

**KARSZTDOLINÁKRÓL MÁSKÉPPEN
(GEOÖKOLÓGIAI ÉRTELMEZÉS)**

**FROM KARST DOLINAS OTHERWISE
(GEOECOLOGICAL INTERPRETATION)**

KEVEINÉ BÁRÁNY ILONA

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

Abstract: The ecological (environmental) system of the karst is very vulnerable, environmental impacts endanger the natural course of corrosion, the survival of individual habitats and the quality of non-renewable natural resources. Incorrect human use may also cause degradation of aesthetic and environmental values. In the karst system, the occurrence and distribution of dolines are related to the characteristics of the climatic conditions of the area. Dolines are "hot spots" of karstic areas, the infiltrating water can enter the system very quickly here, where they can start irreversible (degradation) processes. The development of the dolines is governed by the integrated processes of geo-ecological factors (bedrock, climate, water, soil, vegetation, humans). Karst ecosystem services (drinking water supply, recreational utilization, timber production and carbon sequestration) are of great importance for the population. Exploring and evaluating these services are important parts of complex investigations. The study draws attention to geoecological doline studies with some typical geochronological parameters.

Keywords: geoecology, doline investigation, doline microclimate, soil of doline, flora of doline

Bevezetés

A karsztok ökológiai (környezeti) rendszere igen sérülékeny, a környezet szennyezések veszélyeztetik a korrózió természetes menetét, az egyedi élőhelyek fennmaradását és a nem megújuló természeti erőforrások minőségét. A helytelen emberi használat az esztétikai és környezeti értékek romlását is előidézhetheti. A karsztok rendszerében a dolinák előfordulása és eloszlása összefügg a terület klimatikus adottságainak jellemzőivel. A dolinák a karsztos területek „hot spot”-jai, mivel a beszivárgó vizek itt igen gyorsan bejuthatnak a rendszerbe, ahol visszafordíthatatlan degradációs folyamatokat indíthatnak el. A dolinák fejlődését a geoökológiai tényezők (alapkőzet, klíma, víz, talaj, növényzet, ember) integrált folyamatai irányítják. A karsztok ökoszisztéma szolgáltatásai (ivóvízellátás, rekreációs hasznosítás, erdőinek faanyag hasznosítása és a CO₂ elnyelése) igen fontos a lakosság számára. Ezeknek a szolgáltatásoknak feltárása és értékelése fontos része a komplex vizsgálatoknak. A tanulmány néhány jellegzetes geoökológiai paraméter

segítségével irányítja rá a figyelmet a geoökológiai szemléletű dolina-vizsgálatokra.

Vázlatos kutatástörténet

A karsztok sajátos morfológiáját és jelenségeit már a Krisztus előtti időszakban megfigyelték a korabeli gondolkodók, a 16. századtól pedig a mészkőhegységek jelenségeit már karsztos jelenséggént fogták fel a természettudósok (PFEFFER, 2010). Mielőtt azonban a karszt fogalom a tudományos szakirodalomban megjelent volna, Szlovéniában Valvasor már a 17. században írt a karsztok zárt depresszióiról (KRANJC 2013). HAQUETT (1778) „*kessel*” névvel illette a karsztos dolinákat ebben az időben. A 19. században vált általánossá a geográfusok és geológusok körében a karszt fogalma (VIRLET 1834, FOURNET, 1852), ekkor már térképen is megjelent az Isztriai-félsziget geológiai térképén „*karsztközét*” megnevezés. PRESTWITZ (1854) angol, OWEN (1856) és COX (1874) amerikai kutatók a dolinákat ekkor már a kőzetmállás következményének tartották.

A 19. század végén CVIJIC (1893) adta meg a karszt első tudományos megfogalmazását „*Das Karstphaenomen*”, azaz a „*Karsztjelenségek*” című munkájában. A tisztán karsztos (holokarszt) területeket és azok depresszióit, a dolinákat, uvalákat és poljéket vizsgálta. A dolinákat karsztos felszín korróziós formájának tartotta (szemben a dolinák keletkezésének akkori, beszakadásos elméletével). A karszthidrológusok (GRUND 1904, KATZER (1909) a dolinák keletkezését eróziós úton vezették le. A kutatók többsége a külső morfológia alapján írta le a dolinákat (GORTANI 1908, LUGEON, JÉRÉMINE 1911), keletkezésüket oldásos folyamattal magyarázták. A karsztmorfológiai kutatások ettől az időszaktól kezdődően messzire jutottak. Kiemelhető a tektonikus hatások felismerése a karsztformálódásban, a karsztos és nem karsztos kőzetek kölcsönhatásának vizsgálata a hidrogeográfiai viszonyok értelmezésében. TERZAGHI (1913) elsők között ismerte fel a mészkőoldás biogén jellegét. Az oldási folyamatok klímára és a környezeti tényezőkre való visszavezetése a korszerű karsztmorfológia számára nyújtott jelentős továbblépési lehetőséget. Fontos megállapítás volt, hogy a mészkőhegységek kiemelt felszínein nem a folyóvízi eróziós felszabdaltság, hanem a sajátos karsztos formák alakulnak ki (CHOLNOKY, 1916). Előremutató volt a hazai kutatásokban a szervesanyagok bomlásakor keletkező CO₂ oldóhatásának felismerése is.

A karsztkutatások (beleértve a dolinák kutatását is) új fejezetét nyitotta meg LEHMANN, O. (1931) munkássága, aki osztotta Terzaghi véleményét, miszerint a dolinákat klíma variencia jellemzi, de az oldásos dolina-

fejlődésében a vegetációnak is jelentős szerepet tulajdonított. Genetikai alapú dolinarendszerézést először *CRAMER* (1941) dolgozott ki, megkülönböztette a beszakadásos-, földomlásos-, anyaghiányos-, oldásos- és feliszapolódott (feltöltött) dolinákat. A második világháború után a karsztkutatásokban mérföldkő volt az 1953-ban létrejött Nemzetközi Karsztbizottság munkássága. *LEHMANN H.* (1956) elgondolásai alapján a karsztok klímaspecifikus értékelése került előtérbe. A karsztvízszintnek, a kőzetoldódás kémiai folyamatának a vizsgálata dominálta a karsztkutatásokat (*WARWICK*, 1958, *BÖGLI*, 1960). A klímafeltételek elemzése vetette fel a biogén eredetű CO₂ korrózióban betöltött szerepének kérdését. Felismerték, hogy a felszint borító növényzet gyökérlégzése és a humusz-gazdag talaj szerves-anyagának mikrobiális bontása jelentősen módosítja a talajlevegő vizet agressziváló CO₂ tartalmának mennyiségét, s ezáltal a karsztkorrózió intenzitását. *SWEETING* (1972) hangsúlyozta a karsztvíz mésztartalmának változatosságát közel hasonló klímafeltételek között. A növényborítottsággal, a talajtényezővel, és a petrográfiai jellemzőkkel hozta kapcsolatba *MIOTKE* (1974) a felszíni formák kialakulását. Több kutató a kőzet és a klíma komplex hatására vezette vissza a karsztfelszín fejlődést (*PRIESNITZ* 1968, *PFEFFER* 1976, *BAKALOVICZ* 1977, *TRUDGILL* 1977). Az Alpokban a karrok magassági zónáit különítette el *ZWITTKOVICS* (1969), azok elrendeződését az orográfiai helyzet mellett a talaj-, a vegetációborítás- és a karsztvíztükör elhelyezkedésével hozta kapcsolatba. *LA VALLE* (1967) amerikai területeken a karsztdepressziók jellemző paramétereit a geológiai-, hidrológiai- és lokális elemek jellemzőivel magyarázta. Orosz kutatók (*MAXIMOVICS* 1963, *GVOZDECKIJ* 1972) a dolinák kialakulását tanulmányozva hangsúlyozták a szuffúziós folyamatok jelentőségét, genetikai alapon oldásos (korróziós)-, beszakadásos- és a feltörő források által kialakított dolinákat különböztettek meg. *GROSCHOPF*, *KOBLER* (1974) a Sváb Albben megállapították, hogy a formák a klímahatás és az ökológiai viszonyok miatt hasonlóak, eltérő geológiai adottságok esetén is. A fedett karsztok tölesérdolináit (a *crameri* értelemben) üledékkel kitöltött, anyaghiányos dolináknak tartották. A hazai kutatások az 50-es években az oldásos dolinák gyors pusztulását és azok uvalává és vakvölgyekké alakulását figyelték meg (*LEÉL-ÖSSY S.* 1954). A karsztok geomorfológiai szemléletű vizsgálatát az aggteleki karszton *LÁNG* (1964) és *JAKUCS* (1971) kezdte meg. A dolinák mikroklímáját hosszú idősoros vizsgálattal e tanulmány szerzője (*BÁRÁNY-KEVEI* 1985, 1999) vizsgálta dolinákban. Megállapítottuk, hogy az eltérő kitétségű lejtők biogén- és talaj folyamatai speciális növényzettel, és különböző talajfolyamatokkal jelentősen hozzájárulnak a dolinák aszimmetrikus formájának kialakulásához (*BÁRÁNY KEVEI* et.al 2015).

A karsztkutatások már korábban jelezték azokat a hatásokat, amelyek hosszútávon megváltoztatják a tájesztétikai, tájhasznosítási és rekreációs szempontból értékes karszterületek fejlődését és működését (kopárosodás, cseppkő-degradáció, karsztvízszint-süllyedés stb). A múlt század közepétől indultak meg azok a vizsgálatok, amelyek a felszíni formák, közöttük a dolinák morfológiai vizsgálatát célozták (*LA VALLE* 1967, *WILLIAMS* 1972, *KEMMERLY* 1982, 2007, *PALMQUIST* 1979, *MEZŐSI* et. al. 1978, *BÁRÁNY KEVEI*, *MEZŐSI* 1991, 1993, *FARSANG*, *TÓTH* 1993, *CASTIGLIONI* 1991, *HOYK* 1999), s ezek a vizsgálatok a dolinák genetikai jellegére is utaltak. A 2000-es évek morfológiai értékelései (*TELBISZ* et al 2007, *VERESS* 2007, 2012, *BASSO* et al 2013, *RAMSEY* 2015) már hozzájárultak a dolinafejlődés pontosabb megértéséhez és utaltak a különböző környezeti hatások fontosságára is. Az utóbbi évtizedekben egyre inkább teret nyert a karszterületek GIS segítségével történő feltárása, és adatbázisok létrehozása (*GAO*, *ALEXANDER* 2003, *SISKA*, *KEMMERLY* 2007, *GAO*, *ZHOU* 2008, *TELBISZ* et al. 2009, 2016, *KOBAL* et al., 2014). Ezek az adatok segítik a geohazardok előfordulásának előrejelzését is (*BRUNO* et al 2008). Napjainkban a dolinák gyakori beszakadása váltotta ki a kutatók érdeklődését (*GALVE* et al. 2009, *GUTIERREZ* et al. 2014, *SISKA* et al. 2016). Az emberi beavatkozások (pl. városfejlesztés, mezőgazdaság, kőbányászat, útépités stb), jelentősen megzavarják a karsztok természetes geológiai környezetének működését. Vizsgálni kezdték azokat a diagnosztizált paramétereket (litológia, topográfia, hidrológia, vegetáció) amelyek a dolinák beomlásait okozhatják (*SUSTERCIC* 2006, *SISKA* et al. 2016). Ismeretükben meghatározhatók a folyamatok és a funkciók közötti kapcsolatok. Utóbbi mecseki, bükkői és aggteleki dolinákban mért morfológiai paramétereink (*BÁRÁNY-KEVEI* et. al 2015) igazolták, hogy a dolinákat kitöltő üledékek szemcsemérete, a dolinák megnyúlása, és az agyag felhalmozódása a dolina fenéken csökkenti, a lejtőoldalakon viszont kedvezményezi a dolinák korrózióját. A dolinák növekedésével egyidőben növekszik a dolinák aszimmetriája, ami jelentős részben a külső geológiai tényezők hatására alakul ki a dolinákban. Jelen tanulmány a mikroklíma, talaj és a növényzet hatásának olyan jellemző változási trendjeit emeli ki, amelyek bizonyítják a degradációs folyamatok működését a dolinákban..

A karsztok ökoszisztéma-szolgáltatásai (*GOLDSCHIEDER* 2012, *KISS et.al* 2011, *KEVEINÉ BÁRÁNY*, *KISS* 2018) és a különböző társadalmi-gazdasági jellemzők, valamint a karsztok területi mintázatában tapasztalható jelentős eltérések is napjaink karsztkutatásának fontos része. Mivel a dolinák a karsztok esztétikai értékeinek jellegzetes képviselői, ilyen irányú kutatásuk még sok lehetőséget kínál a kutatóknak. Emellett lehetőséget kínálnak a geodiverzitás (melynek a dolinák kitüntetett helyei) és az ökoszisztéma-

szolgáltatások közötti összefüggések vizsgálatára, ami tájtypustól függetlenül is vizsgálatra alkalmas kérdésnek tekinthető.

A dolinák geoökológiai értelmezése

A dinamikus karsztmorfológiai irányzat képviselői (*HASERODT* 1965, *BÖGLI* 1980, *SWEETING* 1985) korán rámutattak arra, hogy a karsztosodást kiváltó tényezők összetettebbek, mint azt a klasszikus geomorfológiai irányzatok megfogalmazták. Igaz ez a megállapítás a karsztos dolinákra is. A dolinák a karsztok diagnosztikus formái (*GAMS* 1972, 1974, *FORD*, *WILLIAMS* 2007), természetes zárt depressziók, általában körszerű alakkal, néhány métertől 1000 m átmérőig, és néhány métertől néhány 10 méter mélységig (*SAURO* 2005, 2013). Genetikai értelemben oldásos (korróziós)-, beszakadásos (gravitációs)-, utánsüllyedéses-, és a járatokat üledékkel kitöltő (szuffóziós) dolinákat különböztet meg a szakirodalom (*FORD*, *WILLIAMS* 1989, 2007). Bővítve a fenti típusok sorát az utánsüllyedéses típusnál az üregeket üledékkel feltöltő szuffóziós dolinák mellett, hirtelen beomló- (dropout) dolinákat is elkülönített. Az üledékkel fedett karsztfelszín alatt a kőzetoldás anyaghiánya miatt beszakadó dolinákat eltemetett (buried) dolinákként nevezte meg. Ezekben az eltemetett dolinákban anyagfelhalmozódások (bauxit és különböző konglomeratok) találhatóak, melyeknek gazdasági jelentősége van. A beomlásos dolinák egyik altípusa, a caprok dolina ott keletkezik, ahol a felszínalatti oldás miatt a mennyezet elvékonyodik és az oldási üreg felett beszakad a felszín. *SAURO* (2003) a barlangi kitöltésbe mélyülő dolinák sajátos típusát intersekciónak határozta meg. Az ábrák (1, 2, 3, 4, 5. ábrák) néhány dolinatípust mutatnak be.



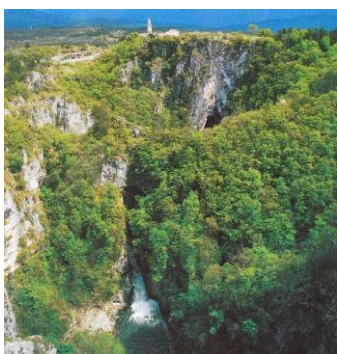
1. ábra. Oldásos dolinák a Bükk-fennsíkron
Fig. 1. Solution dolines in the Bükk Mountain



2. ábra. Oldásos dolina Dél-koreai Taebek hegységben)
Fig. 2. Solution doline in Taebek Mountains S-Korea



3. ábra. Víznyelő dolina a Peak District Nemzeti Parkban (Anglia, originál)
Fig. 3. Water swallow doline in Peak District National Park (England)



4. ábra. Beszakadásos vagy Nagy dolina
a Skociáni barlangnál
Fig. 4. Collapse doline at Skocián cave



5. ábra. Cenote vagy karszt kút a Yucatan-félsziget
karsztján (Mexikó, Chichén Itza,
Fig. 5. Cenote on Karst of Yucatan, (Chichén Itza)

A dolinák geoökológiai szemléletű kutatása néhány évtizede kezdődött el. A kutatás legfontosabb jellemzője a tér- és időbeliség, a természeti adottságok, valamint a fejlődés (változás) feltárása. A táj vizuális megjelenése a fejlődés során kialakult tájat mutatja be függetlenül attól, hogy az megtartotta-e eredeti értékeit, vagy jelentős részben már az emberi beavatkozás formálta át. A karsztökológiai rendszer 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 áramlás biztosítja. Szerkezetét az elemek három dimenziós elrendeződése szabja meg. Specifikuma sérülékenysége, és a folyamatok gyors lefutása (BÁRÁNY-KEVEI 1998).

A dolinák a karsztrendszerben sajátos környezeti adottságokkal rendelkeznek, kutatásuk csak sokirányú geoökológiai módszerekkel lehetséges. A dolinák fejlődését (a genetikai folyamatokon túl) a környezeti hatások jelentős mértékben befolyásolják. Geoökológiai értelemben a dolinák a karsztos területek „hot spot”-jai, ahol a geoökológiai tényezők (kőzettípus, domborzat, mikroklíma, talajfolyamatok, növényfajok és az emberi tevékenység) kölcsönhatásában megváltozik a beszivárgó víz oldó hatása, ezzel együtt változik a felszíni- és a felszín alatti formafejlődés üteme is.

Dolinák mikroklímája

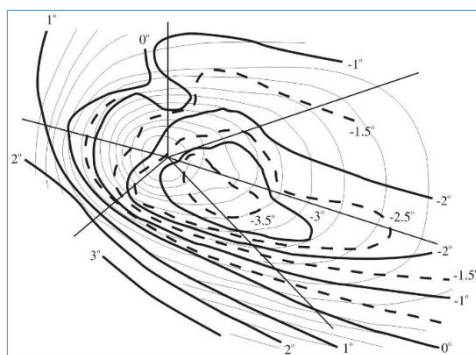
A mélyedésekben történő hideglevegő felhalmozódásával több kutató foglalkozott a múlt század első felében (*SCHMIDT* 1933, *BACSÓ*, *ZÓLYOMI* 1934, *REICHER* 1936, *LAUSCHER* 1937). A karsztos dolinák mikroklíma viszonyait az 1950-es években kezdték vizsgálni (*HORVÁT* 1953, *SAUBERER*, *DIRMHORN* 1958, *WAGNER* 1964, *GEIGER* 1965, *BÁRÁNY* 1966). Az első extrém alacsony hőmérsékletet az Alpokban mérték, később szlovén, japán és amerikai kutatók (*PETKOVSEK*, *RAKOVEC* 1983, *YOSHINO* 1984, *MAKI*, *HARAMAYA* 1988, *CLEMENTS* et al. 2003) a dolinák minimum hőmérsékletét, és a hideg légtó kialakulási folyamatait elemezték. Napjainkban a kutatók a depressziók alján korán önárnnyékba kerülő lejtők erős lehülését vizsgálva megállapították, hogy a horizont korlátozás miatt az árnyékba kerülő lejtőkön diffúz sugárzás reflektálódik a szomszédos felületekről (*CAPUTA*, *WOJKOWSKI*, 2015), aminek meghatározó szerepe van minimum hőmérsékletek kialakulásában.

Az expozíciós hatás a besugárzási periódusban jut érvényre, a felületegységre jutó energia mennyiségét a lejtőhajlás módosítja. A meredek és északra exponált lejtőn nagyobb a sugárzási deficit, mint a déli expozíción. A sugárzás évi és napi összege a déli kitétségű lejtőn a legmagasabb mind januárban, mind júliusban. Napfelkeltétől 9 óráig a keletre néző lejtő részeseül több sugárzásban a déli kitétségű lejtővel szemben, a délutáni órákban a nyugati kitétségű lejtő kerül kedvezőbb sugárzási helyzetbe. A K-Ny-i irányú keresztmetszetben azonos mennyiségű sugárzás jut mindkét lejtőre, a napi menetben viszont a keletre néző lejtő kap délelőtt erősebb besugárzást, délután a Ny-i kitétségre érkezik több energia.

Egy bükki dolina északi- és déli kitétségű lejtőjének felületegységére jutó energiamennyiségét megvizsgálva (a nap pozitív tágassága 25°, az extinkció átlaga 3,1 volt), a lejtőszögek ismeretében meghatároztuk minden órában a felületegységre jutó energia mennyiségét. Az északi és déli lejtő között nyilvánvalóan nagy volt a beérkezett energia mennyisége közötti

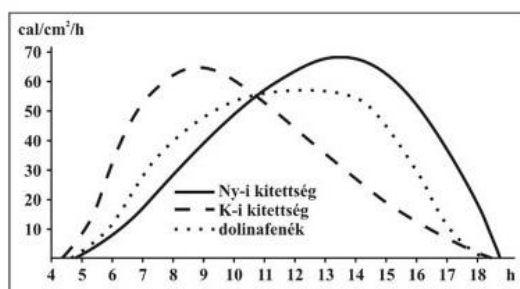
különbség. Míg a dolinát magába foglaló völgytalpon reggel 5 és 6 óra között 1 óra alatt $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a hőmérséklet emelkedése, a dolina nagy része ekkor még önárnyékban van. A gyors felmelegedést késlelteti az éjszaka a dolinában kialakult hideg-légtó is (6. ábra).

A besugárzás a dolinában először az északra néző lejtőn indul meg, az ekkor még alacsony napállás idején, a sugárzási többlet még nem jelentős. Ezután indul meg a keletre néző lejtő felmelegedése jelentős besugárzási többlettel. Egy derült nyári napon 8-9 óra között a keletre néző lejtőn a sugárzás $2,688\text{ MJ/m}^2$, ugyanebben az időszakban a nyugati kiettségen $1,570\text{ MJ/m}^2$, a dolina alján $1,896\text{ MJ/m}^2$ a globálsugárzás értéke (az ábrán gcal/cm^2 értékben láthatók a globálsugárzás óraértékei). A rövid izoterm állapotot követően 7 órától az éjszakai inverz hőrétegződést felváltja a besugárzási típusra jellemző, egyenes hőrétegződés. Ezzel egyidejűleg a hőmérsékleti



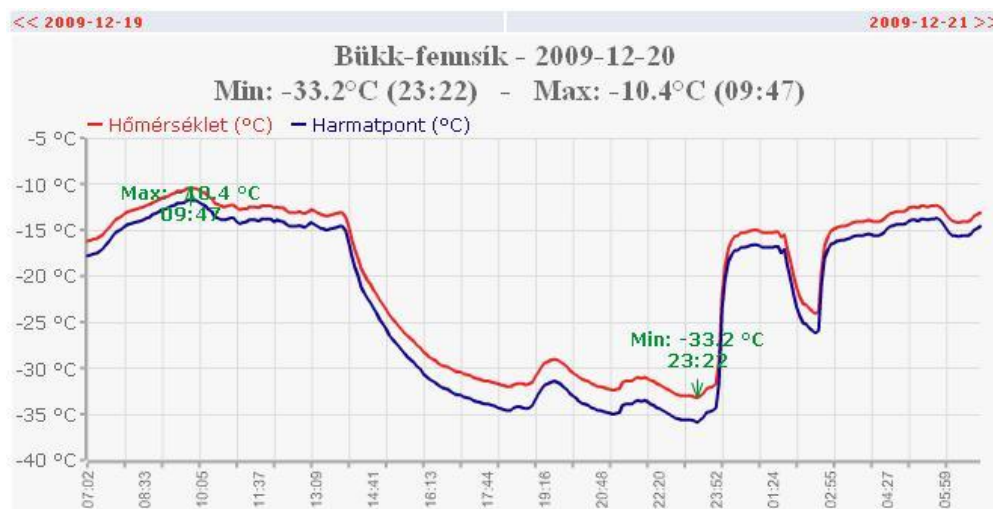
6. ábra. Hideg légtó egy bükki dolinában (a vastag folytonos vonalak az izotermák)
Fig 6. Cold air lake in a Bükk doline (thick continuous lines are isotherms)

maximum áttevődik a K-i kiettségről a déli kiettségre, ahol napfelkeltétől 8 óráig $4\text{-}5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a délre néző lejtő hőmérsékleti többlete. A keletre néző lejtőn a delelési maximum már 10 órakor bekövetkezik (7. ábra), a délre néző lejtőn



7. ábra. A besugárzás mennyisége a K-i és NY-i lejtőn, valamint a dolina alján (originál)
Fig 7. The amount of radiation on the E and W slopes and the bottom of the dolina (originals)

ez 12 óra körül áll be. A globálisugárzás mennyiségében az északi és déli lejtők között jelentős különbség van. A keletre néző lejtőn a légnedvesség nem az elvárható mértékben követi a hőmérséklet változásait, mivel délelőtt 6-11 óra között ezen a lejtőn a harmat párologtatása miatt (növényzetnek intenzív transzspirációja is megindul), a levegő nedvességtartalma megnő, a harmat felszárítása viszont hőt von el. Az északi lejtők hozzávetőlegesen 18% -kal több besugárzást kapnak napközben, mint a déli lejtők. (WHITEMAN et al 2003). Bár a dolinák mikroklímája derült nyári napokon is szélsőséges, érdemes megvizsgálni egy téli nap hőmérsékleti menetét is (8. ábra). A bükki dolina alján (december 21-22-én) mutatja a grafikon a napi hőmérsékleti menetet.

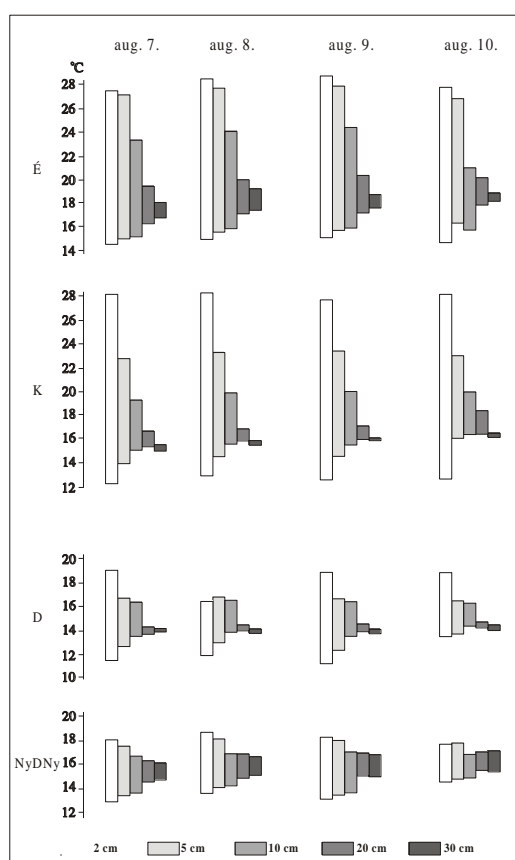


8. ábra. A léghőmérséklet (felső piros vonal) és a harmatpont (alsó, fekete vonal) napi menete télen egy bükki dolinában (Molnár K. mérése)
 Fig 8. Air temperature daily (top red line) and dew point (bottom, black line) in winter in a Bükk doline (K. Molnár measurement)

A dolinák téli lehülése is igen szélsőséges. A napi amplitúdó a dolinafenéken mínusz hőmérsékleti tartományban 22,8 °C volt. A nyári mérés idején ez az amplitúdó a bükki dolinák alján általában meghaladta a 25 °C -ot. Mind a téli, mind a nyári hőmérsékleti maximum és minimum érték igen szélsőséges hőmérsékletjárást mutat.

A talajhőmérséklet járása a dolinákban kevésbé tanulmányozott, mint a léghőmérséklet, annak ellenére, hogy az fontos a növényzet szempontjából. A talajhőmérsékleti amplitúdók alapján (2, 5, 10, 20 és 30 cm talaj mélységben) szembevetendő, hogy néhány 10 m távolságon belül milyen

nagymértékű eltérés van a talajhőmérsékleti minimumok és maximumok között (9. ábra). A déli és nyugati lejtők talajhőmérsékleti amplitúdóinak nagysága kis távolságon belül nagyságrendekkel eltér az északi és keleti lejtők nagyságától. A felszín közeli mintánál a keleti lejtő háromszor nagyobb az amplitúdó, mint a déli lejtőn. A déli és nyugati lejtőkön kisebb a napi hőingás, alacsonyabb a levegő hőmérséklete és a páratartalma, valamint hosszabb a hóborítás időtartama, ez eredményezi az árnyéktűrő és hideg tűrő növények megjelenését ezeken a lejtőkön. A mikroklíma következménye olyan fajoknak a konzerválódása a



9. ábra. Talajhőmérsékleti amplitúdók eltérései a dolinák lejtőin egy bükki dolinában (4 derült augusztusi napon)
 Fig 9. Differences in soil temperature amplitudes on slopes of Bükk doline (4 on August day)

dolinákban, amelyek napjaink általános klímaviszonyai miatt már nem léteznek másutt (BÁTORI et al. 2009, 2014). A mikroklíma, talaj és növényzet

integrált geoökológiai kapcsolatban hat a karsztkorróziós folyamatra. A téma napjainkban is a nemzetközi és hazai kutatások érdeklődésének előterében van (*MIX - KUFMANN* 2011, *CORENBLIT et al.* 2011, *KEVEINÉ BÁRÁNY* 2011, *EFE* 2013, *RAMSEY* 2015, *MEIXIAN, LIU et al.* 2016).

A dolinák talajai

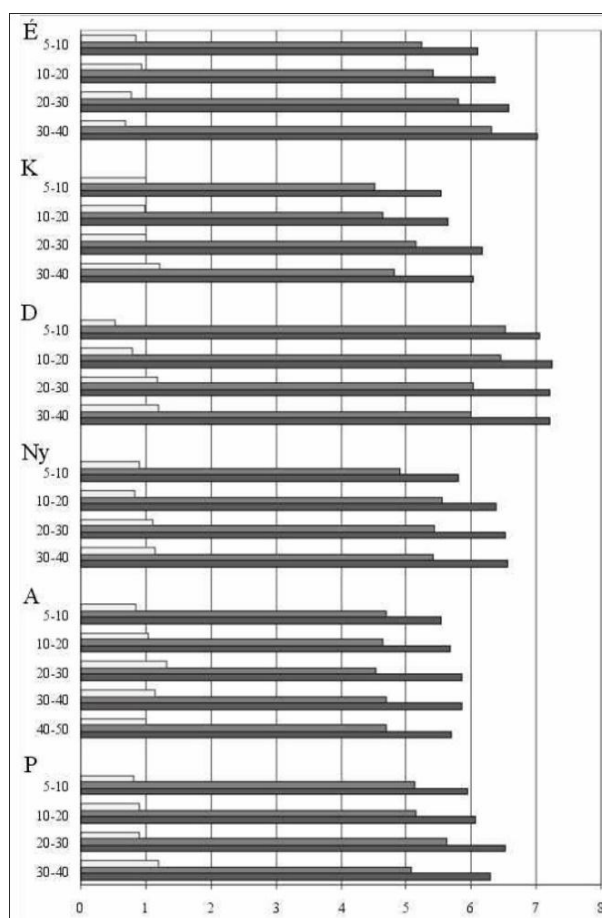
A talajok igen fontos szerepet töltenek be a karsztos folyamatban (*ZÁMBÓ* 1971, *BÁRÁNY KEVEI, MEZŐSI* 1999, *BARTA K et al.* 2009): A talajjal borított karsztokon a talaj szerves-anyagának mikrobiális bontása és a gyökérlégzés nagymennyiségű széndioxidot termel, ami megnöveli a szivárgó vizek korrózióképességét.

A dolinák talajainak magas agyag- és szervesanyag tartalma (néhol a 20%-ot is meghaladja). A felszín közelében ez hozzájárul a lejtők nagyobb vízmegtartásához. A dolinák déli lejtőjén a korai önárnyék miatt ez a plusz nedvesség megmarad egész nap. Ugyanakkor az északi lejtőn alacsonyabb a szervesanyag-tartalom, gyorsabb a szervesanyag bontása. A talajok kötöttsége nagyobb a déli lejtőn, ami szinkronban van a savanyú humuszanyagok jelenlétével. A CaCO_3 -tartalom a dolinákban alacsony a folyamatos kimosódás miatt. A lejtők közül a déli lejtőn kevésbé mosódnak be az ionos alkotók, mint a többi lejtőn, s ez is hozzájárulhat a dolinák alakjának aszimmetriájához. A dolinák talaja a déli dolinafélen nedvesebb általában, a dolina alján kevésbé nedves-, az északi lejtő a legszárazabb.

Bár az alapkőzet tulajdonságai arra engednek következtetni, hogy bázikus talajok találhatóak itt, az egy irányú bemosódás miatt, a talajok többnyire gyengén savanyúak, vagy savanyúak (*10. ábra*). A talaj pH-értékek KCl-os minta esetében mindig kisebbek a vizes pH értékeknél (az üres téglalapok jelzik a két pH érték különbségét). Ha az utóbbi eléri vagy meghaladja az 1 egész különbséget, akkor az a talaj savanyodását jelzi. Több száz mért adat alapján a dolinák talajai savanyúak, vagy gyengén savanyúak. A savanyú szivárgó vizek oldják a szennyezések többségét is, és beszállítják azt a rendszerbe.

A talaj bakteriális tevékenységét kedvezőtlenül befolyásolja a savas kémhatás (a talajbaktériumok nagyrészt a semleges, vagy enyhén bázikus környezetet kedvelnek). Nyáron a mikrobiális tevékenység a talajokban intenzív, ezért nő a szervesanyagbontás, télen viszont csökken a szervesanyag lebontás (*KEVEI, ZÁMBÓ* 1986). A bakteriális tevékenység fontos feltétele a kedvező talajnedvesség és -hőmérsékletét. A mikrobák által termelt széndioxid mennyisége valódi értelemben vett ökológiai nagyság. Az is megállapítható, hogy számottevő mikrobiális tevékenység a talaj felsőrétegében erőteljes, az

alsó szintben a mikrobaszám jelentősen lecsökken. Ez a tény megerősíti azt a feltételezésünket, hogy a talajdinamikát meghatározó folyamatok itt játszódnak le, a nagyobb talajmélységben csak az anyag- és energiaáramlás zajlik. 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.



10. ábra. A dolina perem (P), dolina alja (A) és a lejtő kitettségek talajainak kémhatása (Δ pH, pH / KCl, pH / H₂O)

Fig 10. Soil pH in the dolina edge (P), dolina bottom (A) and slope exposures (Δ pH, pH / KCl, pH / H₂O)

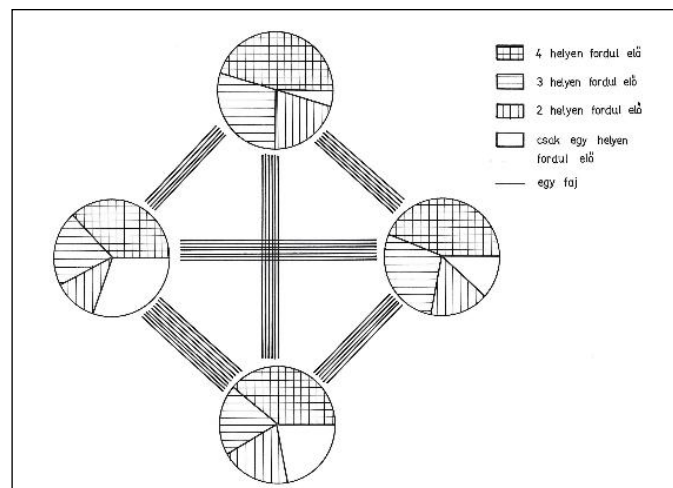
Adataink szerint kedvező a talaj 15-25%-os nedvessége, a 22-24 °C közötti hőmérséklete a bakteriális tevékenységre a mérsékeltövi dolinákban (BÁRÁNY KEVEI, MEZŐSI 1978). A nyugati lejtőn a felszín közelében a hőmérséklet és nedvesség korrelál a baktériumszámmal, 30 cm mélységben

viszont már a talajnedvesség befolyásolja elsősorban a talajbaktérium populációjának a nagyságrendjét.

A dolinák növényzete

A növényzet összetételét a mészkő felszíneken mind nemzetközi, mind hazai szinten sokirányúan vizsgálják a kutatók (CORENBLIT 2011, EFE 2013, RAMSEY 2015, PHILLIPS, JD. 2016, MEIXIAN, LIU et al. 2016), Hazánkban először BACSÓ, ZÓLYOMI (1939) mutatta be egy bükki dolina növényzetének és a mikroklímának kapcsolatát, majd JAKUCS P (1956). foglalkozott a karsztosodás és a növényzet kölcsönhatásával. Napjainkban a dolinák szélsőséges mikroklímájának szerepe került a vizsgálat előterébe (BÁRÁNY KEVEI 1992, BÁRÁNY KEVEI, HORVÁTH 1996, KEVEINÉ BÁRÁNY 2011, BATORI, et al. 2009, 2014, VOJTKÓ et al. 2018). Az eredeti társulások típusa antropogén hatásra már sok területen megváltozott (BÁRÁNY KEVEI, HORVÁTH 1996).

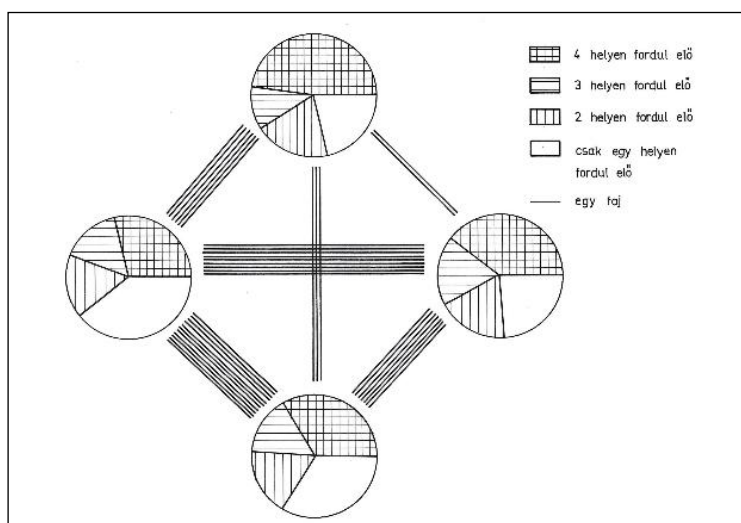
Részletes növényfelvételezésünk kimutatta, hogy a dolinákban előforduló növényfajoknak csak egy része található meg minden kitértségben, vannak olyan fajok, amelyek csak egy lejtőn fordulnak elő. A déli és nyugati lejtőn találunk legnagyobb százalékban olyan fajokat, amelyek csak ott található meg, ezek a fajok a leginkább lejtő érzékenyek. A lejtők közötti eltérések karakterisztikusan kirajzolódnak mind a füves, mind az erdős dolinában (11, 12. ábrák). A kördiagramok között megrajzolt vonalak az egymáshoz viszonyított lejtők közös fajszámát jelzik.



11. ábra. Növényfajok megoszlása egy füves dolina lejtőin
Fig 11. Distribution of plant species on the slopes of a grassy doline

A dolina alján a nyílt dolinában 6 olyan fajt találtunk, ami csak ott található meg: *Urtica dioica*, *Rumex confertus*, *Potentilla recta*, *Waldsteinia geoides*, *Dactylis glomerata*). A déli lejtőn 7 faj fordult elő csak ott (*Vicia sepium*, *Origanum vulgare*, *Aegopodium podagra*, *Galega officinális*, *Crataegus oxycantha*). A keleti lejtőn csak 3 ilyen faj jelent meg (*Anthyllis vulneraria*, *Euphorbia cyparassion*, *Aconitum variegatum*). A nyugati lejtőn viszont 10 olyan fajt találtunk, amelyik más lejtőn nem fordult elő (*Valeriana officinalis*, *Cerinthe minor*, *Sedum maximum*, a sziklalejtő alján a *Dafne mezerum*, *Rhanus catharticus*, *Euonymus verrucosus*, *Carpinus betulus*, *Cornus sanguinea*, *Pyrus ochras*, *Sambucus nigra*). Az északi lejtőn csak a *Nardus stricta* volt az egyetlen olyan faj, amelyik más lejtőn nem jelent meg.

Az is megállapítható, hogy a nedvességkedvelő fajok vonatkozásában erős a nyugati és déli lejtő kapcsolódása. A növényzet összetételében jól felismerhető az expozíciós differenciálódás, ami összhangban van a korábbi mikroklíma- és talajökológiai- folyamatok mutatóival.

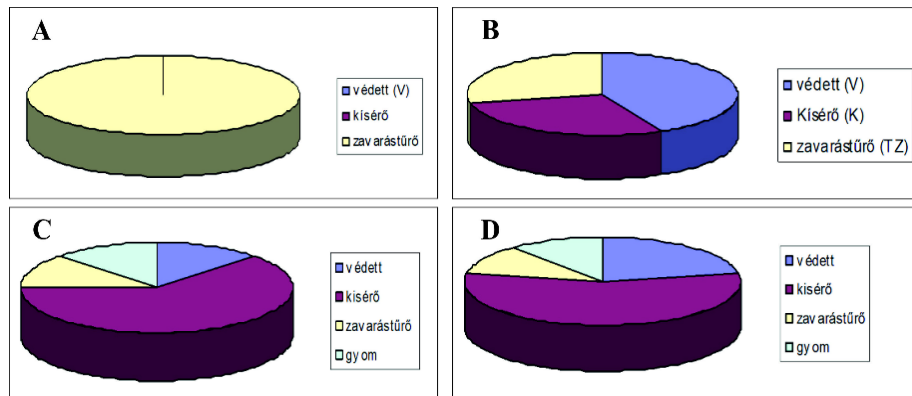


12. ábra. Növényfajok megoszlása egy erdős doline lejtőin
Fig 12: Distribution of plant species on the slopes of a wooded doline

Szinkronban a korábbi megállapításokkal, a dolinák lejtőin a növényfajok természetvédelmi érték szerinti eloszlása is jelentős eltérést mutat (13. ábra). Az északi lejtőn (ahol legnagyobb a besugárzott energia, alacsony a talajnedvesség) hiányoznak a védett és természetes kísérő fajok, csak zavarástűrő fajokat találtunk. A déli lejtőn találtuk a legtöbb védett fajt,

a nyugati és keleti lejtőn közel azonos a védett és kísérő fajok száma, de itt már zavarástűrő és gyomfajok is megjelennek.

A növényzet a karsztos dolinák rendzina és erdőtalaj dinamikájú barna erdőtalajain sajátos összetételű. A talaj szélsőséges vízgazdálkodásához alkalmazkodó fajok alkotnak társulást, de emellett a hőmérsékleti inverzió hatására a refugium szerepét is betöltik.



13. ábra. A dolinalejtők növényzetének természetvédelmi érték szerinti eloszlása egy aggteleki dolinában (A=északi lejtő; B=déli lejtő; C= nyugati lejtő; D=keleti lejtő)

Fig. 13.: The distribution of the vegetation of dolines by nature conservation value

in an Aggtelek dolina (A = northern slope, B = southern slope, C = western slope, D = eastern slope)

Összegzés

A karszterületek igen fontos sajátossága a háromdimenziós hatásfelület, a sérülékenység és a folyamatok gyors lefutása. A rendszerben bármely tényező megváltozása az egész rendszerre hat. A változások nagyságrendjét a klímatalaj-növényzet rendszer kölcsönhatása jelentős mértékben befolyásolja. A tanulmány arra kívánt rámutatni a teljesség igénye nélkül, hogy melyek azok paraméterek, amelyek jól reprezentálják a rendszer összetettségét, és ráirányítják a figyelmet a karsztos dolinák geoökológiai szemléletű tudományos vizsgálatára.

A karsztok ökoszisztéma-szolgáltatásai és a különböző társadalmi-gazdasági hasznosítás, valamint a karsztok területi mintázatában tapasztalható jelentős eltérések felhívják a figyelmet egyrészt a jelenségek pontosabb feltárásának és kutatásának szükségességére, másrészt az ökoszisztéma-szolgáltatások fokozottabb figyelembevételére a területhasználásban, és a területfejlesztésben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás az NKFI K 124796 számú kutatási témapályázat támogatásával készült.

IRODALOM

- BACSO N., ZÓLYOMI B.* (1934): Mikroklíma és növényzet a Bükk-fennsíkon. – *Az Időjárás* 38 (9–10) pp. 177–196
- BAKALOWICZ M.* (1977): Relations entre la dynamique des eaux du karst et les processus de karstification. – *Proceed. of the 7th Intern. Speleol. Congress, Sheffield.* pp. 10-12.
- BALLUT C., FAIVRE S.* (2012): New data on the dolines Velebit mountain: an evaluation of their sedimentary archive potential in the reconstruction of landscape evaluation. – *Acta Carsologica.* 41(1), pp. 59–74.
- BARTA K., TANÁCS E., SAMU., KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (2009): Hazai rendzinák megfeleltetése a WBR nemzetközi talajosztályozási rendszerben. – *Agrokémia és Talajtan.* 58(1), pp. 7-18.
- BASSO A., BRUNO E., PARISE M., PEPE M.* (2013): Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). – *Environ. Earth Sci. Springer.* pp.1-12. DOI 10.1007/s12665-013-2297-z.
- BÁRÁNY I.* (1980): Some data about the physical and chemical properties of the soil of karst dolines. – *Acta Geographica Univ. Szegediensis. Tomus XX.* pp. 37-49.
- 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.* (1998): Geoecological system of karsts. – *Acta Carsologica. Krasoslovni Zbornik, XXVII(1), Ljubljana,* pp. 13-25.
- BÁRÁNY-KEVEI I.* (1999): Microclimate of Karstic Dolines. – *Acta Climatologica Univ. Szegediensis, Tom.32-33.* pp. 19-27.
- BÁRÁNY-KEVEI I.* (1998): Geoecological system of karsts. – *Acta Carsologica. Krasoslovni Zbornik, XXVII(1), Ljubljana.* pp. 13-25
- BÁRÁNY-KEVEI I.* (1998): The geo-ecology of three Hungarian karsts. – *Cave and Karst Science, England,* 25(3), pp. 113-117
- BÁRÁNY-KEVEI I.* (2011): Changes in the vegetation of dolines in Aggtelek and Bükk Mountains. – *Acta Climatologica et Chorologica* 44-45 (1) pp. 25-30.

- BÁRÁNY KEVEI, I., HORVÁTH, A.* (1996): Survey of the interaction between soil and vegetation in a karstecological system (at Aggtelek, Hungary) – *Acta Geogr. Szegediensis*. Tom. XXXV. pp. 81-87.
- BÁRÁNY KEVEI I., KISS M., NELIS S.* (2015): Néhány további adat a hazai karsztdolinák aszimmetriájának kialakulásához. – *Karsztfejlődés* XX. pp. 125-144. DOI:17701//15.125-144.
- BÁRÁNY I., MEZŐSI G.* (1977): Interrelation of some factors of karst corrosion in a doline in the Bükk Mountains, Hungary. – *Proceed. of the 7th Int. Speleol. Congress*, Sheffield, England. pp. 20-22.
- BÁRÁNY I., MEZŐSI G.* (1978): Adatok a karsztos dolinák talajökológiai viszonyaihoz. – *Földrajzi Értesítő*. XXVII. (1), pp. 65-73.
- BÁRÁNY I., MEZŐSI G.* (1991): Further morphometrical data from some important Hungarian karst areas. – *Proceed. of the International Conference on Environmental Changes in Karst Areas*. I.C.E.C.K.A. IGU-UIS. Italy. pp. 137-142.
- 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. és - Gunn, J.) pp. 47-53.
- BÁTORI Z., CSIKY J., ERDŐS L., MORSCHAUSER T., TÖRÖK P., KÖRMÖCZI L.* (2009): Vegetation of dolines in Mecsek Mountains (South Hungary) in relation to the local plant communities. – *Acta Carsologica* (ISSN 0583-6050) (eISSN: 1580-2612) 38(2-3), pp. 237-252.
- BÖGLI A.* (1960): Kalklösung und Karrenbildung. *Internationale Beiträge zu Karstmorphologie*. – *Zeitschrift für Geomorphol. Suppl.* pp. 4-21.
- BÖGLI A.* (1980): *Karst Hydrology and Physical Speleology*. – Berlin. Springer Verlag, 292 p.
- BURRI E., CASTIGLIONI, SAURO U.* (1999): Agriculture, landscape and human impact in some karst areas of Italy. – *Int. Journal of Speleology*. pp. 33-54.
- CAPUTA Z., WOJKOWSKI J.* (2015): Structure of radiation balance in diverse types of relief. – *Annals of Warsaw University of Life Sciences*, 47(4) pp. 343–354.
- CHOLNOKY J.* (1916): Előzetes jelentés karszttanulmányaimról. – *Földrajzi Közlemények*. XLIV.(8), pp. 425-455.
- CLEMENTS C. B., WHITEMAN C. D., HOREL J. D.* (2003): Cold-airpool structure and evolution in a mountain basin: Peter Sinks, Utah. – *J. Appl. Meteo.* 42, pp. 752–768
- CORENBLIT D., BAAS AC.W., BORNETTE G., DELMOTTE S., FRANCIS R.A., GURNELL A., JULIEN F., NAIMAN R.J., STEIGER, J.* (2011):

- Feedbacks between geomorphology and biota controlling Earth surface processes and landforms. – *Earth Science Reviews*, 106(3), pp. 307-331.
- COX E.T.* (1874): Fifth annual Report of the Geological Survey of Indiana. – Geol. Surv. Ind. Indianapolis.
- CRAMER H.* (1941): Die Systematik der Karstdolinen. – *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paleontologie, Beilage-Band, Abst. B 85*, pp. 293-382.
- CVIJIC J.* (1893): Das Karstphänomen. – *Geogr. Abhandl.* 5, H. 3, pp. 217-329.
- 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.
- EFE R.* (2014): Ecological Properties of Vegetation Formations on Karst Terrains in the Central Taurus Mountains (Southern Turkey). – *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 120, pp. 673-679.
- FARSANG A., M. TÓTH T.* (1993): Morphometric investigation of dolines in Bükk Mountains. – *Acta Geographica Szegediensis*, 31, pp. 53-60.
- FORD D.C., WILLIAMS P.W.* (1989): *Karst Geomorphology and Hydrology*. – Chapman and Hall, London. 601 p.
- FORD D., WILLIAMS P.W.* (2007) *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. – Wiley and Sons, Ltd., Chichester, 561 p.
- FOURNE T.J.* (1852): Not sur les effoudraments. – *Mem.Acad.Lyon*, pp. 176-186.
- GALVE J.P., GUTIÉRREZ, F., LUCHA, PP., GUERRERO, J., BONACHEA, J., REMONDO, J., CENDRERO, A.* (2008): Probabilistic sinkhole modelling for hazard assessment. – *Earth Surface Processes and Landforms*. 34(3) <https://doi.org/10.1002/esp.1753>.
- GAMS I.* (1972): Prispevek k mikroklimatologiji vrtac in kraskihol. *Geogrski Zbornik*, – *Acta Geographica-XIII*. pp. 7-78.
- EGAMS I.* (1974): K ekologiji vrtac. – IX. Kongres Geografa Jugoszlávija.S.R.Bosna i Hercegovina,Sarajevo pp. 151-159.
- GAO Y., ALEXANDER EC.*(2003): Mathematical model for a map of relative sinkhole risk in Fillmore County Minnesota. – In: *Sinkholes and Engineering and Environmental Impacts of Karst*.ASCE pp. 439-449.
- GAO Y., ZHOU W.* (2008): Advances and challenges of GIS and DBMS applications in Karst. – *Environmental Geology* 54. pp. 901-904..
- GEIGER É.* (1965): *The Climate Near the Ground*. – Harvard University Press, 482 p.

- GOLDSCHIEDER N.* (2012): A holistic approach to groundwater protection and ecosystem services in karst terrains *AQUA mundi* 3(2), pp. 117-124. DOI 10.4409/Am-046-12-0047
- GORTANI M.* (1908): Appunti per una classificazione delle doline. – *Mondo sotterraneo*, 4 (6), pp. 115-116.
- GROSCHOPF P., KOBLER H.U.* (1974): Beobachtungen und Entstehung von Dolinen und Karstwannen auf der Swaebischen Alb und Oberen Neckar. – *Mitteil. Verb. Deutsch. Höhlen- und Karstforscher*. 20.Ig. Nr.3. pp. 57-63.
- GRUND A.* (1904): Die Karsthydrogeographie Studien aus Westbosnien. – *Geographische Abhandlungen*, Band VII Heft 3. pp. 103-200.
- GUTIERREZ F., PARISE M., DE WAELE J., JOURDE, H.* (2014): A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. – *Earth-Science Review*. 138 pp. 61-88.
- GVOZDECKIJ N.A.* (1972): Prblémü izucsenyija karsta i praktika. – *Izdatyelsztvo "Müszl" Moszkva*, pp. 155-181.
- HASERODT K.* (1965): Untersuchungen zu Höhlen zu Altersgliederung der Karstformen in den nördlichen Kalkalpen. – *Münchener Geogr. Hefte* 27.114.
- HAQUETT B.* (1778): *Oryctographia Carniolica oder Physicalische Erd-Beschreibung des Hezogstums Krain, Ostrien und zum Teil Benachbarten Laender.* – Gottlob und Breitkopf, Leipzig 1778-89. Teil 3
- HORVÁT S.* (1953): Die Vegetation der Karstdolinen. – *Geografski Glasnik*. Nos. pp. 14-15.
- HOYK E.* (1999): Investigations of the vegetation and soil in the dolinas of Mecsek Mountains, South Hungary. – *Acta Carsologica*, 28(1), 7. Ljubljana, pp. 105-114.
- JAKUCS L.* (1971): *A karsztok morfofenetikája.* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 310 p.
- JAKUCS L.* (1980): *A karszt biológiai produktum.* – *Földrajzi Közlemények*, 28(4), pp. 331-344
- JAKUCS L., BÁRÁNY I.* (1984): Ecological factors playing part in karst denudation dynamism for different geographical zones. pp. 387-393. – in.: Godard, A. - Rapp, A. *Process et Mesure de l'Érosion.* Éditions du CNRS. Paris. 571 p.
- JAKUCS P.* (1956): *Karrosodás és növényzet.* – *Földrajzi Közlemények*, 4(3), pp. 214-249.
- KATZER F.* (1909): *Karst und Karsthydrographie.* – *Zur Kunde der Balkanhalbinsel*, H. 8. Sarajewo.

- KEMMERLY, P.R.* (1982): Spatial analysis of karstdepression population. Cluesto Genesis. – Geological Society of America Bulletin, 93. pp. 1078-1086.
- KEMMERLY, P.R.* (2007) Modeling doline populations with logistic growth functions. – Earth Surface Processes and Landforms 3 pp. 355–362.
- KEVEI I., ZÁMBÓ L.* (1986): Study of the relationship between bacteria activity in karstic soils and corrosion. – Annales Universitatis Scientiarum Budapestinensis de Rolando Eötvös Nominatae. Tomus XX-XXI. pp. 325-333.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (1985): A karsztdolinák talajainak és növényzetének sajátosságai. – Földrajzi Értesítő XXXIV.(3), pp. 195-207.
- KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (2011): Néhány adat a bükki töbrök mikroklímájához. – Geotudományok: A Miskolci Egyetem Közleménye: A Sorozat, Bányászat
- KEVEINÉ BÁRÁNY I., MEZŐSI G.* (1978): Adatok a karsztos dolinák talajökológiai viszonyaihoz. – Földrajzi Értesítő. XXVII. (1), pp. 65-73.
- KISS M., TANÁCS E., BÁRÁNY KEVEI I.* (2011): Ecosystem Services in Hungarian Karst Areas. – Acta Climatologica 44-45(1) pp. 41- 49.
- KOBAL M., BERTONCEL J.I., KUTNAR. L.* (2014): Processing for defining sinkhole characteristics under dense forest cover: a case study in the Dinaric Mountains. In : International Archives of the Photogrammetry, RemoteSensing and Spatial Information Sciences. – XL-7, ISPRS Technical Commission VII Symposium.
- KRANJC, A.* (2013): Klassification of Closed Depressions in Carbonate Karst – In: Shroder, J. (Editor in Chief), Frumkin, A. (Ed.), Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, CA, vol. 6, Karst Geomorph. pp. 104–111.
- LAUSCHER F.* (1937): Grundlagen des Strahlungsklimas der Lunzer Kleinklimastationen (Fundamentals of the radiation climate of the Lunz microclimate stations). – Jahrbuch der Zentralanstalt für Meteorologie u. Geodynamik (Vienna), Suppl. 4, pp. 1–24.
- LÁNG S.* (1964): A Bükk geomorfológiai vázlata. – Karszt és Barlang, Kutatási Tájékoztató. 5-6 pp. 83-87.
- LA VALLE P.* (1968): Karstdepression morphology in South Central Kentucky. – Geogr. Annales.
- LEÉL-ÖSSY S.* (1954): A Magas Bükk geomofológiája. – Földrajzi Értesítő. II(2) pp. 323-356.
- LEHMANN H.* (1956): Der Einfluss des Klimas auf die morphologische Entwicklung des Karstes. – In: Report of the Commission on Karst Phenomena. Nr.59. pp. 3-7.

- LEHMANN H. et al.* 1954: Das Karstphänomen in den verschiedenen Klimazonen. – Erdkunde, 8, no 2, pp. 1-112.
- LEHMANN O.* (1931): Über die Karstdolinen. – *Mitteil.Geogr. Ethnogr. Ges. Zürich.* pp. 43-71.
- LIPPMANN L., KIS K., MÓGA J.* (2008): Az Abaliget-orfűi Karszt karsztos felszínformáinak vizsgálata térinformatikai módszerekkel. – *Karsztfejlődés XIII.* pp. 151-166
- LUGEON M., JÉRÉMIN E.,* (1911): Les bassins fermés des Alpes suisses. – *Bull. Lab. Géol. Univ. de Lausanne.* pp. 1-90.
- MAKI, M. HARIMAYA, T.,* (1988): The effect of advection and accumulation of downslope cold air on nocturnal cooling in basins. – *J. Meteor. Soc. Japan,* 66, pp. 581–597.
- MEIXIAN LIU., XIANLI XU., DINGBAO WANG., KE-LIN WANG.* (2016): Karst catchments exhibited higher degradation stress from climate change than the non-karst catchments in southwest China: An ecohydrological perspective. – *Journal of Hydrology* 535. pp. 173-180
- MIX C., KÜFMAN C.* (2011): Dolinengenese und ihre Steuerfaktoren in einem subalpinen Karstökosystem der Nördlichen Kalkalpen Plateau Zahmer Kauser, Österreich). – *Zeitschrift für Geomorphologie,* 56(2), pp. 141-163.
- MIOTKE F.D.* (1974): Der CO₂ -Gehalt der Bodenluft in seiner Bedeutung für die aktuelle Kalklösung in verschiedenen Klimaten. – *Abhandl. der Akademie der Wissenschaften in Göttingen Mathematisch-Physicalische Klasse, III.Folge. Nr.29.* pp. 1-52.
- OWEN D.D.* (1856): Annual report of the Geological Survey in Kentucky. – *Geol. Surv. Ky.* Frankfurt pp. 169-172.
- PALMQUIST R.* (1979): Geologic controls on doline characteristics in mantled karst. – *Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementbände,* 32, pp. 76-90.
- RAMSEY L. C.* (2015): Morphometry and basic ecological characteristics of dolines unlogged temperate rainforest karstlandscapes of Northern Vancouver Island, British Columbia, Canada. – PhD dissertation. 315 p.
- PETKOVSEK Z., RAKOVEC J.* (1983): Modeling of cool pool dissipation. – *Razprave—Papers (Ljubljana),* 27. pp. 53–63.
- PFEFFER K.H.* (1976): Probleme der Genese von Oberfläachenformen auf Kalkstein. – *Zeitschrift für Geomorphologie.Suppl. Bd.26.* pp. 6-34.
- PFEFFER K.H.* (2010): Karst. Entstehung-Phaenomene-Nutzung.Borntraeger. Studienbücher der Geographie. – Borntraeger Science Publishers, Stuttgart. 338 p.

- PÉNTEK K., VERESS M.* (2007): A morphometric classification of solution dolines. – *Zeitschrift für Geomorphologie*. 51(1), pp. 19-30.
- PHILLIPS J.D.* (2016): Biogeomorphology and contingent ecosystem engineering in karst landscapes. – *Progress in Physical Geography*. 1. pp. 1-24. DOI: 10.1177/0309133315624641.
- PRESTWITZ, J.* (1854): On some swallow holes on the chalk hills near Canterbury. – *Quartely I*. pp. 222-2224.
- PRIESNITZ, K.*, (1968): Über die Vergleichbarkeit von Lösungsformen auf Chlorid-Sulfat- und Karbonatgestein Überlagerungen zu Fragen der Nomenklature und Methodik der Karstmorphologie. – *Geologische Rundschau*, Bd.58.Heft2. pp. 427-438.
- SAUBERER, F., DIRMHORN, J.* (1954): Über die Entstehung der extremen Temperaturminima in der Dolina Gstettner-Alm – *Arch.Meteor. Geophys. Bioklim. B5*, pp. 307- 326.
- REICHER M.* (1936): Naechtllicher Kaltluftfluss an Hindernissen. – *Biokl. B.3*. pp. 152-163. (In: Geiger, 1961).
- SAURO U.*, (2005): Closed depressions. – In: Culver D.C. & White W.B. (eds.), *Encyclopedia of Caves*. Elsevier, Amsterdam, pp. 108-127.
- SAURO U.* (2013): Landforms of mountainous karst in the middle latitudes: reflections, trends and research problems. – *Acta Carsologica* 42(1), pp. 5–16.
- SCHMIDT W.* (1930): Die tiefsten Minimumtemperaturen in Mitteleuropa (The lowest minimum temperatures in central Europe). – *Die Naturwissenschaften*, 18, pp. 367–369.
- SISIKA P., GOOVAERTS P., HUNG I-KUAI.* (2016): Evaluating susceptibility of karst dolines (sinkholes) for collapse in Sango, Tennessee, USA. – *Progress in Physical Geography*, pp. 1-19
- SUSTERCIC F.* (1994): Classic dolines of classical sites. – *Acta Carsologica* 23 pp. 123–156.
- SUSTERCIC F.* (2006): A power function model for the base geometry of solution dolines: considerations from classical karst of south-central Slovenia. – *Earth Surface Processes and Landform* 31 pp. 293-302.
- SWEETING M.M.* (1972): *Karst Landforms*. – Columbia University Press. New York, 362 p.
- TELBISZ T., MARI L., KOHÁN B., CALIC, J.* (2007): A szerbiai Miroc-hegység töbreinek térinformatikai és GPS-es terepi vizsgálata. – *Karsztfejlődés XII*. pp. 71-90.
- TELBISZ T., DRAGUŠICA, H., NAGY, B.* (2009): Doline Morphometric Analysis and Karst Morphology of Biokovo Mt (Croatia) based on Field

Observations and Digital Terrain Analysis. – Croatian Geographical Bulletin, 71(2), pp. 2-22.

TELBISZ T. MÓGA J., KÓSIK SZ. (2009): Pelsőci-fennsík digitális domborzatelemzése és töbör-morfometriai jellemzése. – Karsztfejlődés 14. pp. 121-138.

TERZAGHI K. (1913): Beitrag zur Hydrographie und Morphologie des kroatischen Karstes. – Mitteil.Jb. Ungar. Geol. Reihanst. 20. pp. 256-369.

TRUDGILL S.T. (1977): The Role of a Soil Cover in Limestone Weathering, Cockpit Country, Jamaica. – Proceed. of the 7th Int. Speleol. Congress, Sheffield, England. pp. 401-404.

VERESS M. (2012): Fedőüledékes karsztos depressziók típusai és kialakulásuk. – Földrajzi Közlemények. 136(1), pp. 2-21.

VERESS M. (2017): Glaciokarszt oldásos dolináinak kialakulása és képződési környezete alpi és dinári példák felhasználásával. – Karsztfejlődés XXII. 89-118. Doi: 10.17701/17. pp. 89-118.

VIRLET J. (1834): Observations faites en Franche-Comté sur les cavernes et la theorie de leurs formation. – Bull. Soc. Geol. France. pp. 148-163.

VOJTKÓ A (2018): A fás vegetáció jellegzetességei a az Alsó-hegy (Gömör-Tornai-karszt) karsztfennsíkján. – Botanikai Közlemények 105. pp. 97–108.

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

WARWICK G. T. (1958): The characteristics and development of limestone regions in the British Isles with special reference to England and Wales. – Congr. 2C Int. Speleol., 1 pp. 79-105

WHITEMAN C.D., HAIDEN T. (2004): Minimum Temperatures, Diurnal Temperature Ranges, and Temperature Inversions in Limestone Sinkholes of Different Sizes and Shapes. – Journal of Applied Meteorology. 43. pp. 1224-1236

WILLIAMS P.W. (1972): Morphometric analysis of polygonal karst in New Guinea. Geological Society of America Bulletin 83, pp. 761–796.

ZWITTKOVITS F. (1969): Alters- und Höhlengliederung der Karren in den Nördlichen Kalkalpen. – Geologische Rundschau. Band 58. Heft 2.

YOSHINO M.M. (1984): Thermal belt and cold air drainage on the mountain slope and cold air lake in the basin at quiet, clear night. – Geo Journal, 8(3), pp. 235-250.