

TERMÉSZETI ÉS ANTROPOGÉN HATÁSOKRA VÉGBEMENŐ TÁJVÁLTOZÁSOK VIZSGÁLATA A BAKONYBAN

MÓGA JÁNOS – SZABÓ MÁRIA – MARI LÁSZLÓ – BORSODI ANDREA
– KÉRI ANDRÁS – KNÁB MÓNICA – KISS KLAUDIA – IVÁN VERONIKA

INVESTIGATION OF LANDSCAPE CHANGES
OF THE BAKONY MOUNTAINS DUE TO NATURAL AND HUMAN IMPACTS

Abstract

The Bakony Mountains (part of the Transdanubian Middle Mountains) is mainly built of limestone and dolomite. The summits and basins were covered by thin loess layers during the Pleistocene, hence most part of the range is loess covered or partly exhumed karst. Deposits of brown coal and bauxite have stimulated industrial development in the Bakony Mountains over the last century, which resulted in a strong human impact on this sensitive area. Having investigated the natural and societal impacts on the landscapes it can be stated that on karstic landscapes – which are very sensitive ecological indicators – very negative, moreover irreversible processes take place, anthropogeneous and natural-anthropogeneous processes result in considerable degradation. These processes are dominant in the karst areas of Bakony Mountains as well, where agricultural activities, deforestation, spreading of settlements, demands on building materials, and increasing landscape loading caused by the tourism result in considerable landscape degradation and hazards. First of all population density and, as its consequence, increasing demand for land, in addition to the priority of the economical growth, and the unsettled attitudes toward landscape protection have crucial importance in landscape degradation. The paper tries to summarize these aspects based on on-the-spot investigations, GIS and laboratory works.

Keywords: karst mountains, human impacts, degradation of karst, landscape changes, geo-hazards, karst and cave protection

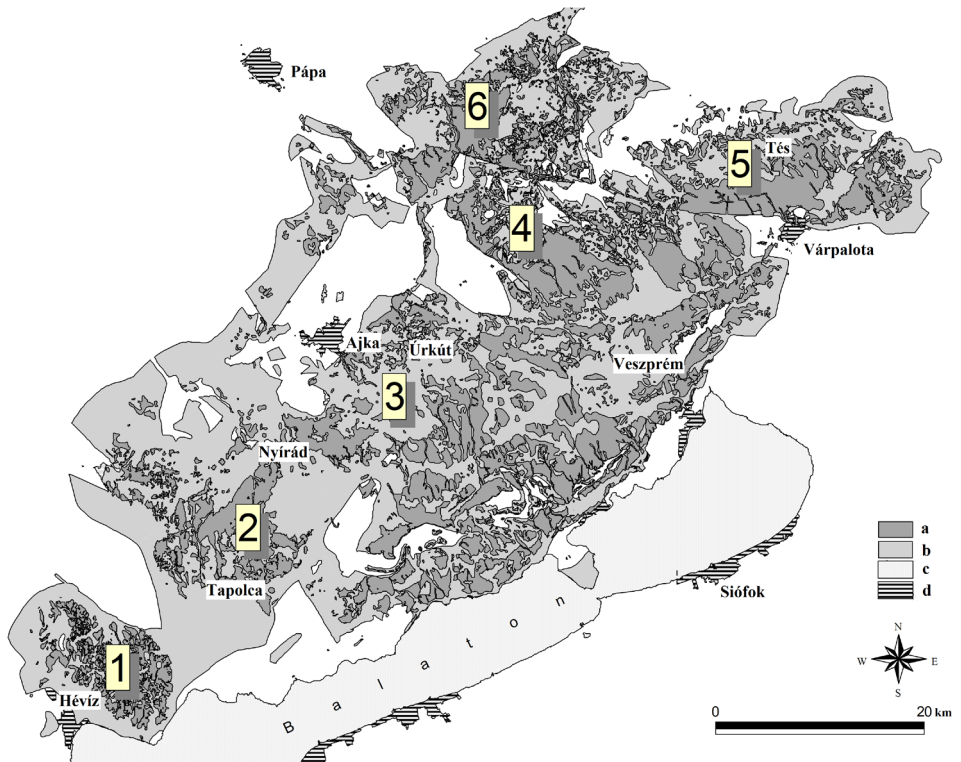
Bevezetés

Kutatócsoportunk 2009-2013 között a Bakony-hegység karsztos tájain az epikarsztos rendszer elemeinek és folyamatainak vizsgálatára vállalkozott. Rendszeres terepmunkánk során a természeti és antropogén hatások következtében a karsztos rendszerekben lejátszódó gyors változásokra is felfigyeltünk. Nyomon követtük a közelmúltban bekövetkezett szélsőséges időjárási eseményekhez, főleg a csapadékhullásokhoz kapcsolódó gyorsan lejátszódó geomorfológiai változásokat, mint pl. a felárkolódást, vagy a víznyelő- és dolinaképződést lösszel fedett karsztokon. Másrészt a karsztos tájak speciális antropogén degradációs folyamatait vizsgáltuk a Bakony-hegységben, kiemelten foglalkozva az egykori bauxit- és szénbányák területén a bányászat következményeinek (beszakadások, karsztvízszint változása, meddőhányók) felmérésével.

A karsztos tájak környezeti állapotának felmérését és a karsztökölógiai rendszerben lejátszódó folyamatok vizsgálatát azért tűztük ki feladatul, mivel a jelenleg is ható folyamatok és hatótényezők közötti összefüggések feltárása alapozhatja meg a tájak természetközeli hasznosításának, kezelésének a tervét, amelynek a fontosságára számos kutató hívta fel a figyelmet tanulmányjaiban (WALTHAM, T. et al. 1988; BÁRÁNY KEVEI I.–GUNN, J. 1999; PARISE, M.–PASCALI, V. 2003; MÓGA J.–HORVÁTH G. 2004; KEVEINÉ BÁRÁNY I. 2005; LÓCZY D. 2006; FORD, D.–WILLIAMS, P. 2007; MÓGA J. et al. 2010; PARISE, M. 2010). Az elmúlt években szerzett ismeretekre, tapasztalatokra és eredményekre építve állítottuk össze e tanulmány fejezeteit.

A vizsgált terület és az alkalmazott módszerek

Kutatásainkat a Bakony-vidék karsztos területein végeztük, ahol a karsztok diverzitása a legnagyobb Magyarországon. A hegység jelentős részét 210 és 710 m közötti magasságba emelt középidői–harmadidőszaki mészkőből és dolomitból álló karsztos tájak (Tési-, Hárskúti-, Keszthelyi-fennsík, Tapolcai-karszt, Magas-Bakony, Nyirád, Úrkút, Iharkút környéke, Kab-hegy, Mester-Hajag stb.) alkotják (BUDAI T. et al. 1999; VERESS M. 1999; FUTÓ J. 2003, VERESS M. 2010). Uralkodnak a részben – főleg lösszel – fedett karsztok, de kisebb foltokban nyílt karsztok is megjelennek, amelyeknek nem csak a formakincsük eltérő, hanem a földhasználatuk módja is különböző (1. ábra). Ugyanakkor a Bakony Magyarország egyik legiparosodottabb tája, ahol a jelentős iparvidékek és a sűrű településhálózat kialakulását a hegység ásványkincsekben (szén, bauxit stb.) való viszonylagos gazdagsága, a bányászat és az arra települt ágazatok (szénbázisú erőművek, timföld- és bauxitgyártás) alapozták meg. A települések egy része (pl. Tapolca, Tés, Hárskút, Nyirád, Úrkút) közvetlenül a karsztra települt, más része (mint pl. Ajka, Veszprém, Várpalota, Zirc, Bakonybél) annak szomszédságában jött létre, kisebb-nagyobb mértékben veszélyeztetve a



1. ábra A Bakony karsztos tájai. Jelmagyarázat: a – nyílt karszt; b – fedett karszt; c – vízfelület; d – belterület; 1 – Keszthelyi-fennsík; 2 – Tapolcai-karszt; 3 – A Kab-hegy bazalttal fedett karsztja; 4 – Hárskúti-fennsík; 5 – Tési-fennsík; 6 – A Magas-Bakony karsztja.

Figure 1 Karst plateaus of the Bakony Mountains. Legend: a – open karst; b – covered karst; c – water surface; d – inhabited area; 1 – Keszthely Mountains; 2 – Tapolca Karst; 3 – Basalt covered karst of the Mount Kab; 4 – Hárskút Plateau; 5 – Tés Plateau; 6 – The karst plateau of the High Bakony.

karszt felszíni és felszín alatti természeti értékeit. A lösszel fedett karsztfennsíkok kedvező feltételeket teremtettek a mezőgazdaság számára is. Egyéb karsztvidékeinktől eltérően itt szinte egyedülállóan nagy területen folytatnak szántóföldi művelést a fokozottan érzékeny és sérülékeny karsztos tájakon (Tési- és Hárskúti-fennsík) is, így a veszélyeztetettségük nagyobb más karsztos tájakénál.

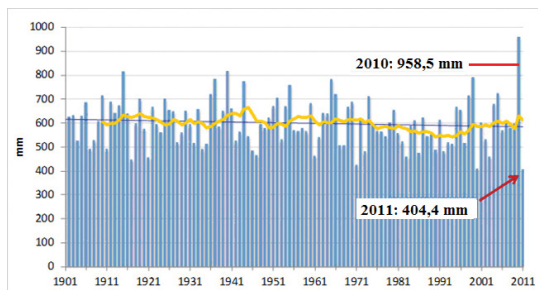
Kutatásaink során GIS-módszerekkel vizsgáltuk a természetes növénytakaró és általában a fedettség változásait a mészkőhegység egyes területein, hogy a tájhasználat változásaira és azok következményeire rámutathassunk. Az 1901–2011 közötti időszak éghajlati adatait a Magyar Meteorológiai Szolgálat adatbázisából merítettük. A terepi földtani és morfológiai vizsgálatokhoz, a digitális térkép elkészítéséhez felhasználtuk az EOTR 1 : 10 000-es topográfiai és a Magyar Állami Földtani Intézet 1 : 100 000-es földtani térképeit. A tanulmányunkban közzétett egyéb (talajtani, hidrológiai, mikrobiológiai, bakteriológiai, cönológiai stb.) kutatási eredményeket a 2009–2012 között lebonyolított terepi és laboratóriumi méréseink adatbázisára támaszkodva fogalmaztuk meg.

Természeti folyamatok hatása a mészkőhegység felszínének változására

Az éghajlati tényezők változásából adódó tájváltozások

Az éghajlat változása Magyarországot is érzékenyen érinti. A 20. század során a globális átlagnak megfelelő mértékben emelkedett hazánkban is az átlaghőmérséklet. Az elmúlt évszázad során jelentősen (évi 640 mm-ről kb. 560 mm-re) csökkent az ország területére lehulló csapadék mennyisége. Az utóbbi évtizedekben a csapadék időbeli eloszlása is egyenetlenebbé vált, a telek nedvesebbé, a nyarak viszont jóval szárazabbá váltak. Évről-évre fokozódik az aszályveszély Magyarország területén. Másrészt megfigyelhető volt, hogy az évi csapadék rövidebb idő alatt hullott le, hevesebb esőzések, áradások voltak, mint korábban, és a viharok is nagyobbak voltak, mint az elmúlt évtizedekben (OMSZ). Jól szemléltetik a változásokat az évi csapadékmennyiségnek az utóbbi évtizedben mért szélsőséges értékei: pl. 2010-ben ez 958,5 mm volt, ami több mint 130 mm-rel meghaladta a korábbi rekordot (1940-ben mérték 824 mm-t), míg 2011-ben csupán 404,4 mm mennyiségű évi csapadék hullott (2. ábra), ami a félig száraz területekre jellemző; ez alig 4,3 mm-rel volt kevesebb, mint a 2000. évi korábbi negatív rekord (OMSZ).

A csapadékvizonyok megváltozásának hatására 2004-ben gyors és látványos geomorfológiai változások mentek végbe a Bakony-hegység lösszel fedett karsztfennsíkjain. Különösen a tél végi és kora tavaszi időszakban a fagyott talaj felszínére érkező csapadék,



2. ábra Éves országos csapadékösszegek 1901–2011 között (az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai alapján)

Figure 2 Main annual precipitation of Hungary between 1901–2011 (according to the data of the Hungarian Meteorological Service)

ill. a hótakaró gyors olvadása okozott nagy áradásokat és azzal együtt jelentős eróziót a lösszel fedett területeken. Tavasszal a néhány nap alatt elolvadó hótakaró eddig sohasem tapasztalt áradást okozott a Tési-fennsíkon, a Bakony legnagyobb kiterjedésű lösszel fedett karsztfennsíkján. A március 7-9. közötti nagy havazás eredményeképpen a Bakonyban 44 cm-es hóréteg alakult ki. A kora tavaszi hóolvadás pár nap leforgása alatt hatalmas mennyiségű olvadékvizet eredményezett, amely a lösztakaró felszínét borító fagyott talaj miatt nem tudott beszivárogni. Az olvadékvíz pár óra alatt sebes folyású patakává duzzadt a Tési-fennsík mélyebben fekvő területein, és esőbarázdákkal szabdalta fel a szántóföld felszínét. Bár a fagyott talaj a délelőtti órákban még védelmet nyújtott a nagyobb arányú erózió ellen, a kora délutáni órákra kiengedett fagyott réteg alatt is megindult az árkok fejlődése (1. kép).



1. kép Esőbarázdák a Tési-fennsíkon
Photo 1 Rills on the Tési Plateau

A hóolvadás után nem sokkal, 2004 áprilisában esősre fordult az időjárás. A bőséges, a sokévi átlagot csaknem kétszeresen meghaladó esőzést kísérő újabb áradás a fennsíkra vezető országúton keresztül folyva rövid időre elzárta a külvilágtól a fennsík legnagyobb települését, Tést. A kivételes nagyságú áradás a Tési-fennsík sekély völgyeiben nyíló víznyelők környékén érdekes hidrológiai megfigyelésekre adott módot a víznyelők éppen akkoriban végzett kataszterezése során. Korábbi észleléseink idején a kisebb csapadék-hullás után kialakult időszakos vízereket a víznyelők képesek voltak maradéktalanul elnyelni, de olyan nagymennyiségű csapadék után, mint amennyi 2004 tavaszán hullott a fennsíkra, a völgyfőhöz legközelebb eső karsztos mélyedések már nem tudták elnyelni a vízfolyások vizét, emiatt a víznyelők körül a visszaduzzasztás miatt kis tavak keletkeztek, majd a tavak vízszintjének emelkedésével a víz átbukott a nyelők peremén és az alacsonyabb helyzetű víznyelők felé folyt tovább. A felszíni vízfolyások egyetlen nagy vízfelületté kapcsolódtak össze, az elárasztott völgytalpon sorakozó víznyelőkre csak a tószzerű

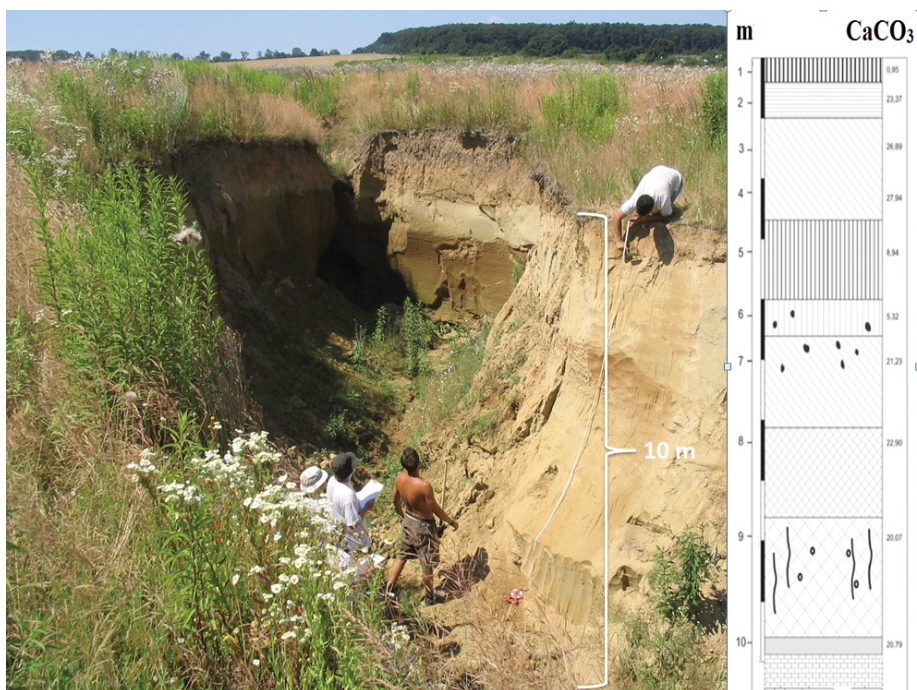
kiöblösödések utaltak. A kialakult vízfolyás vízhozama minden víznyelő után annyival csökkent, amennyi vizet a nyelő képes volt elnyelni, de még így is jutott elég sok víz abba a Burok-völgybe, amely csak a szélsőségesen nagy árvizeket vezeti le felszíni vízfolyásként a fennsíkról (NÉMETH R. 2006).

A hóolvadás és esőzések nyomán a Kistési-fennsíkon a szántóföld sekély hajlatában néhány hét alatt tekintélyes mélységű árokrendszer keletkezett, amely nyár elejére tíz m-nél is mélyebb löszkanyonná mélyült (2., 3. kép). Az áradmányvizek levonulása nemcsak jelentős talajerózióval és felárkolódással járt együtt, hanem a fennsíkon új víznyelők, ill. berogyások is kialakultak. Ilyen gyors, látványos árokképződésre a löszrel fedett Tési-fennsíkon korábban még sohasem volt példa. Ez a gyors felárkolódás is az éghajlat szélsőségesebbé válásának bizonyítéka.

2010 tavaszán ismét heves esőzések voltak a Kárpát-medencében, amelyek áradásokat, iszapfolyásokat, súlyos károkat okoztak szinte az egész ország területén. Május 15-én a nap második felében 12 óra alatt helyenként 70 mm – azaz egy egész havi – csapadékmennyiség hullott, 17-ig pedig sokfelé elérte a 120 mm-t a háromnapos csapadékösszeg; május 20. után pedig sokfelé újabb felhőszakadás, jégeső alakult ki. Mindez a löszvidékeken kisebb hegycsuszamlásokhoz vezetett, az erdőkben a fák dominószerűen dőltek ki, a patakok mindennap megáradtak; Bakonycsernye – amelynek meteorológiai mérőállomásán májusban 290 mm csapadékot mértek – alacsonyabban fekvő területeit a hónap során három ízben öntötte el a víz, miközben a térséget a viharos szellőkések is veszélyeztették. A község amúgy is a víztől az egyik legtöbbször szenvedő település a Bakonyban, a falut körülvevő magaslatokról lezúduló víz és sár ugyanis rendszeresen elönti a helység alacsonyabban fekvő részeit.



2. kép Mély árok képződése hóolvadás után a Tési-fennsíkon
Photo 2 Development of deep gullies after snow melting on the surface of the Tési Plateau



3. kép Mély árok keletkezett 2004-ben a nyár végére a Tési-fennsíkon. A szelvény (szerk. ERNST S.) a rétegsort és a rétegek CaCO₃-tartalmát (jobbra) mutatja.

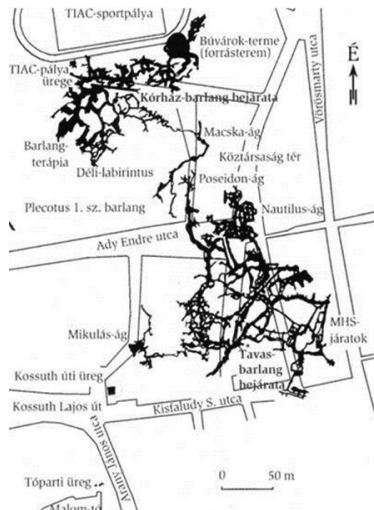
Photo 3 Deep gullies developed by the end of the summer of 2004 on the Tési Plateau. On the section (ed. ERNST, S.) the points of sampling (left) and the CaCO₃ content of the samples are represented.

Az előzőekben említett, ritkán jelentkező villámárvizek ellenére mészkőhegységeinkben, köztük a Bakonyban is inkább a szárazság, illetve a kiszáradás tünetei észlelhetők. Szembetűnő a vízfolyások nyár végi-őszi elapadása, a tavak kiszáradása. A szárazság a víznyelőműködés ritkulásában is megmutatkozik. Néhány fejlett nagy nyelőben még a hóolvadások idején és esőzések után sincs semmi nyoma az aktivitásnak. Ezek a csapadékviz viszonyok megváltozására vezethetők vissza, valamint arra, hogy a kevesebb csapadék kis hányada folyik csak le felszíni vízfolyásként.

Barlangi folyosók feletti omlások, berogyások

Magyarország antropogén hatásoknak egyik leginkább kitett karsztvidéke a Tapolcai-karszt, ahol egy 16 000 fős kisváros, Tapolca közvetlenül a mintegy 10 km hosszán feltárt hipogén eredetű barlangrendszer járatai felett épült ki (3. ábra). A mélykarsztból feláramló termálvíz és a hideg víz keveredési korróziójával a freatikus övben kialakult barlangrendszer a közel vízszintesen települt porózus szarmata kori mészkő (Tinnyei Formáció) rétegeiben alakult ki (BUDAI T. et al. 1999; FUTÓ J. 2003). A barlangrendszerekről mit sem tudva erre a mészkőtáblára települt a város egy bővizű karsztforrás mellé. A forrás elfolyó vizét malmok hajtására használták, kézműipar is kialakult a kedvező adottságú helyen, így a település már a középkorban városi rangra emelkedett. A barlangrendszer lapos, széles termei a felszínhez azonban olyan közel húzódnak, hogy Tapolca belterületén és a várossal határos területeken egyes helyeken berogyások keletkeztek, jelezve a felszín alatt húzódó

barlangrendszer létezését. A felszín alatt 10-15 m mélyen húzódó barlangrendszer egyik szakaszának beszakadásával alakult ki a tapolcai városi kórház melletti sekély mélyedés is, amelyet rossz statikai adottságai miatt nem építettek be, hanem sporttelepként, futball-pályaként hasznosítottak. A berogyás helyén néhány éve épült a Hotel Pelion.

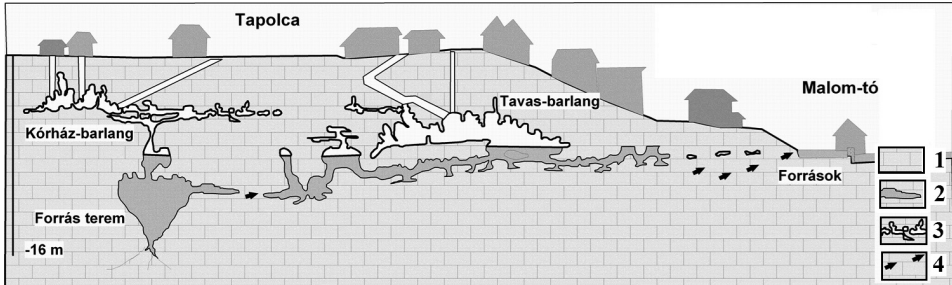


3. ábra A Tapolcai-barlangrendszer a város alatt
Figure 3 The Tapolca Cave System beneath the city

Magáról a barlangról sokáig nem is volt tudomásuk az ott lakóknak, csak 1903-ban egy kút ásásakor – amikor átszakadt a barlang mennyezete, feltárva a részben tóval kitöltött járatrendszert – fedezték fel a Tavasz-barlang 3,3 km hosszú első barlangszakaszát. Már az 1910-es évektől megkezdődött a barlang kutatása és a látogatók fogadására alkalmassá tevő építési munkálatok sorozata, lejáratot, útvonalakat, csónakázó kikötőt építettek ki, villanyvilágítást vezettek be, járatszakaszokat mélyítették-tágítottak. A barlangban kialakított csónakázó tó különleges idegenforgalmi vonzerőt jelentett. Időközben újabb barlangot is feltártak, a 2,3 km hosszú Kórház-barlangot, amelynek járatai a városi kórház alatt húzódnak. 1958–1960 között a hidegháború alatt ennek ún. Műtő-termet kibetonozták, hogy atombiztos óvóhelyet tudjanak kialakítani benne.

A barlangok idegenforgalmi, majd gyógyászati célú hasznosítása itt is elkezdődött (KORDOS L.1984). A térség karsztvíze gyógyhatású termálvíz, melynek összetétele hasonlít a régóta idegenforgalmi és rekreációs célra hasznosított közeli Hévízi-tó vizéhez. Ez a barlang mennyezet felszakadásával keletkezett 40 m mély, tölcser alakú természetes tó 40°C-os termálvízzel van kitöltve, amely gyógyhatása miatt régóta a gyógyturizmus szolgálatában áll. Tapolca város középtávú terveiben is szerepel a termál-idegenforgalom infrastruktúrájának kiépítése. A terv megvalósításának első nagy állomása a négy csillagos Pelion szálló megépítése és egy termálfürdő megnyitása volt. A szálló alapozási munkálatainál különleges figyelmet kellett fordítani a statikai kérdésekre, mivel abban a sekély berogyással keletkezett mélyedésben tervezték felépíteni, amire addig nem adtak ki építési engedélyt. Várható volt, hogy a sporttelep beszakadt mélyedése alatt ismeretlen új üregre bukkannak. Így is történt, alapozás közben beszakadt egy barlangjárát mennyezete, így jutottak be a kutatók abba a kb. 3 km hosszú Berger Károly-barlangba, amely a mélykarsztból felemelkedő hévíz feltörési helye. A barlang termeit a város alatt kb.

15 méter mélyen kristálytisza vizű tavak foglalják el. A napjainkig megismert mintegy 10 km hosszú, nagyrészt vízzel kitöltött labirintusszerű járatrendszer teljes egészében a város alatt húzódik és valószínű, hogy még csak egy kis részét ismerjük (4. ábra, 4. kép). A barlangrendszerből kifolyó víz a Malom-tó 10-12 m³/s vízhozamú és kb. 18°C hőmérsékletű forrásában jelenik meg.



4. ábra A Tapolcai-barlangrendszer szelvénye (szerk. MÓGA J., SZABÓ Z. nyomán). Jelmagyarázat: 1 – mészkő; 2 – vízzel kitöltött barlangjárat; 3 – barlangjárat; 4 – felszín alatti áramlás iránya.
 Figure 4 The Tapolca Cave System (ed MÓGA, J. after SZABÓ, Z.). Legend: 1 – limestone; 2 – gallery; 3 – gallery filled with water; 4 – direction of the underground water flow



4. kép Tó Tapolca alatt a Berger Károly-barlang egyik termében (Fotó: EGRI Cs.)
 Photo 4 Lake in a chamber of the Berger Károly Cave beneath Tapolca city (Photo: EGRI, Cs.)

Összességében a felszínhez közel húzódó ismert és a még fel nem tárt járatrendszerek miatt a Tapolcai-karszt hazánk egyik legérzékenyebb és legsérülékenyebb karsztos területe, ahol mindenféle jelentősebb emberi beavatkozás előtt célszerű volna előzetes hatástanulmányokat készíteni. Körültekintően kell eljárni Tapolcán az építkezések engedélyezésénél, számításba kell venni a járatok feletti kőzetrétegek teherbíró képességét, másrészt a bar-

lang és a karsztvíz védelme miatt különösen biztonságosan kell megtervezni a városban keletkező szennyvíz és hulladék kezelését.

Antropogén folyamatok által kiváltott tájváltozások

A felszíni és felszín alatti bányászat hatása a tájváltozásokra

A bányászati tevékenység közvetlenül és közvetve is sokféle hatást gyakorol a felszínre, de különösen a mészkőhegységek – 1996 óta ex lege védelemben részesülő – barlangjaira. A bányászati tevékenység egy része visszafordíthatatlan változásokat okoz. Külszíni mészkőbányákban a kitermelés során gyakran nyílnak meg barlangok, amelyek legtöbbször a továbbhaladó fejtés áldozatául esnek; különösen az ex lege védetség kimondása előtt pusztult már el így sok barlangtani és őslénytani értékeket magába foglaló barlang Magyarországon.

A hazai ásványvagyon kitermelése és hasznosítása a közelmúltban történt bányabezárásokig jelentős környezeti károkat okozott. A nyersanyag-kitermeléssel összefüggő általános környezeti probléma a bányászat jelentős területigénye. A bányaműveletek, különösen a külszíni fejtések nagy mélyedéseket hoznak létre, befolyásolják az adott terület természetes vízforgalmát, rombolják a táji, természetes adottságokat. A bányászat negatívan hat az élőhelyekre, megzavarja az élővilág fejlődését, károsan befolyásolja a biológiai sokszínűséget is (KEVEINÉ BÁRÁNY I. 2005). Ezek a környezeti problémák a Bakony-hegységben is sokrétűen jelentkeznek.

A bányaművelés során keletkezett meddőközetek hányókra kerülnek, hasonló sorsra jutnak a bányatermékek hasznosítása utáni maradványok (erőművi pernye és salak, vörösiszap) is. A belőlük származó por – és esetenként gáz – egyaránt szennyezi a levegőt és a talajt; a csapadékvíz hatására jelentkező kioldódás szintén a talaj, a felszín és a talajvíz szennyezője. Maga az objektum – mint tájidegen elem – tájromboló tényező. Hazánkban további környezeti gondok forrása – az egyébként igen költséges – bányászati rekultiváció elmaradása (ÁDÁM L. et al. 1988).

A Bakony-hegység területén a napjainkra már bezárt mélyművelésű szén- és bauxitbányák, a meddőhányók és a timföldgyártás melléktermékeként visszamaradó vörösiszap-tározók jelentik a legnagyobb veszélyforrást a környezetre. 2010. október 4-én az Ajka közelében létesített tározó gátszakadása következtében mintegy 1 millió m³ toxikus anyagokat tartalmazó vörösiszap öntötte el a környező területeket. A katasztrófa tíz emberéletet követelt és 120-an égési sérüléseket szereztek a bőrükkel érintkező vörös iszap következtében, továbbá súlyos anyagi károkat is okozott, főleg Kolontáron és Devecseren (SCHWEITZER F. 2010). Ez volt az egyik legnagyobb környezeti katasztrófa Magyarország területén.

A karsztvízszintsüllyesztés következményei

A Dunántúli-középhegységben több évtizeden át folytatott barnakőszén- és bauxitbányászat jelentős negatív hatást gyakorolt a karsztvízkészletek mennyiségére és minőségére. A Bakony területén jelentős mennyiségű és kiváló minőségű karsztvíz található, amely az ország fontos ivóvíztartalékának is tekinthető, de szintjét a bányaműveletek által érintett térségekben az ásványkincsek biztonságos kitermelése céljából az 1980-as évek végéig folyamatosan süllyesztették, ezáltal számos forrás, valamint karsztvízből táplálkozó ástott kút elapadt, veszélybe került a világhírű Hévízi-tó vízutánpótlása és gyógyhatása, és eltűnt

a tapolcai Tavas-barlang vize is. A karsztvíz szintje csökkenésének és az említett bajoknak fő okozója a karsztvízszint alatt elhelyezkedő Nyirád környéki bauxitlencsék kitermelése volt. A bányászat kezdetekor a bányamérnökök még nem tudták, hogy a karsztvíz kiszivattyúzásával milyen nagymértékben beavatkoznak a terület hidrogeológiai rendszerébe. A '60-as évek közepére lett nyilvánvaló, hogy a bányavíz folyamatos kiemelésével a környező területek forrásai, patakmedrei, karsztlápjai elapadnak, kiszáradnak (5. kép), és a Nyirád környéki depressziós térség hatására a nyomáscsökkenésből adódóan a talajvízháztartás is megváltozott (BENKE I. 1997). A sok kis beavatkozás lassan kihatott az élőhelyekre, az élővilágra és a mezőgazdaságra is. Az 1990-es évek elején különböző intézkedések születtek e káros hatások csökkentésére: a bányákat bezárták, a karsztvíz kiemelését a települések ivóvízszükségletének kielégítése szintjére csökkentették. Ezen intézkedések jótékony hatására a karsztvíz szintje napjainkra helyreállt, visszatért a víz, a forrásokban és barlangokban a vízszint ismét állandósult.



5. kép Kiszáradt vízfolyás a Tapolcai-karszt felszínén
Photo 5 Dried out stream on the surface of the Tapolca Karst

A mélyművelésű bányák következtében kialakuló felszíni omlások

A Déli-Bakonyban, az Ajka és Úrkút között található Dohányos-hegyen az elmúlt évtizedekben tekintélyes méretű dolinaszerű karsztos mélyedések alakultak ki az egykori ajkacsingervölgyi szénbánya felett. A szénbányászat befejeződése után az elhagyott bánya tárnáit feliszapolták, de az eltömedékelés ellenére megindult a bányavágatok beomlása, amely helyenként egészen a felszínig hatolt. A bányaműveletek következtében a fedőrétegek eredeti feszültségállapota szükségszerűen megváltozik, az üregek beomlása pedig bizonyos idő eltelté után elkerülhetetlenül felszínmozgásokat idéz elő. Terepbejárásaink

során azt tapasztaltuk, hogy az elmúlt évtizedekben ily módon kialakult többszerű mélyedések egy része a környező magasabb térszínről magukhoz vonzották a lefolyó vizeket és elnyelik azokat, azaz az emberi beavatkozásra kialakult mélyedések egyre inkább víznyelőként funkcionálnak.

*A mezőgazdasági és erdőgazdasági tevékenységek káros hatásai
a karsztos tájakon*

Az erdő- és mezőgazdaság közvetlenül és közvetve is befolyásolhatja a barlangok feletti védőterületek környezeti állapotát. A felhasznált vegyszerek, műtrágyák a legkörülményesebb felhasználás mellett is bejuthatnak a karsztba a vízfolyásokkal, illetve beszivárgással. A fel nem használt vegyszerek gondatlan kezelése még komolyabb veszélyt jelenthet a természeti környezetben. Az erdőállomány tarvágása változásokat okozhat a lefolyási viszonyokban, felgyorsulhat a lejtőkön a talaj lehordódása, ami a víznyelők elzáródását okozhatja. A megváltozott növénytakaró maga után vonja a talajtakaró, valamint a talajon átszivárgó vizek kémiai összetételének változását, amely közvetlenül befolyásolja a karsztkorrozíós folyamatokat (KEVEINÉ BÁRÁNY I. 2005).

A nagyon intenzív mezőgazdálkodás nem jellemző karsztjainkra, hazai karsztos tájainkat illetően kifejezetten intenzív mezőgazdasági művelést a Bakony térségében lényegében csak a Hárskúti- és a Tési-fennsíkron folytatnak, jelentősen károsítva a környezetet. Az utóbbi évtizedekben meghonosított mezőgazdasági technológiák nagy – néha az indokoltnál is nagyobb – vegyszerfelhasználása miatt folyamatosan szórnak ki gyomirtó és növényvédő szereket, szerves és műtrágyát stb. barlangok fölötti területekre. A felszíni vizekben feloldódva és a porózus szerkezetű löszön keresztülszivárogva, ill. a víznyelőkön át ezek bejutnak a barlangokba, ezért azok védelme érdekében a teljes vízgyűjtő területen célszerű lenne korlátozni a vegyszerek felhasználását. Különösen érzékenyek a karsztfennsíkok víznyelőkkel határos területei. A helybeli lakosság gondatlansága, tájékozatlansága a karsztvízbázis jelentős szennyeződéshez vezethet. Az elmúlt években végzett víznyelő-katasztrofizálás közben számos elrettentő példát láttunk a vizsgált területen arra, hogy a mező- és erdőgazdasági tevékenységek során keletkezett melléktermékeket, maradék anyagokat a víznyelőkben halmozták fel. A Hárskúti-fennsíkon a Cholnoky Jenő-víznyelőbarlangot szinte teljesen feltöltötték a közeli lovarda szerves trágyájával, Zirc környékén a Csirkés-víznyelőbe elhullott baromfik száját hordták, erdős területeken pedig gyakran az elhullott vadállatok tetemeit úgy próbálják eltüntetni a szem elől, hogy a víznyelőbe dobálják őket.

A Tési-, ill. Hárskúti-fennsík enyhe lejtésű területein a vizek lefolyását nem csak a természetes úton kialakult domborzati viszonyok befolyásolják. A lösszel fedett karsztfennsík nagy részén régóta szántóföldi művelés folyik. Az emberi tevékenység felszínalakító hatásának következtében a víznyelőkhöz vezető vízfolyások hossza, iránya, és mennyisége évszakosan is változik (VERESS M. 2010). A szántóföldként hasznosított lösszel fedett karsztos térszíneken nyíló víznyelők vízgyűjtő területének nagysága mindig az aktuális felszíni viszonyoktól függ, amit a szántás, illetve egyéb földmunkák is jelentősen befolyásolhatnak. A néhány fokos lejtésű területen a gépi munkák során létrehozott vízterelő csatornák (pl. keréknyomok, szántási barázdák) iránya meghatározó: ezek odavezethetik a víznyelőhöz a távolabbi területekre hullott csapadékot is, megnövelhetik vele a víznyelő vízgyűjtő területét, de az ellenkezője is megtörténhet, a víznyelőhöz közeli területekről elvezethetik a víznyelő mellett a lefolyó vizeket, amely idővel inaktívvá válhat (6. kép). Az évszázadok óta tartó földművelés (szántás, boronálás) következtében, főleg a víznyelők rendszeres körülszántása miatt lealacsonyodott a víznyelők körüli terület, akár

néhány tíz cm-es perem is keletkezhetett a mélyedések körül. A perem miatt a szántóföld barázdáiban, keréknyomaiban lefolyó vízágak nem mindig tudnak a víznyelőbe folyni. Előfordulhat, hogy a lejtőkről lefolyó víz félig vagy egészen megkerüli a víznyelőt, és csak ott tud befolyni, ahol már lealacsonyodott a perem, vagy ha már annyi víz gyűlt össze, hogy az átbukó víz átréseli ezt a peremet. Az is gyakori, hogy a víznyelő mellett elfolyó víz egy másik távolabbi víznyelőbe torkollik, vagy azt is elkerülve a felszínen folyik tovább. Mivel a víznyelőket rendszeresen kihagyják a szántásból, idővel fás-bokros terület alakul ki bennük vagy a peremükön. Ezek a szántóföldön létrejött kis kerek facsoportok már messziről elárulják a víznyelők helyét (1. kép).



6. kép Keréknyomok vezetik az esővizet a Tési-fennsíkon
Photo 6 Wheel tracks conduct rainwater on the Tési Plateau

A felszínborításban bekövetkezett változások

A karsztos tájak felszínborításában történt változásokat a Tapolcai-karszt példáján keresztül mutatjuk be, ahol a legtöbb antropogén eredetű változás történt az elmúlt évszázadokban. A Tapolcai-karszt a Keszthelyi-hegység és a Balaton-felvidék között medenceszerűen elhelyezkedő terület, a Sümeg–Tapolcai-hát kistáj része. Eredetileg cseres-kocsányos és cseres-kocsánytalan tölgyesek, kisebb arányban gyertyános tölgyesek és mészkertülő tölgyesek alkothatták a természetes vegetációt. A jelenlegi erdők ezek többé-kevésbé elszegényedett származékai, sok a csertölgy uralta állomány.

Keleten, Sáska körül aprózódó dolomiton kialakult száraz gyepei vegetáció a meghatározó: nyílt sziklagyepek, sziklafüves lejtősztyepppek, félszáraz gyepek; fő fajaik a lappangósás (*Carex humilis*), deres csenkesz (*Festuca pallens*), sudár rozsnok (*Bromus erectus*), borzas szulák (*Convolvulus cantabrica*). A gyepeket csak kisebb molyhos tölgyes erdőfoltok tarkítják. A középső kavicsos talajú dombvidéket tölgyesek és származékaik borítják. Az erdők között megjelennek vizenyős részek zombéksással (*Carex elata*), kornistárnicsal (*Gentiana pneumonanthe*). A kisebb területen előbukkanó dolomiton mészkedvelő tölgyes foltok is megfigyelhetők. A karsztos tájat délen részben befenyvesített száraz gyepek, bokorerdők borítják. Invazív özönfajok a bálványfa (*Ailanthus altissima*), álkörmös (*Phytolacca americana*), aranyvessző-fajok (*Solidago spp.*) és az akác (*Robinia pseudo-acacia*) (BÖLÖNI J.–BAUER R. 2008).

A kutatott terület felszínborításának változását egy 10×12 km-es mintaterület (7. kép) példáján keresztül mutatjuk be. A történeti térképek a magyarországi kutatásokhoz a XVIII. századtól szolgáltatnak adatokat, amelyek megbízhatósága a feldolgozás módszerétől is nagyban függ. A történeti térképek feldolgozásának módszerével, az azokból kinyerhető információk feldolgozásával több kutató is foglalkozik (pl. MARI L. 2003; SZILASSI et al. 2006). A mintaterületről négy időpontban készült térképek és úrfelvételek (I. katonai felmérés – 1774; II. katonai felmérés – 1856; 1 : 10000 EOTR térképek – 1985; SPOT IV felvételek – 2006) alapján készítettünk összevethető felszínborítási térképeket. Az egyes időpontok térképei természetesen eltérő tematikus tartalommal készültek, összehasonlíthatóságuk érdekében az 1985-ös és 2006-os felszínborítási térképek több kategóriáját összevontuk.

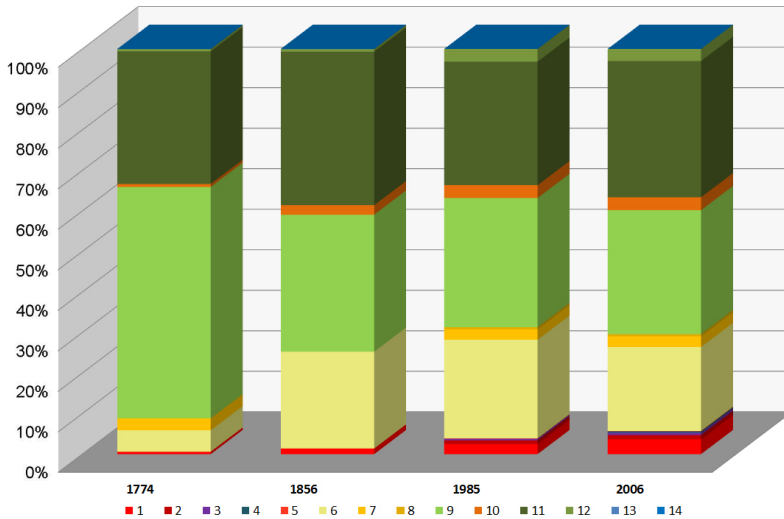


0 1 2 km



7. kép A Tapolcai-karszt vizsgált mintaterülete SPOT 4 műhold felvételen
Photo 7 The sample area appointed on the Tapolca Karst on a SPOT 4 satellite image

Az egyes felszínborítási kategóriák százalékos arányát a vizsgált időpontokban az 5. ábra mutatja. A százalékos értékek természetesen sok változást elfednek, hiszen az 1784-es 32,7%-os és a 2006-os 33,6%-os erdőborítás között nincs 1%-nyi különbség sem, miközben az erdőállomány teljesen megváltozott a két időpont között, az egykori természetes lombos erdők aránya jelentősen csökkent, helyettük ültetett erdők, sok esetben tájidegen fenyvesek alkotják az erdőségeket.



5. ábra A karsztos felszín változása 1784–2006 között a Tapolcai-karszt területén. Jelmagyarázat: 1 – település; 2 – ipari terület; 3 – bányaterület; 4 – építési terület; 5 – parkosított terület, temető; 6 – szántó; 7 – szőlő; 8 – gyümölcsös; 9 – rét, legelő; 10 – kert; 11 – erdő; 12 – fás-bokros terület; 13 – vizenyős terület; 14 – vízfelszín
 Figure 5 Land cover changes between 1784 and 2006 on the surface of the Tapolca Karst. Legend: 1 – settlement; 2 – industrial area; 3 – mine area; 4 – construction area; 5 – park, cemetery; 6 – arable land; 7 – vineyard; 8 – orchard; 9 – meadow, pasture land; 10 – garden; 11 – forest; 12 – bushland; 13 – wet area; 14 – water surface.

A mészkőhegységekre települt falvak és városok környezetszennyező hatásai és a károk megelőzésére javasolt megoldások

A karsztos területen épült falvak, városok lakó- és gazdasági építményeinél célszerű lenne minél hamarabb megépíteni a szennyvízgyűjtő csatornákat. Fel kell számolni a saját erővel épített derítőköt, tárolókat, mivel azok ritkán felelnek meg az előírásoknak, szivároghatnak és tartalmuk könnyen a karsztos járatrendszerekbe juthat (KNÁB M. et al. 2012). Ha szükséges, akkor kedvezményes hitelkonstrukciókkal és a rászorulókat jelentős anyagi támogatásával is el kell érni, hogy a vezetékek mielőbb megépüljenek és a szennyvizek a karsztos vízgyűjtő területek határain kívülre kerüljenek. A településeken keletkezett kommunális hulladék elszállítását vagy esetleges elhelyezését is gondosan meg kell tervezni. A lerakó semmiképpen sem kerülhet egy barlanghoz tartozó vízgyűjtőre vagy közvetlenül a barlangokat magába foglaló mészkőfelszínre. Szükségesnek tartjuk, hogy azokon a településeken, ahol ezt a környezetvédelmi, barlangvédelmi érdekek kívánják, az önkormányzatok tegyék ingyenessé a kommunális hulladék összegyűjtését és biztonságos helyre való elszállítását mindaddig, amíg az emberekben ki nem alakul környezetük tisztántartásának igénye. Az érintett önkormányzatokat a hulladékkézeltésben támogatni kellene központi költségvetési forrásokból, hogy véletlenül se kerüljön szemét, illetve hulladék a barlangok közelébe, víznyelőkhez tartozó vízgyűjtő területekre, vagy nyíltkarsztos területekre, amire sajnálatosan még napjainkban is bőven van példa.

Terepbejárásaink során számos helyen talákoztunk illegális hulladéklerakó-helyekkel. A Tapolcai-karszt Zalahaláppal határos területein százával emelkednek hulladék- és sítihalmok, amelyek az utóbbi években tovább szaporodtak. Tés környékén is hulladéklerakóként hasznosítják a lakosok a falu közelében nyíló víznyelőket. A Hárskút határában nyíló, korábban már említett Cholnoky Jenő-víznyelőbarlanggal a helybeliek meglehetősen méltatlanul bántak, a víznyelő mélyedése pár éve még a lakosok kedvenc illegális lerakója

volt, a közeli lovardából rendszeresen behordott lótrágyahalmok mellett két autóröncsot is rejtett. A víznyelőt – már csak a neves geográfusunkra való tekintettel is – a Balaton-felvidéki Nemzeti Park Igazgatósága időközben kitakarította.

Nyilvánvaló, hogy a felszín alatti vizek hosszú távú védelme érdekében a barlangok feletti területen és a víznyelők környékén a szennyező forrásokat és különösen az illegális lerakást fel kell számolni. A sérülékeny karsztos területeken, a barlangok környezetében a pénzügyi támogatás, a hatósági tiltás és a lakosság környezeti nevelése együttesen talán eredményre vezethet, és ezzel megelőzhető a karsztos rendszerek további leromlása és elszennyződése.

Összefoglalás

Az utóbbi évtized ritkán jelentkező, de annál hevesebb felhőszakadásait kísérő gyors és látványos felszínformáló folyamatok, tájváltozások a Bakony-vidék karsztos tájain is azt bizonyítják, hogy az időjárás egyes elemei (pl. csapadékképződés) szélsőségesebbek lettek. A vizsgálati helyszíneken gyors és látványos tájváltozások főleg a lösszel fedett karsztokon mennek végbe a rövid, nagy intenzitású esőzés, vagy esetleg egy csapadékos évszak egymást követő nagy felhőszakadásai hatására bekövetkező eróziós és akkumulációs folyamatok következtében. E folyamatok következményei a szántóföldeket felárkoló esőbarázdák – amiket az őszi szántás esetleg még eltüntethet – létrejötte, illetve az akár 10 m-t is elérő mély árkok, új dolinák és víznyelők kialakulása, valamint a fedőüledékek karsztos üregekbe való áthalmozása. Ezek maradandó formák, amelyek irreverzibilis folyamatok hatására alakulnak ki (*1. táblázat*).

Ugyancsak spontán természetes folyamatok hatására keletkeznek azok a beszakadások (szakadékdolinák), melyek a karsztos járat mennyezetének beszakadásával jönnek létre. Ezek a barlangokat bezáró kőzet statikailag gyenge pontjain alakulnak ki a teherbíró képesség fokozatosan növekszik, de maga a berogyás általában gyorsan megy végbe. A berogyások főleg a lösszel fedett karsztokra jellemzők (Tési-, Hárskúti-fennsík) (pl. Ördög-lyuk), de kivételesen előfordulnak a nyílt karsztokon is (Tapolcai-karszt). Tölcsér és tál alakú berogyások a nagyobb esőzések után főleg a löszös üledékek átnedvesedésével és karsztos járatrendszerekbe való becsúszásával vagy a képlékennyé váló fedőüledék mélybeszállításával keletkeznek a fedett karsztokon.

Antropogén hatások:

A kőszén és bauxit bányászathoz kapcsolódó tájváltozások jelentkezhetnek lokálisan, ill. regionálisan.

Lokális hatósugarú változások:

Az alábányászott területeken a bányavárat feletti területeken a bányaváratok feletti mennyezet beomlásával bányaszakadékok keletkeznek, amelyek karsztos területeken magukhoz vonzzák a vizeket, és víznyelőkkel alakulhatnak. E folyamat gyorsan megy végbe, a bányák bezárása után 10-20 évvel már viszonylag nagyméretű formák alakulnak ki.

A meddőhányók és vörös iszap tározók a karsztvidék potenciális veszélyforrásai, melyek sok víz felvételével folyóssá válhatnak, és gátszakadással veszélyeztetik a környező településeket.

A külszíni bányászattal kialakított tájsebek és mesterséges felszínek a természetes növénytakaró pusztulásához, a lefolyásviszonyok, beszivárgási körülmények megváltozását

Tájváltozások a Bakony-hegység területén
Types of landscape changes in the Bakony mountains

Folyamat neve	Következményei	Karsztos tájakra gyakorolt hatása	Előfordulási helye
1. Természetes felszínalakító folyamatok			
<i>1.1. Gyors lefolyású – néhány nap, pár hét alatt lezajló – folyamatok</i>			
Vonalas erózió	esőbarázdák	lefolyás, beszivárgás megváltozása	lösszel fedett karszt (Tési-fennsík)
Vonalas erózió	mély árkok	lefolyás, beszivárgás megváltozása	lösszel fedett karszt (Hárskúti-fennsík)
Erózió, korrózió, süppedés	víznyelők	felszín alatti karsztos folyamatok	lösszel fedett karszt (Tési-fennsík)
Akkumuláció	víznyelők feltöltődése	barlangok, víznyelők pusztulása	lösszel fedett karszt (Tési-fennsík)
<i>1.2. Lassú – évek-évezredek alatt lezajló – folyamatok</i>			
Vonalas erózió	mély árok	karsztfennsíkok felszabdálása	lösszel fedett karszt (Tési-fennsík)
Erózió, korrózió, süppedés	fedett karsztos mélyedés	szántóterület csökkenése	lösszel fedett karszt
Erózió, korrózió	víznyelő, töbör képződése	karsztos megcsapolás	fedett és nyílt karszt
2. Potenciális veszélyt jelentő geomorfológiai folyamatok			
Barlang- mennyezet beomlása	szakadékdolina képződése felszíni berogyások	statikai problémák, beépítési korlátozás	nyílt karszt (Tapolcai-karszt) fedett karszt (Tési-fennsík)
3. Antropogén hatások			
<i>3.1. Lokálisan jelentkező hatások</i>			
Bányászat	mesterséges felszínnek létrejött meddőhányók, iszaptározók kialakítása	talaj- és növénytakaró pusztulása, beszivárgás megváltozása környezetidegen anyagok lerakása, geokémiai változások, iszapfolyás	Nyírad, Iharkút, Úrkút Ajka, Kolontár
	bánya beszakadások	zárt mélyedések kialakulása (idővel víznyelővé válhatnak)	Dohányos-hegy, Úrkút
	illegális hulladéklerakás	karsztvizek szennyezése	Tapolcai-karszt, Hárskúti-fennsík
Mezőgazdaság, erdészet	természetes növénytaka- ró pusztulása	beszivárgás megváltozása	lösszel fedett karszt (Tési-fennsík)
	lefolyásviszonyok megváltozása	hatás a víznyelők működésére	lösszel fedett karszt (Hárskúti-fennsík)
	vegyszerezés talajerózió	a vizek pH-jának megváltozása a barlangok és víznyelők feltöltődése	
Beépítés	mesterséges felszínnek kialakítása	beszivárgás csökkenése	Tapolcai-karszt
	statikai igénybevétel szennyvizek és hulladékok képződése	barlangjáratok beszakadása karsztvíz szennyeződése	
<i>3.2. Regionálisan jelentkező hatások</i>			
Mélysztíű bányászat (bauxit, szén)	karsztvízszint süllyesz- tése, vízkiemelés karsztvízrendszer felborulása	regionális karsztvízszint süllyedése források elapadása felszíni vízfolyások kiszáradása	Nyírádi bauxitbánya tapolcai Malom-tó forrása Tapolca- és Viszló-patak elapadása
		termálvíz hőmérsékletének csökkenése barlangi tavak kiszáradása	Hévízi-tó, tapolcai Malom-tó Tapolca, Tavas-barlang

eredményezték a vizsgált karsztos területeken. Ezek a helyek könnyen illegális hulladéklerakó helyekké, a felszín alatti vizeket szennyező forrásaivá válhatnak.

Regionális hatósugarú változások:

A jelentős vízkiemeléssel, helyi karsztvíz depressziók létrehozásával végzett bányászat regionális hatású karsztvízszint csökkenést okozott az egész hegységben. Források, felszíni vízfolyások és tavak kiszáradása kísérte. A területen fakadó gyógyhatású, ill. termálvíz források elapadása, ill. vízrendszerének megváltozása idegenforgalmi érdekeket sértett, ezért a víz kiemelését, ill. a bányászatot leállították.

Az évszázadok óta tartó mezőgazdasági tevékenységek hatására (Tési- és Hárskúti-fennsík) a karsztvidék természetes növénytakarója átalakult, amely a lefolyás, beszivárgás, vizek kémhatásának megváltozásával járt együtt. A felhasznált vegyszerek szennyezik és veszélyeztetik a felszíni és felszín alatti vizeket, károsítják a barlangok képződményeit, élővilágát. A fedett karsztos területeken a szántás során kialakult barázdák keréknyomok megváltoztatják a lefolyó vizek irányát, s ezáltal befolyásolják a víznyelők működését.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat a K 79135 OTKA Pályázat támogatta.

MÓGA JÁNOS

ELTE TTK FFI Természetföldrajzi Tanszék, Budapest
jmoga@freemail.hu

SZABÓ MÁRIA

ELTE FFI Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest
szmarcsi@caesar.elte.hu

MARI LÁSZLÓ

ELTE TTK FFI Természetföldrajzi Tanszék, Budapest
malkact@caesar.elte.hu

BORSODI ANDREA

ELTE TTK Biológiai Intézet Mikrobiológiai Tanszék, Budapest
borsodi.andrea@ttk.elte.hu

KÉRI ANDRÁS

ELTE TTK FFI Természetföldrajzi Tanszék, Budapest
keri.andras@trefort.elte.hu

KNÁB MÓNIKA

ELTE TTK Biológiai Intézet Mikrobiológiai Tanszék, Budapest
moniknab@gmail.com

KISS KLAUDIA

MTA CSFK Földrajztudományi Intézet, Budapest
kiss.klaudia@csfk.mta.hu

IVÁN VERONIKA

ELTE TTK FFI Természetföldrajzi Tanszék, Budapest
iv.veron@gmail.com

IRODALOM

- ÁDÁM L.–MAROSI S.–SZILÁRD J. 1988: A Dunántúli középhegység B, Regionális Földrajza, Akadémia Kiadó, Budapest. 499 p.
- BÁRÁNY KEVEI I.–GUNN, J. (szerk.) 1999: Essays in the ecology and conservation of karst. *Acta Geographica Tomus 36*. Szeged. pp. 13–30.
- BENKE I. (szerk.) 1997: A magyar bányászat évezredek története. I-II. Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület, 1996, 1997. 695, ill. 752 p.
- BÖLÖNI J.–BAUER R. 2008: Sümeg – Tapolcai-hát. In: KIRÁLY G.–MOLNÁR ZS.–BÖLÖNI J.–CSIKY J.–VOJTKÓ A. (szerk.): Magyarország földrajzi kistájainak növényzete. MTA, ÖBKI. 147 p.
- BUDAI T.–CSÁSZÁR G.–CSILLAG G.–DUDKO A.–KOLOSZÁR L.–MAJOROS GY. 1999: A Balaton-felvidék Földtana. Magyarózó a Balaton-felvidék földtani térképéhez, 1:50000 MÁFI Budapest. 257 p.
- FORD, D.–WILLIAMS, P. 2007: Karst hydrogeology and geomorphology. John Wiley & Sons, 562 p.
- FUTÓ J. 2003: Bakonyvidék. In: SZÉKELY, K. (szerk.) Magyarország fokozottan védett barlangjai. Mezőgazda, Budapest. pp. 339–344.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I. 2005: A karsztok védelmének aktuális kérdései. *Karsztfejlődés 10*. Szombathely. pp. 337–342.
- KNÁB M.–SZILI-KOVÁCS T.–KISS K.–PALATINSZKY M.–MÁRIALIGETI K.–MÓGA J.–BORSODI A. 2012: Comparison of soil microbial communities from two distinct karst areas in Hungary. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 59. 1. pp. 91–105.
- KORDOS L. 1984: Magyarország barlangjai. Tapolcai-tavasbarlang. Gondolat kiadó, Budapest. pp. 252–257.
- LÓCZY D. 2006: Nemzetközi áttekintés a karsztok sérülékenységének minősítési módszereiről. *Karsztfejlődés XI*. Szombathely. 2006. pp. 209–221.
- MARI L. 2003: Felszínborítás-változás vizsgálata térinformatikai módszerekkel az Aggteleki Nemzeti Park területén. *Karsztfejlődés VIII.*, Szombathely. pp. 231–242.
- MÓGA J.–MARI L.–KISS K.–KÉRINÉ BORSODI A.–KÉRI A.–KNÁB M.–SZABÓ M.–DARABOS G.–VARJU ZS.–EGERVÁRI N. 2010: A karsztos táj változásainak (degradációjának) vizsgálata a Tapolcai-karszton. *Tájökológiai kutatások 2010*. IV. Magyar Tájökológiai Konferencia MTA Földrajztudományi Kutatóintézete Budapest. 2010. pp. 177–186.
- MÓGA J.–HORVÁTH G. 2004: The viewpoints of the indication of the surface protection areas connected to caves. in: Horváth G. (szerk.): Soil effect on karst processes, pp. 89–106.
- NÉMETH R. 2006: Hidrológiai megfigyelések a Tési-fennsíkon. A Bakonyi Barlangkutató Egyesületek Szövetsége Évkönyve 2004–2005. pp. 31–36.
- PARISE, M.–PASCALI, V. 2003: Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy). *Environ. Geol.* 44. pp. 247–256.
- PARISE, M. 2010: Hazards in karst sustainability of the karst environment Dinaric karst and other karst regions. *International Interdisciplinary Scientific Conference (Plitvice Lakes, Croatia, 23–26 September 2009)*. pp.155–162.
- SCHWEITZER F. 2010: Channel regulation of Torna stream to improve environmental condition in the vicinity of red sludge reservoirs at Ajka, Hungary. *Hungarian Geographical Bulletin* 59. 4. pp. 347–359.
- SZILASSI P.–JORDAN GY.–ROMPAEY A.–CSILLAG G. 2006: Impacts of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in the Kali Basin at Lake Balaton, Hungary. *Catena* 68. pp. 96–108.
- VERESS M. 1999: Az Északi-Bakony fedett karsztja. A Bakony Természettudományi Kutatásának Eredményei 23. Bakonyi Természettudományi Múzeum, Zirc. 167 p.
- VERESS M. 2010: Factors influencing solution in karren and on covered karst. *Hungarian Geographical Bulletin* 59. 3. MTA FKI, pp. 289–306.
- WALTHAM, T.–BELL, F.–CULSHAW, M. 2004: Sinkholes and subsidence. Springer, 381 p.

Internetes forrás

http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idojarasa