

A KARSZTÖKOLÓGIAI RENDSZER SZERKEZETE ÉS MŰKÖDÉSE¹

KEVEINÉ BÁRÁNY ILONA

SZTE, Éghajlattani és Tájföldrajzi Tanszék, 6722 Szeged, Egyetem u. 2.
keveibar@earth.geo.u-szeged.hu

Abstract: Karst morphology literature deals diversely with the process of Karstic solution and erosion and with the forms created by these forces. There is a great quantity of works which deal with the research of the Karst hydrological system, yet, most of the works study the formation and development of the underground forms. In the past decades the researches aimed at the the exploration of the whole system of Karsts. The effect-mechanisms which characterise the working of the environment-sensitive ecologic system of Karsts must be studied. With this knowledge become we able to make suggestions for the methods of land preservation on Karsts. The paper introduces the structure of the Karst ecological system and some features of its functioning.

1. Bevezetés

A karsztos oldódás és erózió folyamataival, valamint a hatásukra kialakult formakincsrel sokoldalúan foglalkozik a karsztmorfológiai szakirodalom. Nagyszámban ismerünk munkákat, amelyek a karsztok hidrológiarendszerét kutatják, a legtöbb munka mégis a karsztok felszínalatti formáinak kialakulását és fejlődését tárgyalja. A legutóbbi kutatások a karsztok teljes rendszerének a feltárását célozzák. Meg kell ismerni azokat a hatás-mechanizmusokat, melyek a karsztok környezetérzékeny ökológiai rendszerének működését jellemzik. Ezek ismeretében tehetünk javaslatokat a karsztok megőrzésének és fenntartható fejlődésének módjára.

Nemzetközi szinten is a 90-es évektől került előtérbe a karszt-ökológiai 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, s ezzel egyidejűleg a karsztvízkivétel. 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

¹ Készült a T035020 sz. OTKA támogatásával

fontos nemzeti értéket 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 be kell tartatni a természetvédelmi szabályokat és törvényeket, mert csak így biztosítható a korábbi egyensúly bizonyos mértékű visszaállása és a fenntartható hasznosítás. Ahhoz, hogy ezt megtehessek fel kell tárnunk a karsztökológiai rendszer szerkezetét és működési sajátosságait.

2. Módszerek

A karsztökológiai rendszer kutatói a klasszikus geomorfológiai módszerek mellett használják mindazokat a társtudományi módszereket, amelyek a tájökológiai alrendszerek megismeréséhez szükségesek. Ezért a klimatológia, geológia, talajtan, botanika és ökológia kutatási módszereit használtam fel a kutatás során. A karsztökológiai rendszer tényezői között vizsgáltam a talaj, a mikroklíma, a növényzet és a mikrobiális tevékenység mennyiségi és minőségi változásait, s ezek analitikus eredményeit a földrajzi környezetbe integrálva használtam fel.

A mikroklíma méréseket a klimatológiában használatos módszerekkel végeztük, a talajok vizsgálatához a terepen kiválasztott mintaterületen, feltárásokból, illetve fúrásokból gyűjtöttünk mintákat laboratóriumi elemzés céljára. Több esetben növény felvételezést és növényterképezést végeztünk. Az erdők változását légi fényképek és műhold felvételek segítségével vizsgáltuk.

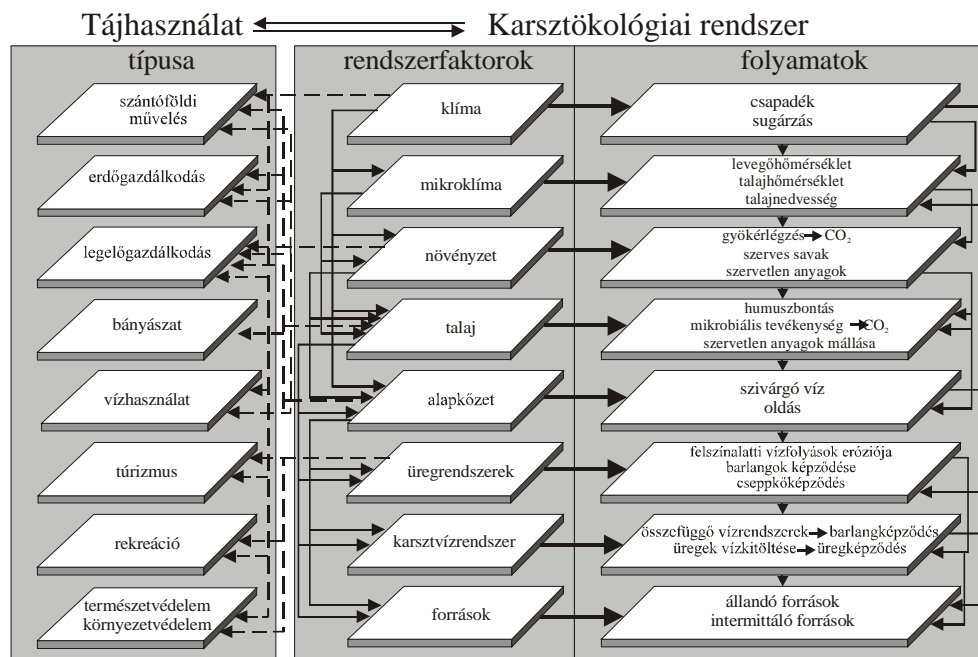
3. A karsztökológiai rendszer

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 karsztkorrózióban betöltött szerepe (*JAKUCS* 1971, *ZÁMBÓ* 1970, *BÁRÁNY-KEVEI* 1987) csak az utóbbi néhány évtizedben foglalkoztatja a kutatókat. Ugyancsak mellőzött volt korábban a karsztos vegetáció dinamikájának hatásvizsgálata (*KEVEINÉ BÁRÁNY* 1985, *BÁRÁNY-KEVEI – HORVÁTH* 1996) és a mikrobák korróziós hatékonyságának értékelése (*JAKUCS* 1980, *BÁRÁNY-KEVEI* 1983, *ZÁMBÓ* 1998, *DARABOS* 2000). Nem foglalkozunk kellő mélységben a globális klímaváltozásoknak a karsztos ökoszisztéma folyamataira gyakorolt hatásával sem.

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 energiaforgalom biztosítja, szerkezetét az elemek vertikális és horizontális elrendeződése szabja meg. Specifikuma sérülékenysége, a folyamatok gyors lefutása, valamint a háromdimenziós határfelülete (1. ábra).

A karsztökológiai rendszer elemei egymással és a hasznosítás típusával szoros kapcsolatban állnak, s meghatározzák a táj működését (dinamikáját). Az emberi tevékenység beavatkozik ebbe a folyamatba, 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 optimális hasznosításra.

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.



1. ábra. A karsztökológiai rendszer
Fig.1. The karstecological system

A karsztosodási folyamatokat 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.

3.1. A karsztökológiai rendszer szerkezete és működése

A klíma elsősorban az oldó víz és annak hőmérséklete révén válik a karsztosodás tényezőjévé, de a talaj és vegetáció típusának kialakításában is, mint zonális tényező, meghatározó. A klímaelemek közül a csapadék tulajdonképpen alapfeltétele a karsztosodásnak, emellett az anyag- és energiaáramlás közege. 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 kapacitást jelent. A kihígulás azonban a cseppkőképződés mérséklődését eredményezi. Más a helyzet növényborítás esetén, amikor az evapotranszpirációval is számolni kell, tehát a vízgyűjtőre jutó csapadék egy része ismét a légkörbe kerül. A hőmérséklet alapvetően megváltoztathatja a rendszer működését. Az alacsony hőmérséklet nagyobb gáznyelése ellenére, biogén CO₂ 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 szén-dioxid felvétele csökken a magas hőmérsékletű vízben. A fagyváltozékonyság hatással van a felszíni formák fejlődésére is, ami a magashegységi karrokon tükröződik vissza. Gyakran található fagytörmelék a hegységek északi kitettségű heglábfelszínein. A hőmérséklet befolyásolja a hóborítás tartamát is. Különösen a tartósan önárnyékos dolinákban hosszú ideig megmarad a hó, s alatta a korrózió az olvadékvíz hatására működik. Ez az oka a hódolinák aszimmetrikus formájának (NICOD 1976).

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 átmedvesedett talajokon nedvességkedvelő növények

telepszene 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 felszínközeli klímafolyamatok 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.

A karbonátos kőzetekben a víz a kőzet sokféleségének megfelelően másként és másként 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 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. 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 típusokat 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 kőzetszínre 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 az utóbbi időben a szennyező anyagokra.

A 80-as évek végén az összegző és éghajlati kapcsolati-módszert 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 tározókhöz tartozó karsztvíz mennyiséget adják meg.

Az abiogén tényezők közül az utóbbi évtizedekben egyre nagyobb hangsúlyt fektetünk a talajra, mint a karsztökológiai rendszer egyik meghatározó elemére. A talaj fontos puffer és filter közeg, amely a szivárgó víz karsztidegen anyagait megszüri. 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 tendenciáit mérsékeltövi karsztokon már kimutattuk (BÁRÁNY-KEVEI 1985). Az utóbbi néhány évben a talajok nehézfémterhelését vizsgáltuk (BÁRÁNY-KEVEI 1998, BÁRÁNY-KEVEI - MEZŐSI 1999, BÁRÁNY-KEVEI et al. 2000), mivel azok karsztvízbe jutása az ivóvízellátást teheti kétségessé a karsztos területeken. Már sok olyan karszterület 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.

A kőzet, mint a karsztökológiai rendszer tényezője azért itt kerül tárgyalásra, mert a térbeli (vertikális) elrendeződés így kívánja. Természetesen alapvető tényezője a rendszernek, tulajdonságai meghatározóak az oldás, a vízvezetés, a formaképzés, a talaj- és tájfejlődés szempontjából. Mint ismeretes, a kőzet vízáteresztő képességének 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).

A biogén tényezőket 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 tevékenységgel a szakirodalomban elsőként hoztuk számszerű kapcsolatba (*BÁRÁNY-KEVEI* 1982). Később mások is nyitottak ebbe a kutatási irányba (*TRANTER* et al. 1997, *ZÁMBÓ* 1998, *DARABOS* 1999, 2001). Mivel a talajbéli szén-dioxid nagy részét a baktériumok állítják elő, nem kétséges, hogy az általuk előállított szén-dioxid 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 szén-dioxid is, illetve a gyökérsavak direkt korróziós hatása is. Ugyanakkor a szerves-anyagok bomlása után a talajban a szerves kolloidok fontos elemei a különböző anyagok, közöttük a káros kationok (pl. nehézfémek) megkötésének is. Mindez mutatja, hogy a biológiai tényezők is sok csatornán keresztül hatnak a karsztfejlődésre. A biogén aktivitás szoros kapcsolatban van a talajtulajdonságokkal és a klímátényezőkkel.

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.

A fenti tényezők nagymértékben befolyásolják a karsztos területek hasznosíthatóságát. A klíma hat a mezőgazdasági hasznosításra (az északi lejtőn csak hűvösebb klímát igénylő növények termesztethők, míg a déli lejtőkön mediterrán kultúrák is megélnek hazai viszonyaink között). Igaz ez az erdőgazdálkodásban is. A fenti hasznosítás visszahat a klímára (erdőkben állományklíma, szántókon szélsőségesebb klíma alakul ki).

Az idegenforgalmi hasznosítás a táj látványértékeivel van szoros korrelációban. A karsztok változatos felszíne, a dolinák, dolinasorok, a szurdokvölgyek, mésztufagátak 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 turista 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 elemez-

hetjük. Mindenképpen fontos, hogy a tájhasznosítás számára ezeket a hatásokat minősítsük.

4. Eredmények

Az emberi tevékenység hatására bekövetkezett tájváltozások a karsztos mikroklímában, talajban, növényzetben, a karsztvíz minőségének változásában, a karsztvízszint süllyedésében és a tájesztétikai érték csökkenésében 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 lehetőségét teremtette meg. A növényzet összetételének változása az erdőtípus megváltozásában, a sziklagyepek degradációjában, a karsztos depressziók növényzetének deformációjában nyilvánul meg. Karsztvizek minőségváltozása, a cseppkődegradáció, de a karsztos tavak eutrofizációja is antropogén hatásra következett be, s a bányászat is kialakította a karsztok sebhelyeit.

A klíma hatása 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.

A karszttalajok a karsztökológiai rendszer indikátorai. A talajtulajdonság 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 szervesanyag-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.

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, aszimmetrikus formafejlődés, növényi tápanyagfelvétel stb.) hat. A talajok határérték körül tartalmazznak 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 nehézfémzennyezés még nem érte el a határértéket csak néhány elemnél, a növekvő tendencia környezetvédelmi szempontú figyelembevétele azonban igen fontos (ZSE-NI-KEVEINÉ BÁRÁNY 2001, KEVEINÉ BÁRÁNY et al. 2002).

Az aerob körülmények között tesztelt mikrobátömeg a talajban szemi-anaerob viszonyok között, erjedés útján nyer energiát és magyarázhatjuk vele a nagymennyiségű CO_2 termelődését a talajban. A mikrobák által termelt szén-dioxid 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.

A karsztos növényzet, hasonlóan a talajhoz, hamar jelzi a változásokat. A karsztok hasznosításának leggyakoribb hazai formája az erdőgazdálkodás. Az erdőgazdálkodás a gyakran tájidegen fafajokból kialakított egykorú, fatermelési állományokat korábban tarvágással 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.

Az erdőben napjainkra csökkent a faji diverzitás, az erdők bolygatottak. Bolygatottak az őshonos tölgyesek főként molyhos tölgygel és húsos sommal. Nagyobb tengerszintfeletti magasságban a sajmeleges 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 cserjést 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.

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.

Az erdőgazdasági hasznosítás biztosíthatja a karsztok természetközeli állapotának megőrzését. A degradációs erdőfoltok ott találhatóak, ahol a tengerszintfeletti magasságnak, vagy a kitettségnek nem megfelelő erdőket telepítettek. Ezekon a foltokon az erdők (köztük 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 (*KEVEINÉ BÁRÁNY* et al. 2003). bizonyította, hogy a jelenlegi erdők egy része nem felel meg a karsztos táj ökológiai viszonyainak. 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.

5. Következtetések

A környezetérzékeny karsztos területek természetvédelmi szempontú értékelésénél a védelem számára a legfontosabb információt a klíma – talaj – növényzet kapcsolatában kialakult ökológiai állapotváltozások szolgáltatják. A rendszer működésében elsősorban a ennek a három szférának a kölcsönhatása dominál, ezek határozzák meg a további folyamatokat.

A karsztos területeken folyamatosan vizsgálni kell a rendszer állapotváltozásait, s fel kell tární a különböző adottságú területek táj-dinamikájának változásait.

Fel kell térképezni azokat a természetközeli tájszerkezeti egységeket, amelyek a tájmegőrzés legfontosabb elemei, s meg kell határozni az egységek közötti kapcsolatok fenntartásának mikéntjét.

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

IRODALOM

- BÁRÁNY-KEVEI* (1985): Ökologische Untersuchung der Karstdolinen unter besonderer Berücksichtigung des Mikroklimas. Acta Geographica Univ. Szegediensis. Tom. XXV. p. 109 -130.
- BÁRÁNY-KEVEI I.* (1987) : Tendencies to change in the compositions of the karstic soil and the vegetation in the dolines in the Hungarian Bükk Mountain. ENDINS, n. o. 13. Ciutat de Mallorca. p. 87-92.
- BÁRÁNY-KEVEI* (1996): Ecological condition of Hungarian karsts. Acta Geogr. Szegediensis. Tom. XXXV. p. 89-99.
- BÁRÁNY-KEVEI* (1998): Geocological system of karsts. Acta Carsologica. Krasoslovni Zbornik, XXVII/1. Ljubljana. p. 13-25.
- BÁRÁNY-KEVEI – HORVÁTH* (1996): Survey of the interaction between soil and vegetation in a karstecological system /at Aggtelek, Hungary/. Acta Geogr. Szegediensis. Tom. XXXV. p. 81-87.
- BÁRÁNY-KEVEI - MEZŐSI* (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.) p. 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. p. 81-93.
- BÖCKER T.* (1974): A beszivárgás meghatározása karsztvidéken a negyedévi határ csapadékok módszerével. - VITUKI. Beszámoló. Budapest, p. 207-216.
- 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.) p. 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.
- JAKUCS L.* (1971): A karsztok morfogenetikája. - Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 310.
- JAKUCS L.* (1980): A karszt biológiai produktum. - Földrajzi Közlemények 28. 4. p. 331-339.

- JAKUCS L.* (1987): Traces of effects of acidic rain (sedimentation) in the re-dissolution of cave dripstones. - *ENDINS*. Mallorca. p. 49-59.
- KESSLER H.* (1954): A beszivárgási százalék és a tartósan kitermelhető vízmennyiség megállapítása karsztvidéken. *Vízügyi Közlemények* 2. VITUKI Beszámoló Bp. p. 134-152.
- KEVEI-BÁRÁNY I.* *Angaben zu den bodenökologischen Verhaeltnissen der Dolinen. European Regional Conf. on Speleol. Sofia, Bulgaria. Tom. 2. Proceed. Volume II.* 203-208.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (1985): A karsztdolinák talajainak és növényzetének sajátosságai. - *Földrajzi Értesítő* XXXIV. évf., 3. füzet, pp. 195-207.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I.-ZSENI A. – KASZALA R.* (2002): A talaj és növényzet nehézfém-tartalmának vizsgálata karsztos mintaterületen. *Karsztfejlődés* VII. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 297-315.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I.-BOTOS CS.-BÓDIS K.* (2003): Erdő optimalizációs vizsgálatok az aggteleki karszton. *Karsztfejlődés*.VIII. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 253-263.
- MAUCHA L.* (1990): A karsztos beszivárgás számítása. - *Hidrológiai Közlöny*. 70, évf. 3. sz. p. 153-161.
- NICOD, J.* (1976): Variations de CO₂ dans le soils. - *Proceed. of Int. Symposium on Standardization of field research methods of karst denudation.* Ljubljana. p. 1-5.
- TRANTER, J., GUNN, J. HUNTER, C. AND PERKINS, C.* (1997): Bacteria in Castleton Karst, Derbyshire, England. - *Quarterly Journal of Engineering Geology*, 30, p. 171-178.
- ZÁMBÓ L.* (1970): A vörösgyagok és a felszíni karsztosodás kapcsolata az Aggteleki-karszt délnyugati részén. - *Földrajzi Közlemények*. XVIII. kötet. p. 281-293.
- ZÁMBÓ L.* (1986): A talajhatás jelentősége a karszkorróziós fejlődésben. – *Kandidátusi értekezés.* Budapest. p.170.
- ZSENI A - KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (2001): Talajtulajdonságok változása és jellemzői dolinákban. - *Földrajzi Konferencia, CD.* Szeged.
- XIANDONG, L. – THORTON, I.* (1993): Multi-element contamination of soils and plants in old mining areas, U.K. - *Applied Geochemistry, Suppl.* Issue No. 2. p. 52-56.