. A különböző szerzők nem mindig fogalmazzák meg világosan, hogy a karsztosodás folyamatai alapvetően attól függenek, hogy a karsztosodó kőzetet milyen kőzetek, szedimentumok vagy talajok borítják. ***Ezen az alapon különböztetjük meg a fedett-, a rejtett nyílt-*** *(BÁRÁNY-JAKUCS, 1984)* és ***nyílt- vagy kopár karsztokat.*** A fedett karsztokat nem karsztosodó kőzet vagy üledék borítja, ezért ebben az estben a korrózió ott indulhat meg, ahol a szivárgó vizek a fedő kőzeten utat találnak maguknak az oldható kőzet irányába. Ezeken a felszíneken sekély mélységű utánsüllyedéses dolinák keletkeznek az anyaghiányos helyeken. A kopár karsztokon lassú a korrózió, mivel a víznek alacsony a szénsav tartalma. A talajjal borított karsztokon a talajbeli szervesanyagbontás és a gyökérlégzés nagymennyiségű fölös széndioxidot termel, ami jelentősen megnöveli a szivárgó vizek korrózióképességét, s ez a felszínfejlődési folyamatokat felerősíti. A továbbiakban részletesen jellemzett karszttalajoknak tehát igen nagy szerepe van a karsztosodási folyamatokban. A talajréteg tulajdonságainak megfelelően reagál a külső hatásokra, s változtatja meg azokat. Ebben az értelemben a ***karszttalaj a karszt-ökorendszer indikátor szférája.***



14. ábra A talajhőmérséklet napi maximumai és minimumai, valamint a napi amplitudók a dolinák különböző lejtőin

A ***karszt***okon kialakult ***talajok*** vizsgálata az utóbbi évtizedekben került előtérbe, mivel a karsztok érzékeny ökológiai rendszerében a talajok igen fontos szerepet játszanak. A talaj puffereli azokat a kedvezőtlen környezeti hatásokat, amelyek a karsztok három-dimenziós rendszerében igen gyorsan érvényre jutnak (*ZÁMBÓ L.*, 1986; *BÁRÁNY-KEVEI, I.*, 1998a; *BÁRÁNY-KEVEI,I.*, 1998b.). A ***talaj tulajdonságainak változása*** egyik ***fontos indikátora a környezet hatására végbement változásoknak***. A légkörből, ill. az emberi tevékenység nyomán a karsztokra jutó tájidegen anyagok módosító hatása a felszínhez közeli talajhorizont károsodását eredményezi. Ennek egyik legkézzelfoghatóbb megnyilvánulása a talajok kémhatásának, s ehhez kapcsolódóan az összes karbonát-tartalmának (szénsavas mész) megváltozása. A talaj kémhatása, szénsavas mész tartalma különböző növényborítású területeken azért fontos, mert a növényzet és a talaj kölcsönhatását is ezen az alapon értékelhetjük.

5. 2. 1. A karszttalajok fizikai és kémiai tulajdonságai

A ***fizikai és kémiai tulajdonságok meghatározóak a karsztökorendszer változása szempontjából***. A talaj belső dinamizmusa önállósul, mivel a talajba juttatott enzimek hosszú ideig megmaradnak, s a talajdinamikát jelentősen befolyásolják (*SZABÓ 1986*). Ez elsősorban a talaj kémiai tulajdonságaiban fejeződik ki, de mindenképpen hatással van a talaj szerkezeti elemeinek kialakulására is. A talaj szerkezete a talaj szöveti tulajdonságaival együtt annak levegő-, víz- és hő-gazdálkodási sajátosságait határozza meg. A fentiek már utalnak arra, hogy a kémiai és fizikai tulajdonságok a biológiai tevékenységre jelentős hatással vannak.

Hazánkban a karszttalajok általában élénk reliefű területeken fordulnak elő, ahol a felszíni és talajbeli vízmozgás, valamint anyagáthalmozás a lejtő irányában zajlik. A dolinák alján a lejtőkről leszivárgó víz és anyag akkumulálódik, s hatásuk megtöbbszöröződik.

Legnagyobb kiterjedésben a kis mélységű (néhány 10 cm), kőzettörmelékkel átkeveredett, A és C szintű, sötét vagy ***fekete rendzina*** talaj fordul elő a karsztokon. Típusos előfordulása a Bükk fennsíkon található. Emellett a ***barna agyagok*** erdőtalaj dinamikát jelző változatai, ***barnaföld, rozsdabarna erdőtalaj, agyagbemosódásos***

erdőtalaj, savanyú erdőtalaj és podzolos barna erdőtalaj is előfordul kisebb foltokon a karsztokon. Konszolidálatlan talajok a ***lejtőhordalék és a sziklás-köves váztalaj***.

Fizikai minőség szerint a karszttalajok általában nem jól konszolidált, éretlen talajok, s nem túl jól osztályozottak. Nagyobbrészt oldási maradványokból, kisebbrészt löszből, vagy löszszerű üledékből keletkeztek. Domináns frakció a vályog, agyagos vályog, agyag (0,006-0,02 mm) frakció a három vizsgált területen. Az aggteleki minták 25 % - a agyag (< 0,002 mm), 22%-a agyagos vályog (0,002-0,006 mm), 30% vályog (0,006-0,2 mm) és 18% homokos vályog (0,02-0,06 mm) volt. A mecseki mintákban kevesebb volt a finomabb frakció, viszont 35% volt a finomhomok (0,02 - 0,06 mm) frakció. A bükki talajoknál 17% agyag, 19% agyagos vályog, 28% vályog és 23% finom homokot találtunk. Középszemű és durva homok csupán néhány %-ban fordult elő a talajokban. Legnagyobb %-ban (8%) a mecseki mintákban fordult elő, ami azzal magyarázható, hogy itt a karsztos terület szomszédságában homokkő alapkőzet helyezkedik el. Az agyag az idősebb felszíneken fordult elő nagyobb részesedéssel, ahol az egy korábbi meleg-nedves szubtrópusi klíma mállásmaradványa (Aggtelek). Ezeknek a talajoknak nagy a víztartó képessége. A nagyvastagságú agyagos üledék fokozatosan vízzáróvá válhat. Ugyanakkor az agyag jelentős szerepet játszhat a nehézfémek megkötésében.

Összességében megállapítható, hogy a ***vizsgált karszttalajok nagy részének fizikai minősége vályogos fizikai minőségű, ami ökológiai szempontból a növényzet számára kedvező. Vízáteresztése jó, így a karsztosodási folyamatokat segíti.*** Megjegyzendő azonban, hogy a ***káros anyagok***, így pl. a ***nehézfémek megkötése szempontjából*** a kisebb arányban előforduló ***agyagfrakció kedvezőbb***. Ugyanez mondható el ***a puffer és filter funkcióról, ami a durvább szemcseméret esetén kisebb.***

Az alapvizsgálati adatok, amelyek a pH, hidrolitos aciditás, a lúgosság és kalciumkarbonát-tartalom értékeit foglalják magukba, a ***kémiai tulajdonságok*** jelzői. Emellett éppen a karsztos korrózió szempontjából fontos vízben oldható anionok és kationok ugyancsak a talajok kémiai tulajdonságait reprezentálják. Több száz mintát vizsgáltunk meg a Bükk-fennsíkon, Aggteleken és a Mecsekben. A mintavételt 10 cm-ként végeztük a kőzet felszínig. Általában 40-50 cm-ig jutottunk le, kivéve a dolinák alját, ahol több méter vastag volt a talajréteg vastagsága. Itt a szelvényt 70 cm-nél mélyebbre nem mélyítettük. Az összehasonlító vizsgálatoknál a felszíni (5-10 cm) és az

átlagos talajmélység (40-50 cm) szintjeinek adatait használtuk fel. Azért ezt a két szintet választottuk, mert a felszín közeli talajhorizontban játszódnak le azok a folyamatok, amelyek hatással lehetnek az oldó víz minőségére, de a vizsgálataimhoz fontos puffer és filter funkció szempontjából is ez a szint a meghatározó.

A ***talajok pH értékei savanyú, gyengén savanyú illetve semleges kémhatás***t jeleznek (1. 2. 3. táblázatok). A mecseki és aggteleki talajok valamivel savanyúbbak. Több száz talajminta között sok 5,0-ös pH érték is előfordult, ami jelzi ezeknek a talajoknak a savanyodását (Aggteleken például 1995 nyarán Callunát találtunk karsztfelszínen).

1. táblázat A talajreakció csoportosítása különböző ökológiai viszonyok között (Mecsek hegység, 1999)

Kémhatás	*Összes (%)*	*Tölgyerdő*	*Bükkerdő*	*Elegyes erdő*
Erősen savanyú(<4,5)	1 (4 %)	0	1 (33 %)	0
Savanyú (4,5-5,5)	**11 (46 %)**	**5 (50 %)**	0	**6 (55 %)**
Gyengén savanyú (5,5-6,8)	8 (34 %)	3 (30 %)	**2 (67 %)**	3 (27 %)
Semleges (6,8-7,2)	2 (8 %)	1 (10 %)	0	1 (9 %)
Gyengén lúgos (7,2-8,5)	2 (8 %)	1 (10 %)	0	1 (9%)
Összes	24 (100 %)	10 (100 %)	3 (100 %)	11 (100 %)

2. táblázat A talajreakció csoportosítása különböző ökológiai viszonyok között (Aggteleki-hegység, 1998)

Kémhatás	*Összes (%)*	*Tölgyerdő*	*Rét*	*Fenyőerdő*	*Szántó*
Erősen savanyú (<4,5)	2 (3,3 %)	2 (2,57 %)	0	0	0
Savanyú (4,5-5,5)	**26 (42,6 %)**	**20 (57,1 %)**	2 (11,1 %)	**4 (100 %)**	0
Gyengén savanyú (5,5-6,8)	16 (26,2 %)	6 (17,1%)	**10 (55,6 %)**	0	0
Semleges (6,8-7,2)	7 (11,5 %)	4 (11,4 %)	3 (16,7 %)	0	0
Gyengén lúgos (7,2-8,5)	10 (16,4 %)	3 (8,6 %)	3 (16,3 %9	0	**4 (100 %)**
Összes	61 (100 %)	35 (100 %)	18 (%)	4 (100%)	4 (100 %)

3. táblázat A talajreakció csoportosítása különböző ökológiai viszonyok között (Bükk-hegység, 1998)

Kémhatás	*Összes(%)*	*Bükk erdő*	*Elegyes erdő*	*Fenyő erdő*	*Csemetés*	*Rét*
Erősen savanyú (<4,5)	2 (3,2 (%)	0	2 (25 %)	0	0	0
Savanyú (4,5-5,5)	18 (28,6 %)	6 (31,6 %)	**3 (37,5 %)**	2 (16,7 %)	0	7 (35,0 %)
Gyengén savanyú (5,5-6,8)	**28 (44,4 %)**	**7 (36,8 %)**	2 (25,0 %)	**6 (50,0 %)**	**2 (50,0 %)**	**11 (55,0 %)**
Lúgos (6,8-7,2)	7 (11,1 %)	4 (21,1 %)	1 (12,5 %)	0	**2 (50,0 %)**	2 (10,0 %)
Gyengén lúgos (7,2-8,5)	8 (12,7 %)	2 (10,5 %)	0	4 (33,3 %)	0	0
Összes	63 (100 %)	19 (100 %)	8 (100 %)	12 (100 %)	4 (100 %)	2 (100 %)

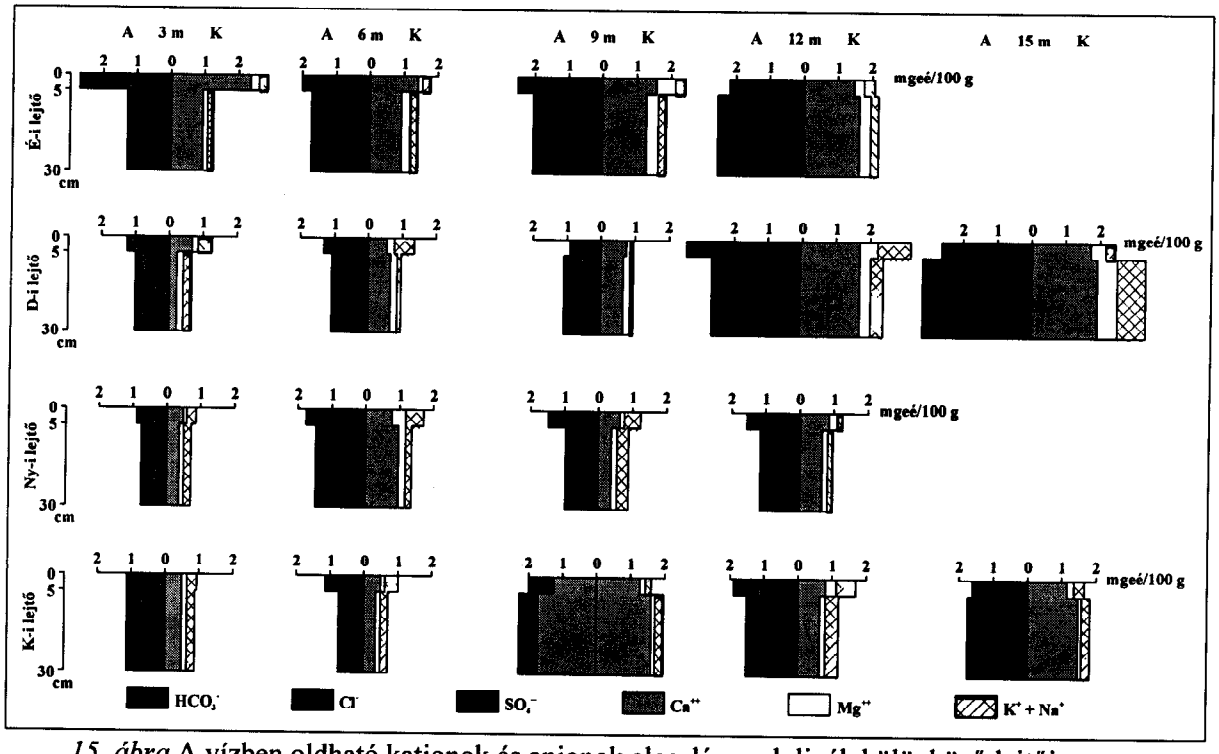
Ismert tény, hogy a mészkövön kialakult talajok kémhatása az alapkőzet tulajdonságával szinkronban általában nem savanyú. A gyakori alacsony pH értékek arra inspiráltak, hogy a savanyú talajokon felismert sajátosságot - miszerint a ***vizes és kálium-kloridos talajoldat különbségének a növekedése a talaj savanyodási tendenciájára utal*** (*STEFANOVITS 1992*) - a karszttalajok esetében is megvizsgáljam (a ΔpH a talajok savanyodási tendenciájáról ad információt: savanyú talajokban értéke általában 0,2-0,5, az ennél magasabb, 1 körüli értékek viszont a talajok savanyodási tendenciáját jelzik.). ***Mind a bükki, mind az aggteleki és mecseki dolinákban a két pH érték különbsége meghaladja azt a határt, amelynél már savanyodásra kell számítani.*** Érdekesség, hogy nemcsak térben mutatkoznak jelentős különbségek, de időben is növekedő a kétféle pH érték eltérése. 1982-ben a ΔpH érték 0,2-0,6 volt, Néhány év múlva már 0,3-1,3 között, de döntően 0,7 felett volt (*KEVEINÉ BÁRÁNY* 1987). Vizsgálataim kimutatták, hogy a talajok a karsztokon ***gyengén savanyú,*** esetenként ***savanyú*** és ***semleges kémhatásúak***. A ***savanyodási tendencia az 1980-as évek eleje óta megfigyelhető.***

A ***savanyodással lehet összefüggésben a baktériumszám csökkenése is az 1978-as mérések értékeihez képest***. A ***talajok szénsavas mész tartalma gyakorlatilag 0*** %, csak a semleges, gyengén lúgos talajokban jelentkezik nyomokban. A ***savanyú humuszanyagok mellett a savanyodás a savas ülepedéssel lehet kapcsolatban***. A szerves hulladékok lassú mineralizációja miatt ***a talajok szervesanyag-tartalma általában magas***.

5. 2. 2. A talajok víz-oldható ion tartalma

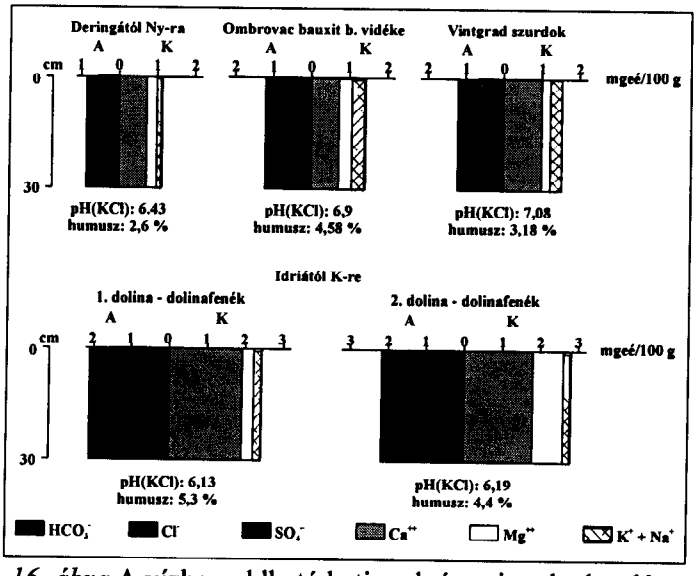
A talajok kémiai állapotának további jellemzésére alkalmas a ***vízben oldható kationok és anionok*** értékeinek analizálása. Az 1970-es években megkezdett kutatásaim elsődleges célja a dolinák korróziós fejlődésének értelmezése volt. Ebben az értelemben a vízben oldható kationok mennyiségének ismerete alapvető volt. Az első vizsgálatok a Bükk-fennsík dolináiban zajlottak, később az Aggteleki Karszt területén mértem. A kutatásokat ***15-20 év elteltével megismételtük. Ekkor a vizsgálatok már több geoökológiai paraméter összehasonlító elemzését célozták.*** A tájfejlődési tendenciák megismeréséhez ezek az adatok is lehetőséget biztosítottak.

Természetes, hogy a karszttalajokban ***magas a Ca^{2+} kation*** mennyisége, de megfelelő mennyiségben van jelen ***K^+ és Na^+, de Mg_2^+*** is. Az ***anionok közül az SO_4^{2-}*** és ***a Cl^-*** van jelen nagyobb mennyiségben. Általános tendencia, hogy a lejtő alján mind a kationok, mind az anionok kisebb mennyiségben találhatók meg, mint a lejtő magasabb szintjein. Ez is ***bizonyítja a talajokban a lejtő irányába felerősödő vízmozgás***t. A hazai karszttalajok erősebb kimosódását igazolja néhány horvátországi dolina talajának ionos ellátottságával történő összehasonlítás (15. és 16. ábra). A horvátországi dolinák kimosódása mérsékeltebb, mint a hazaiak.

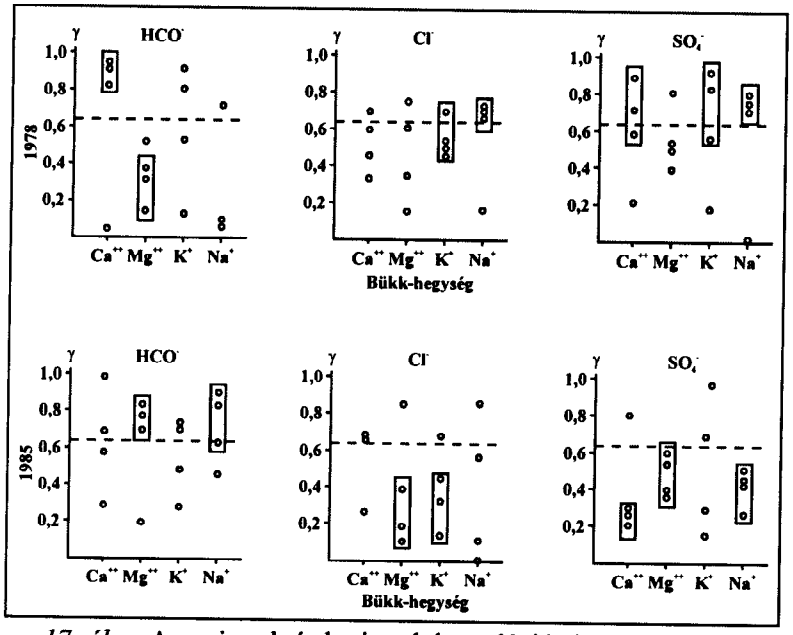


15. ábra A vízben oldható kationok és anionok eloszlása a dolinák különböző lejtőin a Bükk-hegységben

Bükki dolinákban a korábbi felvételekben megvizsgáltam az ***anionok és kationok korrelációs kapcsolatát*** (17. ábra). A szignifikancia határt figyelembe véve a diagrammból kiolvasható, hogy a klorid és szulfát anionok korrelációja ugyanazokon a helyeken az 1985-ös felvételnél már a kalciummal, magnéziummal káliummal és nátriummal is többségében a szignifikancia határ alá esnek. A korrelációs kapcsolat megváltozása is ***jelzi a talaj kémiai állapotának változását.***



16. ábra A vízben oldható kationok és anionok eloszlása a szlovéniai és horvátországi karsztokon



17. ábra Az anionok és kationok korrelációs kapcsolatának változása bükki és aggteleki talajokban

A '80-as években talajok kémhatása, kötöttsége, szénsavas mész és szervesanyag-tartalma, összes sótartalma, a vízben oldható anionok és kationok, valamint a mikroelemek mennyisége jelentette a folyamatosan bővülő vizsgálatok adatbázisát. A dolinák növényzeteinek felvételezésére is sor került. Ezek a vizsgálatok *(BÁRÁNY* 1980) kapcsolatot kerestek a talaj fizikai és kémiai tulajdonságai és a talajban lejátszódó mikrobiológiai folyamatok intenzitása között. 1998-ban a vízben oldható ionok helyett az 1 mol/dm^3-es pH=7-es ammónium-acetáttal leszorítható Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+ és Na^+ ionok

segítségével határoztuk meg a talajok S-értékét. Megállapítottuk, hogy a ***talajkolloidok felületén adszorbeált Ca $^{2+}$, Mg $^{2+}$, K $^{+}$ és Na $^{+}$ ionok mennyisége csökken a talaj-mélységgel.*** A kalcium esetében 4-5-szörös az eltérés az égtájak szerint. A talajok S-értékének talajszelvénybeli változása a felvehető kalcium-tartalommal mutat párhuzamosságot. A Ca^{2+} S% minden talajmintában nő a mélységgel, a magnézium és a kálium részaránya viszont csökken (*ZSENI A. – KEVEINÉ BÁRÁNY I.* 2001). Az ***aggteleki mintákban a Ca^{2+}-ion mennyisége 50%-a a bükki talajokban mért értékeknek***. Az ***aggteleki dolinában mindenütt magas a nátrium-tartalom.***

A részletes elemzés alapján megállapítható, hogy ***a vízben oldható kationok és anionok nagy része a szivárgó vízzel a talaj mélyebb szintjeire kerül. Ez problémát okozhat a növényzet tápanyagellátásában (általában tápanyagszegények a karszttalajok a kőzet adottságánál fogva is). Másrészt ezek az ionok a vízzel a eljuthatnak a barlangokig, ahol főként az anionok elősegíthetik a cseppkő visszaoldódást.*** Ez a jelenség már *JAKUCS* (1999) megfigyelései alapján is igazolt. Vizsgálatommal a barlangba jutás előtti folyamatok dinamikáját kívántam feltárni.

5. 2. 3. Nehézfém-vizsgálatok a karsztok talajaiban

A talajok állapot-változásaiban napjainkban fontos szerepet játszik a ***nehézfém terhelés***. A nehézfém szennyezés a karsztokon különösen fontos probléma, mivel a ***fémek*** a talajon keresztül szivárgó vízbe, onnan a ***karsztvízbe jutva rontják*** annak ***minőségét***, s ezzel veszélyeztetik az adott terület lakosságának ivóvíz készletét.

Sok nehézfém származik a száraz és nedves ülepedésekből. A ***savanyú talaj általában segíti a nehézfémek oldatba, majd a karsztvízbe vagy a növényzetbe jutását.*** A talaj bizonyos határon belül puffereli a pH változásokat, így elősegíti a fémek talajbeli akkumulációját. A másik lehetőség a nehézfémek növénybe jutása, illetve a legeltetés során az állati szervezetekbe való bekerülése, ami a táplálékláncba jutva komoly egészségügyi problémát jelenthet.

KABATA-PENDIAS ÉS PENDIAS szerint (1984) a mészkő és dolomit nehézfémtartalma eredendően az alábbiak szerint alakul (ppm):

Cu (ppm)	*Co (ppm)*	*Cd (ppm)*	*Ni (ppm)*	*Pb (ppm)*
2-10	*0.1-30*	*0.035*	*7-20*	*3-10*

A karsztos kőzeteken az összes nehézfém kimutatása (királyvizes feltárással) lényegesen jobb megközelítés, mint más kőzeteken, ahol a kőzetek nehézfémtartalma eredendően sokkal magasabb.

A ***nehézfémek mobilitása*** függ a ***talaj szemcsenagyságától, pH értékétől és szerves-anyag tartalmától.*** *BRÜMMER* at al. (1991) meghatározta a nehézfémek mobilitási sorrendjét a pH függvényében, ami az alábbiak szerint alakul:

Cd <6.0-6.5; Mn <5.5; Zn <5.5; Ni <5.5; Co <5.5; Al <4.5; Cu <4.5; Pb <4.0; Fe^{3+}<3.5.

Korábbi vizsgálataim már jelezték, hogy a karsztos talajok nehézfém tartalma magasabb, mint az a kőzet minőség alapján feltételezhető lenne (*BÁRÁNY-KEVEI,* 1998).

Magyarországon a 10/2000 (VI.2) KÖM – EÜM – FVM – KHUM együttes rendelet alapján a nehézfémek határértékei az alábbiak:

Fém	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Háttér koncentráció (A)	30	15	25	30	100	0,5	25
Szennyezettségi határérték (B)	75	30	40	75	200	1	100
Intézkedési határérték fokozottan érzékeny területen (C_1)	150	100	150	200	500	2	150

Először (1996) a karsztok jellemző felszíni formáiban, a ***dolinák***ban vizsgáltuk a talajok ***nehézfémtartalmát,*** s megállapítottuk, hogy általában magasabb a nehézfém tartalom, mint a kőzet természetéből adódóan az következik (4-6. táblázatok), bár dolinák talajainak nehézfém tartalma a 2000 évben kiadott rendelet határértékei alatt maradt.

A dolinákban a kitettségből adódó eltérések elemzésére is módunk volt. A ***legutóbbi méréseink*** mind Aggteleken, mind a Bükk-hegységben ***határértéken felüli Ni-tartalmakat mutattak. Határérték alatti Pb - tartalmakat mértünk az előző évekhez viszonyítva.*** A ***Co és Cr tartalom magasabb***, a ***Cd tartalom alacsonyabb*** aggteleken, mint a bükki mintákban. A ***bükki talajokban 7-9-szer magasabb a Cd tartalom a megengedettnél.*** A ***Ni- szennyezettség*** csak helyenként magas (a határérték 1,5-szerese). A nehézfémek közül a ***Zn, Cd, Pb és Cr többnyire a talajok felszíni rétegében található*** nagyobb mennyiségben, a ***Ni és Co a mélyebb rétegekben*** vesz fel kicsit magasabb értékeket, míg a Mn közel egyenletesen oszlik el a szelvényben.

4 táblázat Fémtartalom egy aggteleki dolinában

	Al/ppm/	*Zn/ppm/*	*Mn/ppm/*	*Fe/ppm/*
Északi lejtő	23575,0	148,75	2125,0	27150,0
Keleti lejtő	34055,0	96,25	1225,0	32115,0
Nyugati lejtő	29695,0	100,0	1587,5	3028,75
Vöröstó uvalája	35462,5	76,25	1400,0	75873,75
Délnyugati lejtő	26912,5	126,25	1487,5	29670,0
	Co/ppm/	*Ni/ppm/*	*Pb/ppm/*	*Cu/ppm/*
Északi lejtő	17,5	37,75	54,75	57,4
Keleti lejtő	24,35	36,45	38,25	18,5
Nyugati lejtő	23,46	33,61	27,75	18,75
Vöröstó uvalája	35,0	33,25	162,5	28,25
Délnyugati lejtő	20,25	32,22	78,75	32,5

5. táblázat Fémtartalom egy bükki dolinában

	Al/ppm/	*Zn/ppm/*	*Mn/ppm/*	*Fe/ppm/*
Keleti lejtő	30767,5	105,0	1250,0	28882,5
Dolina alja (20cm)	21115,0	118,75	1450,0	19413,75
Dolina alja (80cm)	25572,5	123,75	2000,0	26917,5
Fenyőerdő	23687,5	75,0	837,5	21243,75
Északkeleti lejtő	28082,5	211,25	2087,5	31175,25
	Co/ppm/	*Ni/ppm/*	*Pb/ppm/*	*Cu/ppm/*
Keleti lejtő	19,4874	31,425	55,5	28,25
Dolina alja (20cm)	12,1125	20,912	46,2	19,25
Dolina alja (80 cm)	23,325	24,275	52,5	22,25
Fenyőerdő	21,562	21,443	52,8	12,0
Északkeleti lejtő	16,575	35,325	58,2	50,0

6. táblázat. Fémtartalom egy mecseki dolinában

	Al/ppm/	*Zn/ppm/*	*Mn/ppm/*	*Fe/ppm/*
Déli lejtő	18865,0	67,5	737,5	22132,5
Északi lejtő	18470,0	65,0	787,5	22547,5
Nyugati lejtő	24045,0	76,2	400,0	32727,5
Keleti lejtő	18990,0	70,0	662,5	22216,25
	Co/ppm/	*Ni/ppm/*	*Pb/ppm/*	*Cu/ppm/*
Déli lejtő	15,4	22,72	18,25	14,25
Északi lejtő	15,4	24,42	37,5	15,0
Nyugat lejtő	14,45	23,2	7,75	10,25
Keleti lejtő	15,42	24,3	26,25	11,25

A dolina elemzések mellett ***különböző ökológiai viszonyok közötti területek*** mintái ***alapján összehasonlító értékelést végeztünk a Nyugat-Mecsek és Aggtelek nehézfémtartalma között*** (7-8. táblázatok). Mindkét esetben megvizsgáltuk a pH értékek, valamint a szerves-anyag tartalom kapcsolatát a nehézfém tartalommal.

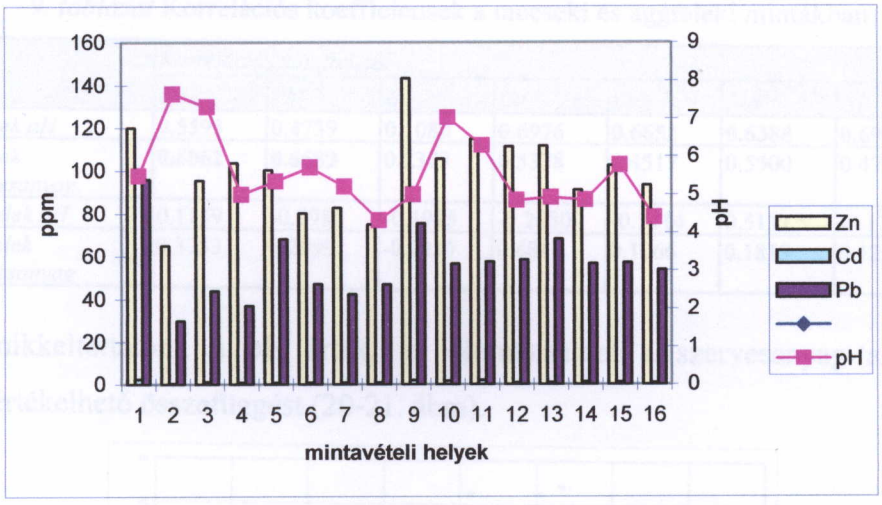
7. táblázat Nehézfém tartalom, pH szerves-anyag tartalom az Aggteleki Karszt mintáiban

Aggtelek minta	*Ökológiai jelleg*	*Nehézfém (ppm)*							*pH(H_2O)*	*Szervesa..%*
		Cd	*Pb*	*Ni*	*Co*	*Cu*	*Cr*	*Mn*		
1	Tölgyes	**2.44**	96.0	**60.9**	22.7	**226.3**	54.0	678.8	5.49	15.1
2	Tarló	0.48	29.9	23.9	14.5	**221.7**	40.6	636.0	7.66	16.3
3	Rét	**1.20**	43.9	**65.1**	17.6	**226.1**	72.2	636.7	7.31	12.6
4	Tölgyes	0.85	36.9	**56.0**	14.1	**204.3**	69.5	437.0	5.00	12.7
5	Rét	0.68	68.0	**48.1**	24.3	**222.8**	56.3	611.0	5.35	26.6
6	Rét	0.90	47.0	**46.4**	19.7	**222.2**	55.0	607.7	5.71	28.0
7	Fenyő	0.90	42.4	**53.8**	14.3	**219.3**	67.9	502.2	5.21	15.8
8	Tölgyes	0.87	46.9	**43.9**	18.2	**232.9**	53.3	539.0	4.33	19.3
9	Tölgyes	**1.90**	75.4	**55.0**	15.7	**262.6**	62.0	649.8	5.00	72.6
10	Rét	1.60	56.3	**54.5**	14.9	**240.4**	62.5	597.2	7.03	77.8
11	Tölgyes	**2.00**	57.4	**57.7**	13.9	**271.0**	67.4	604.4	6.29	43.1
12	Tölgyes	0.74	58.3	**55.7**	13.9	**275.3**	65.0	558.9	4.85	29.7
13	Tölgyes	0.95	68.1	**78.6**	27.1	**270.2**	**87.9**	488.9	4.93	33.0
14	Tölgyes	**1.13**	56.5	**44.3**	20.8	**251.7**	52.3	584.3	4.86	18.0
15	Rét	0.98	56.9	**48.7**	18.1	**279.6**	53.6	561.4	5.77	32.3
16	Tölgyes	0.76	53.6	**45.6**	13.7	**277.2**	55.7	516.0	4.40	44.0
Háttér koncentráció		0,5	25	25	15	30	30			
Megengedett határ		1	100	40	30	75	75			

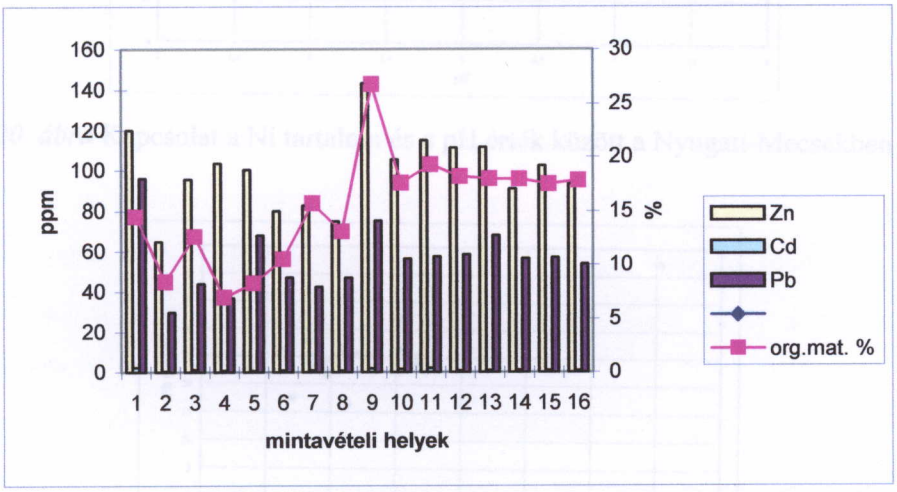
8. táblázat A nehézfém tartalom, pH és szervesanyag tartalom a Mecsek mintáiban

Mecsek minta	*Ökológiai jelleg*	*Nehéz fém (ppm)*							*pH(H_2O)*	*Szervesa..%*
		Cd	*Pb*	*Ni*	*Co*	*Cu*	*Cr*	*Mn*		
1	Tölgyes	0.30	26.0	34.0	17.0	12.0	19.5	761.5	5.11	6.09
2	Tölgyes	0.30	25.0	35.0	16.0	13.0	21.0	778.5	5.98	16.65
3	Tölgyes	0.60	26.0	**44.5**	12.0	17.0	27.0	599.0	5.69	10.82
4	Tölgyes	0.55	22.5	33.0	14.0	10.5	18.0	572.5	4.74	9.63
5	Tölgyes	0.20	22.5	35.5	9.5	13.0	20.5	448.0	5.21	9.27
6	Bükkös	0.50	24.5	**41.5**	13.0	13.5	20.5	1054.0	5.97	9.7
7	Tölgyes	0.35	22.5	**43.0**	11.5	17.0	23.5	1100.0	6.78	15.42
8	Bükkös	**1.45**	42.0	**49.0**	16.5	21.0	25.5	1525.0	7.46	35.38
9	Tölgyes	0.20	30.5	36.5	14.0	17.5	22.0	1152.0	4.54	6.95
11	Tölgyes	0.30	16.5	29.0	9.0	12.0	18.5	323.5	4.66	11.32
12	Tölgyes	0.95	35.0	**52.5**	14.0	17.5	32.0	948.5	6.07	19.61
13	Tölgyes	0.35	23.0	36.0	12.0	14.0	23.0	704.0	6.8	17.53
14	Bükkös	0.15	23.5	35.5	12.5	13.0	20.0	696.0	4.89	16.6
15	Bükkös	0.55	26.5	38.5	12.0	12.0	20.0	1395.0	6.07	15.24
16	Bükkös	0.10	17.5	29.0	10.0	10.0	17.5	579.0	4.15	7.08
17	Tölgyes	**1.05**	28.0	33.0	17.0	10.0	19.0	810.5	5.08	7.9
18	Tölgyes	**1.05**	32.0	**54.0**	17.0	20.0	29.0	1242.5	6.67	15.2
19	Tölgyes	0.70	23.0	**52.5**	15.0	19.5	26.0	713.5	6.53	8.71
20	Bükkös	0.10	21.5	32.5	13.5	9.5	18.5	649.5	4.9	9.73
21	Tölgyes	0.30	23.0	38.0	11.0	16.0	24.0	1122.5	6.98	9.5
22	Bükkös	0.35	25.5	38.5	19.0	13.5	20.0	704.5	4.54	12.94
23	Bükkös	0.25	25.5	34.5	14.5	10.5	18.0	950.5	5.34	12.09
24	Bükkös	0.15	22.5	34.0	11.5	9.5	19.0	474.0	4.75	3.81
Háttér koncentráció		0.5	25	25	15	30	30			
Megengedett határ		1	100	40	30	75	75			

A ***Nyugati-Mecsek*** karszttalajainak nehézfém terhelési vizsgálata során megállapítottuk, hogy a ***pH értékek 4 és 7 között*** váltakoznak, de az adatok többsége savanyú talajt jelez. Ahol a pH érték alacsonyabb, általában ott a nehézfém tartalom is alacsonyabb (*BÁRÁNY-KEVEI,I. - GOLDIE, H. - ZSENI, A.- HOYK,E.* 2000). A ***nehézfém tartalom az Aggteleki Karszton magasabb, mint a Mecsekben.*** A nehézfémek közül az ólom tartalomban találtuk a legnagyobb eltérést. Az aggteleki minták diagrammjaiból megállapítható (18-19. ábra), hogy itt a nehézfémtartalom a pH értékekkel mutat szorosabb kapcsolatot.



18. ábra A nehézfém tartalom és a pH kapcsolata az Aggteleki Karszt talajaiban
1 = tölgyerdő; 2 = szántó; 3 = karrmező; 4 = tölgyerdő; 5 = rét; 6 = rét a dolina peremén
7 = fenyőerdő; 8 =gyertyános bükkerdő a dolinában; 9 = gyertyános tölgyes erdő; 10 = irtásrét;
11 - 13 = tölgyerdő; 14 = tölgyerdő a dolinafenéken; 15 =rét; 16 = tölgyerdő.



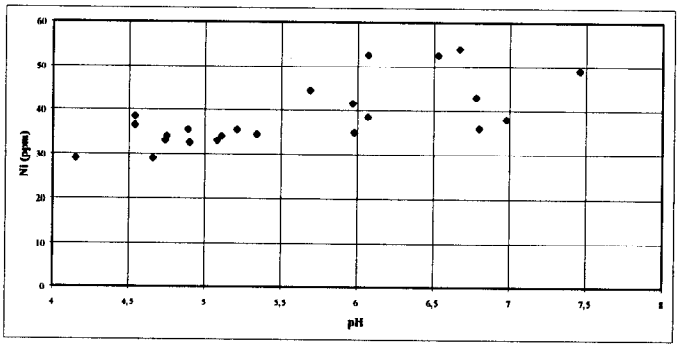
19. ábra A nehézfém- és a szervesanyag-tartalom kapcsolata az Aggteleki Karszt talajaiban
1 = tölgyerdő; 2 = szántó; 3 = karrmező; 4 = tölgyerdő; 5 = rét; 6 = rét a dolina peremén
7 = fenyőerdő; 8 =gyertyános bükkerdő a dolinában; 9 = gyertyános tölgyes erdő; 10 = irtásrét;
11 - 13 = tölgyerdő; 14 = tölgyerdő a dolinafenéken; 15 =rét; 16 = tölgyerdő

A vizsgált magyar karsztok közül az ***Aggteleki és Bükki karsztok nehézfém terhelése nagyobb, mint a Nyugat-mecseki karszté***. Ez valószínűsíthetően azzal magyarázható, hogy ez utóbbi területek részben a szlovák iparvidékről kapják a szennyezést, másrészt a két hegység között elhelyezkedő vegyipari tengely, valamint az itt található ércdúsító nem kismértékben járul hozzá a fokozottabb terheléshez. A jövő feladata ezeknek a területeknek a további megóvása a túlzott szennyezéstől. Kiszámítottuk a pH és a szerves-anyag korrelációját a különböző nehézfém tartalmakkal (9. táblázat). Értékelhető kapcsolatot a mecseki mintáknál találtunk.

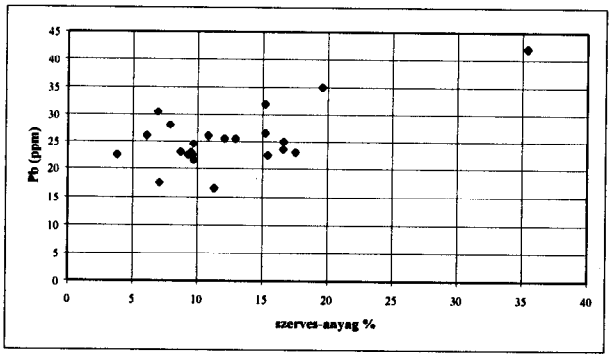
9. táblázat Korrelációs koefficiensek a mecseki és aggteleki mintákban

	Korrelációs koefficiens						
	Cd	***Pb***	***Co***	***Cu***	***Cr***	***Mn***	***Ni***
Mecsek pH	0.5593	0.4739	0.1080	**0.6976**	**0.6652**	**0.6388**	**0.6919**
Mecsek szervesanyag.	**0.6062**	**0.6689**	0.2373	0.5338	0.4517	0.5500	0.4768
Aggtelek pH	0.1159	-0.2980	-0.1915	-0.2680	-0.1414	0.5131	-0.1756
Aggtelek szervesanyag	0.3753	0.2999	-0.2237	0.4843	0.1066	0.1819	0.1228

A nikkeltartalom, a pH érték, az ólomtartalom a szervesanyag-tartalommal mutatott értékelhető összefüggést (20-21. ábra).



20. ábra Kapcsolat a Ni tartalom és a pH érték között a Nyugati-Mecsekben



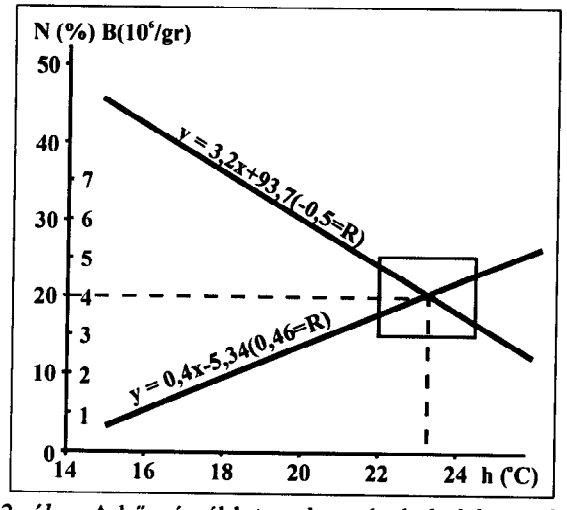
21. ábra Az ólom tartalom és a szervesanyag kapcsolata a Nyugati-Mecsekben

Igaz ez a pH értékre vonatkozóan is, az ***alacsonyabb pH-nál általában alacsonyabb a nehézfém tartalom***. A ***Cu, Cr, Mn és Ni*** esetén a ***kapcsolat szorosabb a pH-val***, mint a szerves- anyaggal. A ***Cd és Pb esetén szorosabb a kapcsolat a szerves-anyaggal.***

5. 2. 4. Mikrobiális tevékenység a talajokban

A talajok pH értéke és az ezzel együtt változó ionos ellátottsága befolyásolja a ***talajéletet,*** ezen belül is a ***mikrobiális tevékenység*** aktivitását. A talaj mikrobák (baktériumok, sugárgombák, mikrobiális gombák) 1 gramm talajban milliós nagyságrendben vannak jelen. A talajtanban talajlégzésként ismert jelenség során a talajlevegő $C0_2$ tartalma megnövekszik az 0_2 rovására. ***A talajban termelődő $C0_2$ több mint kétharmad része ennek a mikroba populációnak a szervesanyag bontása révén szabadul fel, s csupán egyharmad része származik a gyökérlégzésből.*** A kísérletek azt is kimutatták, hogy a gyökérlégzéshez is szükséges a rizoszféra baktériumok jelenléte, ugyanis a gyökérlégzés is lecsökken a téli hideg időszakban amikor ez a baktériumpopuláció inaktív. Az is bizonyított, hogy az intenzívebb $C0_2$ termelés a talaj felső 20-30 cm-es mélységében megy végbe, elsősorban az ***aerob baktériumok*** tevékenysége nyomán. A talajhőmérséklet és a nedvesség függvényében természetesen ez a bakteriális aktivitás más és más. A '70-es években elkezdődött kutatások során vizsgálatuk a talajnedvessége, a mikrobaszám és a talajhőmérséklet kapcsolatát. A füves növényzettel borított dolinákban a talajnedvesség és a baktériumszám kapcsolata jól kimutatható *(BÁRÁNY - MEZŐSI* 1978) (. ábra). Amennyiben a hőmérséklet alacsony (<20°C), lecsökken a bakteriális aktivitás. Hasonlóképpen az alacsony talajnedvesség (<20-30 tf %) is gátolja a mikrobiális aktivitást. Mindezekből kiderül, hogy a talaj dinamizmusa igen bonyolult rendszerben zajlik, bármely tényező módosulására igen érzékenyen reagál a talajélet, amely komoly visszahatással lehet a karsztrendszer megváltozására.

A talajok mikrobiális vizsgálatát nyári és nyárvégi időszakban végeztem, mivel a mikrobiális tevékenység nyáron kulminál. Bükki és aggteleki minták elemzése alapján megállapítható, hogy ***a karszttalajok nem kedveznek a mikrobiális tevékenységnek***. Az erdőtalajokra jellemző 15-20 milliós nagyságrend itt erdőborítás alatt és lágyszárú

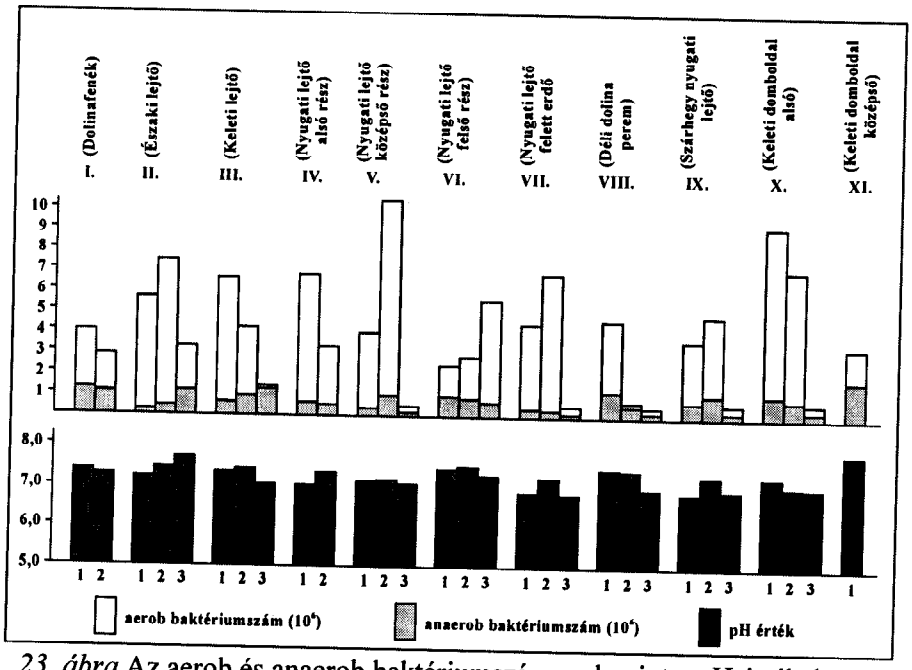


22. ábra A hőmérséklet-nedvesség-baktériumszám összefüggése

vegetáció alatt is lényegesen kisebb, mint más területeken. A ***talajhőmérséklet, talajnedvesség és a baktériumszám összefüggése***it vizsgálva korábban már megállapítottuk, hogy a dolinákban a ***felszín közeli talajrétegben*** a ***baktériumszám a talajhőmérséklettel, a mélyebb talajrétegben*** (30 cm alatt) a ***nedvességgel mutat szignifikáns kapcsolatot***. Hazai klimatikus viszonyaink között a mikrobiális tevékenység számára a karsztos területeken a 22,2-24,6°C hőmérsékleti és a 14-25 % szárazsúly-százalékban számított talajnedvesség adja azt az optimum tartományt, ahol a mikrobiális tevékenység kedvezően alakul (22. ábra).

1995 nyarán az Aggteleki Karszton végzett vizsgálataim eredményei (23. ábra.) alátámasztják korábbi megállapításainkat, miszerint a ***felszín közeli talajrétegben magasabbak a mikrobaszámok, s az erdős társulások alatt intenzívebb a mikrobiális tevékenység.*** A karsztokon egy gramm talajra vonatkoztatva az ***anaerob szervezetek*** két nagyságrenddel kisebb számban vannak jelen a talajban, mint az aerob módon szaporodni képes mikroszervezetek. Az aerob szervezetek túlnyomó hányada oxidatív körülmények között, mikroaerofil típusként folytatja életműködését. Ez azt jelenti, hogy az ***aerob körülmények között tesztelt mikrobatömeg a talajban szemianaerob viszonyok között, erjedés útján nyer energiát és magyarázhatjuk vele a nagymennyiségű CO_2 termelődését.*** Az erjedési folyamatokat a biokémia általában glükóz alapú szénforrásból vezeti le, amelyet a mikroorganizmusok exoenzimjeik segítségével a talajba bekerült, elsősorban növényi eredetű makromolekulák lebontása révén nyernek. Emellett természetesen vannak aerob erjedések is. Ezek a folyamatok, mint láttuk a talaj nedvességétől és hőmérsékletétől függően mennek végbe. A ***mikrobák által termelt széndioxid mennyisége tehát valódi értelemben vett ökológiai nagyság.*** Az is megállapítható, hogy ***számottevő mikrobiális tevékenység a talaj felsőrétegében van.*** Az ***alsó szintben a mikrobaszám jelentősen lecsökken.*** Ez a tény is ***megerősíti azt, hogy a talajdinamikát meghatározó folyamatok itt játszódnak le, a***

nagyobb talajmélységben csak az anyag és energia-áramlás zajlik, amit a felszín közeli fizikai, kémiai és biológiai folyamatok indukálnak. Ez azt is jelenti, ***hogy a rendszerbe történő beavatkozás ebben a felső szintben okozhat jelentős változásokat.*** A biológiai folyamatok visszahatnak a talaj kémiai tulajdonságaira a humuszanyagok bontása révén, ezért a természetes baktériumpopuláció fenntartása kívánatos.



23. ábra Az aerob és anaerob baktériumszám, valamint a pH értékek egy aggteleki dolinában és környékén

5.3. A karsztok növényzetének karsztökológiai jelentősége

A karsztökológiai rendszer igen fontos része a felszínt borító ***növényzet.*** A ***talajbeli folyamatokat jelentős mértékben befolyásolja a növényzet*** típusa. Emellett ***sajátos mikroklímát hoz létre,*** ami megváltoztatja a klímajellemzőket. A növényi állományklíma visszahat a talajbeli folyamatokra, s általában a karsztökológiai rendszerre.

Hazai karsztjaink jellegzetes növényzetét a ***karsztbokorerdők*** (*Orno-Cotinion*) képezik. Ezek cserszömörcés változata a Dunántúli Középhegységben, sajmeggyes változata az Északi-középhegységben fordul elő. A ***elegyes karszterdők*** a déli lejtőkön, mint karszt-bokorerdők, az északi hidegebb lejtőkön bükkösök formájában jelennek meg. A ***közép-európai bükkösök*** (*Fagion medio-europaeum*) magashegyi változata a Bükk-hegység 700 m-nél magasabb területein borítja a mészkőfelszínt. A középhegységi bükkös változata lenyúlik a tölgyes zónába. Aggteleken a ***gyertyános-***

kocsánytalan tölgyesek (*Querco petreae-Carpinetum*), a ***cseres tölgyesek*** (*Quercetum petreae-cerris*), a ***melegkedvelő tölgyesek*** (*Corno-Quercetum pubescenti-petreae)* és ***a sajmeggyes-molyhos tölgyes bokorerdők*** (*Ceraso-Quercetum pubescentis*) fordulnak elő. A gyertyános-kocsánytalan tölgyes 500-600 m-en a tetőfelszíneken, a cseres tölgyesek 500 m alatt, a melegkedvelő tölgyesek meredek lejtőkön, sekély talajrétegen, száraz termőhelyen, a sajmeggyes-molyhos tölgyesek napsütéses lejtőkön a gerincvonulatok közelében alkotnak társulást.

5.3.1. A növényzet degradációja az emberi tevékenység hatására

Az erdők irtása közép-hegységeinkben az 1800-as években és az 1900-as évek elején jelentős volt, s az új, telepített erdőkben az eredeti összetételhez képest ***megcsökkent a faji diverzitás***. A diverzitás csökkenése olvasható ki az Aggteleki Karszt vizsgált erdő állományainak összetételéből (10. táblázat).

10. táblázat A faji diverzitás a különböző állományokban Aggteleken

Lombos állomány	Fásszárúak	Lágyszárúak	Fenyőerdők	Fásszárúak	Lágyszárúak
Gyertyános-bükkös	16	84	*Fekete fenyves*	1	19
Gyertyános-kocsánytalan tölgy	18	133	*Lucf enyves*	1-2	16
Cseres-kocsánytalan tölgy	26	203	*Erdei fenyves*	1-3	21

Ha ezekhez a tényekhez még társítjuk a dolinák sajátos mikroklímájából adódó szélsőséges hőmérsékleti viszonyokat, nem lehet váratlan ezeknek a korábban gazdagabb társulásoknak az elszegényedése.

Az ***Aggteleki Nemzeti Park magterület***én az ***erdők és a cserjések összetételét saját növény felvételezés*** során határoztuk meg 1995-ben (11. táblázat). A növény-felvételezést 25x25 m-es kvadrátokban, a ***fafajok és lágyszárúak*** meghatározásával végeztük, s egyidejűleg a borítási %-ot is meghatároztuk. A ***cserjések***ben készült minták az ***A - E*** betűjelek, az ***erdők*** felvételei az ***F - L*** betűjelek alatt találhatók a táblázatban. (A borítási értékek kódjai a következők voltak: +:0,1-1%, 1: 2-5%, 2: 5-20%, 3: 21-40%, 4: 41-60%, 5: 61-100%. A * jelöli, ha az adott állományban a faj a lombkorona-szint tagja).

Az **ABC** minták főleg kökényből *(Prunus spinosa)* álló cserjések, néhány fa már megjelenik, s ez lehetővé teszi az erdő regenerálódását. A **D** minta az egybibés galagonya *(Crataegus monogyna)* és húsos som *(Cornus mas)* alkotta társulás, a zárt lombkorona megakadályozza további fajok megtelepedését. Az **E** mintában borókás cserjések jellemzőek, itt a legeltetés akadályozza a visszaerdősülést. Az **E** és **H** minták zavart, erdészetileg kezelt korábbi gyertyános tölgyes *(Querco-Carpinetum)* társulás, melynek zavartságát jelzi a boróka. A **G** minta *Corno-Quercetum* bolygatott állománya, az **I** minta *Ceraso-quercetum* társulás. A **J** és **K** minták tipikus, kevésbé átalakított *Querco-Quercetum* erdők fiatalabb és idősebb állományai. Az **L** minta egykori *Quercetum petrae-cerris* kezelt állománya, domináns alkotó a *Quercus*. A ***vizsgálatok*** egyértelműen ***bizonyítják*** a jelentős ***antropogén módosító hatást*** az állományokban, s egyidejűleg azt is jelzik, hogy a visszaerdősülés folyamata igen lassú.

A felvételezés alapján az alábbi cserjés típusokat különíthetjük el:

1. típus: alacsony cserjés főként kökény *(Prunus spinosa)*, néhány fa is megjelenik. Ez a ***vissza erdősülés kezdeti stádiuma***, ez a típus lehetővé teszi a visszaerdősülést.

2. típus: az egybibés galagonya *(Crataegus monogyna)* és a húsos som *(Cornus mas)* sűrű állománya a nitrogénben gazdagabb területeken. Árnyékoló hatásuk megakadályozza más fajok megtelepedését, ***ez a fejlődés egyik zsákutcája.***

3. típus: a boróka *(Juniperus communis)* dominál, kialakulása a legeltetés következménye, s mindaddig nincs visszaerdősülés, amíg legeltetés van. Ez is ***zsákutcás fejlődés***.

Az erdők sem természetesek, az alábbi típusai foglalják el a természetes erdők helyét:

1. típus: Bolygatott, zavart, kezelt gyertyános tölgyes *(Querco-Carpinetum)* főként kocsánytalan tölggyel *(Quercus petrea)*. A ***zavartságot jelzi*** a boróka jelenléte.

2. típus: ***Kevéssé zavart gyertyános tölgyes*** *(Querco-Carpinetum)*, melynek fiatalabb változatában barkócafa *(Sorbus torminalis)* is előfordul.

3. típus: ***Bolygatott*** somos tölgyes *(Corno-Quercetum)* főként kocsánytalan tölggyel *(Quercus petrea)*, molyhos tölggyel *(Quercus pubescens)* és sok sommal *(Cornus mas)*.

4. típus: Nagyobb tengerszintfeletti magasságban sajmeggyes molyhos tölgyes *(Ceraso-Quercetum)* állomány található, melyben a molyhos tölgy *(Quercus pubescens)* dominál, ***névadó faja hiányzik***, sok viszont a kökény (*Prunus spinosa)*.

5. típus: Egykori kocsánytalan-cseres tölgyes *(Quercetum petreae-cerris)* állomány, az erdészet által kezelt, ***füves borítása*** pusztai csenkesszel *(Festuca rupicola)* és erdei szálkaperjével *(Brachypodium sylvaticum)* magas.

Az emberi tevékenység hatására mind a cserje-, mind az erdőtípusok jelentősen megváltoztak. Ökológiai állapotuk indokolja helyreállításukat.

11. táblázat. Fásszárú és lágyszárú növényzet borítási % - a az Aggteleki Karszton

Fásszárúak	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Acer campestre		1*		+		1	+	1*	+		+	+
Carpinus betulus		+				1		1*		4*	2*	1
Cornus mas		1	1	4*		2*	3*	1	1	1	2	1
Cornus sanguinea	+											
Corylus avellana						1	+	1		+	+	
Crataegus monogyna	+	2	1	4*	1	2	1	1	2	+	+	
Fagus sylvatica								+*				
Juniperus communis		+	+	+	3	1	+		1		+	1
Ligustrum vulgare	+	+	2	+	+	2	1	1	2	+	1	2
Malus sylvestris	1*		1*									
Prunus spinosa	4	4	5	1	+		+		2			
Pyrus pyraster			1*	+	+							
Quercus cerris		+					+				+	2*
Quercus pubescens						4*	4*	4*		4*	4*	4*
Rosa sp.	1	+	+	+	+	+	+	+	+			+
Rubus sp.						+						
Sorbus torminalis						1*	1*	1*	1*	2*	+	+
Lágyszárúak	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
Agrimonia eupatoria	2	+	+		1				+			
Agrostis sp.						1				+		
Arrhenaterum elatius					2							
Asperula odorata								+				
Astragalus glycyphyll	1		+		+	+		+	+			+
Betonica officinalis				+								
Brachypodium sylvat		1		+		1	1	1	1		+	3
Briza media					+							
Clinopodium vulgare												+
Dactylis glomerata											+	
Festuca rupicola	4	3	1	+	2		+	1	2			1
Fragaria vesca						+	+	+	+		+	
Geum urbanum				+								
Glechoma hederacea				1		+						
Melica nutans						+						
Mycelis muralis								+				
Pimpinella saxifraga												+
Plantago media	2	+			1							
Urtica dioica				1								
Vincetoxicum hirund.								+	+			
Viola sylvestris						1	+	+			+	

A felvételezés alapján az alábbi cserjés típusokat különíthetjük el:

1. típus: alacsony cserjés főként kökény (*Prunus spinosa)*, néhány fa is megjelenik. Ez a ***vissza erdősülés kezdeti stádiuma***, ez a típus lehetővé teszi a visszaerdősülést.

2. típus: az egybibés galagonya (*Crataegus monogyna)* és a húsos som (*Cornus mas)* sűrű állománya a nitrogénben gazdagabb területeken. Árnyékoló hatásuk megakadályozza más fajok megtelepedését, ***ez a fejlődés egyik zsákutcája.***

3. típus: a boróka (*Juniperus communis)* dominál, kialakulása a legeltetés következménye, s mindaddig nincs visszaerdősülés, amíg legeltetés van. Ez is ***zsákutcás fejlődés***.

Az erdők sem természetesek, az alábbi típusai foglalják el a természetes erdők helyét:

1. típus: Bolygatott, zavart, kezelt gyertyános tölgyes (*Querco-Carpinetum)* főként kocsánytalan tölggyel (*Quercus petrea)*. A ***zavartságot jelzi*** a boróka jelenléte.

2. típus: ***Kevéssé zavart gyertyános tölgyes*** (*Querco-Carpinetum)*, melynek fiatalabb változatában barkócafa (*Sorbus torminalis)* is előfordul.

3. típus: ***Bolygatott*** somos tölgyes (*Corno-Quercetum)* főként kocsánytalan tölggyel (*Quercus petrea)*, molyhos tölggyel (*Quercus pubescens)* és sok sommal (*Cornus mas*).

4. típus: Nagyobb tengerszintfeletti magasságban sajmeggyes molyhos tölgyes (*Ceraso-Quercetum)* állomány található, melyben a molyhos tölgy (*Quercus pubescens)* dominál, ***névadó faja hiányzik***, sok viszont a kökény (*Prunus spinosa).*

5. típus: Egykori kocsánytalan-cseres tölgyes (*Quercetum petreae-cerris)* állomány, az erdészet által kezelt, ***füves borítása*** pusztai csenkesszel (*Festuca rupicola*) és erdei szálkaperjével *(Brachypodium sylvaticum*) magas.

Az emberi tevékenység hatására mind a cserje-, mind az erdőtípusok jelentősen megváltoztak. Ökológiai állapotuk indokolja helyreállításukat.

5.3.2. Dolinák növényzete, ökológiai állapotuk

A mészkőfelszínek erdőirtás utáni kopárosodása a dolinák növényzetére is jelentős hatással volt. A korábban erdősült ***dolinák újra-erdősülése lassan***, vagy egyáltalán nem zajlott le. Ebben nagy szerepe volt annak, hogy a dolinák mikroklímája szélsőséges. A dolinák többségében az erdők kitermelése után másodlagos társulásként a boróka jelent meg, ami a talajok tápanyag elszegényedését jelzi. A dolinanövényzet ***uniformizálódása*** ment végbe. Felerősítette a diverzitás csökkenését a legeltetés és a kaszáló gazdálkodás is. Saját növény felvételeink a dolinák növényzetének faji összetételét jól tükrözik. A feltérképezett fajok a sztyepprétek, sziklafüves- és pusztafüves lejtők, szőrfű-gyepek, hegyi-kaszálórétek jellemző fajai voltak.

A dolinákban megtalálható fajokat *ZÓLYOMI B.* (1964) módszerével indikátor számokkal jellemeztük, majd az átlagos mutatószámot az alábbi formula segítségével számoltuk ki:

$$T_á = [x_i \cdot y_i] : n \text{ ahol}$$

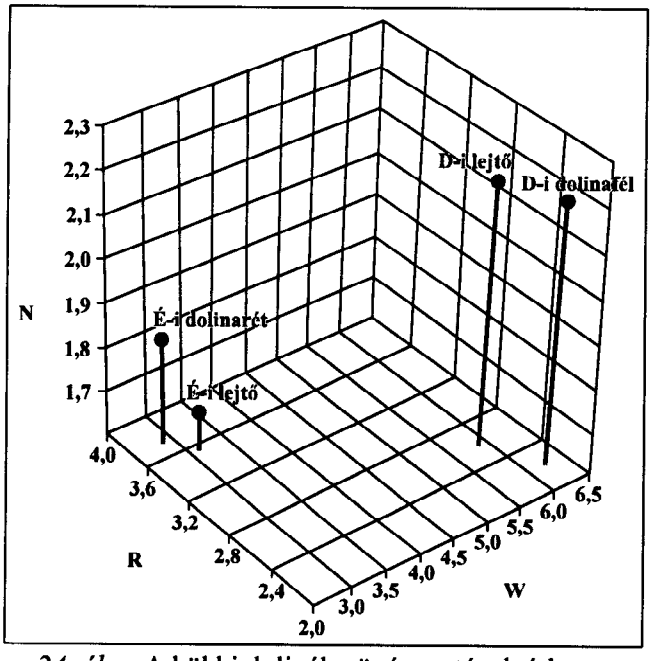
$T_á$ = az előforduló fajok átlagos indikátorszáma,

x_i = az indikátorszám,

y_i = az adott ökológiai érték fajszáma,

n = az előforduló fajok száma.

A bükki dolinákban a hő-háztartási mutatót figyelembe véve jelentős eltérés nincs (24. ábra). Az északi lejtő magasabb hőháztartási mutatószáma ennek a lejtőnek az aridabb jellegére utal. Ez a sajátosság a további ökológiai tényezők alakulására is nagy hatással van.

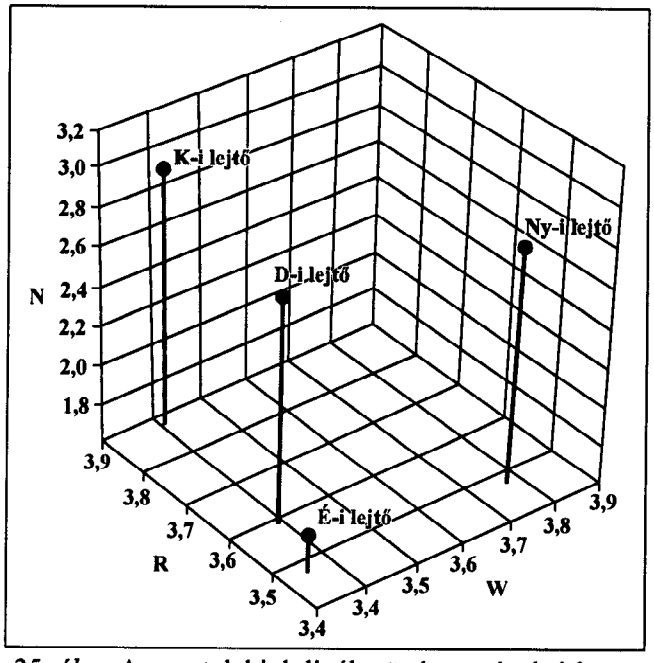


24. ábra A bükki dolinák növényzetének átlagos indikátorszámai

Az ***expozició hatása karakterisztikus***abban jelentkezik a vízháztartási mutató elemzésekor. Az északi lejtő 3,12-es és a déli lejtő 5,85-os átlagos értéke jól mutatja a talajnedvesség lejtő szerinti differenciálódását. A nedvességgel és a hőháztartással szinkronban a talajreakció különbsége is jelentős. A jelzett tendencia különösen szembetűnő, ha az északi és déli dolinafélben előforduló növényfajok ökológiai indikátorszámainak közepes értékeit elemezzük. A vízháztartás (W) és a talajreakció (R)

indikátorszámai alapján elkészített diagramból kiolvasható, hogy a déli lejtő kivételével ***magas a mészkedvelő fajok száma***. Az északi és nyugati lejtőn legkevesebb a közömbös kémhatást kedvelő fajok száma, ezek általában a mérsékelten nedves vagy nedves termőhelyeken találhatók.

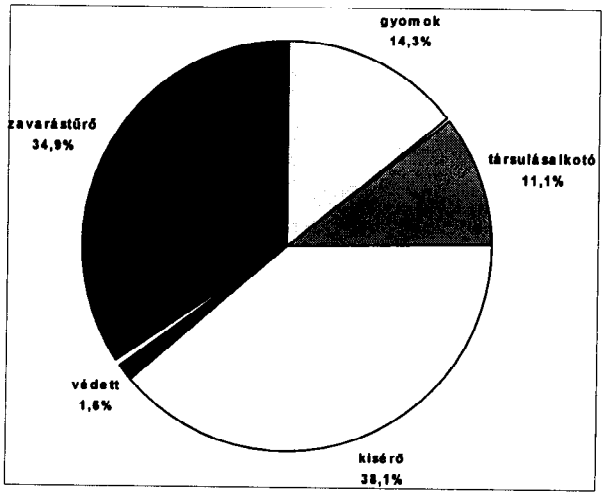
Az Aggteleki Karszton 1995-ös felvételek alapján értékeltem a dolinák növényzetét ökológiai mutatószámaik alapján. A dolinák növényzete itt degradáltabb, mint a Bükk-hegységben. Az ***aggteleki dolinákban nitrogénigényesebb fajok*** vannak nagyobb számban (25. ábra). Ez magyarázható a korábbi intenzív legeltetéssel, ami a talaj nitrogén tartalmát megnövelte. Nagy számban találhatók itt olyan fajok, amelyek nem az eredeti társulás alkotói. A ***hőmérsékleti mutatók*** egyértelműen jelzik a karsztos növényzet ***mérsékeltövi és szubmediterrán lomberdőklíma*** jellegét. A vízháztartás alapján a mérsékelten üde, mérsékelten száraz jelleg olvasható ki az átlagos mutatószámokból. Ebből a szempontból kevésbé karakterisztikus a lejtők szerinti differenciálódás, mint az a bükki dolináknál megfigyelhető volt.



25. ábra Az aggteleki dolinák növényzetének átlagos indikátorszámai

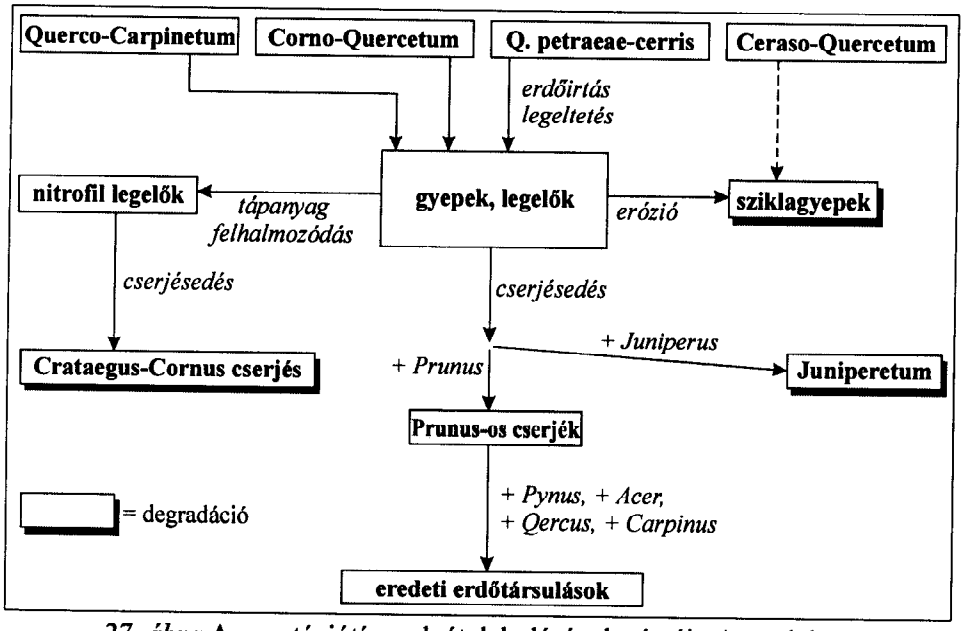
Megvizsgáltuk a ***dolinagyepek*** fajainak ***természetvédelmi érték*** szerinti eloszlását (26. ábra). A vizsgálat szerint a gyomok és a ***zavarástűrő fajok az összes fajszám közel felét teszik ki***, ami a gyepek zavartságát jelzi. A természetvédelmi érték alapján összehasonlítva a bükki és aggteleki dolinák növényzetét, egyértelműen

megállapítható, hogy az ***aggteleki társulások sokkal degradáltabbak, mint a bükkiek.*** Az aggteleki fajok között 95 fajból 35 faj természetes társulásalkotó vagy kísérő faj, 60 faj zavarástűrő, gyom, gazdasági növény, vagy behurcolt faj. A bükki dolinákban 28 faj közül 19 természetes társulás alkotó vagy kísérő faj, 1 védett, s csupán 8 zavarástűrő vagy gyom.



26. ábra A dolinagyepek természetvédelmi érték szerinti megoszlása Aggteleken

A korábbi erdőirtások nyomán a dolinákban szélsőséges mikroklíma alakult ki (*BÁRÁNY, 1985, 1998*), s az igénytelenebb borókás *(Juniperus)* társulás foglalta el az egykori erdők helyét. Ezeken a foltokon az újraerdősítés igen nehéz. A ***növénytársulások fejlődésében zsákutcás irányok*** ismerhetők fel (27. ábra).



27. ábra A vegetációtípusok átalakulásának sémája Aggteleken

Összességében a növényzet a karsztos alapkőzeten kialakult ***rendzina és erdőtalaj dinamikájú barna erdőtalajokon*** sajátos összetételű. A talaj ***szélsőséges vízgazdálkodásához alkalmazkodó fajok alkotnak társulást.*** Ennek a makroflórának a gyökérlégzés révén jelentős szerepe van az oldó víz aggresszivitását meghatározó széndioxid termelésében, de a mikrobiális populáció nagyságrendjének alakításában is.

Amennyiben a növényzet megváltozik, mind a karsztkorrózió intenzitásában, mind a karszt-ökorendszer további működésében változás következik be. A növényzet azáltal, hogy a gyökérlégzés során széndioxidot termel, a posztmortális hulladék anyagainak lebontásával is hat a talaj kémhatására, ami viszont a bakteriális tevékenység intenzitását módosítja. A növényzet bemutatott degradációja is a természetes folyamatokkal szemben hat, aminek jele a néhány ***csarab megjelenése*** a dolinák peremén. Borítási százalékuk kicsi, de a ***természetvédelmi érték alapján is kimutatott változás egyik indikátora.***

6. Erdőgazdálkodás a karsztokon

A karsztokon az erdősültség következtében alapvető mezőgazdasági tevékenység az ***erdőgazdálkodás.*** Az erdőgazdálkodás a kaszáló, rét és legelő gazdálkodással együtt természetközeli gazdálkodást jelent ott ahol természetvédelem alatt áll a terület.

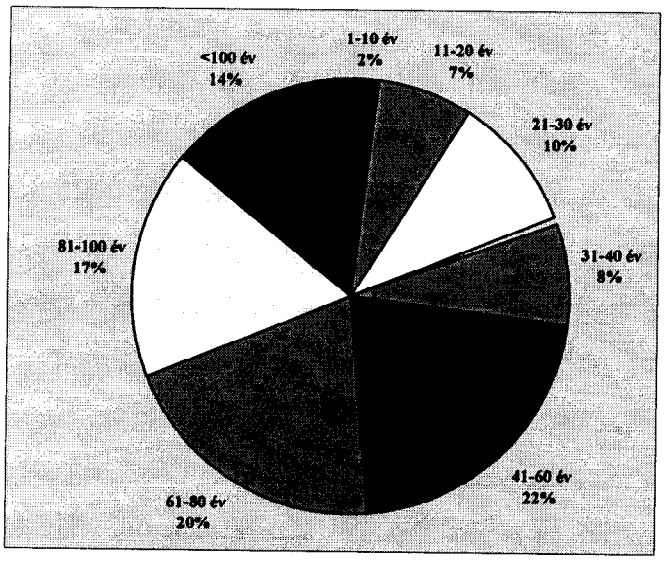
A FAO 1972-es konferenciáján Buenos Airesben Magyarország javaslatára fogadták el az erdők hasznosításáról azt az indítványt, amely szerint az ***erdő***nek ***hármas funkciója*** van. Ezek a ***gazdasági, környezetvédelmi és üdülési funkció.*** A ***természetközeli erdőgazdálkodás a fa produkció megőrzése mellett az ökoszisztéma egészségi állapotának megőrzését, működőképességének fenntartását és a biodiverzitás megtartását jelenti.*** Mivel Magyarország erdőkben szegény, a fahasznosításból nem lehet kivonni a karsztos területeket. Annak ellenére sem vonhatók ki az erdőgazdálkodásból, hogy itt a mértéktelen ***kitermelés*** a karsztok jellemző talajainak, a rendzinának és barna erdőtalajoknak ***erózió veszélyét megnöveli. Az erdő*** a csapadékvíz egyenletes beszivárgását elősegíti, így a ***karsztvíz-védelem szempontjából is igen fontos.*** Az erdőgazdálkodás, mint erdőművelés, céltudatosan törekszik a védendő értékek megtartására oly módon, hogy a gazdálkodás se károsodjon.

A fenntartható erdőgazdálkodás úgy gazdálkodik az erdő termékeivel, védő- és üdülési funkciójával, hogy az ember számára az hosszú időn keresztül fennmaradhasson. Ugyanakkor megőrizze biológiai sokféleségét, természet-közeliségét, felújuló képességét, életképességét, a társadalmi igényekkel összhangban megfeleljen a védelmi és gazdasági követelményeknek. Töltse be a természet- és környezet-védelmi-, egészségügyi-, szociális-, turisztikai-, valamint az oktatási- és kutatási céloknak megfelelő szerepét.

Korábban - a technikai fejlődés alacsonyabb szintjén - a természeti károk okozta erdőpusztulások után hosszabb-rövidebb idő alatt helyre állt a természetes egyensúly. Napjainkban, amikor az emberi tevékenység több irányból hat (közvetlen erdőkitermelés, ezt követően az erózió, a légköri savas ülepedések) jelentős mértékben megváltozott az erdők állapota. Az erdőgazdálkodás problémáit a továbbiakban Bükki és Aggteleki Nemzeti Park példáján mutatom be.

A ***Bükk-hegység*** erdőterületein 1514-től állami gazdálkodás folyt 1945-ig. 1818-tól már üzemtervek képezték az erdőgazdálkodás alapját. 1880-ig jelentős volt a legeltetés és erdőirtás, az erdők kora a fiatalabb kor irányába tolódott el. 1935-ben már törvénycikk rendelkezett az erdőkről, amely kimondta, hogy kerülni kell az olyan beavatkozást, amely a természetes jelleget megváltoztatja. 1945 után, az államosítást követően túl nagy volt a kitermelés, különösen a hegység nyugati részén végvágások voltak, elsősorban a nyereséges erdőgazdálkodás volt a cél. 1977-től, a Nemzeti Park megalakulását követően a természetközeli, fenntartható erdőgazdálkodás került előtérbe. Az 1989-es tulajdonviszony változások az erdőterületek felaprózódásához vezettek. 1994-ben a Bükki Nemzeti Park erdőállományának az alábbi volt a korösszetétele (28. ábra).

A 60-as évektől a 80-as évekig a ***túlzott kitermelés lecsökkentette az idős faállományt***. Erdeinek ma 70%-a gazdasági, 29%-a védett, 1%-a közjóléti funkciót tölt be. Ebből a számsorból kitűnik, hogy a fatermelés igen jelentős, ezért úgy kell folytatni, hogy az ne veszélyeztesse az erdő ökológiai egyensúlyát. A védettség óta ***természetközeli erdőgazdálkodás*** folyik. A fakitermelés csak úgy folytatható, ha az biztosítja az erdei ökoszisztéma diverzitását.



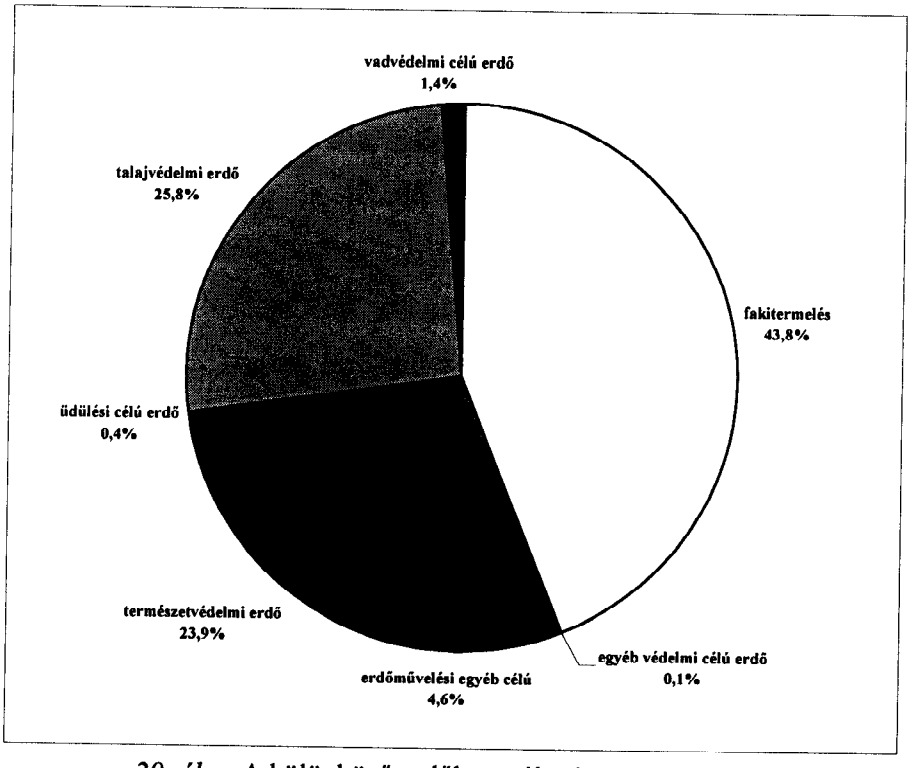
28. ábra A Bükki Nemzeti Park faállományának korcsoportonkénti megoszlása

Ez a termőhely ***megfelelő faj kiválasztás***át, a ***magról történő felújítás***t, a ***termőhely*** és ***növény kímélő módszerek*** alkalmazását igényli. Újabb ***fenyőtelepítés*** nem lehetséges, ***csak a rontott erdők felújítása*** történhet luc-, duglász-, vörös- vagy jegenyefenyő ültetéssel, amelyek kitermelését követően az őshonos fajok elterjedése várható. Növényvédő szerek csak a csemete-kertekben használhatók. A ***véglegesen kitermelt erdők területe nem lehet nagyobb 10 hektárnál. Tarvágás*** csak ott alkalmazható, ***ahol az idős állomány másként nem újítható fel,*** s a terület nagysága ***nem haladja meg az 5 hektárt.*** A vágásérettség korát a bükkösökben 100-120, a tölgyesekben 120-140 évre kell felemelni. Ez az erdőgazdálkodás erdőtervek segítségével valósítható meg, amelyek tartalmazzák a fafajok arányát, korát, a fakészlet nagyságát, a növekményeket és az elvégzendő feladatokat. A Bükk-hegység nyugati részén van olyan terület, ahol közel egykorúak a fák, ami azt jelenti, hogy egy időben érik el a vágásérettséget, s az egyensúlymegbomlás megakadályozására meg kell hosszabbítani a fák életkorát 130 évre, hogy zavartalan lehessen a felújítás. Ez természetesen tájesztétikai szempontból is igen fontos.

Minél több természetes, magról történő felújítást kell végezni. Általában gyertyános tölgyesekben 15-20, a bükkösökben 25-30 évig elhúzódik egy felújítás. Ügyelni kell arra, hogy ***a vadállomány száma ne haladja meg az erdők eltartóképességét.*** Igen fontos feladat mindeközben a rekreációs és üdülési funkció fenntartása.

A tarvágások után a bükkösök helyén kőris, a tölgyesek helyén gyertyán újulat fejlődött ki, sok helyen irtásrét és kaszáló rét alakult ki. Két idős erdőállományt találunk a területen. Az egyik a jávorkúti ős-fenyves, amit 1815-ben telepítettek, a másik a 26 hektáros Őserdő, amit 1946-ban zártak el mindennemű erdőgazdálkodás elől.

Az ***Aggteleki Nemzeti Park*** 77%-át erdők borítják, így itt is a fenntartható erdőgazdálkodás képezi a tájhasznosítás jelentős részét. Az erdőhasználat típusa szerint az erdők 43,8 %-a fakitermelési célú, a többi nagyobbrészt természetvédelmi és talajvédelmi célú erdő (29. ábra). A ***tájszerkezet mozaikosságát*** eredendően a ***természetes gazdálkodás alakította*** ki. A területhasznosításban az önellátásra kényszerülő kis településeken ***a korábbi erdőgazdálkodás egyöntetűségét felváltotta a rét és a szántó gazdálkodás*** a nem igazán jó karsztos talajokon. A Nemzeti Park megalakításáig az erdőket nagy gyakorisággal kitermelték, majd sarjaztatták. Az irtás- és kaszáló réteken rendszeres kaszálás és széna-termesztés dominált. A tájidegen fafajokból kialakított egykorú, fatermelési állományokat rendszerint ***tarvágás***sal termelték le, mely további ***káros folyamatok*** forrásává vált. Az irtás után jelentősen ***megnőtt az irtott felszín hőmérséklete,*** a nyílt felszínre jutó nagymennyiségű fény ***fénysokkot okozott***, a növényzet ***párologtató hatása csökkent***, így nőtt a talaj nedvességtartalma. ***Felgyorsult a szerves anyagok lebomlása***, CO_2-tartalom megnőtt a talajlevegőben, ***megindult a talaj savanyodása***. Erodálódott a termőréteg egy része (szél, csapadék, munkagépek), az erózió a ***humusz puffer-hatásának csökkenése*** miatt ***másodlagos savanyodás***t indít el.



29. ábra A különböző erdőhasználattípus megoszlása az Aggteleki Nemzeti Parkban

Mindkét Nemzeti Park esetében a természetvédelem szorosan együttműködik az erdőgazdasággal és a fent említett problémákat megkísérlik megoldani. Mivel az erdő degradációja egy korábbi, nem mindig a fenntarthatóságot szem előtt tartó erdőgazdálkodás következménye, ezért kívánatos az ***ökológiai állapot ismeretében*** olyan javaslatokat kidolgozni, amelyek elősegíthetik a ***természetközeli, fenntartható erdőgazdálkodás*** magas szintű megvalósítását. Dolgozatomban az Aggteleki Nemzeti Park példáján mutatom be azt a módszert, amelynek segítségével erdő optimalizációs javaslat készíthető karsztos területekre.

6.1. Erdőhasznosítási javaslat karsztos mintaterületen

*Az **erdőgazdálkodás lehetőségeit a termőhely határozza meg** (BABOS - HORVÁTHNÉ - JÁRÓ - KIRÁLY - SZODTFRIDT - TÓTH* 1966). A termőhely tulajdonságait a domborzati adottságok, az éghajlati tényezők, a vízgazdálkodási jellemzők, az alapkőzet és a talaj tulajdonságok alakítják ki, ezért ezek figyelembevételével készíthetünk erdőhasznosítási javaslatot.

A ***fenntartható erdőgazdálkodás számára*** ma már kívánatosak az olyan kutatások, amelyek az ***optimális fajkiválasztás***sal a karsztok ***jelenlegi ökológiai állapot***ának megfelelő felújításokat, illetve telepítéseket javasolnak. Az erdők állapotának romlása, a nem megfelelő gazdasági szempontú kezelés az egyéb kedvezőtlen antropogén hatások (üdülés, bányászat, légszennyeződések száraz és nedves ülepedése, vadkárok) következtében fokozott elvárások vannak az ilyen kutatások irányában. Az Aggteleki Karszt területét (kivéve a Szalonnai-karsztot) választottuk mintaterületnek, ahol részletes elemzést végeztünk az ***erdőhasznosítási javaslat kidolgozása*** céljából.

Az ***erdőgazdálkodás feltételei***t, mint azt már említettem a termőhely adottságait meghatározó ***klíma, domborzat, talaj*** adottságok teremtik meg. A klíma paraméterek közül a besugárzást, a hőmérsékletet, a csapadékot, és a légnedvességet értékeltük.

A megfelelő ***hőmérséklet*** befolyásolja a növényi légzést, asszimilációt, transpirációt, megszabja a vegetációs periódus időtartamát. A páratartalom (amely a hőmérséklet függvénye), fontos folyamatok forrása. pl. alacsony hőmérséklet esetén kicsi a párolgás, a felhalmozódó víz kilúgozást okozhat a talajban. Bár általában átlagértékekkel jellemzünk egy területet, erdészeti szempontból fontos a szélsőségek figyelembe vétele. Magas hőmérséklet esetén a talaj kiszárad, a kialakuló vízhiány miatt a fák növekedése leáll, extrém esetekben ki is száradhatnak. A nagyon alacsony hőmérséklet fagykárokat okoz, különösen veszélyesek a korai és késői fagyok. Ennek megfelelően lényeges a fagyérzékenység vizsgálata, a fagyzugok kijelölése és az oda megfelelő hőmérsékleti igényű fafajok kiválasztása. Felújításoknál figyelembe kell venni, hogy a fiatal fák érzékenyebbek a fagyra.

A ***csapadék*** a táplálkozás közvetítője, érvényesülését a hőmérséklet, a szél, a talaj víztároló képessége, a légnedvesség és magának a csapadéknak a mennyisége, intenzitása is befolyásolja. A felhasználható víz mennyisége az erdőkben a lombkorona által felfogott vízmennyiség miatt eltér a nyílt területektől. (Ez a mennyiség fafajonként változó, a bükk esetén a csapadék 20-30%-a, jegenye fenyőnél 50-60%).

A ***légnedvességet*** a mezo- és mikroklíma befolyásolja. A fás növényzet szempontjából a legfontosabb éghajlati tényező, mert őshonos fafajaink általában a párás, humid klímát kedvelik. Egy természetközeli erdőben a lokális légnedvesség alapján eltérően viselkednek a fafajok.

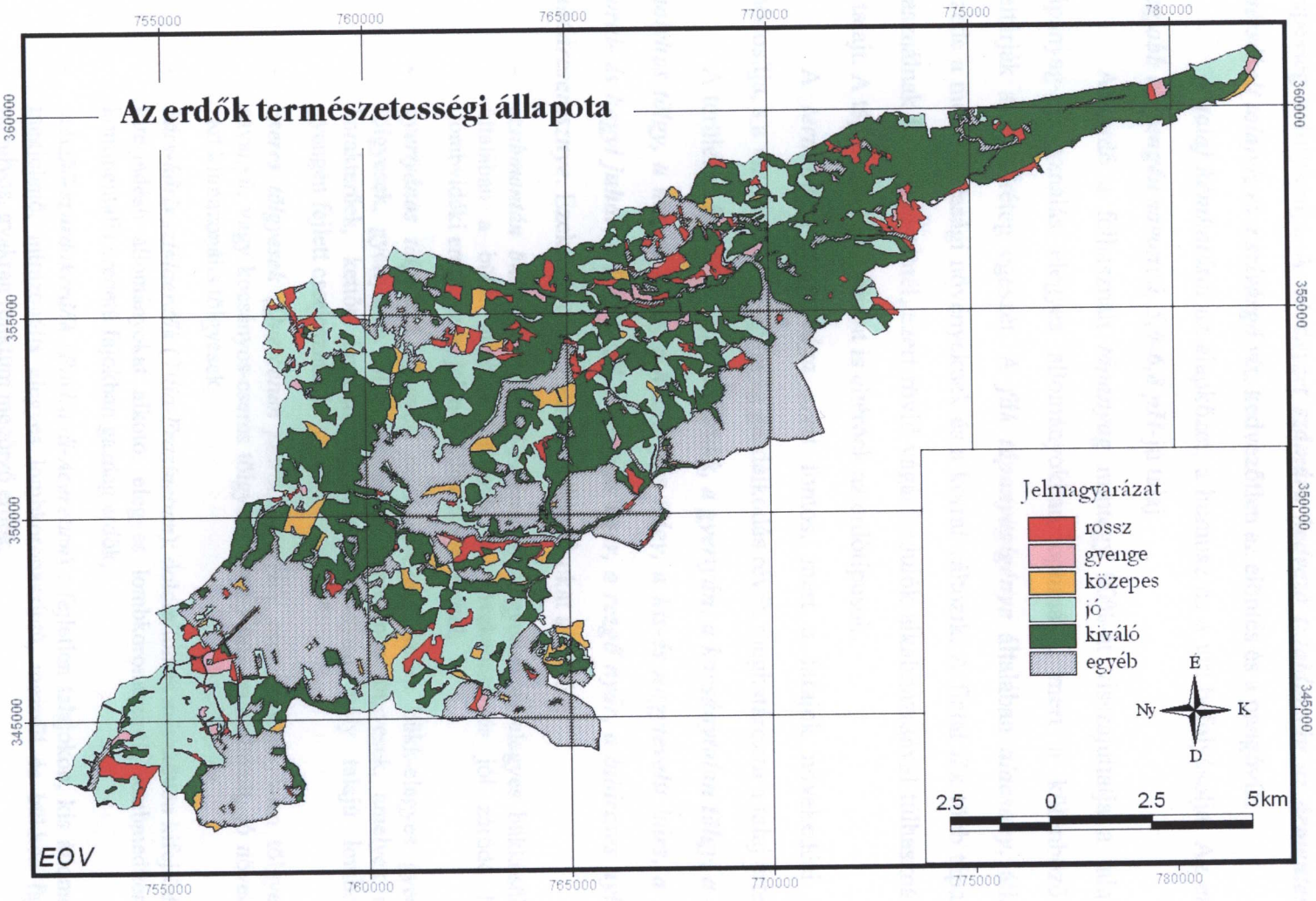
A területen az erdők ***természetességi állapota*** általában jónak mondható (30. ábra). Egy adott termőhely klímáját a gyakorlatban az adott éghajlatra érzékeny fafajok jellemezik. ***Erdőklíma típusok*** a bükkös klíma, gyertyános klíma, cseres-tölgyes klíma.

A ***vízgazdálkodást*** a terület csapadék-, légnedvesség- és a talaj hidrológiai viszonyai befolyásolják. A hazai erdőtársulások kialakulásában ez a legfontosabb tényező, ezért ez képezi az erdőtípusok osztályozásának alapját. Ezen az alapon megkülönböztetünk szélsőségesen száraz, igen száraz, száraz, félszáraz, üde, félnedves, nedves és vizes termőhely- és erdőtípusokat.

A ***domborzati formák*** is fontos szerepet játszanak az erdők megtelepedésében. A hegy- vagy domboldalnak felső, középső és alsó részein eltérő klimatikus paraméterek vannak. A magasabb szinteken szelesebb, szárazabb, alacsonyabban a hideg levegő lefolyása miatt hűvösebb, párásabb területek alakulnak ki. A tető szinteken legerősebb a talajerózió, míg a hegylábláb felszíneken a lehordódott talaj felhalmozódik.

A domborzat azért is fontos, mert a ***lejtők kitettsége*** jelentős eltéréseket eredményez a besugárzás erősségében és minőségében. Az É-D-i kitettség különbsége mellett lényeges a K-NY-i eltérés is. Reggel a keleti lejtők kapnak erős sugárzást, melynek hatását fokozza, hogy ilyenkor még tisztább a levegő. Mégis a nyugati oldalak szárazabbak, mert délután már kisebb a légnedvesség és nyáron sokáig éri a sugárzás. ***Erdőgazdasági szempontból*** az ***északi kitettség a legkedvezőbb, megfelelő a keleti, kevésbé alkalmas a nyugati, majd sorrendben a déli expozíció***. Az ***északi kitettségben az alsóbb szinteken gyertyános tölgyes***, a ***magasabb szinteken szubmontán bükkösök*** jellemzőek, a ***déli kitettségben*** a szárazság miatt a ***karsztbokor erdők, a keleti és nyugati kitettségben a dombvidéki tölgyesek*** települnek meg. A ***lejtőszög*** a napsugarak beesési szögét, ezáltal az egységnyi felületre jutó sugárzást, a felszín felmelegedését befolyásolja. Ugyanakkor a fás szárú növényzet megtelepedését korlátozza a nagy meredekség.

Az ***alapkőzet és talaj*** a tápanyagellátás szempontjából játszanak fontos szerepet az erdőgazdálkodásban. A különböző talajtípusok más-más kémhatás mellett eltérő vízgazdálkodással jellemezhetők.


Az erdők természetességi állapota
755000
760000
765000
770000
775000
780000
360000
355000
350000
345000
Jelmagyarázat
rossz
gyenge
közepes
jó
kiváló
egyéb
É
Ny
K
D
2.5
0
2.5
5km
EOV

30. ábra

A ***talaj vízgazdálkodási tulajdonságai***t a víztároló-, befogadó- és áteresztő képesség befolyásolja. A ***növényzet számára kedvező tulajdonság az ármentesség, a mérsékelt talajvíz és a szivárgó víz***, kedvezőtlen az elöntés és a pangóvíz.

A ***talaj kémhatását*** az alapkőzet, a humusz és a víz befolyásolja. Az ***erdőnek legjobb a gyengén savanyú, 5,0-6,8 pH***-jú talaj.

Az erdő a felhasznált ***tápanyag*** mintegy 90%-át visszajuttatja a talajba. A tápanyag-felhasználás elegyes állományokban optimális, mert a különböző fajok feltárják a termőréteg egészét. A ***fák tápanyagigénye*** általában ***alacsony***, átlagosan tizede a mezőgazdasági növényeknek és a korral változik. A fiatal fák több tápanyagot használnak fel az időseknél, ezért rövid vágásfordulók alkalmazásával túlhasználhatják a talajt. A tápanyagigény szerint is eltérőek az erdőtípusok.

A ***termőréteg vastagsága*** azért fontos, mert a fafajok növekedési ütemét módosítja, s a víz, levegő és tápanyag gazdálkodás révén meghatározza a talaj értékét.

A területen ***őshonos fafajok a bükk, a gyertyán, a kocsánytalan tölgy, a cser, a molyhos tölgy, a magas kőris, a kocsányos tölgy, a kis-és nagylevelű hárs, a mezei-korai- és hegyi juhar, a hegyi szil, a mézgás éger, a rezgő nyár, a bibircses nyír, és a madárcseresznye***. Ezek a fajok itt az alábbi társulásokat alkotják:

- ***szubmontán bükkösök*** (*Melitti-Fagetum*): elegyetlen és elegyes bükkösök, ahol általában a bükk túlsúlya jellemző, jó növekedésű és jól záródó hegy-és dombvidéki erdők ezek, jelentéktelen cserjeszinttel,
- ***gyertyános tölgyesek*** (*Querco petraeae-Carpinetum*): bükk-elegyes gyertyános tölgyesek, gyertyános tölgyesek, cseres-gyertyános tölgyesek, amelyek mezofil karakterűek, kettős lombkoronaszinttel, többnyire mély talajú lomboserdők gyengén fejlett cserjeszinttel,
- ***cseres tölgyesek*** (*Quercetum petraeae-cerris*): cseres-kocsánytalan tölgyesek és savanyú, vagy kocsányos-cseres tölgyesek, mély talajon kialakult, jó növekedésű, zárt klímazonális tölgyesek,
- ***hárs-kőris sziklaerdők*** (*Tilio-Fraxinetum*): dolomiton és mészkövön kifejlődött, kis kiterjedésű állományokat alkotó, elegyes lombkoronaszintű, szubmediterrán és kontinentális eredetű fajokban gazdag erdők,
- ***mészkő-szurdokerdők*** (*Phyllitidi-Aceretum*) : fejletlen talajokon, kis állományban megjelenő, intrazonális elegyes lombkoronaszintű, mezofil és bükkös fajokban túlsúlyos, gyakran reliktum megőrző erdők,
- ***mészkedvelő, vagy melegkedvelő tölgyesek*** (*Corno-Quercetum*) közepes növekedésű, dús cserjeszintű és fejlett gyepszintű, sok délebbi elterjedésű fajt tartalmazó domb-és hegyvidéki tölgyesek, kísérő, nem lápi jellegű, higrofil fajokból álló erdők.

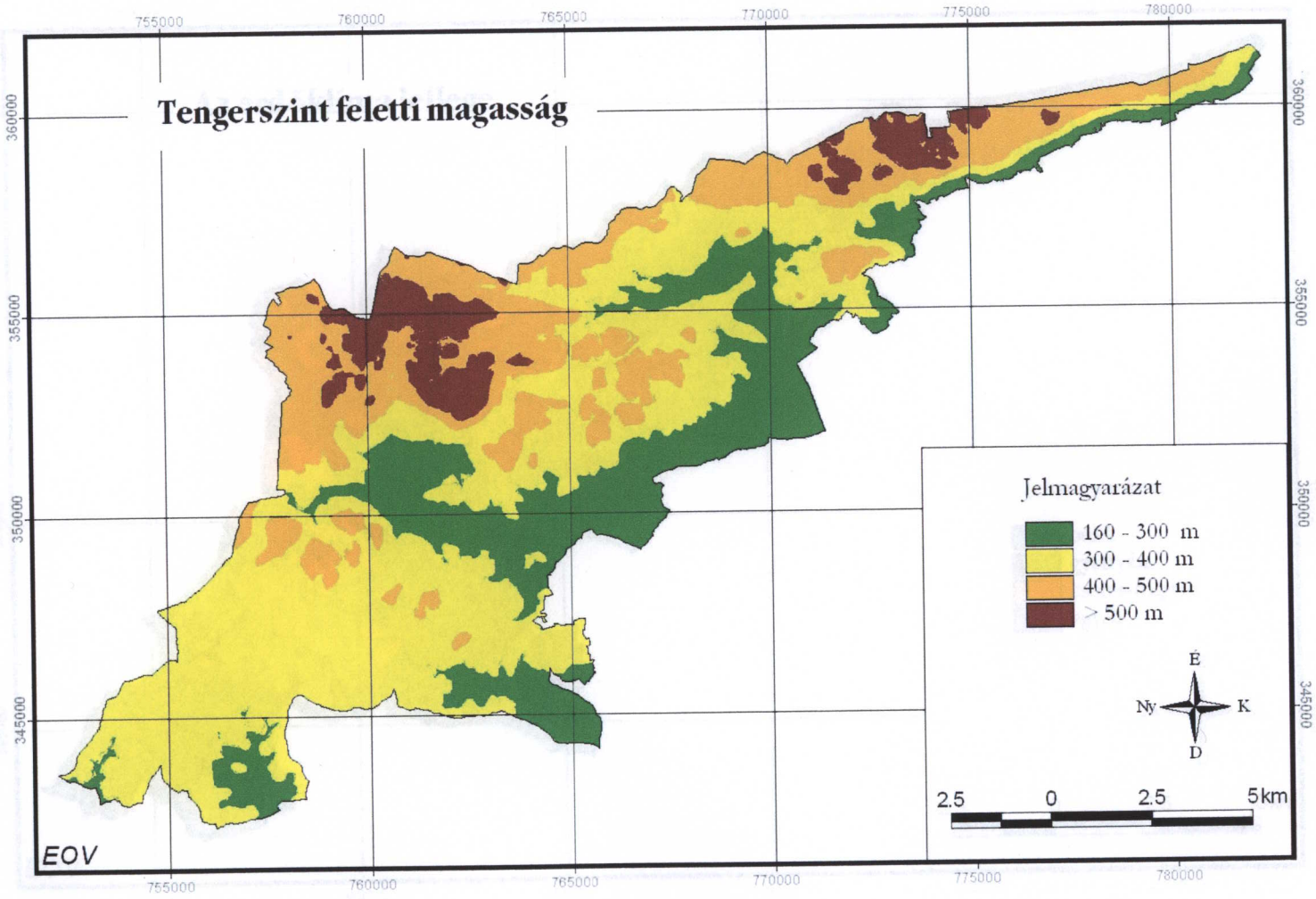
Az ***erdőhasznosítási javaslat*** *(BÁRÁNY–BOTOS, 2000)* kidolgozásában ***ARCWIEV szoftvert*** használtunk. Ez a szoftver lehetővé teszi a földrajzilag pontosan definiált helyeken a termőhelyi tényezők és az általuk meghatározott, potenciális erdőtársulás egymáshoz rendelését. A potenciális társulások térképen megjeleníthetők, s különböző számítások és mérések elvégzésére alkalmasak a továbbiakban.

Első feladat a különféle ***adatok adatbázisba rendezése*** volt, amit a számítógép kezelni tud. Az erdőrészletek és a hozzájuk tartozó tulajdonságok földrajzilag pontos elhelyezéséhez digitális erdőtag és erdőrészlet-térképet hoztunk létre a mintaterületről. (A földrajzi azonosításhoz a térképeken a térinformatikai alkalmazások körében leginkább elterjedt EOTR koordinátáit alkalmaztuk).

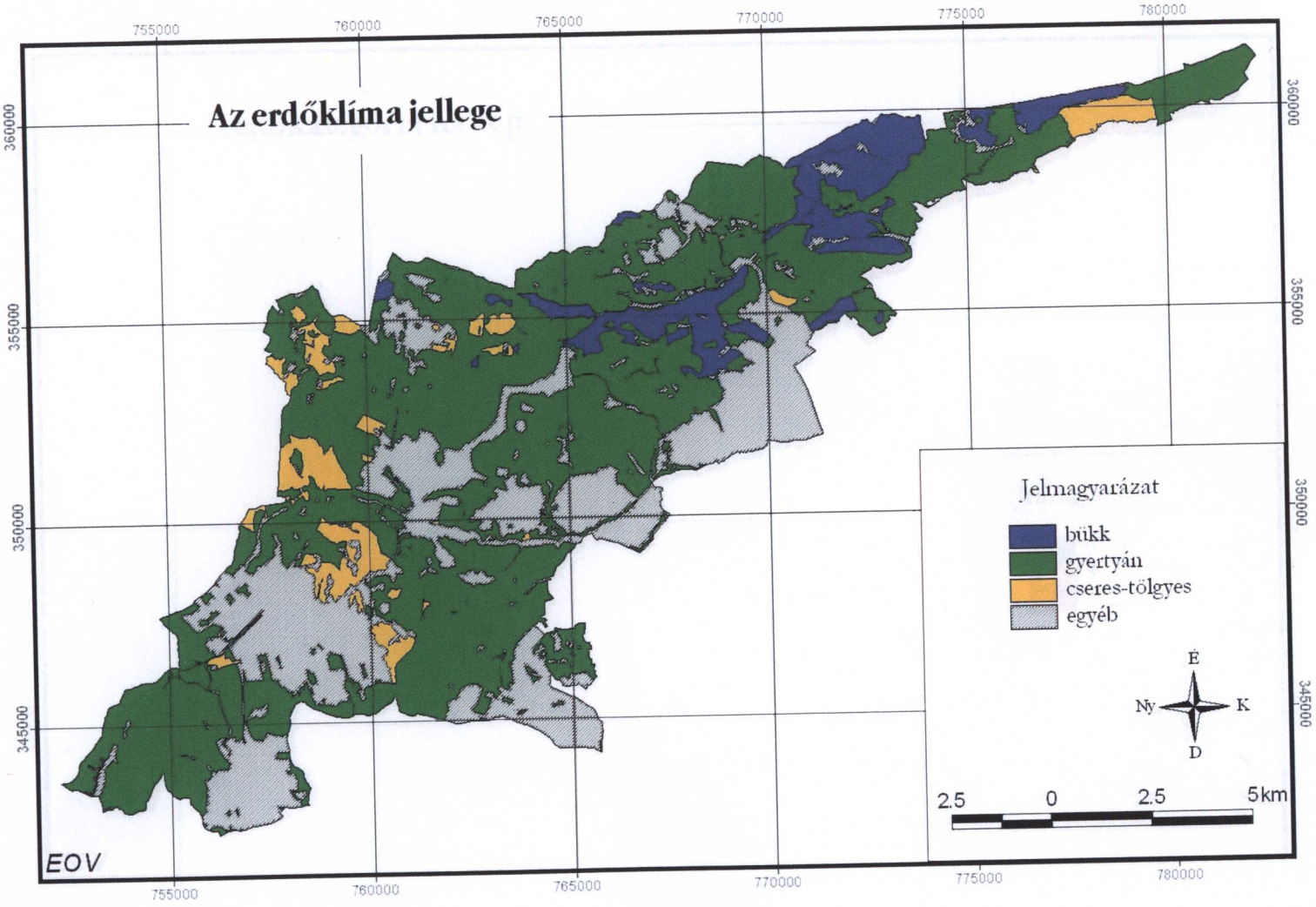
Az erdőrészletek a gyakorlatban alkalmazott legkisebb ***önálló tervezési egységek,*** amelyek ***poligonok***ként jeleníthetők meg és adatok rendelhetők minden egyes pontjukhoz. A ***tengerszintfeletti magasság*** (31. ábra), a ***lejtőkategória*** (33. ábra) és a ***kitettség*** (34. ábra) megállapításához elkészítettük a terület digitális domborzat-modelljét. A modellt 1:10000 méretarányú topográfiai térképről az ARCWIEV szoftver segítségével állítottuk elő.

A vizsgált terület erdőrészleteinek az ***erdőklímára*** (32. ábra), a ***termőréteg vastagságára*** (35. ábra) ***genetikai-*** (36. ábra) és ***fizikai talajtípusra*** (37. ábra), vonatkozó tulajdonságait típusonként megfelelő kóddal ellátva ***dBASE formátumúvá alakítottuk.***

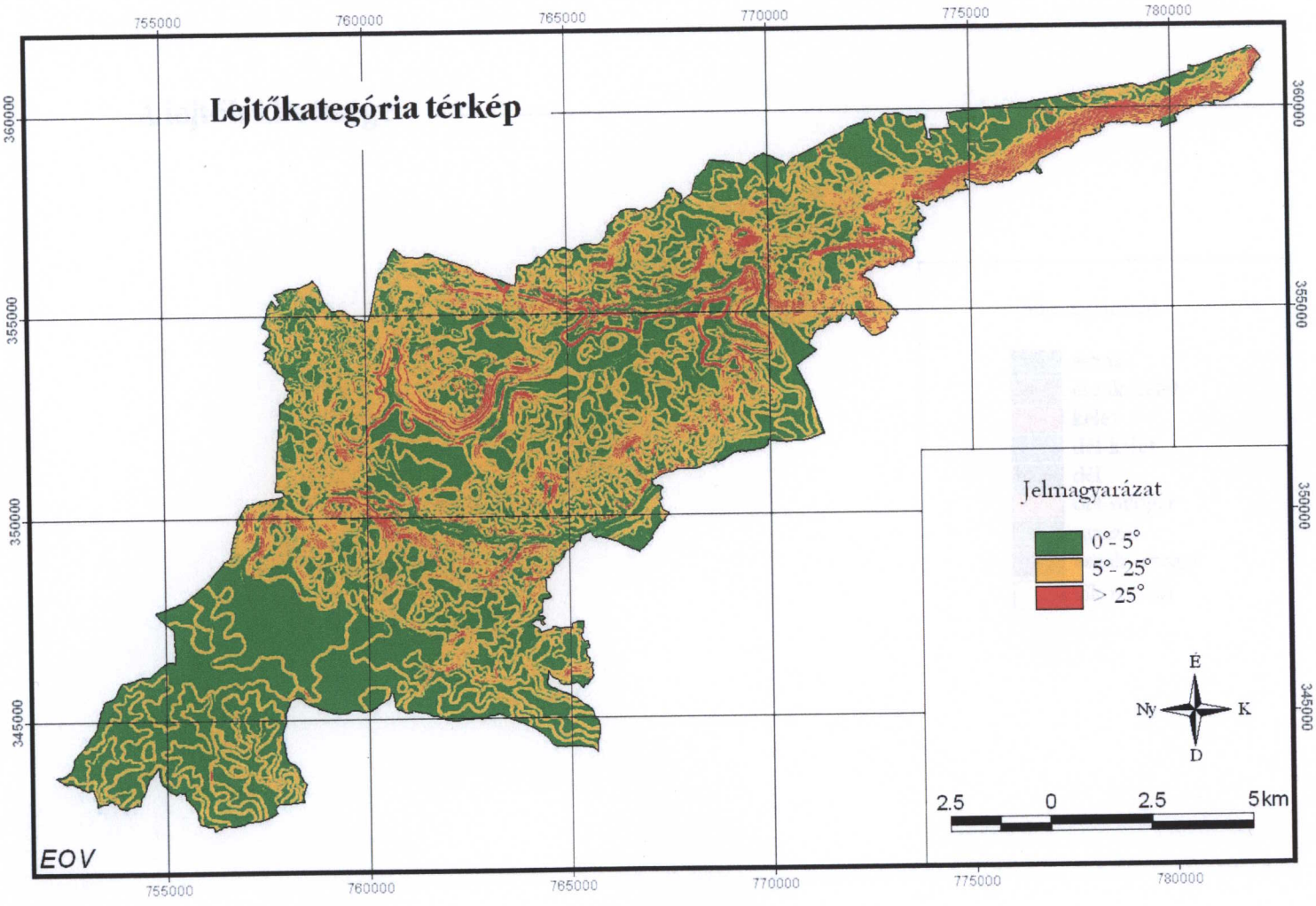
A kapott ***értékeket a tervezésnek megfelelően rendszereztük*** és ***szintén a kódokba építettük.*** A kód számsor helyi értékei képezték a különböző tulajdonságok típusainak értékeit. Így az ***összes tulajdonságot*** különböző nagyságrendű ***számokkal kódoltuk***. Az egy területre vonatkozó ***számok egyszerű összeadásá***nak eredményeként pedig (így kombinálódnak a tényezők) a vizsgált területekre vonatkozó termőhely típusokat és az azoknak megfelelő társulásokat kaphatjuk meg. Ezek a ***tervezés alapjául szolgáló eredmények.***


Tengerszint feletti magasság
755000
760000
765000
770000
775000
780000
360000
355000
350000
345000
Jelmagyarázat
160 - 300 m
300 - 400 m
400 - 500 m
> 500 m
É
Ny
K
D
2,5
0
2,5
5km
EOV

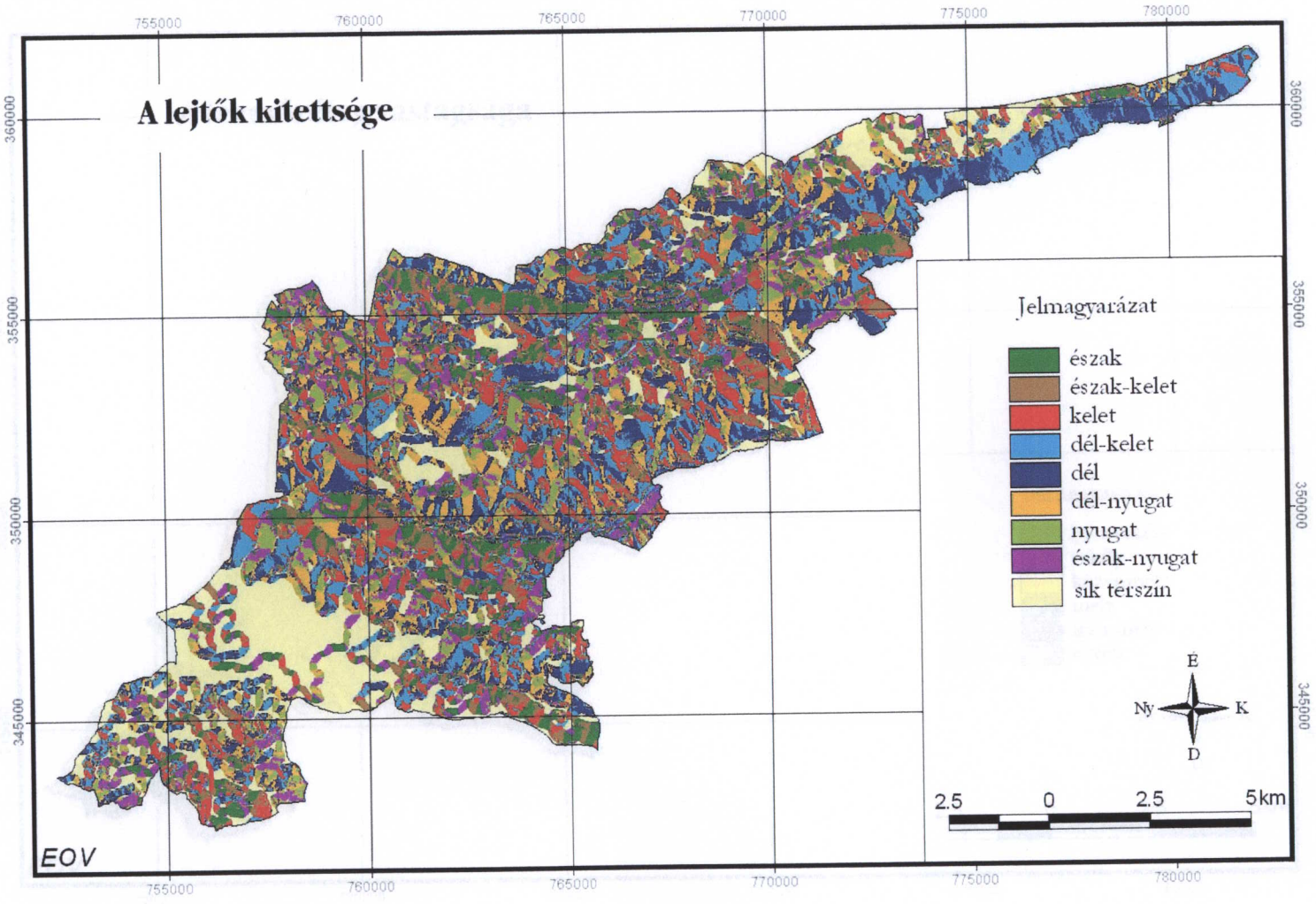
31. ábra


Az erdőklíma jellege
755000
760000
765000
770000
775000
780000
360000
355000
350000
345000
Jelmagyarázat
bükk
gyertyán
cseres-tölgyes
egyéb
É
Ny
K
D
2.5
0
2.5
5km
EOV

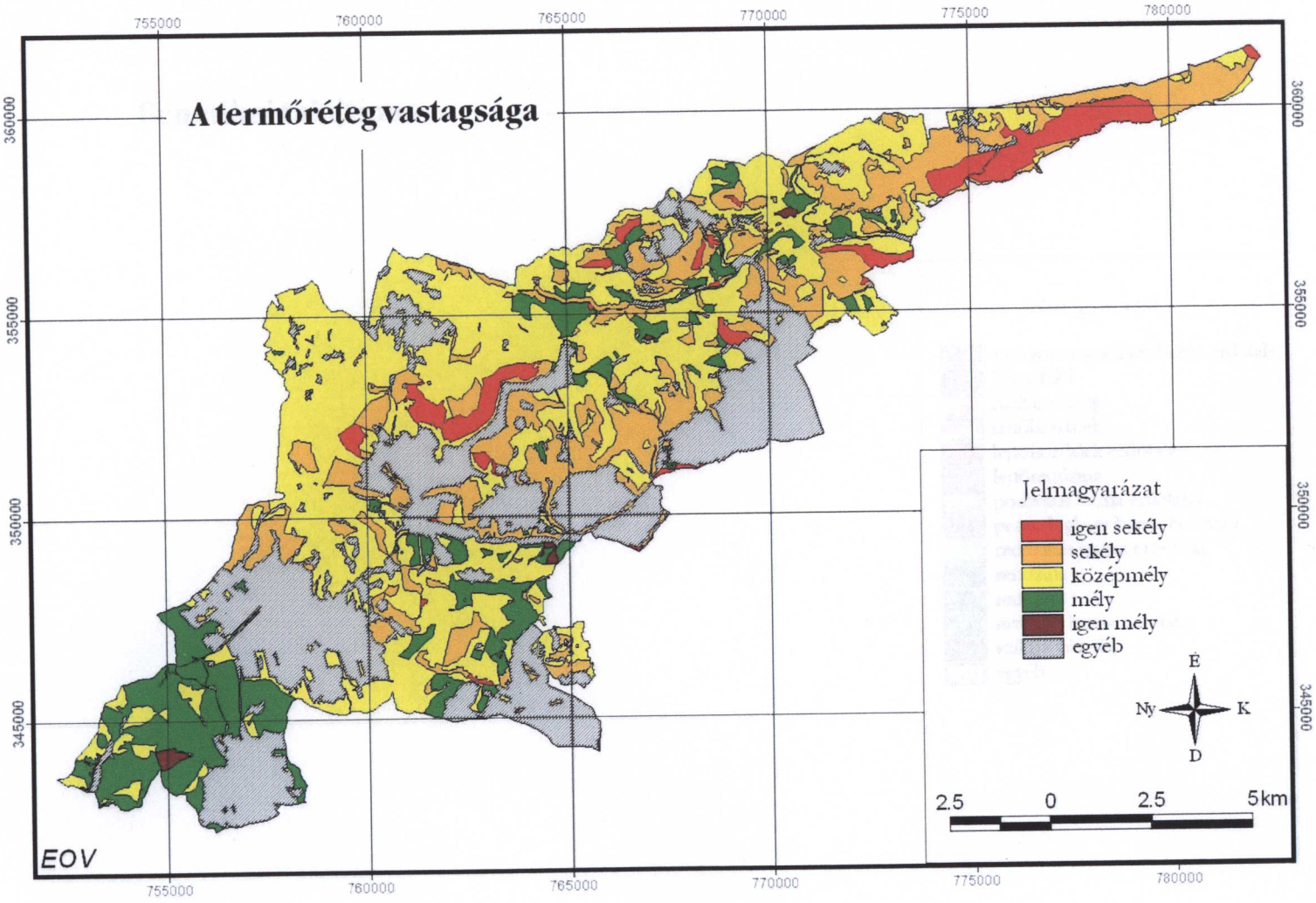
32. ábra


Lejtőkategória térkép
755000
760000
765000
770000
775000
780000
360000
355000
350000
345000
Jelmagyarázat
0°- 5°
5°- 25°
> 25°
É
Ny
K
D
2.5
0
2.5
5km
EOV

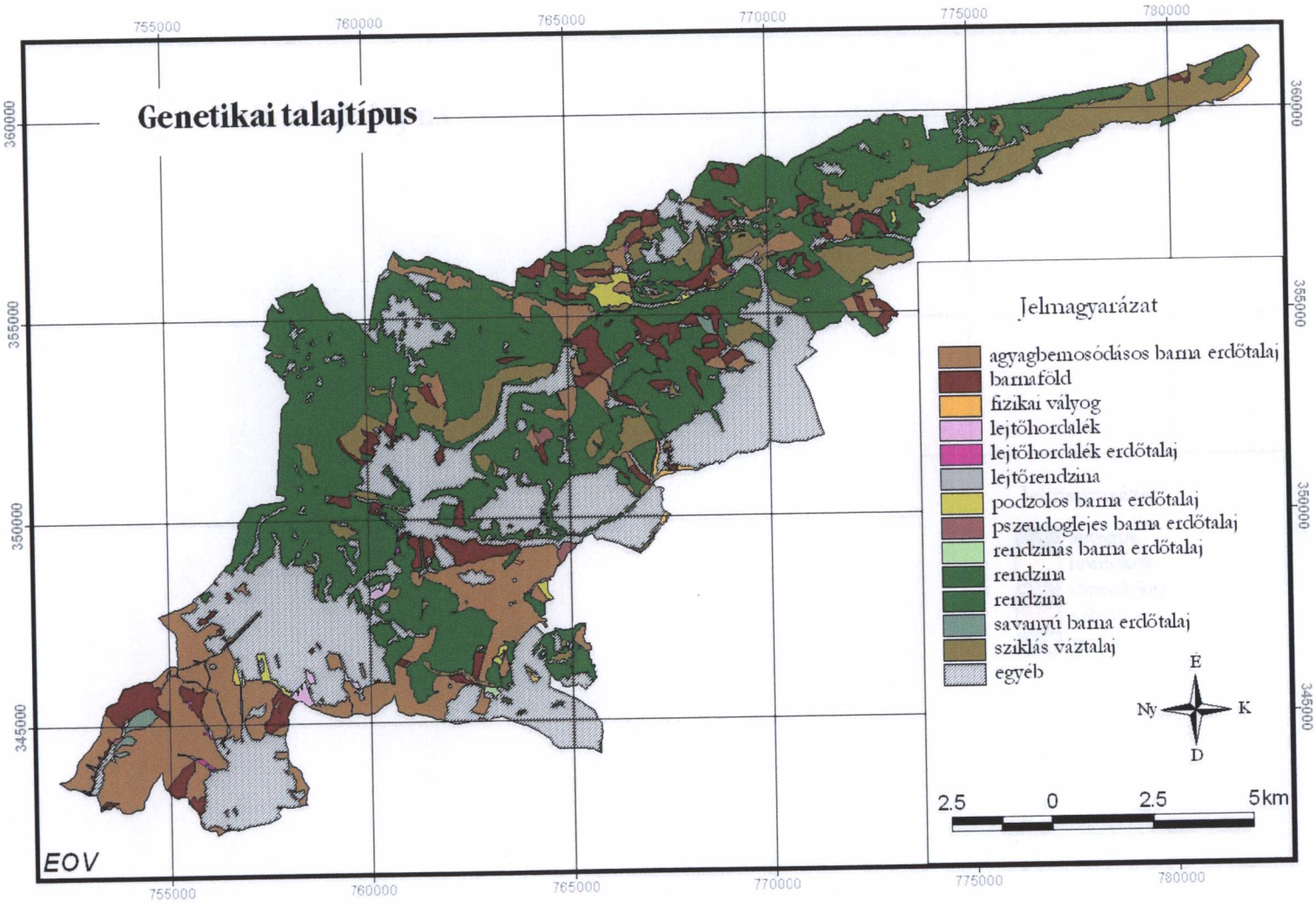
33. ábra


A lejtők kitettsége
755000
760000
765000
770000
775000
780000
360000
355000
350000
345000
Jelmagyarázat
észak
észak-kelet
kelet
dél-kelet
dél
dél-nyugat
nyugat
észak-nyugat
sík térszín
E
Ny
K
D
2.5
0
2.5
5km
EOV

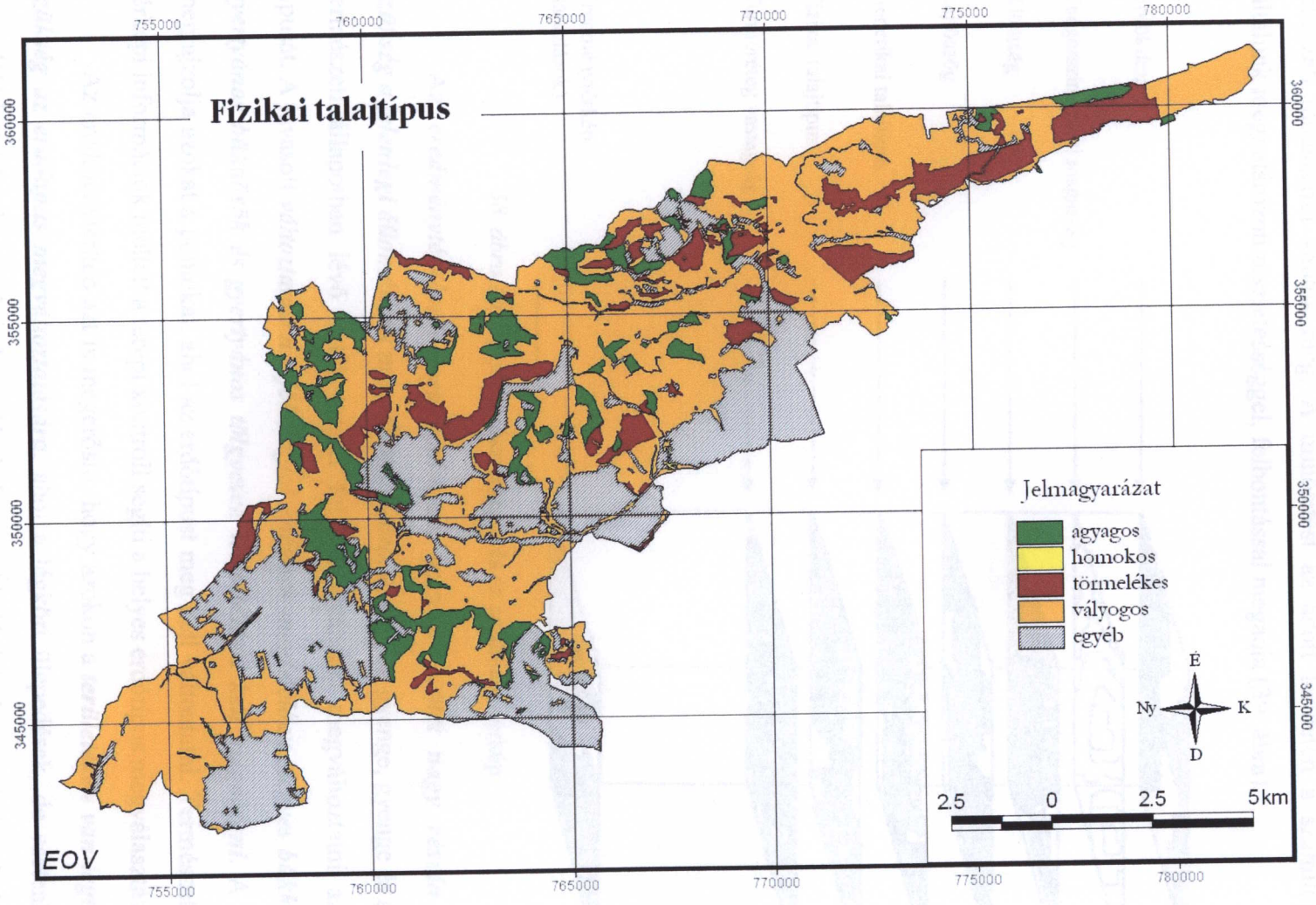
34. ábra


A termőréteg vastagsága
755000
760000
765000
770000
775000
780000
360000
355000
350000
345000
Jelmagyarázat
igen sekély
sekély
középmély
mély
igen mély
egyéb
É
Ny
K
D
2.5
0
2.5
5km
EOV

35. ábra

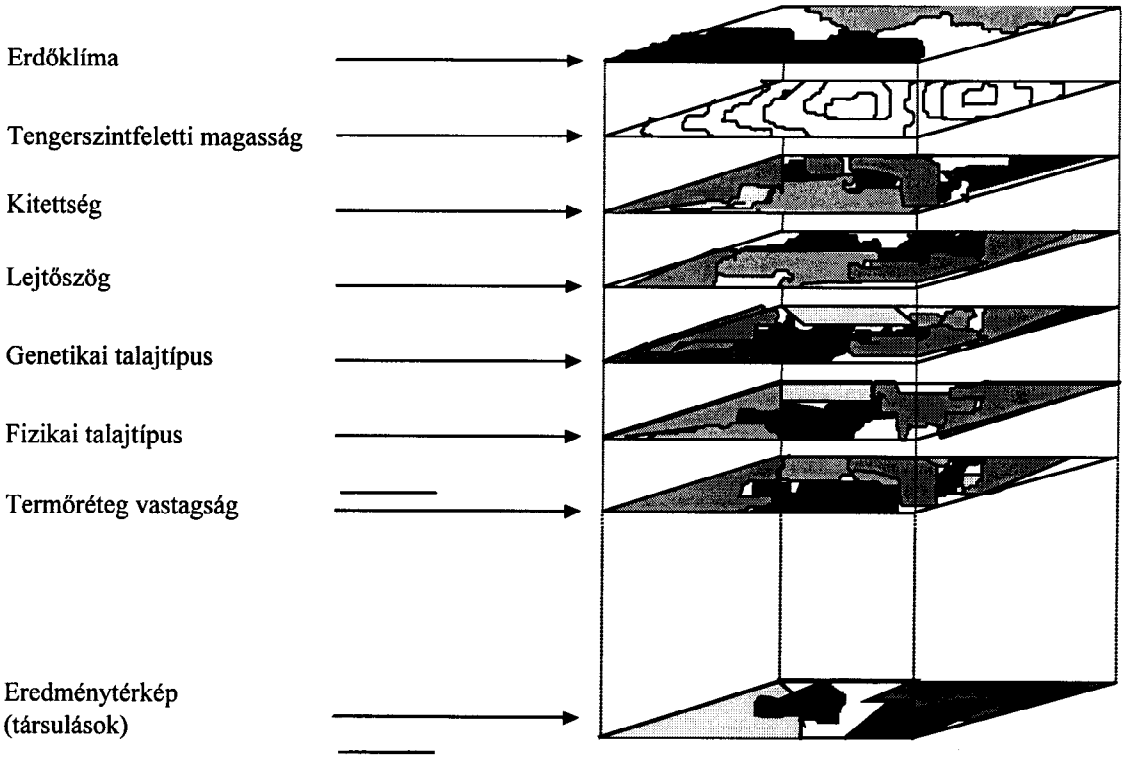

Genetikai talajtípus
755000
760000
765000
770000
775000
780000
360000
355000
350000
345000
Jelmagyarázat
agyagbemosódásos barna erdőtalaj
barnaföld
fizikai vályog
lejtőhordalék
lejtőhordalék erdőtalaj
lejtőrendzina
podzolos barna erdőtalaj
pszeudoglejes barna erdőtalaj
rendzinás barna erdőtalaj
rendzina
rendzina
savanyú barna erdőtalaj
sziklás váztalaj
egyéb
É
Ny
K
D
2.5
0
2.5
5km
EOV

36. ábra


Fizikai talajtípus
755000
760000
765000
770000
775000
780000
360000
355000
350000
345000
Jelmagyarázat
agyagos
homokos
törmelékes
vályogos
egyéb
É
Ny
K
D
2.5
0
2.5
5km
EOV

37. ábra

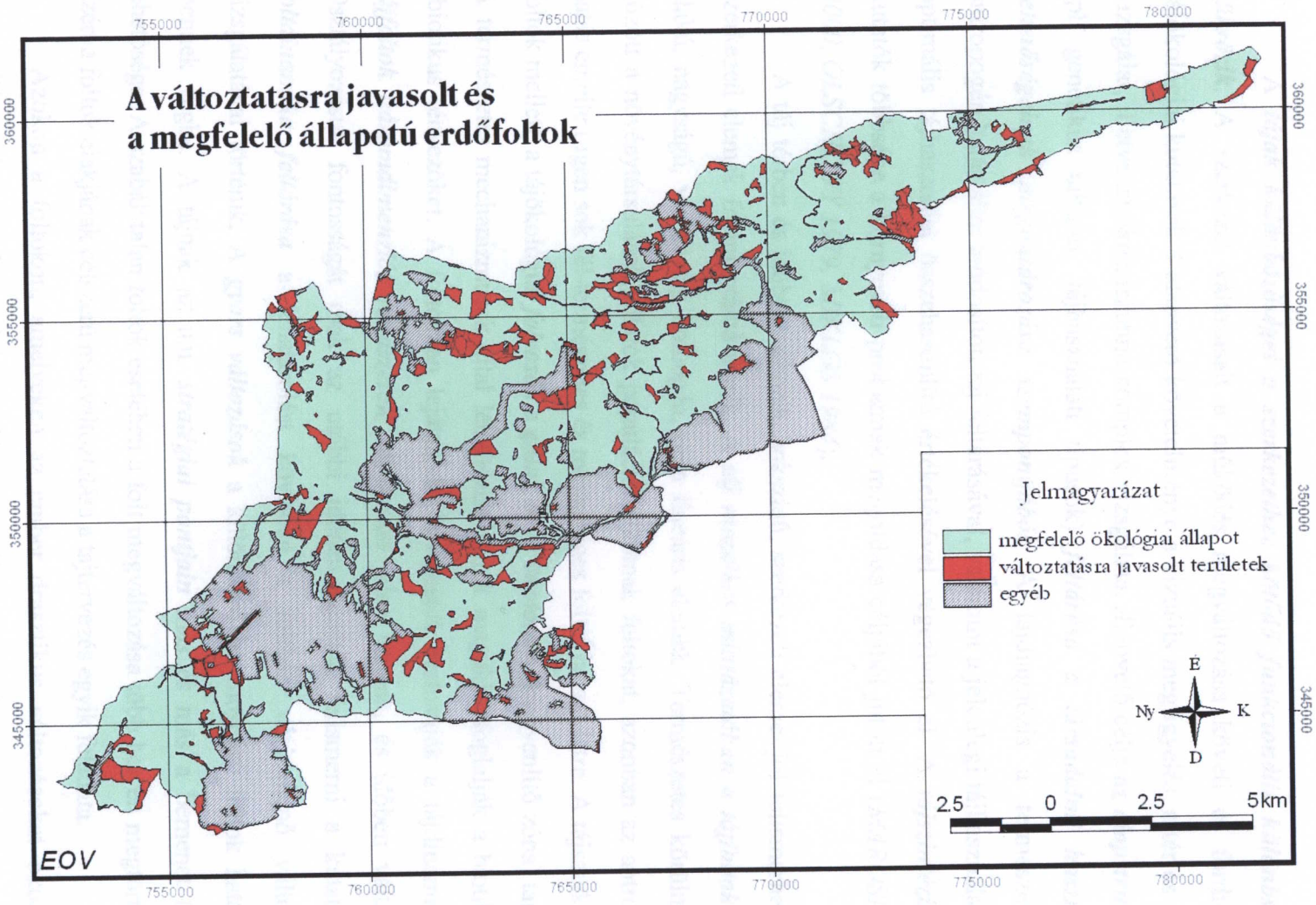
A ***tervjavaslatot*** térkép formában a térinformatikában átlapolásnak (OVERLAY) nevezett módszerrel kaptuk meg. A minősítést az adott területen a számítógép az általunk meghatározott részletességgel, felbontással megadja (39. ábra).



38. ábra Az átlapolás résztérképei és az eredmény térkép

Az ***eredménytérképről megállapítható***, hogy a ***terület nagy részén nincs szükség a jelenlegi állományok megváltoztatására.*** A nagyon gyenge, gyenge és átlagos természeti állapotban lévő erdők terület foltjain kívánatos megváltoztatni az erdő típusát. A javasolt ***változtatást a tájökológiai értéknek megfelelően elegyes bükkerdők, gyertyános bükkösök és gyertyános tölgyesek telepítésével kell megoldani.*** A térkép megrajzolja azokat a pontokat, ahol az erdőtípust meg kell változtatni. Természetesen a térképi információk mellett a terepi kontroll segíti a helyes erdőtípus megválasztását.

Az eredménytérkép azt is megerősíti, hogy azokon a ***területeken van leginkább szükség az erdőtípus megváltoztatására***, ahol a légköri ülepedések, de esetenként a degradálódott talajviszonyok is hozzájárultak a geoökológiai viszonyok átalakulásához (ezt a feltevést jövőben légköri aeroszol vizsgálatokkal kívánjuk alátámasztani).


A változtatásra javasolt és
a megfelelő állapotú erdőfoltok
755000
760000
765000
770000
775000
780000
360000
355000
350000
345000
Jelmagyarázat
megfelelő ökológiai állapot
változtatásra javasolt területek
egyéb
É
Ny
K
D
2.5
0
2.5
5km
EOV

39. ábra

7. A tájszerkezet fő vonásai a karsztokon

A ***tájak különbözőségei a szerkezethez kötődő funkcionális különbségeket tükrözik.*** A szerkezet változásait a működés megváltozása követi és fordítva. A tájökológiai kutatások 3 alapvető követelménye a vizuális megfigyelés, a tér és időbeli vizsgálat, illetve az ökoszisztéma komplex vizsgálata. Alapvető célja ***az alapstruktúrák*** (pl. genetikus tájtípus, tájhasználati típusok) ***feltárása a társadalmi hasznosítás lehetőségeinek meghatározása szempontjából.*** A tájdiagnózis a természetes és antropogén hatás által módosított táj feltárásával, valamint a jelenlegi tájhasználat és az optimális tájhasználat összehasonlító értékelésével végezhető el. A ***tájszintézishez*** a kutatók többsége a környezeti problémák megoldása céljából jutott el (*MAROSI 1981, 2000, OLSCHOWY 1979, MIKLÓS 1984*).

A táj térben és időben változik, sokszínű, szerkezeti elemei jól felismerhetők. A szerkezeti elemek fragmentálttá teszik. A ***táj mozaikos mintázatában a tájfoltok*** eltérő alakú, nagyságú, viszonylag homogén, nem lineáris elemek. Természetes körülmények között a növénytársulások, állatok populációi alkotnak foltokat, azonban az antropogén hatás emellett igen sok fél-természetes és mesterséges foltot hozott létre. A tájszerkezet, a foltok mellett, a tájökológiai ***folyosók*** a ***gátak*** és az ***ökotonok*** (kiegyenlítő zóna) tagolják. A természetes mechanizmusok által létrehozott foltok magukba foglalják a biotikus és abiotikus tényezőket. A foltokban lejátszódó folyamatok biztosítják a tájdinamikát. *A* ***tájfoltok háromdimenziós rendszerek,*** mindenütt jelen vannak, és időben változnak. Osztályozásuk fontosságát csak az utóbbi időben kezdték felismerni a kutatók. *A* ***foltdinamika feltárása*** a lehatárolást követően a foltban végbemenő változások vizsgálatával történik. A ***gyors változások*** a különböző hasznosítású foltok határainál mennek végbe. A tájnak az u.n. ***stratégiai pontjain*** más és más a bemenet (input) lehetősége. A szabálytalan foltok esetében a folt megváltozása több helyen megtörténhet. Ezért a foltok alakjának célszerű megváltoztatása a tájtervezés egyik feladata.

Azokon a foltokon, amelyeken az ember drasztikus változásokat okozott a hasznosítás során, a szukcesszióban is lényeges változás következik be. A ***szukcesszió változás*** (tájdinamikai változás) bármilyen folttípust kialakíthat. Az optimális foltosság kialakítása a tájtervezés fontos feladata. Az optimális foltdinamika kialakítása elősegíti ***a természetes erőforrások megfelelő kezelését, a fenntartható hasznosítást, a***

megőrzést és visszaállítást (*WHITE, 1994*). A mozaikokban a foltok viszonylagosak, megszűnhetnek, és újak jöhetnek létre.

A ***tájszerkezetet a karsztokon a növényzet és a talajfoltok alapján vizsgáljuk.*** A Bükk-hegység Nagy-fennsíki ***növényzetének*** és ***talajainak mintázata*** (40. és 41. ábra) szembetűnő. A bükkösök mellett (ez a természetes társulás) nagyszámban találunk fenyőerdő-, illetve bükkelegyes fenyőerdő-, gyertyános-, mészkerülő-, és karsztbokor erdő foltokat. Ezek a társulások a sziklagyepek és kaszálórétek mellett igen változatos ökológiai viszonyokat tükröznek. A korábbi hasznosítás (erdőkitermelés, legeltetés stb.) hozta létre ezeket a ***tájfoltok***at. A talajok a növényzet változatosságának megfelelően szintén ***nagy változatosságban*** jelennek meg. Legnagyobb kiterjedésben rendzina talajokat találunk itt, de a fenyvesek alatt savanyú barna-, és podzolos barna erdőtalajok is gyakoriak, ami a talajdinamika megváltozásának az eredménye. ***Degradációs foltok***nak tekinthetők a ***fenyőerdő foltok és fenyő csemetekertek***, ***optimális*** állapotot képviselnek a ***bükkerdő foltok***, s ***iniciális*** foltnak tekinthetők a ***füves területek*** foltjai.

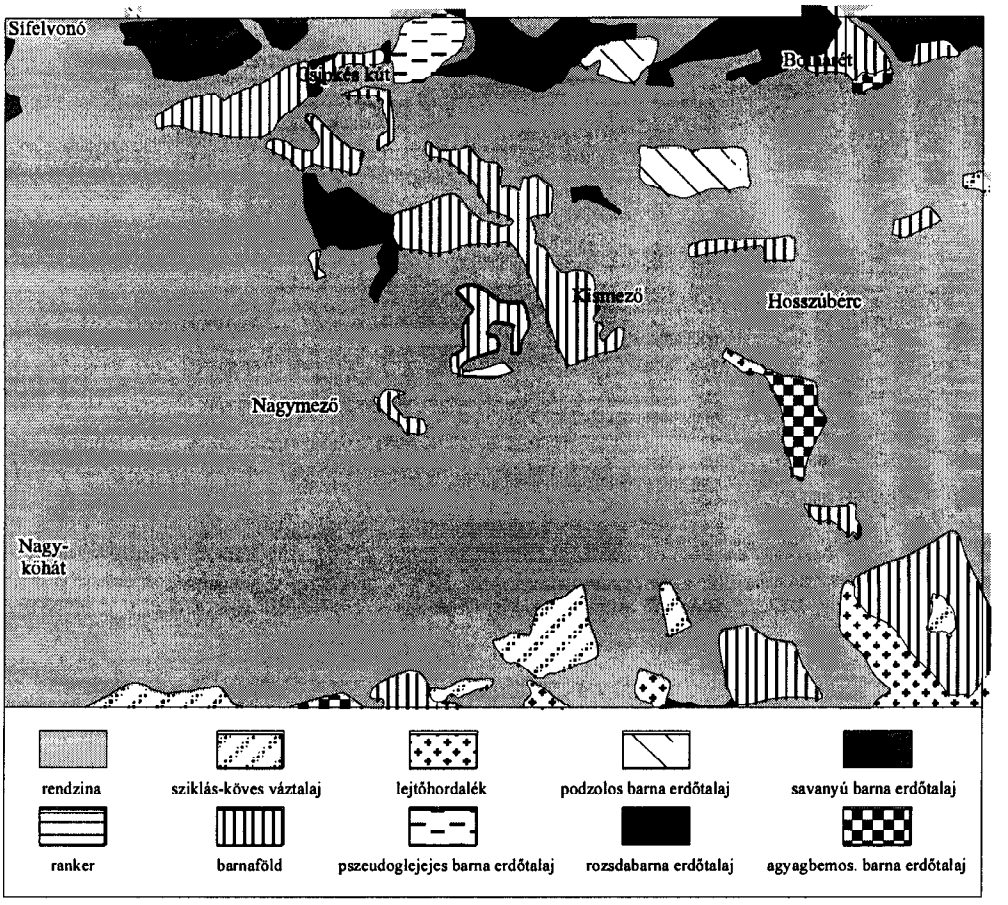
Az Aggteleki Karszton egy 8 km^2-es térkép kivágaton vizsgáltuk meg a ***növényzet*** által kialakított ***foltokat*** (42. ábra). A mintaterület a Nemzeti Park „C" zónájában található, tehát erős antropogén hatás alatt áll. Itt van legeltetés, ezt a területet látogatják a túristák, ezen a területen érintkezik a nyílt-karsztos terület a fedett karszttal. Ezzel magyarázható a táj mozaikossága.

A ***kitettség*** is differenciálja a növényzetet. A ***lejtőkategóriák*** vonatkozásában is változatos a terület, az északi rész 15%-nál nagyobb lejtésű, csupán a délkeleti (mezőgazdasági művelés alatt álló) foltokon kicsi a lejtése a területnek.

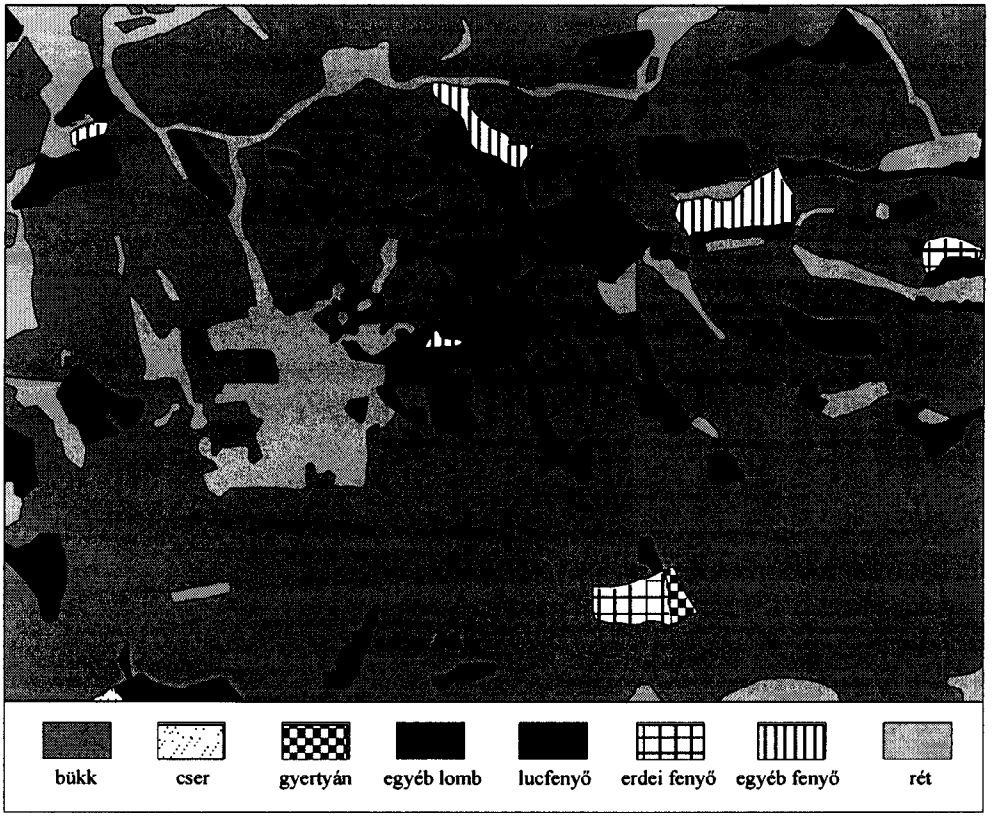
A szárazságkedvelő fajok a déli kitettségben, a nedvesebb miliőt igénylő fajok az északi kitettségben találhatók. A kitettség differenciálja az erdő típusát is. A déli kitettségben a melegkedvelő tölgyesek és karsztbokor erdők telepedtek meg.

A talaj és növényzet mellett a különböző kitettségek hőmérsékleti viszonyai, illetve a dolinák mikrotérségeiben a hideglégtavak kialakulása tovább differenciálják a tájszerkezetet.

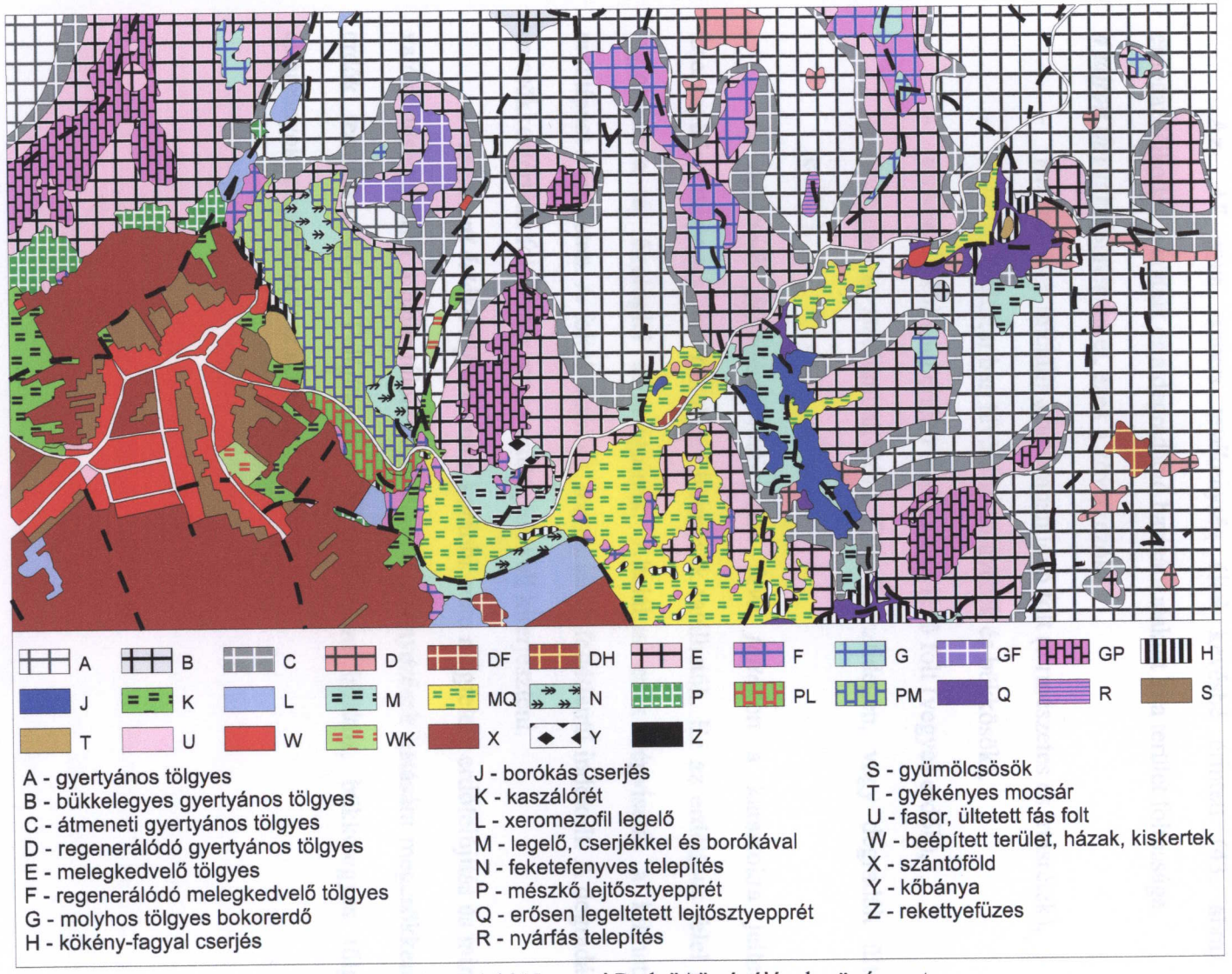
A fenti változatosság indokolja egy tájrészlet alaposabb elemzését.



40. ábra A Bükk-fennsík talajai



41. ábra A Bükk-fennsík növényzete



42. ábra Az Aggteleki Nemzeti Park "A" zónájának növényzete

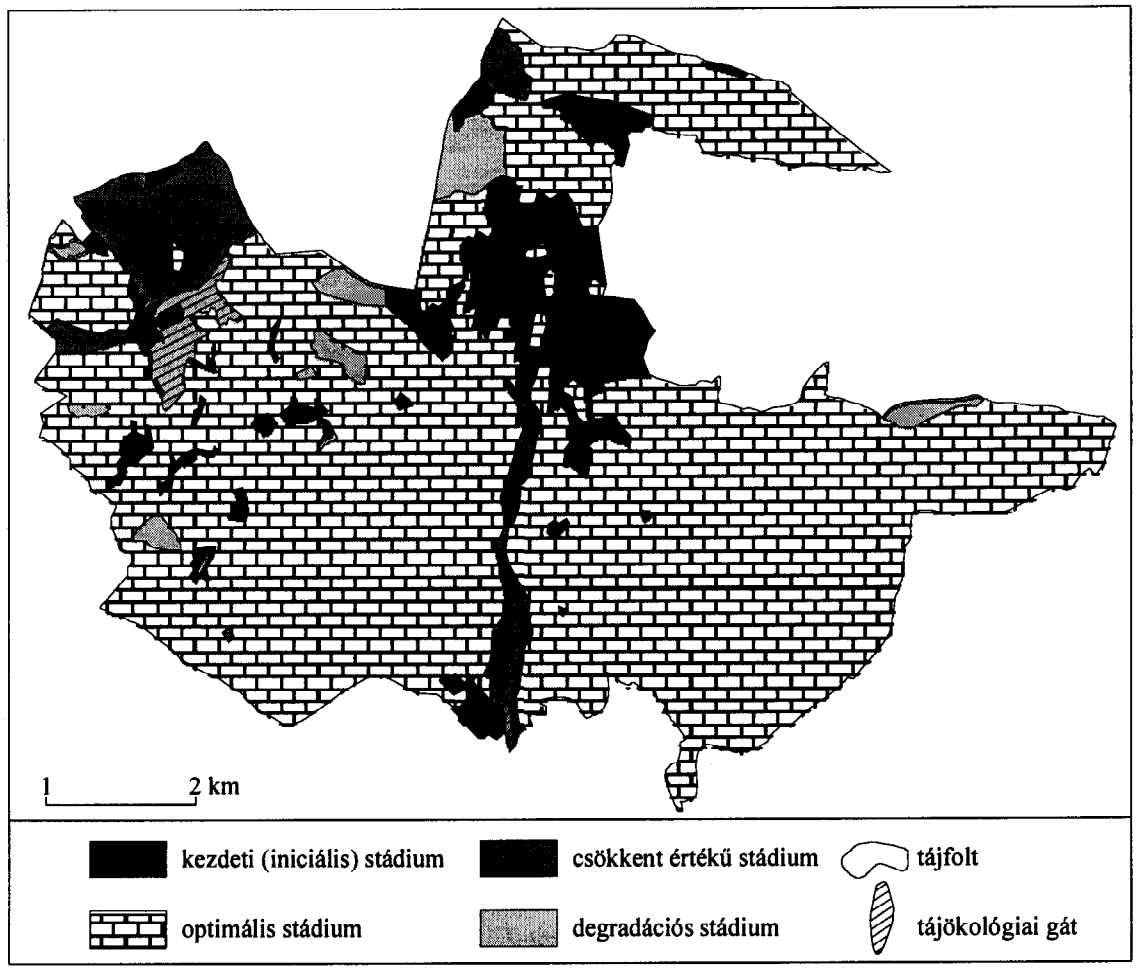
Az „A" zóna emberi tevékenység által kevésbé érintett (43. ábra). Az erdőgazdálkodás, a talajok és a degradáció hatására alakult ki a terület foltossága.

4 tájfolt típust különítettem el, ezek a következők:

- kezdeti vagy iniciális stádiumban lévő folt (természetes és irtásrétek),
- optimális stádiumban lévő folt (tölgyesek és bükkösök),
- csökkent ökológiai értékű stádiumban lévő folt (vegyes erdők),
- degradációs stádiumban lévő folt (karsztidegen, vagy degradált ültetett erdők).

*Az **optimális fejlődési stádiumban lévő foltok***on a karsztokra jellemző kocsánytalan tölgyesek, kis foltokban bükkösök találhatók. Ez az erdőtípus felel meg legjobban a táj ökológiai adottságainak. Általában ezek képviselik a klimatikus erdőtípust a területen. A foltok stabilak, fenntartásuk feltétlenül indokolt. A degradációs és csökkentértékű foltokra is ezt az erdőtípust kell kiterjeszteni.

A ***csökkent értékű tájfoltok***on a korábbi, nem megfelelő erdőfelújítás és minden valószínűség szerint a határ túloldaláról érkező szennyezések hatására megcsökkent az erdők természetessége. Felújításakor mindenképpen bükkös, bükkelegyes tölgyes állományok telepítésére lesz szükség.



43. ábra Az Aggteleki Nemzeti park szigorúan védett "A" zónájának tájfoltjai ökológiai állapotuk szerint

Degradációs tájfoltot ott találtunk nagyobb kiterjedésben, ahol a tengerszintfeletti magasságnak, vagy a kitettségnek nem megfelelő erdőket telepítettek. Ezeken a helyeken van leginkább szükség az erdő rehabilitációra. Általában ezek az erdők (közöttük különböző nagyságú fenyves foltok) stabilak, de a talaj és a többi erdő állapotának megtartása szempontjából kedvezőtlenek. Hasonlóképpen helytelen volt a bükk telepítése olyan tengerszintfeletti magasságban (500 m körül) ahol hazánkban nincs meg a megfelelő feltétel ezek fejlődésére. Egy másik foltban cseres tölgyes van ott, ahol mészkedvelő fajok számára kedvezőek az adottságok.

A ***tájmintázat***ban itt kisebb szerep jut a tájökológiai folyosóknak, mivel kevesebb itt a kőzet tulajdonságok miatt a lineáris táj elem. Sokkal inkább ***tájökológiai gátak***ként (barrierek) működik néhány olyan folt, ahol a talaj genetikai típusa (barnaföld

és agyagbemosódásos barna erdőtalaj) és a domborzati sajátosság járul hozzá a degradációs állapot kialakulásához.

8. Kitekintés

Az IUCN 1992-ben a mezőgazdaság és a környezet kapcsolatának elemzésekor javaslatot tett a Környezetileg Érzékeny Területek kijelölésére. Ezek között a területek között előkelő helyet foglalnak el a karsztok (*FODOR 2001).* Az 1996-ban elfogadott ***Természetvédelmi Törvény*** kimondja, hogy ***védett a karsztokon minden forrás, amely legalább 5 l/perc vízhozamú, védettek a víznyelők, a barlangok, a karsztok endemikus növény és állatfajai, illetve azok biotópjai.*** A karsztokon tehát kerülni kell az olyan beavatkozásokat, amelyek a természetes ökológiai állapotot megváltoztatják. Ha figyelembe vesszük, hogy a karsztok egy részén mezőgazdasági művelés folyik, indokolt karsztok jelenlegi ökológiai állapotának elemző feltárása, mert fenntartható fejlődésük és kezelésük csak a rendszer működésének ismeretében, szakmailag megalapozottan valósulhat meg. Annak ellenére, hogy az érzékenynek minősülő karsztos tájak hasznosítása hazánkban sokféle korlátozás alatt áll, mégis felismerhetőek olyan egyensúlymegbomlások, amelyeket a természetvédelemnek messzemenően számításba kell venni a jövőben.

*A **védelem*** a törvényben megfogalmazottak értelmében általában egy-egy szféra védelmét jelenti, s ***nem terjed ki a különböző szférák kölcsönhatásában kialakuló új állapot védelmi kérdéseire.*** Kutatási eredményeim alapján meggyőződésem, hogy ***a környezet-érzékeny karsztos területek természetvédelmi szempontú értékelésénél a védelem számára a legfontosabb információt a klíma – talaj - növényzet kapcsolatában kialakult ökológiai állapotváltozások szolgáltatják.*** Bár ez nagy vonásokban benne foglaltatik a területrendezési tervekben, azonban az előbbiek hatására ***a tájszerkezetben felismerhető sokféleség nem képezi a részletes értékelés tárgyát.***

A karsztos nemzeti parkok példáján jól tanulmányozható az a sokirányú hatáskapcsolatot, amely az egyébként homogénnek tűnő karsztos táj finomabb mintázatán érvényesül. *Az **egyensúlymegbomlások hatnak a karsztok ökológiai állapotára, ezért azok feltárása a legfontosabb feladat.*** Ennek megfelelően:

- ***a karsztos területeken*** folyamatosan vizsgálni kell az ***állapotváltozások***at, s fel kell tárni a különböző talaj, növényzeti és klímatikus adottságú területek ***táj-dinamikájának változásait,***

- ***fel kell térképezni*** azokat a természetközeli ***tájszerkezeti egységeket,*** amelyek a tájmegőrzés legfontosabb elemei, s meg kell határozni a foltok közötti kapcsolatok fenntartásának mikéntjét,

- különös gonddal fel kell tárni az ***átmeneti zónák*** szerepét a természetközeli és antropogén hatásokkal módosított tájfoltok között, meg kell jelölni azokat a tevékenységeket, amelyek a legkisebb zavarással teszik lehetővé a tájhasználatot,

- a kutatásnak a környezetérzékeny karsztok esetén az ***erózió, a savas ülepedések***, a ***szennyeződési veszélyek*** mellett ki kell térnie a ***globális problémák***kal együtt járó ***szárazodás*** hatásaira, mivel az már ma is jelentős változásokat okoz a karsztok dinamikájában.

9. Tudományos eredmények

A karsztok olyan környezetérzékeny nyílt rendszerek, amelyek közvetítik a külső hatásokat a felszínalatti folyamatok felé. Az alapkőzet vízvezető tulajdonsága lehetővé teszi, a gyors anyag és energiaáramlást. Nem megfelelő kezelés esetén mind a felszíni, mind a felszínalatti folyamatokban olyan egyensúlymegbomlások következhetnek be, amelyek visszafordíthatatlanok. Tudományos ***eredményeim a karsztrendszer szerkezetét és működési sajátosságait tárták fel abból a célból, hogy a rendszerben az emberi tevékenységre bekövetkezett kedvezőtlen változások kezelésére javaslatot tehessek.***

1. Az ***emberi tevékenység*** hatására bekövetkezett tájváltozások ***a karsztos mikroklímában, talajban, növényzetben, a karsztvíz minőségének változásában***, a ***karsztvízszint süllyedésében*** és a ***tájesztétikai érték csökkenésé***ben nyilvánultak meg. Az erdőirtások nyomán fellépő ***talajerózió a biogén hatás, s ezzel együtt az oldás intenzitásának csökkenésével járt.*** A ***szennyeződések*** a ***talajsavanyodás*** újszerű jelenségéhez vezettek, ami a ***nehézfémek mobilizációjának lehetőségé***t teremtette meg. A ***növényzet összetételének változása*** az ***erdőtípus megváltozásában, a sziklagyepek***

degradációjában, a karsztos depressziók növényzetének deformációjában nyilvánul meg. ***Karsztvizek minőség változása, a cseppkő degradáció***, de a ***karsztos tavak eutrofizációja*** is az antropogén hatásra következett be, s a ***bányászat is*** kialakította a ***karsztok sebhelyeit***. A fenti karsztos tájváltozások teszik szükségessé a karsztok rendszerszemléletű vizsgálatát.

2. ***A karsztökológiai rendszer*** *(BÁRÁNY-KEVEI 1998)* ***egy olyan struktúrális és dinamikus rendszer, amelyben az abiogén elemek a kőzet, a víz, a talaj, a mikro- és makroklíma, biogén elemek a mikro- és makro-flóra, valamint az ember. A rendszer működését az abiogén és biogén tényezők kölcsönhatása, illetve a kölcsönhatás során keletkezett anyag és energia forgalom biztosítja, szerkezetét az elemek vertikális és horizontális elrendeződése szabja meg. Specifikuma sérülékenysége, a folyamatok gyors lefutása, valamint a háromdimenziós hatásfelülete***. A rendszerben az ***egyes tényezők megváltozása az egész rendszerre hat.*** A változások nagyságrendjét a klíma – talaj - növényzet rendszer kölcsönhatása jelentős mértékben befolyásolja.

3. A ***klíma hatás***a a karsztok fejlődésében az oldó víz és megfelelő hőmérsékletet biztosítása mellett, ***a kistérségek sajátos mikroklímáján keresztül*** válik dominánssá. A nyílt karsztokon ***szélsőséges a lég- és talajhőmérséklet járás***, s kiegyenlítettebb az erdővel borított területeken. ***A sziklagyepeken és az erdőkben a léghőmérséklet maximum értékei közötti különbség a tengerszintfeletti magassággal nő, a minimumok eltérései viszont csökkennek. A nyílt füves területeken a levegő hőmérséklete nappal magasabb, éjszaka alacsonyabb, mint az erdőben***. A ***tengerszintfeletti magassággal a talajhőmérséklet napi amplitúdói erősebben csökkennek, mint a léghőmérsékleti amplitúdók*** A karsztok egészére vonatkozóan megállapítható, hogy a növényzet nélküli, vagy csak füves társulások borította felszíneken szélsőséges a mikroklíma, ami akadályozza a beerdősülést.

2. Karsztokon legjellegzetesebb a karsztok monitoring pontjainak, a ***dolináknak a mikroklímája.*** A depresszió zártságából adódó sajátos mikroklíma viszonyok mellett ***érvényesül a kitettség módosító hatása. A tengerszintfeletti magasság növekedésével a dolinák mikroklíma jellemzői is karakterisztikusabbá válnak.*** A talajhőmérsékleti

amplitudók nagysága ***kis távolságon belül jelentősen eltér.*** Az ***északi és déli lejtőn a kitettségéből adódóan*** a ***léghőmérséklet 4-5 fokkal magasabb a felmelegedési szakaszban.*** A keleti és nyugati kitettségekben időben tér el a lejtők hőmérséklet járása. A ***keletre néző lejtőkön reggel 8-9 óra között áll be a maximum, a nyugatra néző lejtőn viszont csak délután 2-3 óra között.*** Ez a hőmérsékletjárás ***a dolinák talajökológiai és növényökológiai folyamataira van*** jelentős ***hatással. Függvényében*** változnak a ***növények fejlődésének ökológiai feltételei.*** A ***mikrobiális aktivitás***ra is jelentős hatással van a ***hőmérséklet,*** illetve az annak függvényében változó ***talajnedvesség*** alakulása.

3. A ***karszttalajok a karszökológiai rendszer indikátorai.*** A ***talaj tulajdonság változása jelzi a környezeti hatásokat.*** A ***fizikai összetétel a szűrőképességre van hatással.*** A vizsgált területeken a ***talajok többsége finomabb frakcióból áll,*** amely ***elősegíti a szennyező anyagok megkötését.*** A ***talajok kémhatása*** és a ***szerves-anyag tartalom*** is fontos szerepet játszik az ionos megkötésben, így a ***környezeti hatások pufferelésében.*** A ***talajok kémhatása gyengén savanyú,*** esetenként ***savanyú*** és ***semleges.*** A ***savanyodási tendenciát az idő változásával kimutattuk.*** A kémhatás ***égtájak szerinti differenciálódása is bebizonyosodott a dolinavizsgálatok alapján.*** A ***savanyodási tendencia az 1980-as évek eleje óta nőtt, ami a jövőbeli karsztfejlődés szempontjából kedvezőtlen folyamat.***

5. A ***talajkolloidok felületén adszorbeált kationok mennyisége jelzi a kimosódás nagyságrendjét és a talaj tápanyag ellátottságát. A*** Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} ***és*** Na^{+} ***ionok mennyisége a kimosódás ütemében csökken a talaj mélységgel.*** A ***kalcium mennyiségében 4-5-szörös eltérés van az égtájak szerint.*** Az adszorbeált és a víz-oldható ***ionok mennyisége általában a D-i és a Ny-i lejtőn nagyobb, ami azt bizonyítja, hogy itt mérsékeltebb a kilúgozódás.*** Az ***ionos ellátottság fenti változása a rendszer egészére*** (korrózió intenzitás, asszimetrikus formafejlődés, növényi tápanyagfelvétel stb.) ***hat.***

6. A talajok ***határérték körül tartalmaznak nehézfémeket, közülük a Ni és a Cd-tartalom haladja meg a megengedett értéket. Határérték alatti a Pb-tartalom, az előző***

évekhez viszonyítva azonban nőtt. A *Zn, Cd, Pb és Cr többnyire a talajok felszíni rétegében található* nagyobb mennyiségben, a *Ni és Co a mélyebb rétegekben* vesz fel magasabb értékeket. Jelenleg a *nehézfém szennyezés még nem érte el a határértéket csak néhány elemnél, a növekvő tendencia* környezetvédelmi szempontú figyelembevétele azonban igen fontos.

7. Az *aerob körülmények között tesztelt mikrobatömeg a talajban szemi-anaerob viszonyok között, erjedés útján nyer energiát és magyarázhatjuk vele a nagymennyiségű $C0_2$ termelődését a talajban.* A *mikrobák által termelt széndioxid mennyisége tehát valódi értelemben vett ökológiai nagyság.* A *baktériumszám a felszín közeli talajrétegben a hőmérséklettel,* a *mélyebb talajrétegben a nedvességgel mutat szignifikáns kapcsolatot. Megállapítható azonban, hogy a karszttalajok általában nem kedveznek a mikrobiális tevékenységnek, mivel szélsőséges a hőmérséklet- és vízgazdálkodásuk.*

8. *A karsztos növényzet, hasonlóan a talajhoz, hamar jelzi a változásokat.* A *karsztok hasznosítás*ának leggyakoribb hazai formája *az erdőgazdálkodás*. Az erdőgazdálkodás a gyakran tájidegen fafajokból kialakított egykorú, fatermelési állományokat korábban *tarvágás*sal letermelte. Az *irtás után megváltoztak az ökológiai viszonyok, megnőtt az irtott felszín hőmérséklete*, a többletsugárzás *fénysokkot okozott*, csökkent a *párologtatás,* nőtt a talaj nedvességtartalma. *Felgyorsult a szerves anyagok lebomlása*, CO_2-tartalom megnőtt a talajlevegőben, *megindult a talaj savanyodása*. A termőréteg egy része az erózió áldozatául esett, a *puffer-hatás csökkenése* miatt *másodlagos savanyodás* indult meg.

9. *Az erdőkben napjainkra csökkent a faji diverzitás,* az *erdők bolygatottak. Bolygatottak az őshonos tölgyesek* főként *molyhos tölggyel és húsos sommal.* Nagyobb tengerszintfeletti magasságban a *sajmeggyes tölgyes állományokban* a *molyhos tölgy* dominál, *névadó faja hiányzik. A kocsánytalan és cseres tölgyesben* magas a *fűfélék borítási százaléka* (vesresnadrág csenkesz, erdei szálkaperje). A *cserjések többsége degradált.* Alacsony *cserjés*t alkot a *kökény*, néhány fa megjelenik, s ez a *visszaerdősülés kezdeti stádiumát jelzi*. Az *egybibés galagonya és a húsos som sűrű*

állománya a nitrogénben gazdagabb területeken ***akadályozza más fajok megtelepedését. Zsákutcás fejlődési irány az előbbi mellett a borókások terjedése és az erózió hatására kialakult sziklagyepek területének növekedése is.***

10. ***Degradálódott a dolinák növényzete.*** A korábban erdősült ***dolinák újra-erdősülése lassan, vagy egyáltalán nem zajlott le.*** A ***természetvédelmi érték*** szerinti eloszlás vizsgálat szerint a ***gyomok és a zavarástűrő fajok az összes fajszám több, mint felét teszik ki***, ami a gyepek zavartságát jelzi. Az erdőirtás után kialakult ***szélsőséges mikroklíma*** akadályozza a visszaerdősülést.

11. Az ***erdőgazdasági hasznosítás*** biztosíthatja a karsztok természetközeli állapotának megőrzését. A ***degradációs erdőfoltok*** ott találhatók, ahol a tengerszintfeletti magasságnak, vagy a kitettségnek nem megfelelő erdőket telepítettek. Ezeken a foltokon az erdők (közöttük különböző nagyságú fenyves foltok) stabilak, de a talaj és az őshonos erdők állapotának megtartása szempontjából kedvezőtlenek. ***A karsztökológiai rendszer részletes vizsgálata és az Aggteleki Nemzeti Park erdőterületeinek termőhelyi értékelés alapján elvégzett ökológiai vizsgálata bizonyította***, hogy a jelenlegi ***erdők egy része nem felel meg a karsztos táj ökológiai viszonyainak.*** Térképen megjelenítettük azokat az erdőfoltokat, ahol javasoljuk az erdőtípus megváltoztatását. A ***felújítást a tájökológiai értéknek megfelelően elegyes bükkerdők, gyertyános bükkösök és gyertyános tölgyesek telepítésével kell megoldani.*** A ***cseres tölgyeseket is le kell cserélni ott, ahol a mészkedvelő fajok termőhelyei vannak.***

12. A ***tájszerkezet természetes gazdálkodás által kialakított mozaikosságát, illetve a korábbi erdőgazdálkodás egyöntetűségét helyenként felváltotta az ember számára fontosabb mezőgazdasági hasznosítás.*** A mai tájszerkezetet a domborzati adottságok, a talajok genetikai típusa, a klímajellemzők és az erdőtársulások természetességi állapota alapján rajzoltam meg ***választott mintaterületen*** (az Aggteleki Nemzeti Park „A" zónája), majd a tájfoltokat a tájhasználati szukcesszió sorba illesztettem. ***4 fő tájfolt típus***t különítettem el, ezek a ***kezdeti vagy iniciális stádiumban lévő*** folt (természetes és irtásrétek), ***optimális stádiumban lévő*** folt (tölgyesek és bükkösök), ***csökkent ökológiai értékű stádiumban lévő*** folt (vegyes erdők), ***degradációs stádiumban lévő*** folt

(karsztidegen, vagy degradált ültetett erdők). ***Az optimális fejlődési stádiumban lévő foltok***on a karsztokra jellemző kocsánytalan tölgyesek, kis foltokban bükkösök találhatók. Ez az erdőtípus felel meg legjobban a táj ökológiai adottságainak, s általában ezek képviselik a klimatikus erdőtípust a területen. A foltok stabilak, fenntartásuk feltétlenül indokolt. A **tájmintázat**ban ***tájökológiai gátak*** ott, találhatók, ahol a talaj genetikai típusa (barnaföld és agyagbemosódásos barna erdőtalaj) és a domborzati sajátosság eltér a karsztra jellemző **típustól.**

13. A ***környezetérzékeny karsztos területek természetvédelmi szempontú értékelésénél a védelem számára a legfontosabb információt a klíma – talaj - növényzet kapcsolatában kialakult ökológiai állapotváltozások szolgáltatják.*** A tényezők részletes értékelése mindig megkívánta a karsztökológiai rendszer más elemeinek értékelését is. A ***működésben azonban elsősorban ennek a három, szférának a kölcsönhatása dominál,*** ezek határozzák meg a további folyamatokat. A ***tájtervezésnek és tájmenedzsmentnek ezt a hatás mechanizmust*** a jövőben minden esetben ***figyelembe kell vennie.***

FELHASZNÁLT IRODALOM

BABOS I.-HORVÁTHNÉ PROSZT S.- JÁRÓ Z.-KIRÁLY L.-SZODTFRIDT I.-TÓTH B. 1966: Erdészeti termőhelyfeltárás és térképezés. - *Akadémiai Kiadó*, Budapest, p.275.

BAKER, A. J. M. 1981: Accumulators and Excluders – Strategies in the Response of Plants to Heavy Metals. - *Journal of Plant Nutrition*, 3(1-4). pp. 643-654.

BARTHA D.-SZMORAD F.-TIMÁR G 1998.: A magyarországi erdők természetességének erdőrészlet szintű értékelési lehetősége. - *Erdészeti Lapok*, CXXXIII. évfolyam 3.szám).

BÁRÁNY, I. 1976: Die Rolle des Mikroklimas in den denudativen Prozessen der verschiedenen Expositionen der Dolinen. - In.: *Karst Processes and Relevant Landforms.* Dept. of Geogr. Phil. Fac. Univ. Of Ljubljana. pp. 19-26.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1983: Some data about the composition of flora in karst dolines. - *Acta Geographica Universitatis Szegediensis.* Tomus XXIII. Szeged. pp. 179-187.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1985: Ökologische Untersuchung der Karstdolinen unter besonderer Berücksichtigung des Mikroklimas. - *Acta Geographica Univ. Szegediensis.* Tom. XXV. pp. 109-130.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1985: A karsztdolinák talajainak és növényzetének sajátosságai.-*Földrajzi Értesítő* XXXIV. évf. 3. f. pp. 195-207.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1987a.: Tendencies to change in the compositions of the karstic soil and the vegetation in the dolines in the Hungarian bükk Mountain.- *ENDINS. Mallorca.* pp. 87-93.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1987b: Comparativ karstic soil researches in the Bükk Mountain and on the Aggtelek Karst, Hungary. - *Karst and Man, Proceedings of the International Symposium on Human Influence in Karst,* Postojna, pp. 221-230.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1987: Karsztfelszínek ökológiai adottságai különös tekintettel a felszínt borító talajokra. - *Okt. Int. Karszt és Barlangkutató Tevékenységének II. Orsz. Konf.* Szombathely. pp. 31-37.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1992a: Karst soil as indicators of karst development in Hungarian karst. - *Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Supplement*, 85, pp.101-110.

BÁRÁNY - KEVEI, I. 1992b: Les facteurs écologiques dans la formation du karst. - In.: *Karst et Évolutions Climatiques. Hommage a Jean Nicod.* Press. Univ. de Bordeaux. pp. 53-59.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1998a: Geoecological system of karsts. - *Acta Carsologica. Krasoslovni Zbornik,* XXVII/1. Ljubljana, pp. 13-25.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1998b: Connection between morphology and ecological factors of karst dolines (Aggtelek Hills, Hungary). - *Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria,* Comitato Glaciologico Italiano, Torino, pp. 115-119.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1998c: The geo-ecology of three Hungarian karsts. - *Cave and Karst Science, England,* Vol. 25, No. 3, pp. 113-117.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1998d: Geoecological system of karsts. - *Acta Carsologica. Krasoslovni Zbornik,* XXVII/1. Ljubljana, pp. 13-25.

BÁRÁNY-KEVEI, I. 1999: Microclimate of karstic dolines. - *Acta Climatologica Universitatis Szegediensis*, Tom. 32-35, pp. 19-27.

BÁRÁNY- KEVEI, I. 2000a : Daten zur karstökologischen Forschung im Aggtelek Gebirge, NE-Ungarn. - *Mitt. Verb. dt. Höhlen- und Karstforschung.* München. pp. 8-14.

BÁRÁNY- KEVEI, I. 2000b: Ecological investigation on some Hungarian Karsts. - In: Physico-geographical Research in Hungary. (Szerk. Kertész, Á. – Schweitzer F.). *Studies in Geography in Hungary* 32, Geogr. Research. Inst. HAS, Budapesat. pp. 111-117.

BÁRÁNY-KEVEI, I. - HORVÁTH, A. 1996: Survey of the interaction between soil and vegetation in karstecological system /at Aggtelek, Hungary/. - *Acta Geographica Szegediensis,* Tom. XXXV. 1994-94. pp. 81 - 87.

BÁRÁNY-KEVEI, I. - JAKUCS, L. 1984: Szempontok a karsztok felszíni formáinak rendszerezéséhez, különös tekintettel a dolinák típusaira. - *Földrajzi Értesítő.* 33. évf. 3. sz. 259-265.

BÁRÁNY-KEVEI, I. - MEZŐSI, G. 1993: New morphometrical parameters for explanation of karst development. - *Acta Geographica Szegediensis,* Tomus XXXI. pp. 27-33.

BÁRÁNY, I. - MEZŐSI, G. 1995: Ecological characteristics of doline types in Aggtelek Hills (North Hungary). - *Acta Geographica Szegediensis* Tomus XXXIV, Special Issue, Szeged, pp. 135-146.

BÁRÁNY-KEVEI, I. – MEZŐSI, G. (1995): Ecological Characteristics of Doline Types in Aggtelek Hills (North Hungary). – In.: *Environmental Effects on Karst Terrains. Homage to László Jakucs,* (Szerk.Bárány-Kevei, I.) pp. 135-146.

BÁRÁNY-KEVEI, I. - MEZŐSI, G. 1999: The relationships between soil chemistry and the heavy metal content of vegetation on karsts. - In.: *Essays in the Ecology and Conservation of Karst. (Ed.: Bárány - Kevei, I. - Gunn, J.)* pp. 47-53.

BÁRÁNY-KEVEI, I. – GOLDIE, H. - HOYK, E. - ZSENI, A. 2000. Heavy metal content of some Hungarian and English karst soils. - *Acta Climatologica Szegediensis,* Tom. 34-35. pp. 81-93.

BÁRDOSSY, GY. 1977: Karsztbauxitok. *Akadémiai Kiadó,* Budapest. p. 413.

BÁRDOSSY, GY. 1989: Bauxites in Paleokarst: a systematic and regional review. - In:*Paleokarst: a systematic and regional review.* (Ed.: Bosak at.al.) *Elsevier. Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo:* pp. 399-419.

BÁRDOSSY GY., - KORDOS, L. (1989): Paleokarsts of Hungary. - In: *Bosak, P. et al.: Paleokarst, Academia (Praha)* pp.137-153.

BECK, R. – BORGER, B. 1999.: Soils and Relief of the Aggtelek (NE Hungary): a Record of the Ecological Impact of Paleoweathering Effects and Human Activity. - In.: *Essays in the Ecology and Conservation of Karst.* (Ed.: Bárány - Kevei, I. - Gunn, J.). pp. 13-30.

BOSAK , P. - FORD, D. - GLAZEK, J. - HORACEK, I. 1989: Paleokarst: a systematic and regional review. - *Elsevier. Amsterdam - Oxford - New York – Tokyo.* p. 654.

BÖCKER T. 1974: A beszivárgás meghatározása karsztvidéken a negyedévi határcsapadékok módszerével. - *VITUKI. Beszámoló.* Budapest, pp. 207-216.

BÖCKER T. 1977: A hazai karsztvíz kutatás gazdasági jelentősége. - *Karszt és Barlang* I - II. pp. 17-22.

BÖCKER T. –HŐRISZT Gy. 1992: A Dunántúli-középhegység fő karsztvíz-szintjének előrejelzése az 1992-2010 közötti időszakra. - *Hidrológiai Közlöny,* 72 évf. 5 - 6. Sz. pp. 345 - 360.

BÖGLI, A. 1976: Die wichtigsten Karrenformen der Kalkalpen. - *Int. Speleol. Union, symposium on karst denudation.* Ljubljana. pp. 141-149.

BÖGLI, A. 1980: Karst Hydrology and Physical Speleology. Berlin. - *Springer Verlag,* p.284.

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

BURRI, E. - CASTIGLIONI, B. - SAURO, U. 1999: Agriculture, landscape and human impact in some karst areas of Italy. - *Int. Journal of Speleology.* pp. 33-54.

CVIJIC , J. 1893: Das Karstphänomen. *Geogr. Abhandl.* 5, H. 3, pp. 217-329.

COLBOURN, P. AND THORTON, I. 1978: Lead pollution in Agricultural soils. - *Journal of Science,* 29. pp. 513-526.

DARABOS G. 1999: Karst corrosion - specifically regarding the role of the soil-microorganisms. - in.: *Essays in the Ecology and Conservation of Karst.* (Ed.: Bárány - Kevei, I. - Gunn, J.) pp. 54-59.

DARABOS G. 2001: Observation of Microbial Weathering Resulting in Peculiar „Exfoliation-like" Features in Limestone from Hirao - dai Karst, Japan. - *Abstract of conference papers. Fifth Int. Conf. On Geomorphology, Tokyo*, Japan. p.49.

DAY, M. 1979: Surface roughness as a discriminator of tropical karst styles. - *Zeitschrift für Geomorph. Suppl. Bd.* 32. pp. 1-8.

DÉNES GY. 1975: A Sajó - Bódva közének története. A Sajó - Bódva közének műemlékei. Az Aggteleki-karsztvidék községeinek kislexikonja. - In: *Aggteleki karsztvidék útikalauz (Szerk. Jakucs L.)*. Budapest.

DÉNES GY. 1998: Történeti áttekintés a XIX. Század második feléig. Ember és Természet. - In.: *Az Aggteleki Nemzeti Park. Mezőgazda.* pp. 338-377.

FARSANG A. 1995: A talaj fémtartalmának regionális vizsgálata a Mátra északkeleti előterében. - *Földrajzi Közlemények XLIV. évf.* 3-4 füzet, pp. 179-192.

FODOR I. 2001. Környezetvédelem és regionalitás Magyarországon. - *Dialóg Campus Kiadó*, Budapest-Pécs, p. 488.

FORD, D. - WILLIAMS, P. 1989: Karst geomorphology and hydrology. - *Chapman & Hall*, p. 601.

GAMS, I. 1974: Kras (Karst). - *Slovenska matica.* Ljubljana.

GAMS, I. 1988. A New definition of karst. - in.: *Resource management in limestone landscapes. International Perspectives.* Sydney. pp. 165-171.

GAMS, I. 1990: Depth of rillenkarren as a measure of deforestation age. Proc. Int. Conference on antropogenic impact and environmental changes in karst. - *Studia Carsologica*, 2(1) pp.29-36.

GAMS, I. 1993: Origin of the term „karst" and the transformation of the Classical Karst (kras). - *Environmental Geology*, 21, pp. 110-114.

GAMS, I., - NICOD,J., - JULIAN,M., - ANTHONY,E., - SAURO,U. (1993): Environmental Change and human impact on the mediterranean Karsts. - *Karst terrains, Catena suppl.* 25. pp. 59-98.

GRUND, A. 1914: Der geographische Zyklus im Karst. - *Gesellsch. Erdkunde* 52. pp. 621-640.

GUNN, J. 1999a: The reclamation of quarried limestone rock slopes. - *Proceed. of the Int. Seminar on Land Degradation and desertification.* Aveiro. pp. 93-100.

GUNN, J. 1999b: Karst catchment protection: the Cuilcagh Mountain Park iniciative, county Fermanagh, Northern Ireland. - in.: *Essays in the ecology and conservation of karst.* (Ed.: Bárány - Kevei, I. - Gunn, J.) pp. 121-133.

*HEVESI A.*1986: Hidegvizek létrehozta karsztok osztályozása. - *Földrajzi Értesítő* 35. pp. 231-254.

HEVESI A. 1991a: Magyarország karsztvidékeinek kialakulása és formakincse I. - *Földrajzi Közlemények.* CXV. pp. 25-35.

HEVESI A. 1991b: Magyarország karsztvidékeinek kialakulása és formakincse II. - *Földrajzi Közlemények.* CXV. pp. 99-120.

HOECK, E. 1952: Der Einfluss der Strahlung und der Temperatur auf den Schmelzprozess der Schneedecke. Bern.

*JAKUCS, L.*1971: A karsztok morfogenetikája. - *Akadémiai Kiadó*, Budapest, p.310.

JAKUCS, L. 1977: Genetic Types of the Hungarian Karst. - *Karszt és Barlang, Special Issue.* 3 - 7, Budapest. pp. 1-7.

JAKUCS, L. 1980. A karszt biológiai produktum. - *Földrajzi Közlemények* 28. 4. pp. 331-339.

JAKUCS, L. 1987: Traces of effects of acidic rain (sedimentation) in the re-dissolution of cave dripstones. - *ENDINS. Mallorca.* pp. 49-59.

JAKUCS, L. 1994: A Budai-hegység hidrotermális karsztja. - *Földrajzi Értesítő*, 43. évf. 3-4 f. pp. 235-246.

JAKUCS, L. (2000): Karst is a biological product. In: Physico-geographical Research in Hungary. (Szerk. Kertész Á. – Schweitzer F.). - *Studies in Geography in Hungary* 32, Geogr. Research. Inst. HAS, Budapesat. pp. 93-109.

KABATA - PENDIAS, A. AND PENDIAS, H. 1984: Trace elements in soil plants. - *CRC Press*, Boca Raton.

KATZER, F. 1909: Karst und Karsthydrography. - *Zur Kunde der Balkanhalbinsel*, H. 8. Sarajewo.

KÁDÁR, I. 1991: A talajok és növények nehézfémtartalmának vizsgálata. - *Akaprint*. Budapest. p. 104.

KESSLER H. 1954: A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség megállapítása karsztvidéken. *Vízügyi Közlemények* 2. VITUKI Beszámoló Bp. pp. 134-152.

KERÉNYI A. 1991. A talajerózió.Térképezés, laboratóriumi és szabadföldi kísérletek. – *Akadémiai Kiadó*, Bp. p.217.

KEVEINÉ BÁRÁNY, I. 1985: A karsztdolinák talajainak és növényzetének sajátosságai. - *Földrajzi Értesítő* XXXIV. évf., 3. füzet, pp. 195-207.

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

KEVEINÉ BÁRÁNY, I., HOYK, E. AND ZSENI, A., 1999: Karsztökológiai egyensúly megbomlások néhány hazai karsztterületen. - *Karsztfejlődés III.* Szombathely, pp. 79-91.

KORDOS L. 1984: Magyarország barlangjai. - *Gondolat Kiadó*, Budapest. p.

KORPÁS L. 1998: Paleokarst. Studies in Hungary. Bp. p. 138.

LEHMANN, H. at. al. 1954: Das Karstphänomen in den verschiedenen Klimazonen. - *Erdkunde*, 8, no 2, pp. 1-112.

MÁTYÁS CS.(szerk.)1996: Erdészeti ökológia. - *Mezőgazda Kiadó*, Budapest.

MAIRE, R. 1980: Éléments de Karstologie physiuque, - *Spelunca*, n° 3, 56.p.

MAIRE, R. 1990: Les montagnes refuges calcaires de la mediterranee orientale et du Moyen-Orient. - *Karsologia, n° 15.* pp. 13-24.

MAROSI S. 1980: Tájkutatási irányzatok, tájértékelés, tipológiai eredmények különböző nagyságú és adottságú hazai típusterületeken. *Elmélet – Módszer - Gyakorlat 35.* - MTA. FKI. Budapest.

MAROSI S. 1981: Táj és környezet. - *Földrajzi Értesítő*, 1. pp. 59-72.

MAROSI S. 2000: Man-made impact assesment at geotopological level. - In: Physico-geographical Research in Hungary. (Szerk. Kertész A. – Schweitzer F.). *Studies in Geography in Hungary* 32, Geogr. Research. Inst. HAS, Budapest. Pp. 153-159.

MÁTYÁS CS. 1996: Erdészeti ökológia. - *Mezőgazda Kiadó*, Budapest.

MAUCHA L. 1990: A karsztos beszivárgás számítása. - *Hidrológiai Közlöny*. 70, évf. 3. sz. pp. 153-161.

MEZŐSI et. al. 1997: A geoökológiai térképezés elmélete és gyakorlata. Szeged. p. 129.

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

MIKLÓS L. 1984: Tájökológia módszerek a területi tervezésben. *Földrajzi Értesítő* 33. 4.

MINDSZENTY A. 2000: Bauxit. - In: *Pannon Eciklopédia* (Encyclopedia of Pannon), edited by Karátson, D. Budapest, Kertek: 155-188.

NICOD, J. 1976: Variations de $C0_2$ dans le soils. - *Proceed. of Int. Symposium on Standardization of field research methods of karst denudation.* Ljubljana. pp. 1-5.

*NICOD, J.*1995: Carte géomrphologique des karsts de France. - *Karsologia, n° 25*, pp. 21-34.

OLSCHOWY, G. 1979: Landschaftsökologische Kriterien der Planung. *Landschaft-Stadt* 11. (1)

PATERSON, K. - SWEETING, M. M. 1986: New Direction in Karst. - *Geo Books*, Norwich. p. 613.

PETERSON, P. J. 1971: Unusual accumulations of elements by plants and animals. - *Sci. Prog., Oxf. 59*, pp. 505-526.

PETERSON, P. J. 1975: Element accumulation by plants and their tolerance of toxic mineral soil. - *Proc. Int. Conf. On Heavy Metals in the Environment. Vol.* II, pp. 39-54. Toronto, Canada.

PÉCSI M. 1972a: A (természeti) környezetkutatás földrajzi problémái. – *MTA X. Osztály Közleményei.* 5. pp. 3-4.

PÉCSI M. et. al. 1972b: Magyarország tájtípusai. - *Földrajzi Értesítő.*1. pp. 5-12.

PFEFFER, K. H. 1978: Karstmorphologie. - *Wissenschaftliche Buchgesellschaft,* Darmstadt. p. 120.

PFEFFER, K. H. 1989: Ökologische Aussattung und antropogene Veraenderung der Naturlandschaft im Umland der Stadt Kerpen/Rheinland. - *Frankfurter Geowiss. Arb. Serie* D, Bd. 10. pp. 85-94.

PFEFFER K. - H. 1990: Wissenschaftliche Informationen zu Karst-Ökosystemen- eine wichtige Aufgabe für praxisorientierte Forschungen und Planungen. - *Tübinger Geographische studien.* pp.1-35.

ROGLIC, 1965: The delimitation and morphological types of the Dinaric Karst. - *Nase Jama,* VII, 1-2. Ljubljana. pp. 12-20.

SALAMON G. 1996: A komplex ökológiai állapotfelvétel elméleti alapjai az Aggteleki Nemzeti Parkban. - *Proceed. of the „Research, Conservation, Management" Conference.* Aggtelek. Volume II. pp. 19-31.

SALOMON, J. N. 2000: Précis de Karstologie. Presses Universitaires de Bordeaux, - *Pessac.* p.246.

SAURO, U. 1973: Il paesaggio degli Alti Lessini. - *Museo. Civ. St. Nat. Verona* M. F. s.n.6, pp.161.

SAURO, U. 1991: Poligonal karst in Alte Murge (Puglia, Southern Italy). - *Zeitschrift für Geomorphologie,* N. F. 35/2. pp. 207-223.

SIMON, T. 1992: A magyarországi edényes flóra határozója. Harasztok és virágos növények. - *Tankönyvkiadó,* Bp. pp. 789-874.

SOÓ R.: Növényföldrajz. - *Tankönyvkiadó,* Budapest, 1962.

STEFANOVITS P. 1992: Talajtan. – *Mezőgaszda Kiadó.* p. 369.

SWEETING, M.M. 1972: Karst Landforms. - *Columbia University Press.* p. 362.

SZABÓ I. M. 1986: Az általános talajtan biológiai alapjai. – *Mezőgazdasági Kiadó.* Bp. p.902.

TÓZSA I. 1996: Az Aggteleki-karszt idegenforgalmi potenciálja. - *Földrajzi Közlemények* XLV. évf. 3-4. füzet. pp. 299-314.

TRANTER, J., GUNN, J. HUNTER, C. AND PERKINS, C. 1997: Bacteria in Castleton Karst, Derbyshire, England. - *Quarterly Journal of Engineering Geology,* 30, pp. 171-178.

URUSHIBARA-YOSHINO, K. 1993: Human impact on karst soils Japanese and other examples. - *Catena, Supplement,* (25), Clemlingen, pp. 219-233.

VERES M. 1995: Fosszilizálódó karsztos formák és környezetüknek fejlődésének értelmezése kitöltő üledékeikkel. - *Karszt és Barlangkutatás* X. pp. 225-236.

VERES M. (2000): Covered karst evolution in the Northern Bakony Mountains, W-Hungary. - *Bakony Természettudományi Kutatásának Eredményei* 23. Zirc. p.167.

WAGNER, R., 1964: Lufttemperaturmessungen in einer Doline des Bükk-Gebirges. - *Zeitschr. für Angewandte Meteorologie* 5, Heft 3-4., 192-199.

WHITE, W. B., 1988: Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains. - *Oxford University Press,* Oxford. p. 464.

ZÁMBÓ L. 1970: A vörösagyagok és a felszíni karsztosodás kapcsolata az Aggteleki-karszt délnyugati részén. - *Földrajzi Közlemények.* XVIII. kötet. pp. 281-293.

ZÁMBÓ L. 1986: A talajhatás jelentősége a karszkorróziós fejlődésben. - *Kandidátusi értekezés.* Budapest. p.170.

ZÁMBÓ L. – TELBISZ .T. 1999: The influence of the soil zone on karst corrosion and karren development. Pp.185-192. - In.: *Essays in the Ecology and Conservation of Karst.* (Ed.: Bárány-Kevei, I. – Gunn, J. Szeged – Budapest - Miskolc. p. 218.

ZÓLYOMI, B. 1966: Einreichung von 1400 Arten der ungarischen Flora in ökologische Gruppen nach TWR - Zahlen. - *Fragmente Botanica Musei Historico-Naturalis Hungarici.* Tom. IV. Fasc.1 -4. pp.101-142.

ZSENI A. - KEVEINÉ BÁRÁNY I. 2001: Talajtulajdonságok változása és jellemzői dolinákban. - *Földrajzi Konferencia, CD.* Szeged.

XIANGDONG, L. AND THORTON, I. 1993: Multi-element contamination of soils and plants in old mining areas, U.K. - *Applied Geochemistry,* Suppl. Issue No. 2. pp. 52-56.