

A GLACIÁLIS FELSZÍNTÍPUSOK KARSZTOSODÁSA

VERESS MÁRTON

KARSTIFICATION OF GLACIAL SURFACE TYPES

Abstract

The relation between glacial and karst landforms are analysed in this study. The following surface types are considered: surface with sheep rock, surface with dolines, surface dissected with u-shaped valleys, U-shaped valley with scablands, surface with cirque valley and surface with combe-ridge. In this work we present the characteristics and karstification features of three of the above mentioned types. Various features are characteristic of the different reliefs. There are shafts on the bare reliefs of the cirques, karren on the roche moutonnées and there are suffosion dolines and depressions of the superficial deposit on the reliefs covered by moraine. The dominant features of the U-shaped valleys are the giant paleodolines and the uncovered surfaces with cuestas. The suffosion dolines and the depressions of superficial deposit (there are suffosion dolines and ponors) are characteristic of the surfaces with moraines of the paleodolines. On the cuestas, the karren features are dominant. Shafts are widespread on the uncovered floor of the valley. The surfaces with dolines and uvalas form depressions of superficial deposit. The suffosion dolines often occur in paleodolines. On the thresholds between the paleodolines and on the uncovered slopes of the dolines, the karren and solution dolines are the characteristic features.

Keywords: high mountains, karst, glacial surface formation, U-shaped valley, cirque, surface with karstic depressions

Bevezetés

E munkában a jég által átalakított felszínek karsztosodását mutatjuk be. Az összehasonlítás alapjául az idevágó szakirodalom értékelése, valamint a szerző több évtizedes tapasztalatai szolgáltak. E tapasztalatok a glaciokarsztos térszínek kutatása (mérések, térképezés) során gyűltek össze.

A karsztosodás és a glaciáció kapcsolatának tanulmányozása több oknál fogva is fontos. Így az eljegesedett felszínek mai arculatának megértése karsztterületeken, e felszínek kialakulása, e kapcsolat elemzése nélkül nem lehetséges. A gleccserek kiterjedése folyamatosan változott és változik a jövőben is. A glaciokarsztos környezetek kiterjedésének változásából következtethetünk a Föld klímaváltozásaira.

Kutatási helyszíneink az alábbiak voltak: Totes Gebirge, Dachstein, Tennengebirge, Hochschwab, Schneealp, Schneeberg, Rax (Keleti-Alpok), Karavankák, Asiagoi-fennsík, Júliai-Alpok (Déli-Alpok), Durmitor-hegység, Maglič-hegység, Biokovó-hegység (Dinári-hegyvidék).

A jég által formált felszínek karsztját glaciokarsztnak is hívják. Megjegyzendő azonban, hogy a kifejezést kétféle értelemben is lehet használni. A glaciokarszt elnevezés vonatkozhat mindazon térszínekre, amelyeket a pleisztocénben jég borított. Gyakran azonban leszűkítve is használják: azon térszínekre vonatkoztatják, amelyek ma teljes mértékben növénytelenek és egykor jég által voltak formálva (KUNAVÉR, J. 2009; SAURO, U. 2009; MONBARON, M. – WILDBERGER, A. 2009).

E felszínek karsztosodása összetett jelenség. Ugyanis a jég kialakulását, valamint felszínformálását a preglaciális karsztformák irányították. Ugyanazon a területen a karsztosodás és a jégborítás többször is váltakozhatott. A jelenlegi karsztosodást a preglaciális-paleokarsztos és a glaciális formakincs egyaránt befolyásolja. Továbbá minél alacsonyabb t.sz.f. magas-

ságú felszín karsztosodását vizsgáljuk, azon egyre több felszínformáló erő jelenik meg. Alacsonyabban megváltozik a karsztosodás jellege is. A magasság növekedésével csökken viszont az utolsó karsztosodás kora. Ugyanis magasabban a jégborítás megszűnése fiatalabb.

Egy hegység karsztosodása, különösen a barlangképződés nem tekinthető egyetlen egységes rendszernek. Egy hegységen belül (pl. az Alpok) a karsztos tömegeket nem karsztos hegység részek különítik el egymástól. Emiatt, de más okok miatt is, eltérő lehet a karsztvíz szintje, az üregek feltöltődésének mértéke, a barlangok kialakulásának módja és kora. Így az Alpok déli részén jóval idősebb a barlangképződés, mint például a Ny-i Alpokban (AUDRA, PH. et al. 2006).

A jégborítás a pleisztocén idején is folyamatosan változott. A hóhatár magassága és ennek megfelelően a gleccserek elvégződésének a helye, ugyanabban a hegységben is, a különböző időszakokban különböző magasságokban volt. Így például az Alpokban a glaciálisokban mintegy 1200 m-rel volt alacsonyabban a hóhatár. Ez a hegység É-i szegélyén jelenleg 2400 m-en, míg a D-i részén 2700 m-en van. A glaciálisokban mintegy 1200-1500 m közötti magasságokban húzódnak. Megjegyzendő, a Mindel és Riss glaciálisokban a peremi jégtakaró még kiterjedtebb volt. A hegységben gleccserhálózat jött létre, a karszt-fennsíkokon platógleccserek alakultak ki. A jégből csak a magasabb csúcsok emelkedtek ki.

A Dinári-hegyvidéken a hóhatár magasabban húzódott. Magasságát 1900-2200 m közé teszik és az Adria felé a fentihez képest ennek az értéke csökkent (MENKOVIC, M. et al. 2004). A hegyvidéknek csak a magasabb részei jegesedtek el (mint pl. a Durmitor, a Maglič, az Orjen-hegység, a Velebiték és talán a Biokovo-hegység). A gleccserek a Durmitor-hegységben, mintegy 1200 m magasságban végződtek el (MAROVIC, M. – MARKOVIC, M. 1972). Az Orjen-hegységben 800-1000 m-en végződtek el, de moréna 600 m-en is előfordul az Adriától mintegy 5 km-re (HUGHES, P. D. et al. 2010).

A hegységek karsztosodásnak kitett területei a Würm vége óta is folyamatosan változtak, illetve átalakultak. A gleccservégek oszcillációja az utóbbi 10 ezer évben is végbement, miután a Würm vége óta is változott a klíma. Alapvetően azonban a Würm óta visszahúzódtak. Ez a jelenség a XIX. század végétől felerősödött és különösen felgyorsult az utóbbi évtizedekben. A gleccserek visszahúzódása következtében újabb és újabb területek váltak jégmentessé. Tehát egyre magasabban, egyre később kezdődhetett el a jégborítás nélküli karsztosodás. Ugyanakkor a klíma felmelegedése miatt a növényövek (és ezáltal a talajok) egyre magasabbra tolódtak, illetve egyre meredekebb lejtőkön, egyre nagyobb foltokban fejlődtek ki. Miután ugyanazon a helyen egyre magasabb rendű növénytársulások fejlődtek ki, itt a talaj is átalakult. A talajok kifejlődése gyökeresen átalakította a karsztosodást. A törmelékképződés lecsökkent, másféle karsztformák fejlődtek ki. Így a csupasz felszínnek karrjai helyett a fenyőövben talaj alatti karrok (a fennsíkok teknővölgyeinek alsó részén fenyőerdő, vagy annak ligetes változata van jelen), a lombos erdő övében mérsékeltövi karsztosodás került előtérbe (oldásos dolinák és talaj alatti karrok). Ugyanakkor az emberi tevékenység ezt a folyamatot megakasztotta, illetve visszavetette. Nagy területen alakultak ki legelők, és felerősödött a talajpusztulás.

Oldódás és geomorfológiai övek a magashegységekben

MAIRE, R. (1990) az oldódásnak magashegységi területeken három zónáját különbözteti meg.

- A proglaciális zónát, ahol az oldódást részben a jég olvadékvizei okozzák. A karsztosodás így függ az olvadékvíz mennyiségétől, valamint a levegőből a vízbe lépő CO₂ mennyiségétől. Az oldódás mértéke ezért a gleccserhomloktól távolodva növekszik.

- A nivális zónát, ahol az oldódást főleg a hóolvadék vizei okozzák.
- A szubnivális zónát, ahol az oldódást a csapadékvíz okozza.

Ezért az alacsonyabb karszterületeken kétféle típusú (hólé és csapadékvíz), míg a magasabb karszterületeken (ahol gleccserek vannak) háromféle (jégolvadék, hólé, csapadékvíz) eredetű víz old.

A gleccserek által formált karszterületeken ma a különböző magasságokban, különböző geomorfológiai övek és növényövek vannak jelen. Ezek az alábbiak az Alpokban:

- Mérsékelt övi folyóvízi eróziós tartomány, melynek felső határa mintegy 1800 m magasságban húzódik. E tartományban az oldódás és a folyóvízi erózió mellett a mállás, az aprózódás és a tömegmozgások is hatnak. A tartomány felső részén a fenyőöv fejlődött ki.
- Periglaciális morfológiai alrégió, mely mintegy 2200-2400 m-ig terjed. Ezen övben az oldódás, a tömegmozgások, az aprózódás (fagyhatású aprózódás), a pluvialis erózió a jelentős. Ezen morfológiai övben 1800-2000 (2200) m között a törpefenyőöv helyezkedik el. Ebben az övben a lágyszárú növényzet foltjai keverednek a törpefenyő foltokkal és csupasz felszínekkel. A törpefenyőöv felett változó szélességben fejlődött ki az alhavasi öv (havasi rét), amely lágyszárú növényekből és csupasz felszínekből áll. A hegység egyes részein a törpefenyőöv, más részein az alhavasi öv hiányozhat. 2000 (2200) m-től 2400 (2700) m-ig terjed a növénytelen öv. (A zárójeles számok a hegység déli részén, a zárójel nélküli számok a hegység északi részén az övek magasságát adják meg.)

A jég és a karsztosodás kapcsolata

A karsztosodás bizonyos mértékig hozzájárul a gleccserek kialakulásához. A gleccserek, valamint az általuk kialakított formák ugyanakkor hatnak a karsztosodásra. Egyémségre hatásukban nyilvánvalóan a jég hatása a meghatározó.

A karsztosodás hatása a gleccserek kialakulására

Ismert, hogy a regionális hóhatárt a felszín tagoltsága, és így a karsztos eredetű tagoltság is módosítja. A tagoltabb felszínen a hóhatár alacsonyabban húzódik, mint kevésbé tagolt felszínen. A többszörösen összetett karsztos depressziókban különösen kedvezőek lehetnek a viszonyok a hó felhalmozódásához. A karszt zárt, meredek oldalú formáiban jelenleg is megmarad a hó, akár a nyár végéig is. A zárt depressziók oldallejtőinek hó lavinái a depresszió aljzatára kerülnek, ahol felhalmozódnak. A mély depressziók aljzatán a hó elolvadásának kisebb az esélye. A mészkő világos színe a felszín felmelegedésének a mértékét csökkenti, ami regionálisan ugyancsak a hóhatár alacsonyabbra helyeződését eredményezi. A zárt depressziókban a hó jéggé alakulásának is kedvezőek a feltételei.

A karsztos felszín befolyásolhatja a kialakuló gleccser típusát. A karsztos depressziók meghatározhatják a gleccserek helyét, mozgásuk irányát, a gleccserek kiterjedését.

A jég hatása a karsztosodásra

FORD, D. C. (1983, 1996), FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. (2007) az alábbi gleccserhatásokat különíti el.

- Lecsiszolás, amikor a jég elsimítja a felszínt.

- Feltagolás, amikor a jég a hordozóközetet részekre különíti.
- Feltöltődés, amikor a gleccser hordaléka a karsztos formákat feltölti.
- Betöltődés, amikor a moréna belenyomódik a karszt járataiba.
- A jég eredetű nem karsztos fedő védelme.
- A jég eredetű mészkőanyagú fedő védelme.
- Az olvadékvizek hatása a karsztra.
- Az olvadékvíznek a karszt mélyére áramlása.
- Egyéb hatások közt említhetők a glaciálisokban elkezdődött omlások és amikor a meglévő formák területén újabbak képződnek.

Mi a gleccserek hatásait a karsztosodásra az alábbiakban látjuk.

Olvadékvíz keletkezik a gleccser felszínén, a gleccser pereménél, a gleccser alatt és a gleccser homlokánál. A nagy mennyiségű olvadékvíz miatt átalakul a karszt hidrológiája. Gleccser hiányában a karszton a beszivárgás diffúz, autogén jellegű. Gleccser jelenlétében, ahol olvadékvizek keletkeznek, a karsztba a vízbevezetés allogén jellegű. Az eljegesedés előtt és alatt kialakult kúrtók, aknák víznyelőként működnek. A karsztvízszint lesüllyed (a száraz klíma miatt), bár a gleccserek alatt a karsztvízszint meg is emelkedhet, a gleccserek karsztvizet visszaduzzasztó hatása miatt. A freatikus járatrendszer víztelenedik, a karsztvízszint fölé kerül. A járatrendszerbe bezúduló víz a járatrendszernek az áramlás irányába eső részét szélesíti, a járatrészeket összekapcsolja. A törmelék beszállítás miatt az eróziós hatás erősödik. Az olvadékvizek hatnak a felszíni karsztosodásra is. Így oldó-dással karrformákat hozhatnak létre, vagy olyan formákat alakítanak ki, amelyek karros formaként fejlődnek tovább.

A jégerózió növeli a karsztfelszín lefolyástalanságát. Részben úgy, hogy a meglévő zárt depressziókat, miután azokat kitöltötte tovább mélyíti (CVIJIČ, J. 1899, 1911, 1913; BAUER F. – ZÖTL J. 1972), másrészt úgy, hogy újabb zárt formákat hoz létre túlmélyítéssel. Az olvadékvizek ugyancsak zárt depressziókat hoznak létre, részben karsztos eredetűeket (aknák), részben nem karsztos eredetűeket (például evorziós üstök). A lefolyástalanság növeli az üregképződés intenzitását.

A gleccserek a preglaciális formák lejtőit meredekebbé formálják. A meredekebb lejtők tövében hófelhalmozódások nagyobb eséllyel jönnek létre (lavinák, szél), mint lankásabb lejtők tövében. A hófelhalmozódások meredek lejtők mentén nagyobb eséllyel maradhatnak meg (árnyékban vannak). Az árnyék miatt a hó olvadása lassú. Az oldódás időtartama így hosszabb, mint akkor, ha a hó gyorsabban elolvadna. A meredekebb lejtőkön karrosodás történhet. Más karsztformák létrejöttének viszont az ilyen lejtők nem kedveznek.

A gleccserek elszállíthatják a nem karsztos fedőt. A jég üledéke, a moréna viszont többnyire vízáteresztő. A gleccserek tevékenysége nyomán az allogén, vagy az úgynevezett kevert típusú karsztok autogén karsztokká, a morénás térszínek fedett karsztokká alakulhatnak. A morénával fedett térszínek többnyire rejtett karsztok (a fedő vízáteresztő). De az ilyen térszínek, különösen ha a moréna agyagosodott, eltemetett karsztokat (a fedő vízáteresztő) is képezhetnek.

A jég formálta felszínek aprólékosan feltagolódtak. Ez megnöveli a hófelhalmozódás, a vízfolyás, a talaj és növényzet mintázatának a változékonyságát. Ezért a jégformálta felszín a karsztosodás szempontjából mozaikos. Egyrészt mellett eltérő intenzitású és eltérő jellegű karsztos foltok váltakozhatnak.

A jégerózió jelentős vastagságú karsztos kőzetnek a lepusztulását is okozhatja. Ezáltal nő az esélye, hogy a terület nem karsztos kőzetei felszínre bukkannak, ami ugyancsak a víznyelők kialakulásának kedvez. Ez esetben az autogén karszt allogén karszttá alakul át. A kőzetlepusztulás miatt üregek nyílhatnak a felszínre.

A gleccserek nagy kiterjedésű, lesimított felszíneket hoznak létre (főleg réteglapokon). E felszínrészleteken, ha fedetlenek, a vízáramlásnak kedvezőek a feltételei. Ez a körülmény kedvez az áramlásos eredetű karrformák létrejöttének (VERESS M. 2010).

A báránysziklák lejtőin karrosodás történik, a báránysziklák mögött nagyméretű oldódásos medencék (madáritatók) képződhetnek (VERESS M. ET AL. 2006).

A jégerózió megváltoztatja a karsztos depressziókat. Egyrészt úgy, hogy a jég által átalakított depressziók a jég visszahúzódását követően elveszítik aktivitásukat. Az aktivitásukat veszített depressziók, bár ismételten karsztosodhatnak, de nem a jégborítás előtti módon: így azokban csak kisebb-nagyobb részletek karsztosodnak. Egyes depressziókban nem karsztos hatások kezdenek hatni (pl. fagyaprózódás), míg mások belsejében a felhalmozódás kerülhet túlsúlyba.

A zárt mélyedésekben (ezek lehetnek karsztos eredetűek, vagy sziklamedencék) víznyelők, oldásos és fedett karsztos formák (szuffóziós-, lezőkkeséses töbrök) alakulnak ki. A fedőnek a karsztba szállítása miatt fedőüledékes depressziók képződhetnek. E formák a fedőben jönnek létre akkor, ha annak anyaga a járatokon keresztül a karsztba szállítódik (VERESS M. 2009, 2012a).

A jég a karsztformákat átalakítja (1, 2. táblázat). Az átalakulás során az eredeti forma részekre különül (pl. barlang), mélyül (pl. karsztos depresszió), részlegesen lecsonkolódik (pl. akna), teljesen lecsonkolódik (pl. karrforma), lejtői meredekebbé válnak (pl. óriás töbr), átalakul (az óriás töbrben sziklamedencék és báránysziklák képződnek). A karsztos depressziókban is végbemegy a felszín feltagolódása. Ez gyakran e formákban is réteglépcsők létrejöttét eredményezi.

1. táblázat – Table 1

Egyszerű vagy kisméretű preglaciális karsztformák és fejlődésük
az eljegesedések hatására
Simple or small-sized preglacial karst landforms and their development
due to glaciation

eljegesedés előtti karsztforma	a forma fejlődése	létre- jött forma	jég által létreho- zott forma	jelenlegi karsztformái	nem karsztos folya- matok a jég vissza- húzódása után	nem karsztos formák
karrok	megsemmi- sültek					
aknadolina	megsemmisült, lecsonkolódott					
óriáshasadék (bogaz)	lecsonkolódott	óriás hasadék csonk	feltöltött hasadék	aknadolinák, karrok, szuf- fóziós dolinák	fagyaprózódás, omlás	törme- lékkúp
víznyelő	megsemmisült					
szuffóziós töbr,	megsemmisült					
lezőkkeséses töbr	megsemmisült					

A gleccsererózió lokális mélyedései (pl. gleccserkarcok) kedveznek a víz összefolyásának. E formák a karrosodás potenciális helyei lehetnek.

A moréna depressziókat tölthet, vagy boríthat el, üreget fedhet el, vagy tölthet ki. A moréna összetétele, vastagsága, kiterjedése hathat a karsztosodásra. Ha a moréna túlzottan vastag vagy mészkőtörmelék anyagú, az azon átszivárgó vizek annak anyagát oldva telítődnek, és így a fekvő nem képesek oldást végezni (WILLIAMS 1966). Ha oldás történik a fekvő, a morénán

2. táblázat – Table 2

Összetett vagy nagyméretű karsztformák és fejlődésük az eljegesedés hatására
Complex or great-sized karst features and their development due to the effect of glaciation

eljegesedés előtti karsztforma	a forma fejlődése	létrejött forma	jég által létrehozott forma	jelenlegi karsztformái	nem karsztos folyamatok a jég visszahúzódása után	nem karsztos formák	
oldásos óriástöbrök	átalakult, nem aktív	inaktív oldásos óriástöbör	vásott szikla sziklamence	– karrok – belsejében oldásos töbrök, – víznyelők (nem közethatáron) – zombolyok, óriáshasadékok	– omlás – olvadékvizek eróziója – kőhullás – fagyaprózódás – periglaciális folyamatok	– törmelékkúpok – esővízbarázdák – periglaciális formák	
		részleges vagy teljes feltöltődés	feltöltött töbör (eltetett karszt)	vásott szikla, sziklamence	– víznyelők (közethatáron), – depresszió a fedőüledékben	– feltöltődés (vizi) – omlás, kőhullás – fagyaprózódás – periglaciális folyamatok – csapadékvíz eróziója – völgyképződés	– omlási halmok, törmelékkúpok – vakvölgyek, eróziós árkok, vízmosások, – esővízbarázdák,
			feltöltött töbör (rejtett karszt)	vásott szikla sziklamence	– szuffóziós töbör, – lezökkenéses töbör – depresszió a fedőüledékben	– periglaciális folyamatok – völgyképződés – csapadékvíz eróziója	– omlási halmok, törmelékkúpok – eróziós árkok, – esővízbarázdák
uvala	részleges feltöltődés	feltöltött résztöbör		mint fentebb		– omlási halmok, törmelékkúpok – eróziós árkok, – esővízbarázdák	
		nagyméretű, vásott fedőüledékes aljzatú mélyedés (eltetett karszt)	vásott szikla (?)	– víznyelők (vakvölgyekkel), – depresszió fedőüledékben	– feltöltődés; periglaciális folyamatok – völgyképződés – csapadékvíz eróziója	– omlási halmok, törmelékkúpok – vakvölgyek, eróziós árkok, – esővízbarázdák	
akna	átalakult, lecsonkolódott, megsemmisült	csonkolt akna					
		nagyméretű, vásott fedőüledékes aljzatú mélyedés (rejtett karszt)	vásott szikla (?)	– szuffóziós töbör, lezökkenéses töbör – depresszió a fedőüledékben	– feltöltődés – omlás, kőhullás – periglaciális folyamatok – völgyképződés – csapadékvíz eróziója	– omlási halmok, törmelékkúpok – eróziós árkok, – esővízbarázdák	
polje (?)	részben, vagy teljesen feltöltődött, részben lepusztult	átalakult polje	sziklamence, vásott szikla	– víznyelő, – szuffóziós töbör, lezökkenéses töbör, – depresszió a fedőüledékben	– feltöltődés – omlás, kőhullás	– omlási halmok, törmelékkúpok – vakvölgyek, eróziós árkok, vízmosások, – esővízbarázdák	

szuffóziós és lezökkenéses töbrök képződnek. A moréna elvégződésénél – különösen, ha víz-záró – víznyelők alakulhatnak ki. A depressziókban a már említett moréna felhalmozódás miatt rejtett és eltemetett fedett karsztos térszínek képződnek. A moréna nagyobb tömbjei a karrosodásban játszanak szerepet. A kőtömbök oldalajtóin falikarrok képződnek. A kőtömbök karasztalokká fejlődnek, mögöttük egyirányú intenzív szél esetén oldódással maradványformák alakulhatnak ki (VERESS M. et al. 2006). A moréna anyaga hozzájárul az eróziós üregfejlődéshez. Gyakori, különösen kis dőlésű teknővölgy részeken, hogy a moréna nem egységesen, hanem foltokban fejlődött ki. A moréna foltok a paleotöbrök aljzatát, vagy azok legmélyebb részeit borítják. Ez nem csak a fedett karsztosodás foltszerű kifejlődését eredményezi, hanem azt is, hogy e helyeken a jégerózió a felszínt nem pusztította le. Ily módon a morénával fedett töbrök aljzatokon paleokarrok maradhattak meg. A paleokarrok ugyancsak hatással lehetnek a morénás felszín fedett karsztosodásához: a morénán fedett karsztos formák (szuffóziós töbrök) képződnek, miután a moréna anyaga részben a karrformákba halmozódik át.

Gleccser formálta karsztos felszín típusok

A karsztterületeken a gleccserek felszínformálását az alábbiak határozzák meg, illetve módosíthatják: a karsztosodó kőzet vastagsága és jellemzői, a paleokarsztos formák mérete, sűrűsége, mintázata, a karsztos kőzet lepusztulásának mértéke, a gleccser típusa, a jégelborítások száma.

A jelenlegi karsztosodás végbemehet paleokarsztos formákban, amelyeket a jég átalakított (2. táblázat), vagy a jég által létrehozott formákban vagy formákon (3, 4. táblázat).

3. táblázat – Table 3

Karsztosodás a jég által kialakított kisformákon
Karstification on the small features of glacial erosion

gleccser által létrehozott forma	karsztosodás jellege	karsztforma	a karsztforma kialakulásának kezdete	helye, környezete
gleccser karc	a felszín oldódása (fedetlen)	maradványforma (bálnahát)	eljegesedés után	csupasz felszínen
	fedetlen karrosodás	vízáramlásos eredetű formák (rinnenkarr, hasadékkarr)	eljegesedés után	csupasz felszínen
	fedett karrosodás	szivárgásos eredetű formák (hasadékkarr)	eljegesedés után	talaj alatt, törmelék alatt
Réteglépcső	fedetlen karrosodás	falikarr,	eljegesedés után	réteglépcső rétegefein
		réteghézagkarr	eljegesedés után	10°-nál nagyobb dőlésű réteglapon
		vályúkarr, rovátkakarr	eljegesedés után	10°-nál kisebb dőlésű réteglapon
	meanderkarr, karrbarlang	eljegesedés után	réteglépcső tövéénél	
	vertikális karsztosodás	kürtő, akna, aknadolina, óriás hasadék	eljegesedés után	réteglépcső tövéénél
Bárányszikla	fedetlen karsztosodás	Karrok (1), zombolyok (2)	eljegesedés után	oldalajtón (1), tetőn (2)
	fedett karsztosodás (rejtett)	szuffóziós- és lezökkenéses töbrök	eljegesedés után	
kőtömbök (moréna)	felszín leoldódása	karrasztal, karrtanúhegy (?)	eljegesedés után	

A jelenlegi karsztos felszíntípusok kifejlődhetnek glaciális felszíneken és formákon vagy paleokarsztos glaciális felszíneken. A felszíntípusok az alábbiak: báránysziklás felszín, töbros- uvalás fennsík, teknővölgyek (teknővölgyekkel kismértékben tagolt felszín, nagyméretű teknővölgy sziklamedencékkel, teknővölgy óriás töbörökkel és uvalákkal, teknővölgy), kárfülkés felszín, kárgerinces felszín. Ezek közül a töbros- uvalás fennsíkok, a teknővölgyek és a kárfülkés felszínek karsztosodásával foglalkozunk ebben a tanulmányban.

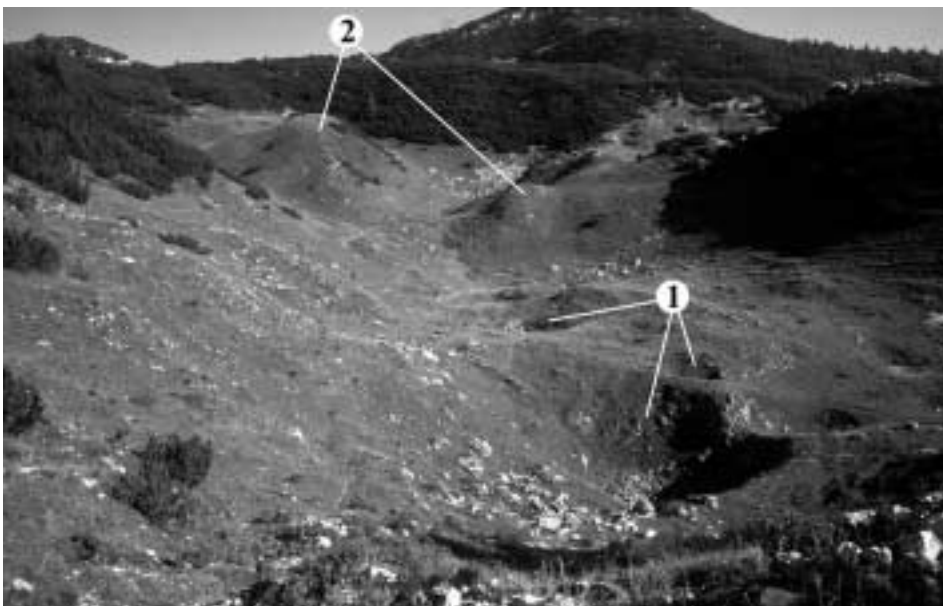
4. táblázat – Table 4

Karsztosodás a jég által kialakított nagyformákon
Karstification on the great features of glacial erosion

gleccser által létrehozott forma	karsztosodás jellege	karsztforma	A karsztforma kialakulásának kezdete	helye, környezete
kereszt és hosszanti lépcsők, denudációs lépcsők (karsztos és nem karsztos közzethatárán)	– karrosodás – víznyelőképződés	– falikarrok, – víznyelő, vakvölgy	eljegesedés után	
Sziklamedence	fedett (rejtett) karsztosodás	szuffóziós- (1), lezökkenéses töbör (2) fedőüledékes depresszió (3)	(1) (2) (3) eljegesedés után	a belsejében (1) (2) teljes területén (3)
	fedett (eltemetett) karsztosodás	víznyelő (1), fedőüledékes depresszió (2)	(1) (2) eljegesedés után	a belsejében (1) teljes területén (2)
Kárfülke	fedetlen karsztosodás	karok (1), aknák (2), óriás hasadékok (3), aknadolinák (4)	(1) würm után (2) (3) (4) würm előtt, alatt és után	bárhhol (1) (2) a talpán (3) (4)
	fedett (rejtett) karsztosodás	szuffóziós (1), lezökkenéses töbörök (2), fedőüledékes depressziók (3)	(1) (2) (3) eljegesedés után	talpán
Teknővölgy	fedetlen karsztosodás	karok (1), aknadolina (2), akna (3), óriás hasadék (4), oldódásos töbör (5), óriás oldódásos töbör (6)	(1) (5) eljegesedés után (2) (3) (4) würm előtt, alatt és után, (6) würm előtt, vagy a pleisztocén előtt	bárhhol (1) (3), talpon (2) (4) (5) (6)
	fedett (rejtett) karsztosodás	szuffóziós (1), lezökkenéses töbör (2), fedőüledékes depresszió (3), óriás oldódásos töbör (4)	(1) (2) (3) eljegesedés után (4) würm előtt vagy a pleisztocén előtt	talpon
	fedett (eltemetett) karsztosodás	víznyelő (1), fedőüledékes depresszió (2), óriás oldódásos töbör (3)	(1) (2) eljegesedés után (3) würm előtt vagy a pleisztocén előtt	talpon

Töbrös-uválás fennsík

Ha a karszterületen platógleccser alakul ki, akkor a fennsík lepusztulása viszonylag egyenletes, így teknővölgyek csak a fennsík peremén alakulhatnak ki. A fennsík belsejében a jégborítás előtt kialakult nagyméretű töbrök, uvalák átalakulnak a jégborítás alatt. Részben lepusztulnak, átformálódnak, illetve a belsejükben moréna halmozódik fel. Az átformálódás során a talpuk feltagolódnak, oldallejtőik meredekebbé válnak. A jégborítás előtti töbrök váltakoznak a jégborítás után kialakult töbrökkel. A fiatal töbrök létrejöhetnek az idősebbek talpán is (1. kép).



1. kép Paleodolina (Asiagói-fennsík) –1 – oldásos vagy szuffúziós dolina; 2 – bárányszikla
Photo 1 Paleodoline (Asiago Plateau) –1 – solution doline or suffusion doline; 2 – roche moutonnée

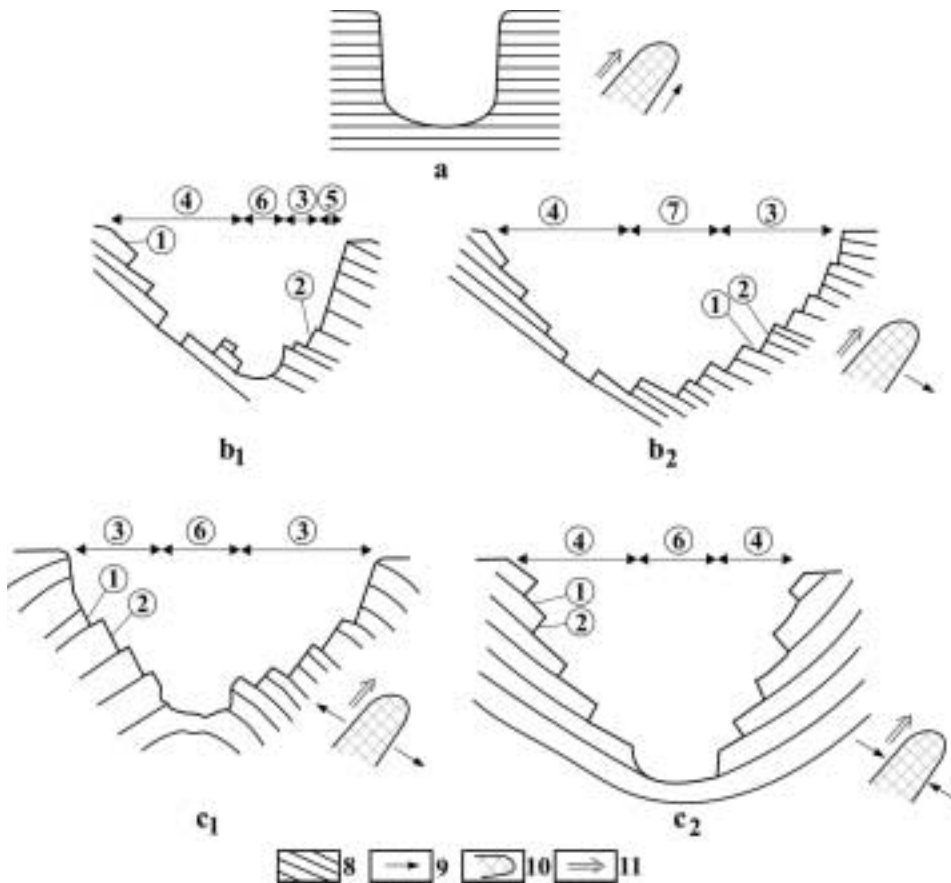
A töbrös-uválás formakincs meg is őrződhet. Ez akkor lehetséges, ha a karszterület csak nagyon kismértékben jegesedett el. Ekkor a töbrökből, uvalákból a jég nem folyik ki.

Teknővölgy

A rétegek dőléséhez képest a teknővölgyeknek két változata is elkülöníthető (1. ábra). Ha a völgy iránya közel megegyezik a rétegek dőlésirányával, akkor szimmetrikus keresztmetszetű völgyet alakít ki a gleccser (1a. ábra). Talpán, ha a gleccser mozgásának iránya megegyezett a dőlésiránnyal, a völgyre merőleges réteglépcsők sorozata alakul ki. A réteglejtők dőlése ellentétes a hajdani gleccser mozgásának irányával. Ha nem (azzal közel 90°-os szöget zár be) akkor aszimmetrikus keresztmetszetű völgy formálódik ki a jég pusztítása során. A völgynek a rétegdőléssel ellentétes kitérésű lejtője gyakran függőleges. Előfordulhat azonban, hogy réteglépcsőkkel tagolt. A réteglépcsők homloka (a réteglejtők) a völgy talpa felé, míg a réteglapok azzal ellentétesen dőlnek (2. kép). Hasonló helyzetű réteglépcsők sorakoznak az ilyen völgy talpán, illetve a talp karsztos (töbr) és nem karsztos (szikla-

medence) mélyedéseiben is. A völgyek rétegdőléssel egyező lejtője réteglapok sorozatából áll. A különböző magasságú réteglapokat rétegfekék különítik el egymástól. A rétegfekék azonban a rétegdőléstől függetlenül meredek (1b. ábra).

Ha a gleccservölgy antiklinálisan alakul ki, az oldalait réteglépcsők alkotják. Ez esetben mindkét völgyoldalt (és a völgy talpát is) a völgy belseje felé dőlő rétegfekék és a völgy pereme felé dőlő réteglapok sorozata alkotja (1c₁. ábra). Akkor, ha a völgy szinklinálisan képződött, mindkét völgyoldalban a völgy talpa felé dőlő réteglapok sorakoznak. A rétegfekék a völgy pereme felé dőlnek, vagy függőlegesek, esetleg túlhajlóak (1c₂. ábra).



1. ábra Réteglépcsős és réteglapos teknővölgyek (VERESS M. 2012b)

– a – a gleccser dőlésirányú volt; b – a gleccser iránya a rétegek dőlésirányától eltért (mintegy 90°-kal);

c₁ – a gleccser antiklinális területén alakult ki; c₂ – a gleccser szinklinális területén alakult ki;

1 – réteglap; 2 – rétegfeké; 3 – rétegfekes völgyoldal; 4 – réteglapos völgyoldal; 5 – meredek (sziklafalas) völgyoldal;

6 – sziklamedence, karsztos depresszió; 7 – rétegfekes völgytalp;

8 – rétegek; 9 – rétegdőlés iránya; 10 – gleccser; 11 – gleccser mozgásának iránya

Figure 1 Glacier troughs with side slopes on bedding planes and escarpments (VERESS M. 2012b)

– a – the direction of the glacier is similar to the dip direction of the beds;

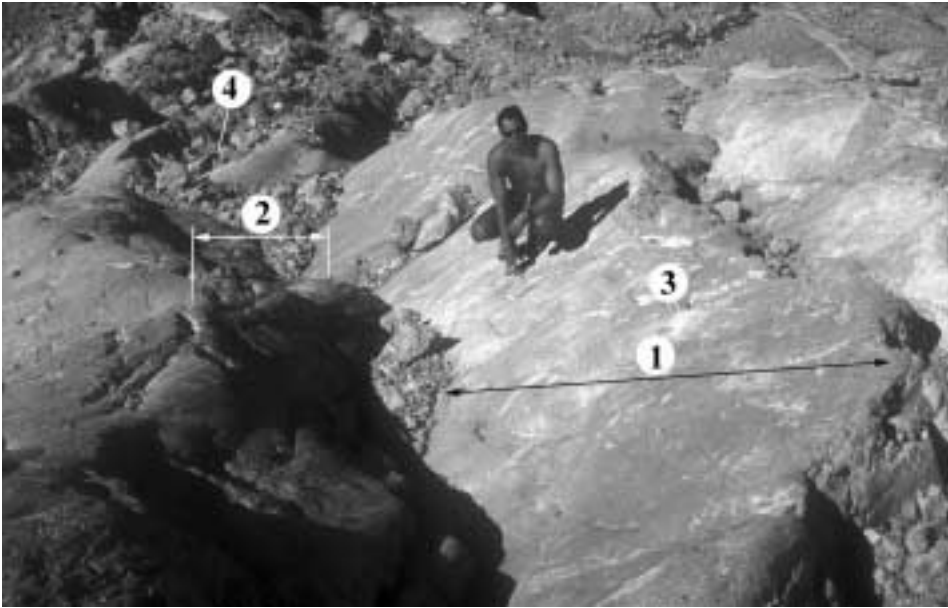
b – the direction of the glacier differs from the dip direction of the beds (dip angle is about 90°)

c₁ – the glacier developed in anticline; c₂ – the glacier developed in the syncline;

1 – bedding plane; 2 – escarpment; 3 – valley side on escarpment; 4 – valley side on bedding planes; 5 – steep valley

wall (cliff); 6 – rock basin, karstic depression; 7 – valley bottom on escarpments;

8 – beds; 9 – dip direction of bed; 10 – glacier; 11 – the direction of glacier movement



2. kép Rétéglépcső (Hallstatt-gleccser jégmentes völgytalpa, a képen látható réteglépcső mintegy 20-30 évvel a kép készítése előtt vált jégmentessé) – 1 – réteglap; 2 – rétegfaj; 3 – mészkiválás; 4 – moréna
 Photo 2 Cuesta (ice-free valley bottom of the Hallstatt glacier) The escarpment became ice-free about 20-30 years before the picture was taken. – 1 – bedding plane; 2 – escarpment; 3 – calcite precipitation; 4 – moraines

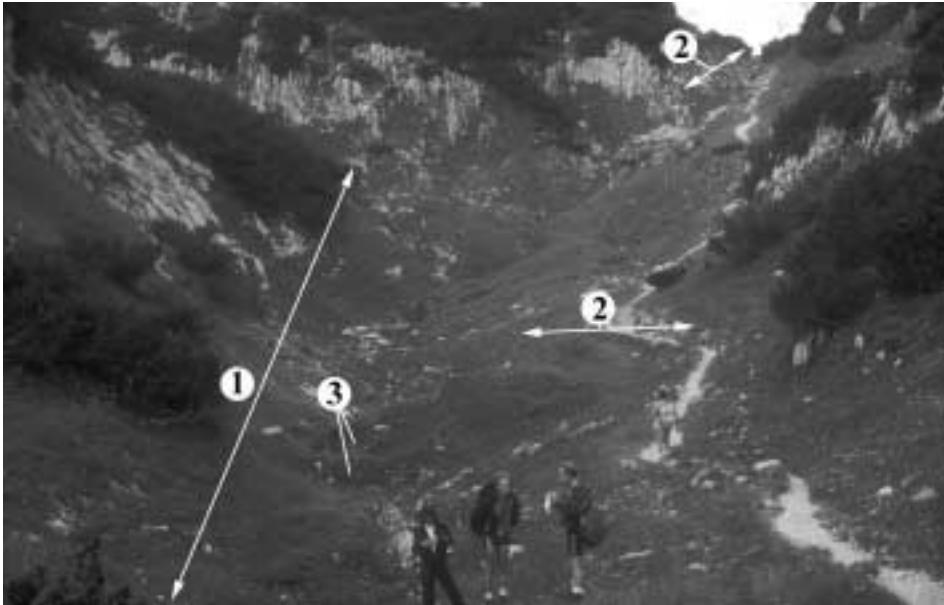
A réteglépcsőkön kisebb-nagyobb szélességű réteglapok és rétegfajok tárulnak fel. E felületek jelentősége nagy. Ugyanis a magashegységek karrjai a réteglépcsőkön (főleg a réteglapokon) alakulnak ki. A rétegfajok elvégződéseinél óriás hasadékok (bogaz) illetve ugyancsak karrformák (mezokarrok) alakulnak ki. (Az itt előforduló hasadékok a jég visszahúzódását követően alakultak ki, miután a rétegfajok a glaciális erózió formái.) Itt történik elsősorban a vízvezetés a karszt belsejébe. A réteglapos felszín meredeksége természetesen a rétegek dőlésétől függ. A rétegfajes lejtők nem. Mint említettük, meredek, sőt esetleg túlhajlók is lehetnek.

Glaciális teknővölgy óriás töbrökkel és uvalákkal

A glaciális teknővölgyek talpán töbrök és/vagy uvalák sorakoznak (3. kép). A töbrök és uvalák nagyméretűek, kiterjedésük meghaladja a több száz métert. A gleccservölgyeknek e nagyméretű karsztformái nem alakulhattak ki a Würm vége óta. A karsztformák képződhetnek egy már meglévő gleccservölgy talpán, vagy a gleccservölgy a karsztos formák mentén alakult ki. Előző esetben a karsztforma valamelyik interglaciálisban jött létre. Utóbbi esetben idősebb a pleisztocénnél vagy annál a glaciálisnál, amikor a hegységben először fejlődtek ki gleccserek. Valószínűleg mindkét eset előfordul. A gleccser kialakulásnak az alábbi esetei lehettek:

- A gleccser idős folyóvölgyben alakult ki. Ehhez azonban a karsztnak nem karsztos fedővel kellett rendelkeznie a folyóvölgy képződése idején. Ekkor interglaciális karsztosodás történik.
- Olyan kisméretű völgyben alakult ki a gleccser, amely még fedetlen karszton is létrejöhetett. Ez esetben is interglaciális karsztosodás játszódott le.

- A gleccser kialakulását egy idős karsztos forma irányította. Ilyen gleccservölgyek vannak a Durmitor hegységben, de a Dinári-hegység más részein is, pl. a Maglič-hegységben a Prokletije-hegységben, vagy az Orjen-hegységben (CVJIĆ, J. 1899, 1911, 1913; MENKOVIC, LJ. 1994). Az Északi-Mésző-Alpok paleotöbrei a késő Terciertől képződtek és kialakulásuk pleisztocénnél idősebb (BAUER F.–ZÖTL J. 1972).
- A jég olyan karsztformákban alakult ki, ill. a gleccser olyan depressziók mentén jött létre, amelyek mára teljesen elpusztultak. Ez esetben a karsztosodás ugyancsak preglaciális. A karsztosodás korai voltát bizonyítja, hogy az Alpokban a karsztosodás (barlangképződés) már a miocéntől elkezdődött (AUDRA, PH. ET AL. 2006; FRISCH, H. ET AL. 2002). Sőt dolinák képződtek a felső triászban (BINI, A. –PELLEGRINI, A. 1998).



3. kép Interglaciális óriás töbör (Totes Gebirge)
 – 1 – interglaciális óriás töbör; 2 – gleccservölgy talpának maradványa; 3 – szuffúziós töbör
 Photo 3 Interglacial giant solution doline (Totes Gebirge)
 – 1 – interglacial giant doline; 2 – floor remnant of glacier trough; 3 – suffusion doline

A gleccserek és a karsztformák egymáshoz képesti kialakulási korának a figyelembevételével az alábbi esetek lehetségesek.

Interglaciálisban karsztosodott gleccservölgy

Gleccservölgy képződött egy glaciálisban, majd karsztosodott egy interglaciálisban. A teknővölgyet létrehozó gleccser helyét meghatározó preglaciális forma nem ismert. Preglaciális formaként nem magától értetődő az eróziós völgy, miután fedetlen karszterületen vízfolyás hiányában nem alakul ki ilyen forma.

A karsztosodás során óriás töbrök és uvalák alakultak ki az interglaciálisban a völgytalpakon (interglaciális óriás töbrök). Az interglaciális töbrök pereménél (a lankásabb völgyoldal felőli oldalán) szegélyszerűen a teknővölgy talpának keskeny sávja megőrződött (3. kép). A völgyképződés többször megismétlődhetett. A létrejött karsztforma azonban

nem fejlődhetett tovább, miután a jéggel egyszer már kitöltött karsztformák a jégborítás megszűnését követően nem fejlődnek (de a belsejük karsztosodhat).

Az idős karsztformák talpa változatos morfológiájú lehet. A meredek sziklás lejtők karrosodhatnak, a fedetlen aljzaton különböző korú, kisméretű oldódásos töbrök fordulhatnak elő (1. kép). Előfordulhatnak a belsejükben aknák is. A töbrőrtalpon vásott sziklák és sziklamedencék is kifejlődhetnek. Az óriás töbröket gyakran borítja, vagy béleli ki moréna. Ennek elvégződésénél víznyelők vannak eróziós árkokkal és vízmosásokkal. Jelentős vastagságban lehet belsejükben törmelék, omladék, illetve kőlavinák, kőfolyások vagy a kőhullások során keletkezett anyag. A fentebb felsorolt fedőüledékeken szuffóziós töbrök és lezökkenéses töbrök jöhetnek létre.

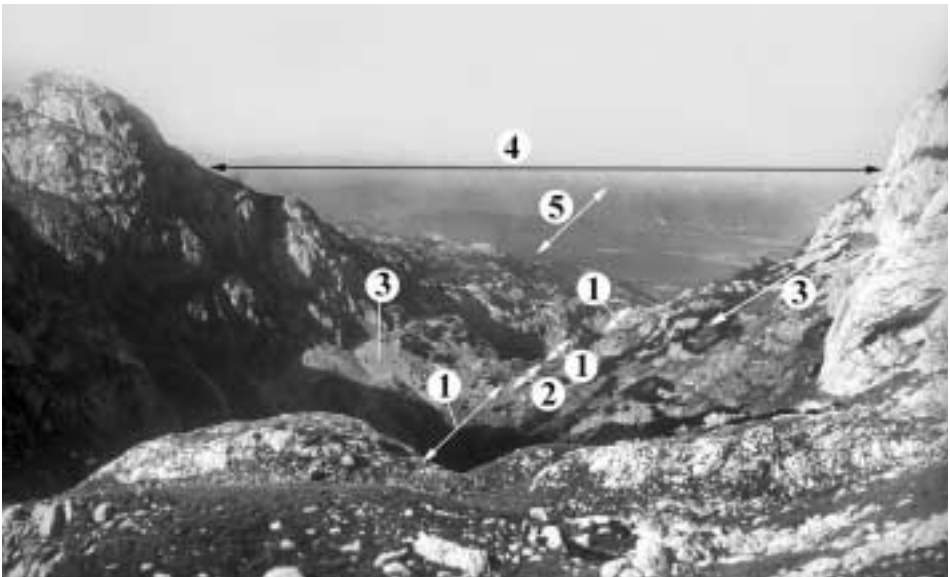
Az interglaciális karsztosodású gleccservölgyek jellemzői az alábbiak:

- A gleccservölgy iránya megegyezik a hordozó térszín dőlésirányával.
- A teknővölgy felső része oldalnézetben meredek, pereme felülnézetben egyenes, az aljzatába mélyülő karsztformák elkülönülnek a völgytalptól.
- A teknővölgyek talpán az óriás töbrök egymástól távolabb helyezkedhetnek el.

Interglaciális karsztosodó völgyeknek tartjuk pl. a Totes Gebirge karsztos teknővölgyeit. Az ilyen teknővölgyekben az idős karsztos formák sziklamedencékkel váltakozhatnak.

Preglaciális karsztosodású teknővölgy

A teknővölgy már létező karsztformákon (preglaciális óriás töbrök) és azok mentén képződött (4. kép). Ez kétféleképpen történhetett. Az egyik esetben az előrenyomuló gleccser újabb és újabb karsztformákba nyomult be és a karsztformák egy rendszerré kapcsolódtak



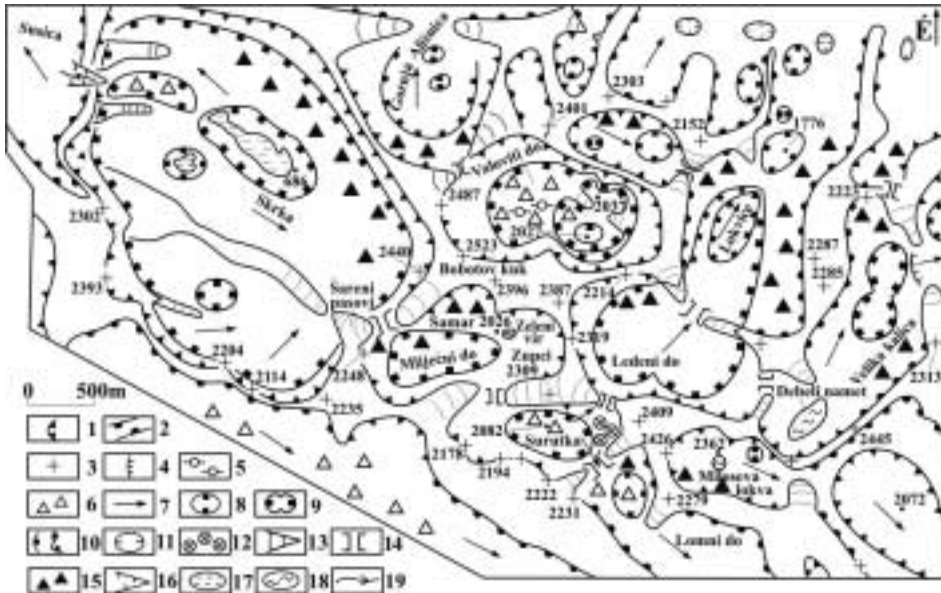
4. kép Preglaciális oldásos óriás töbrök (Durmitor-hegység, Lokvice-völgy alsó része)

- 1 – preglaciális óriás töbrő; 2 – kúszób; 3 – törmelék kúp, törmeléklejtő; 4 – teknővölgy; 5 – a hegységet övező alacsonyabb, morénával fedett felszín

Photo 4 Preglacial solution giant dolines (Durmitor Mts., lower part of Lokvice Valley)

- 1 – preglacial giant doline; 2 – ridge; 3 – alluvial fan, apron;
4 – glacial trough; 5 – lower surface with moraines which borders the mountain

össze. A másik lehetőség, hogy a nagyméretű töbrök és uvalák voltak a jégképződés helyei. Ez esetben a töbrök kezdetben kárfülkék voltak, majd később teknővölgy szakaszokká formálódtak. Ez esetben a hegységrendszen sorakozó töbrök közül az első (a hegység központi része felől tekintve) volt az első hógyűjtő. Miután a többi töbrő átalakult, csak az első töbrő őrizte meg az egykori hógyűjtő jellegét. Ilyen kárfülke lehet a Durmitorban a Ledeni Do, amely a hatalmas méretű Lokvice egykori gleccserének lehetett a tápláló területe (2. ábra).



2. ábra Geomorfológiai térkép a Durmitor-hegység egy részletéről (készült a Durmitor turistatérképének felhasználásával, VERESS M. 2012b) – 1 – kárfülke; 2 – teknővölgy; 3 – káracsúcs; 4 – lépcső; 5 – báránysziklás térszín; 6 – moréna; 7 – jég mozgásának az iránya; 8 – preglaciális oldódásos óriástöbör; 9 – preglaciális uvala; 10 – kinyílt óriás töbör, vagy uvala; 11 – interglaciális, vagy posztglaciális oldódásos töbör; 12 – szuffúziós töbrök; 13 – karsztos küszöb; 14 – nyereg; 15 – törmelék; 16 – folyóvölgy; 17 – tó; 18 – gleccser; 19 – vízfolyás

Figure 2 Geomorphological map detail of the Durmitor Mts. (based on tourist map, VERESS M. 2012b)

– 1 – cirque; 2 – glacier trough; 3 – horn; 4 – step; 5 – terrain with roches moutonnées;

6 – moraines; 7 – direction of ice movement; 8 – giant preglacial solution doline; 9 – preglacial uvala;

10 – open giant doline or uvala; 11 – interglacial doline or postglacial solution doline;

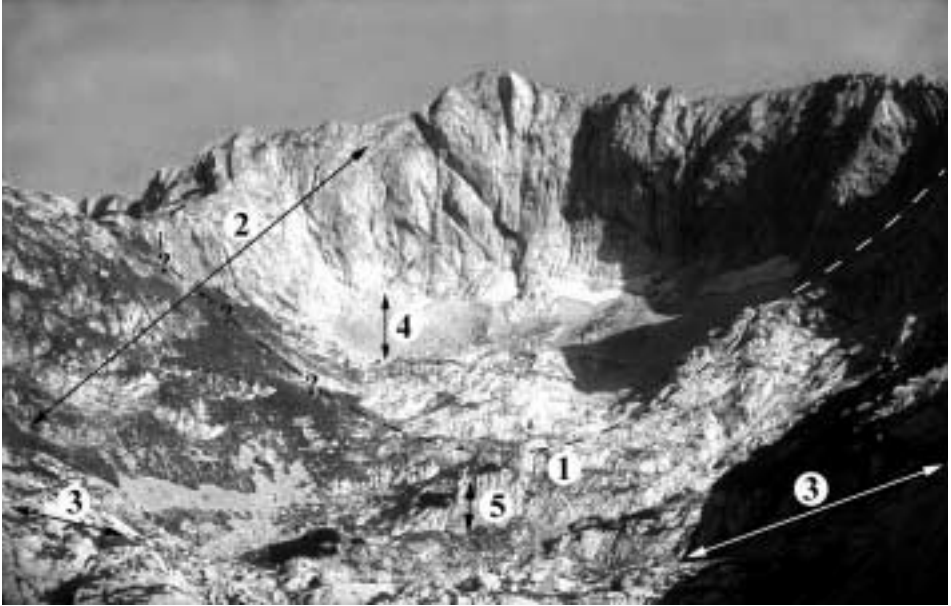
12 – suffusion dolines; 13 – karstic ridge; 14 – saddle; 15 – debris; 16 – river valley; 17 – lake; 18 – glacier; 19 – stream

Előfordulhatnak a teknővölgyek peremén is kárfülkék. Ezek idős töbrökben kialakult egykori hógyűjtők (5. kép). A túlfolyó jég a küszöbökét átvágva a teknővölgyekhez kapcsolta a peremi helyzetű hógyűjtőket (kárfülkéket).

Ezen gleccservölgyek jellemzői az alábbiak:

- A gleccservölgy igazodik az egykori töbör sorok, uvalák irányához.
- A teknővölgy és a karsztos formák nem különíthetők el egymástól. A teknővölgynek nincs mindig elkülönülő oldallejtője, vagy ha igen, az nem számottevően meredek. A teknővölgy pereme íves és nem egyenes. A töbröket viszonylag keskeny küszöbök, háta különítik el egymástól.

Ilyen teknővölgyek jellegzetesek a Dinári-hegységben (Durmitor, Maglič-hegység). A jégborítás idejére e hegységekben olyan méretű töbrök jöttek létre, amelyek a gleccserképződését meghatározták és irányították.



5. kép Völgyperemi helyzetű töbörből kialakult kárfülke (Durmitor-hegység) – 1 – egykori dolina pereme; 2 – kárfülke; 3 – teknővölgy pereme, melyhez a kárfülke kapcsolódott; 4 – törmelékkip; 5 – lépcső

Photo 5 Cirque developed from a doline located at a valley margin (Durmitor Mts) – 1 – margin of the former doline; 2 – cirque; 3 – margin of the glacial trough connected to the cirque; 4 – talus; 5 – step

A glaciáció poljékre is kiterjedhetett. Így MENKOVIC, LJ. ET AL. (2004) az Orjen-hegységi Grahovo poljéből glacio-fluviális és glaciális tavi üledékeket írnak le. Hasonlóképpen a montenegrói Sinjajevina-fennsík poljéjében is glaciációs felszínformálás történt (TELBISZ T. 2010).

Néhány felszíntípus karsztosodása

A felszíntípusok karsztosodását a glaciális formák alaktani jellemzői, méretük, magasságuk, feltöltöttségük mértéke határozta meg. Alább néhány felszíntípus karsztosodását tekintjük át.

Kárfülke karsztosodása (4. táblázat)

A kárfülkék gyakran a nagyobb és mélyebb völgyek felett függenek. Ez utóbbiakhoz kapcsolódhatnak közvetlenül (5. kép), vagy rövidebb függő gleccservölgyekkel. A magasabb kárfülkékben számottevő hó halmozódhat fel, vagy az egykori gleccserek jegének maradványai lelhetők fel területükön. A hó és jég a talpukon tartós oldást tesz lehetővé. A kárfülkék vizeiből csak nagyon kevés folyik le a felszínen. A víz döntő többsége a karsztba jut. A kárfülkék talpán az állandó vizű tavak is ritkák.

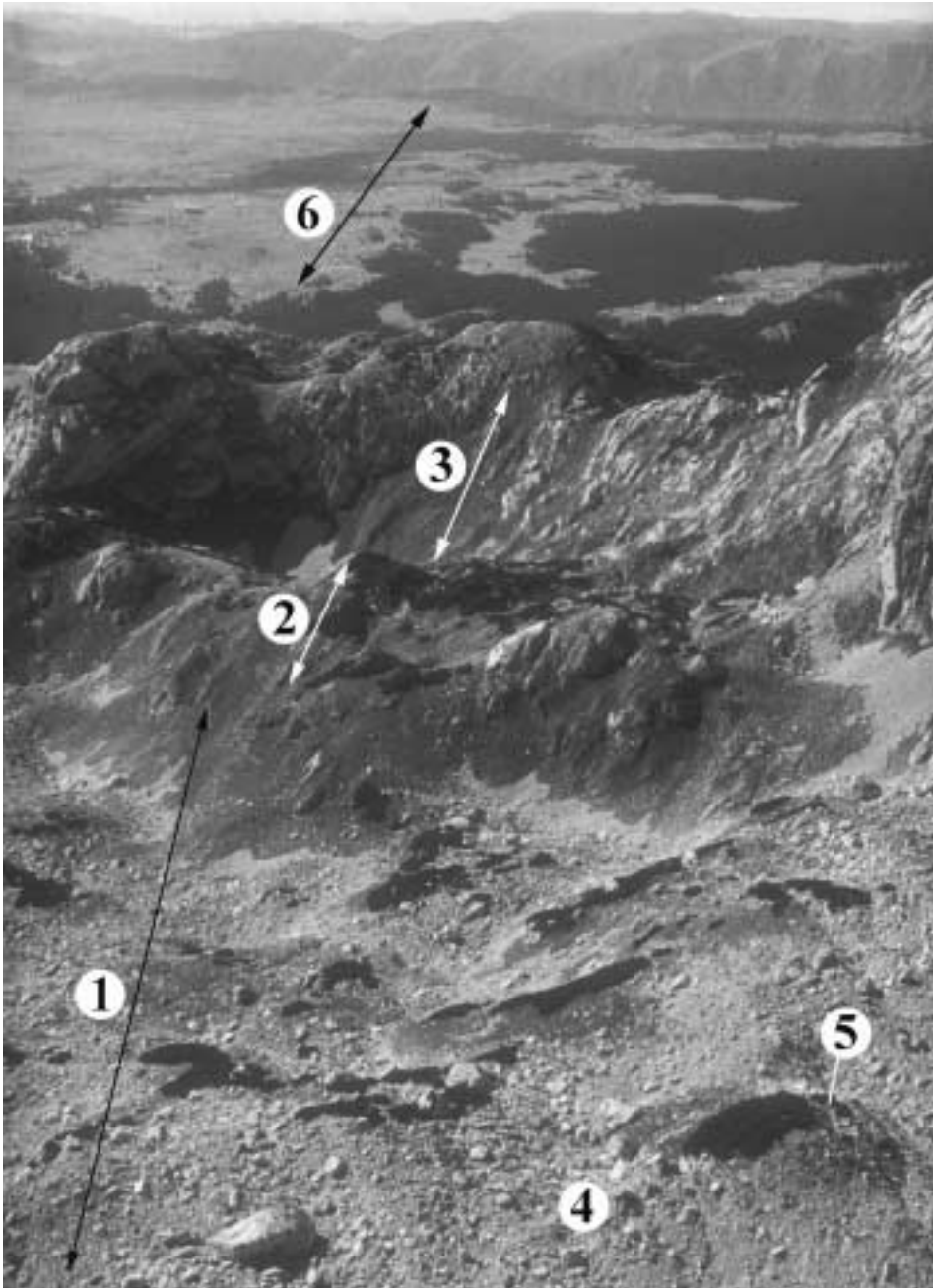
A cirkuszvölgyekben a hó, hófoltok formájában még a nyári hónapokban is jelen lehet. A hófoltok megmaradásának kedveznek a karsztos formák. A lassan olvadó hó hosszú idejű oldódást eredményez. A magasabb helyzetű kárfülkékben a növényzet hiánya miatt a talaj alatti oldódás hiányzik. Az egyre alacsonyabb kárfülkékben azonban már nem, mivel a talajfoltok és a törpefenyőfoltok is egyre elterjedtebbek.

A kárfülkék belseje lehet a jég által hullámosra csiszolt (6. kép), morénahalmokkal (7. kép), báránysziklával, sziklamedencékkel és karsztos formákkal (8. kép) tagolt.



6. kép A Milječni Do a Tarka Övek hegye alatt (Durmitor) jég által hullámosra csiszolt aljzata: a vékony rétegek rétegfejeinél a felszín zöld, mert növényzettel fedett, a fehér színű részeknél, ahol vastag rétegek rétegfejei vannak, a felszín növénytelen; a kétféle réteg határán karsztos formák alakultak ki (a háttérben egy fekvő redőnek a gyökérszónája látható)

Photo 6 The floor of Milječni do, which is under Šareni pasovi (Durmitor Mts) is undulated due to a glacier: the surface is green at the escarpments of thin beds because it is covered by plants, while on the white parts where there are escarpments of thick beds, the surface does not have any plants, here karst features developed on the boundary of the two different beds (in the background the root of a recumbent fold)



7. kép Jégeróziós formákkal tagolt kárfülke (Valoviti do, Durmitor-hegység)

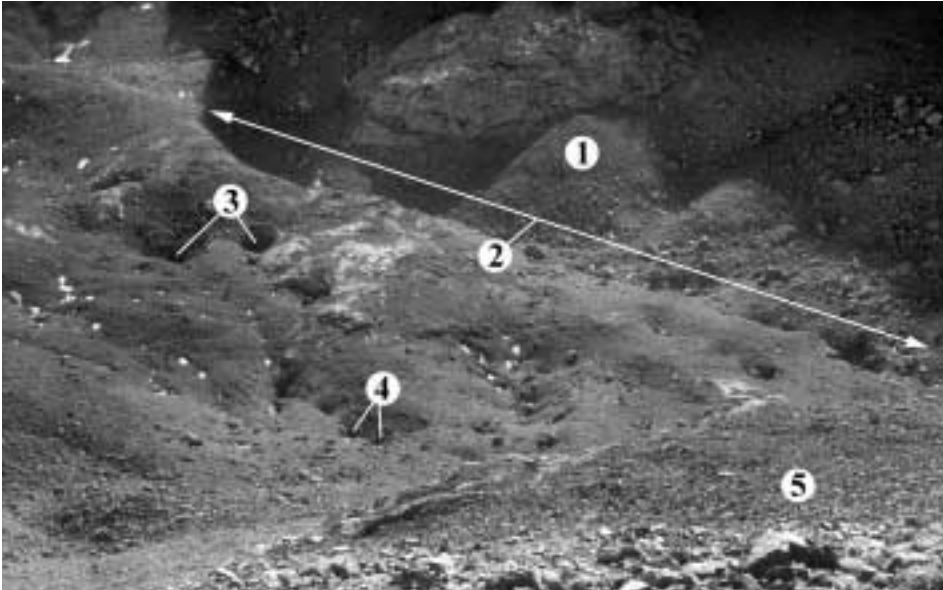
-1 – preglaciális töbréből kialakult zárt kárfülke (Valoviti do); 2 – küszöb; 3 – preglaciális óriástöbör;
4 – moréna; 5 – bárányszikla; 6 – a hegységet övező alacsonyabb, részben morénával fedett felszín

Photo 7 Cirque dissected by glacial erosion (Valoviti do, Durmitor Mts)

- 1 – closed cirque developed from a preglacial doline (Valoviti do); 2 – ridge; 3 – preglacial giant doline;
4 – moraines; 5 – roche moutonnée; 6 – lower surface around the mountains partly covered by till

A kárfülkékben a moréna egyenletes vastagságú vagy kupacos kifejlődésű. A kárfülkék oldallejtőin folyamatosan termelődik a törmelék, amely a határoló lejtők tövénél törmelékkúpokat képez (8. kép). A törmelékképződés különösen a magasabb helyzetű kárfülkékben jelentős.

A kárfülkék talpán óriási hasadékok, aknák, aknadolinák, báránysziklák fordulnak elő (7., 8. kép). A hasadékok és az aknák a karsztba továbbítják a morénát és a törmeléket. A törmeléken gyakoriak a szuffóziós töbrök. Ezek ott jönnek létre, ahol a fedő törmelék anyaga nagyobb mennyiségben jut a hasadékokba és aknákba. A kárfülkékben nincsenek közethatáron kialakult tipikus víznyelők. Az olvadékvizek a hasadékokon és aknákon keresztül jutnak a karsztba.



8. kép Karsztos formákkal tagolt kárfülke (a Trigláv alatti kárfülke)
 – 1 – törmelékkúp; 2 – óriás hasadék; 3 – akna; 4 – szuffóziós töbör; 5 – moréna
 Photo 8 Cirque dissected by karst features (under Triglav peak)
 – 1 – talus; 2 – giant grike; 3 – shaft; 4 – suffusion doline; 5 – moraines

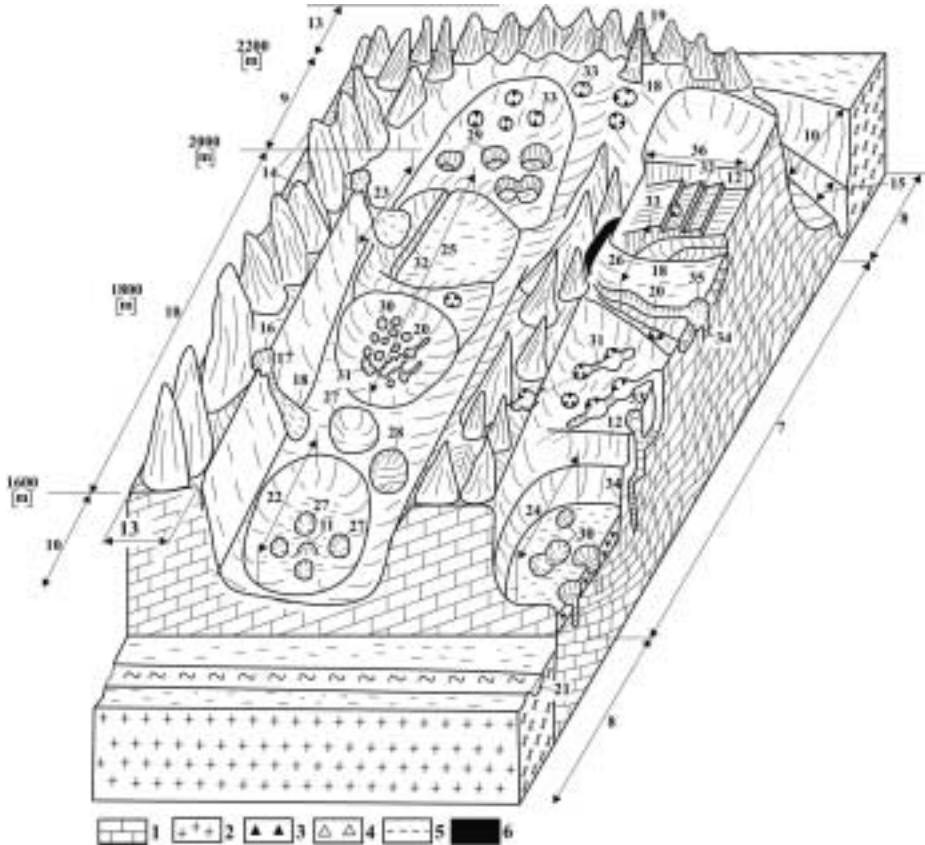
A kárfülkék karrosodása igen nagy különbségeket mutat. Azokban a kárfülkékben, amelyekben a moréna, vagy a fagyaprózódásos törmelék (vagy az omlások) nagy területeket fednek el, ott a karrok kisebb kiterjedésben fordulnak elő. (A szuffóziós töbrök elterjedési területe viszont nagyobb lehet.) A kárfülkék oldalában főleg falikarrok fordulnak elő. Az alacsonyabb kárfülkék talpa gyakran két szintre különül. A felső szintet képviselik a báránysziklák, az alsóbb szintet a báránysziklák közti térszín. A báránysziklák oldallejtőin főleg vályúkarrok, míg az alacsonyabb térszíneken főleg hasadékkarrok a jellegzetesek.

A kárfülkék oldallejtői az oldódás, a fagyaprózódás, a tömegmozgások miatt hátrálnak, illetve lankásodnak. Talpuk a karrosodás hatására elegyengetődik (a báránysziklák alacsonyodnak), míg más oldódási folyamatok hatására feltagolódnak: aknák és óriás hasadékok (bogaz) képződnek. Különösen a magasabb helyzetű kárfülkék talpán növekszik a tagoltság és nőnek a magasságkülönbségek. A kárfülke talpán végbemenő karsztba irányuló üledékszállítás során fedőüledékes depressziók képződnek. Előfordulhat, hogy a fedőüledékes depresszió a kárfülkének csak egy részletén alakul ki, míg másokban a kárfülke talp egésze azzá fejlődik.

A teknővölgyek karsztosodása (4. táblázat)

Alább a nagyméretű sziklamedencés és óriás töbrös teknővölgyek karsztosodását jellemezzük.

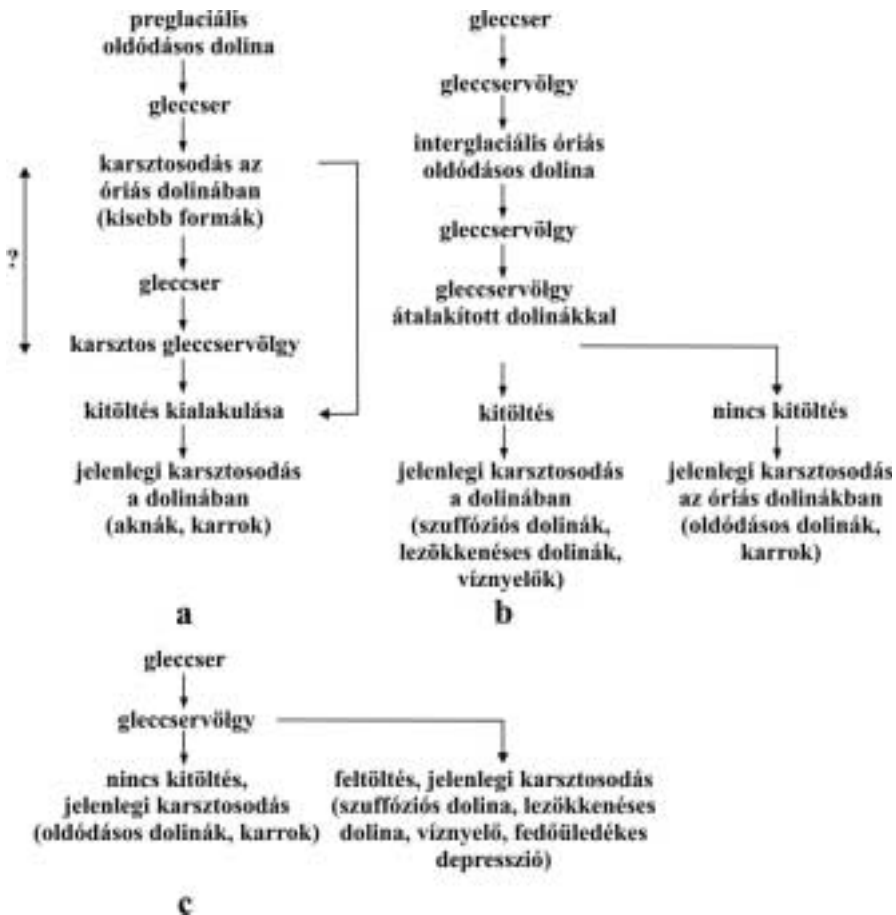
A teknővölgyek karsztosodása övezetes és összetett folyamat (3. ábra). Övezetes, mert a teknővölgyek felső része a növénytelen övbe nyúlhat, középső részük a törpefenyőöv-



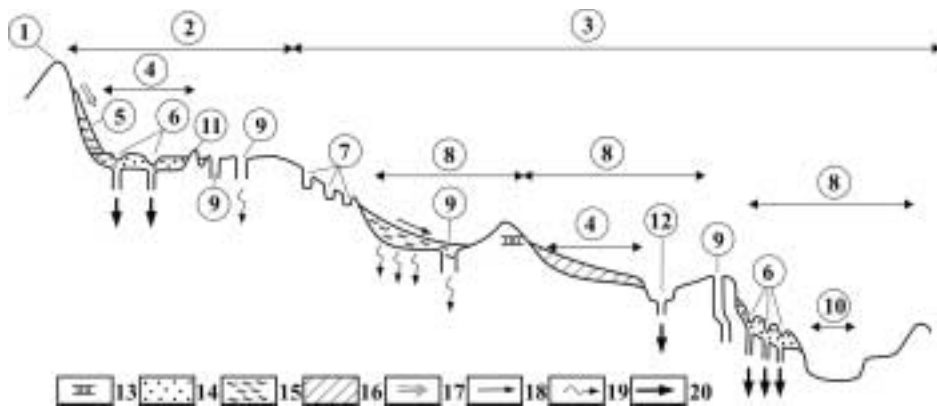
3. ábra A magashegységi karszt formái (VERESS M. 2010). – 1 – mészkő; 2 – idősebb metamorf aljzat; 3 – moréna; 4 – tömegmozgások törmelék anyaga; 5 – törés; 6 – kovabetelepülés mészkőben; 7 szírt (fennsík); 8 – lepusztult takarórész; 9 – kárfülke; 10 – teknővölgy; 11 – vásott szikla; 12 – tófal; 13 – kárgerinc; 14 – kárcsúcs; 15 – folyóvölgy; 16 – körperemes kőfülke; 17 – garat; 18 – garmada, törmelékkúp; 19 – kőlavina pályája; 20 – fedett karsztos mélyedés árka; 21 – folyó; 22 – paleotöbör; 23 – aszimmetrikus paleotöbör; 24 – paleotöbör morénával (fedőüledékes depresszió); 25 – paleouvala (fedőüledékes depresszió); 26 – részben feltöltött paleotöbör (fedőüledékes depresszió); 27 – oldásos töbör; 28 – aszimmetrikus oldásos töbör; 29 – aknatöbör; 30 – szuffóziós töbör; 31 – szuffóziós uvala; 32 – oldódási hasadék (bogaz); 33 – aknarendszer; 34 – járat, kürtő, aknarendszer metszetben; 35 – víznyelő; 36 – rétegfej karszt

Figure 3 Features of the high mountain karst (VERESS M. 2010). – 1 – limestone; 2 – older metamorphic floor; 3 – moraines; 4 – accumulation of mass movements; 5 – joint; 6 – siliceous intercalation in the limestone; 7 – klippen (plateau); 8 – window; 9 – cirque; 10 – glacier trough; 11 – roche moutonnée; 12 – step; 13 – combe-ridge; 14 – horn; 15 – river valley; 16 – rock shelter; 17 – source area of debris avalanche; 18 – blow-out dune, debris cone; 19 – path of debris avalanche; 20 – gully of the covered karst depression; 21 – river; 22 – paleodoline; 23 – asymmetrical paleodoline; 24 – paleodoline, with moraines (depression of superficial deposit); 25 – paleovalley (depression of the superficial deposit); 26 – partly filled paleodoline (depression of the superficial deposit); 27 – solution doline; 28 – asymmetrical solution doline; 29 – shaft doline; 30 – suffosion doline; 31 – suffosion uvala; 32 – giant grike (bogaz); 33 – shaft system; 34 – cross-section of passage, pit, shaft system; 35 – ponor; 36 – schichtrippenkarst

be, míg alsó részük már a fenyőövben, sőt a lomberdő övében helyezkedhet el. Összetett folyamat, mert a jég formakincse nem csak karsztosodással, hanem periglaciális, esetleg folyóvízi folyamatokkal pusztul, illetve ezek a folyamatok felhalmozódásos formákat is létrehozhatnak. A völgyek talpán az idős, törmelékkel borított óriás töbrökben szuffóziós töbrök, fedőüledékes depressziók, víznyelők vannak képződnek. A fedőüledékkel nem borított töbrökben oldásos töbrök és aknák fejlődnek. Az oldásos töbrök lejtői karrosodnak, de karrosodhatnak az alacsonyabb helyzetű talajjal fedettek is (talaj alatti oldódás). Az óriás töbrökön kívül eső magasabb talprészleteken (növénytelen öv) aknadolinák, óriás hasadékok formálódnak. A talpakon és a völgyoldalokban a réteglépcsős és réteglapos térszíneken aknadolinák, aknák, óriás hasadékok is előfordulnak, de legfőképpen karrosodás történik. A teknővölgyet tagoló sziklamedencékben, ha fedetlenek, oldásos töbrök, ha fedettek, szuffóziós töbrök, víznyelők fordulhatnak elő. A sziklamedencék alatt eróziós barlangképződés is végbemehet. A különböző korú karsztformákkal tagolt teknővölgyek karsztosodását a 4. ábrán, a völgytalpi üledékek elszállításának típusait az 5. ábrán mutatjuk be.



4. ábra Teknővölgy karsztosodása – a – preglaciális karsztosodás esetén; b – interglaciális karsztosodás esetén; c – posztlaciális karsztosodás esetén
 Figure 4 Karstification of a glacier trough – a – if karstification took place in the preglacial age; b – if karstification took place in the interglacial age; c – if karstification took place in the postglacial age



5. ábra Gleccservölgy karsztos formái és anyagforgalma

- 1 – kárcsúcs; 2 – kárfülke; 3 – teknővölgy; 4 – depresszió a fedőüledékben; 5 – törmelékkúp; 6 – szuffóziós töbör; 7 – aknadolina; 8 – óriás töbör; 9 – akna; 10 – sziklamedence; 11 – bárányszikla; 12 – víznyelő;
- 13 – vízzáró; 14 – moréna; 15 – fagyaprózódások és tömegmozgások törmeléke; 16 – áthalmozott moréna; mállási maradék; felaprózódott nem karsztos kőzet (vízzáró); 17 – tömegmozgás; 18 – vízi szállítás; 19 – oldatban szállítás; 20 – mélybeni anyagszállítás

Figure 5 Karstic features of a glacier trough and its sediment transport

- 1 – horn; 2 – cirque; 3 – glacier trough; 4 – depression of the superficial deposit; 5 – alluvial fan; 6 – suffosion doline; 7 – shaft doline; 8 – giant solution doline; 9 – shaft; 10 – rock basin; 11 – roche moutonnée; 12 – ponor;
- 13 – impermeable bed; 14 – moraines; 15 – debris of frost weathering and mass movement; 16 – redeposited moraines and regolith, disintegrated (impermeable) non-karstic rock; 17 – mass movement; 18 – fluvial transport; 19 – transport in solution; 20 – sediment transport into the karst

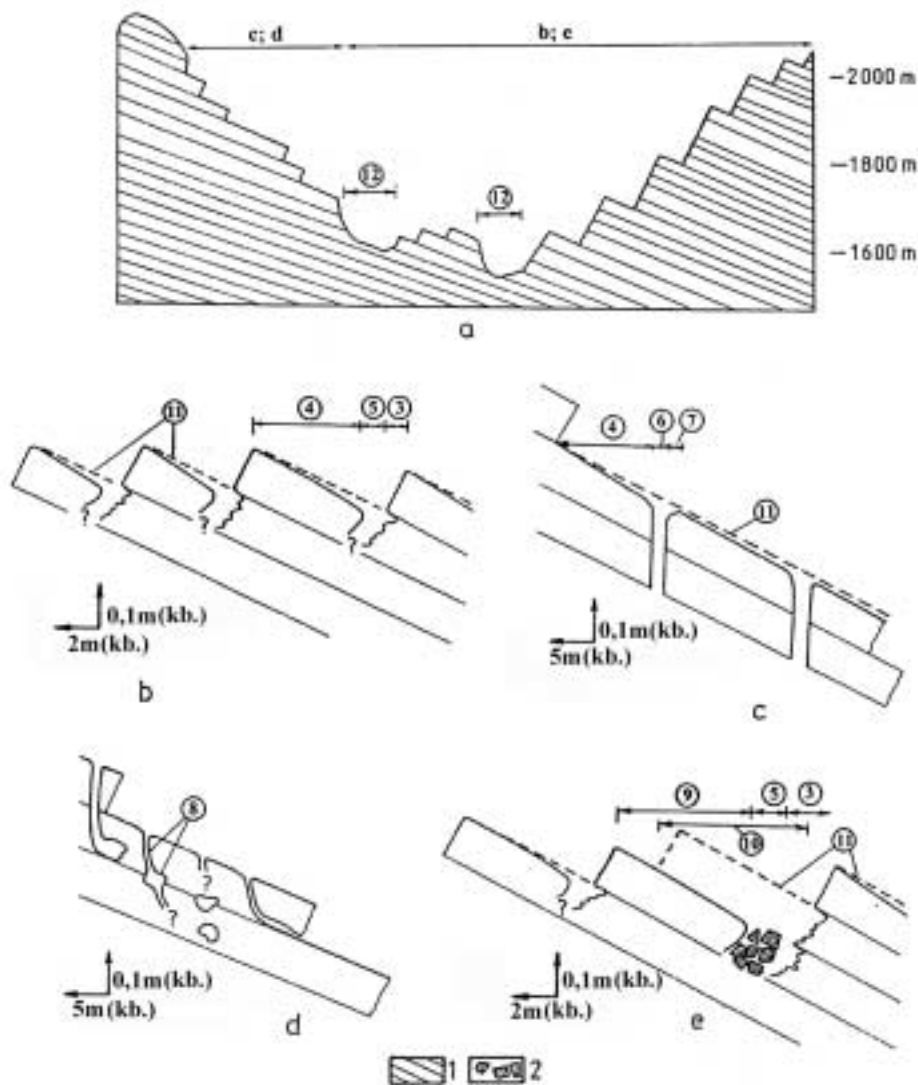
A gleccservölgyek alsó, alacsonyabb völgytalpain számos réteglépcső tárul fel. Ezáltal réteglépcsőkarszt alakul ki. A réteglépcsőkarrak karrosodását a 6b, 6e ábrán mutatjuk be.

A gleccservölgyoldalak nem réteglépcsős felszínein, ahol a kőzet pusztulása üregesedés által történik, a már kialakult felületek nagymértékben megőrződnek (6d. ábra). A réteglap részletek azonban nagyméretű hasadékok közötti kisebb, önállóan karrosodó térszínrészletekre különülhetnek el (6e. ábra).

A fenti folyamatok eredményeként a teknővölgy oldalai egyre meredekebbé formálódhatnak. Ez növeli az esélyét annak, hogy a jövőben a tömegmozgások intenzitása nő és a lejtők törmelékbe temetkezzenek. A völgytalpakon a paleokarsztos formakincs kitakaródik a glaciális formakincs átalakul. A völgytalp még fokozottabban részekre különül. Az egyes formák és így a völgytalpak is mélyülnek az oldódás hatására, illetve a törmeléknek a karsztba szállítása által.

Töbrös-ovalás felszín karsztosodása

A platőgleccserek kialakulása miatt a fennsíkok preglaciális óriás töbreit és óriás uvaláit is kitöltötte a jég. E típusra példa a Dachstein-fennsík ma jégmentes felszíne. Az óriás töbrök közti gerincek a jég mozgása miatt lekerekítődtek, az óriás töbrökben moréna felhalmozódás történt. Az óriástöbrök jelentős lepusztulásuk ellenére is igen mélyek. Közöttük egyenetlen magaslatokkal (báránysziklakkal) tagolt felszín alakult ki. A Dachstein-fennsík jelentős része nagy kiterjedésű, lefolyástalan, összetett rendszer. A platón a részben feltöltött óriás töbrök, uvalák belsejében fedőüledékes depressziók fejlődhetnek ki. Ezen formák aljzatán, vagy ezektől függetlenül jellegzetesek a szuffóziós töbrök. A fedőüledékmentes töbör lejtőkön, a küszöbökön a töbrök közti felszíneken oldódásos töbrök és karrok fordulnak elő (7. ábra).

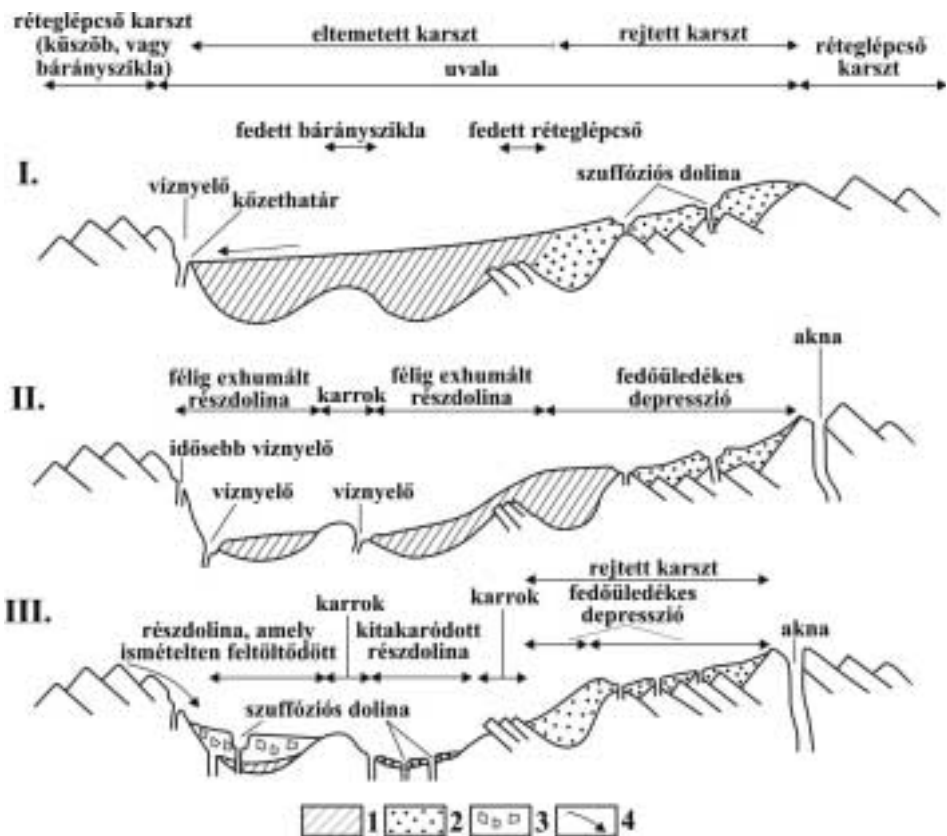


6. ábra Réteglépcsők és réteglapok karros pusztulása (VERESS M. 2010)

- 1 – réteglap; 2 – rétegttest karros eredetű feldarabolódásával kialakult kőtömbök; 3 – lépcsőtest homloklejtője;
- 4 – lépcsőtest réteglapos lejtője; 5 – kürtő-karhasadék karregyüttes; 6 – óriáshasadék;
- 7 – karros eredetű küszöb; 8 – karros eredetű járatok és üregek (karribarlangok); 9 – komplex eredetű (glaciális és karros) réteglapos felszín; 10 – karrosodás során elpusztult rétegttest részlet; 11 – eredeti felszín;
- 12 – sziklamedence, vagy paleodolina; a – glaciális völgy keresztmetszetben; b – egységes (felületi) lepusztulás a szomszédos réteglapokon; c – ugyanazon réteglapon belüli lokalizált felületi lepusztulás; d – üregesedés; e – váltakozó felületi és rétegttest lepusztulás

Figure 6 Karren denudation of scarps and bedding planes (VERESS M. 2010).

- 1 – bedding plane; 2 – blocks of stone formed by the dissection of karren beds; 3 – scarp of escarpment;
- 4 – bedding plane of escarpment; 5 – karren assemblage of pit and grike; 6 – giant fissure;
- 7 – ridge of karren origin; 8 – caverns and passages of karren origin (karren cavities); 9 – bedding plane surface of complex origin (both glacial and karren); 10 – bed destroyed by karren formation; 11 – original surface;
- 12 – paleodoline or rock basin (a) crosssection of a glacial valley; (b) surface denudation on neighbouring bedding planes; (c) localized surface denudation on the same bedding plane; (d) forming of caverns; (e) alternating surface and bed denudation



7. ábra Paleotöbrös és paleovalás tészín karsztos fejlődése – 1 – vizzáró fedő; 2 – vízáteresztő fedő; 3 – áthalmazott törmelék; 4 – üledék áthalmazódás; I – eltemetett, kitöltött állapot;

II – kitakaródás kezdete, mélységi anyagelszállítással; III – további kitakaródás, ill. feltöltődés (jelenlegi állapot)

Figure 7 Karstic development of surface with paleodolines and paleovalleys

– 1 – impermeable superficial deposit; 2 – permeable superficial deposit; 3 – debris which suffered redeposition;

4 – redposition of sediment; I – buried exhumation phase; II – beginning of exhumation

during material transport into the depth; III – further exhumation or accumulation (actual situation)

Előfordulhat, hogy a fennsík töbreit, uvaláit kitöltő jég a töbréből, uvalából nem lépett ki, és talán az összesben nem is fejlődött ki. Ez esetben teknővölgyek nem alakultak ki. Csak azok a töbrök alakulnak át (oldallejtőik meredekebbé formálódásával), amelyekben jégkitöltés volt. A töbrök közti válaszfalak nem pusztultak alacsonyabbra és nem kerekítődtek le. Ma az ilyen platókon különböző mértékben átalakított töbrök váltakoznak az egyáltalán nem átalakult töbrökkel (9. kép). Ez utóbbiak jelenleg is aktívak. A Dinári-hegység 1400-1800 m magasságú felszínei tartozhatnak e típusba, így pl. a Biokovó-hegység (TELBISZ T. 2005).

Összefoglalás

A magashegységek karsztosodására közvetve és közvetlenül hatással van a glaciális felszínformálás. Közvetlenül a glaciális formakincs által, közvetve a jég által átalakított paleokarsztos formák által. A glaciális felszínformák kijelölik bizonyos karsztos formák helyét,



9. kép A Biokovó-hegység oldásos dolinái
Photo 9 Dolines of Biokovo Mountains.

irányát, méretét, gyakoriságát. A glaciális formák hozzájárulnak a karsztosodás intenzitásának növekedéséhez (pl. növelik a felszíni vizek karsztba vezetésének mértékét).

A karszt egykori formakincsét a glaciális erózió szelektálta. Bizonyos karsztformák megsemmisültek (karrok), mások átalakultak. Így a karrosodás a jég visszahúzódása után újratekődött. Ugyanakkor megőrződtek, de átalakultak az óriástöbrök és az aknák. Utóbbiak a jég alatt is kialakulhattak. Az óriástöbrökben morénával elfedődés miatt intenzív fedett karsztosodás megy végbe. A formák többsége a jég visszahúzódása után jött létre, így alakultak ki a kisméretű oldódásos töbrök, a karrformák és a fedett karsztos formák. A kialakuló karsztformák által a glaciális formakincs is átalakult, illetve átalakulóban van.

A karsztosodás ott hathatott a jég kialakulására és a gleccserek helyére, irányára, ahol a jég kialakulása előtt nagyméretű karsztos formák (pl. töbrök) jöttek létre. Ezek a karsztformák megszabták a jég kialakulásának a helyét, irányát, kiterjedését.

Különböző karsztos felszíntípusok különíthetők el. Ezek területén a karsztos felszínfejlődés többé-kevésbé eltérő lesz. Ennek oka, hogy a glaciális formakincs a karsztos felszínfejlődést irányította, illetve irányítja.

A kárfülkék csupasza, fedetlen térszínein aknák, a báránysziklákon karrok, a morénával fedett térszíneken szuffóziós töbrök és fedőüledékes depressziók a jellegzetesek. A teknővölgyek uralkodó formái az óriás paleotöbrök, a fedetlen réteglépcsős felszínek. Előzőek morénával fedett felszínein szuffóziós töbrök és fedőüledékes depressziók (ezekben szuffóziós töbrök és víznyelők elterjedtek) a jellegzetesek. A fedetlen völgytalp részleteken elterjedtek az aknák. A töbrös-ovalás felszín paleotöbrei fedőüledékes depressziókat formálnak. A paleotöbrökben gyakoriak a szuffóziós töbrök. A paleotöbrök közti küszöbökön és a töbrök fedetlen lejtőin gyakoriak a karrok és az oldódásos töbrök.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük a TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0006 pályázat támogatását, amely lehetővé tette a tanulmány elkészítését.

VERESS MÁRTON

NYME TTK Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely

vmarton@ttk.nyme.hu

IRODALOM

- AUDRA, PH. – BINI, A. – GABROVŠEK, F. – HÄUSELMANN, PH. – HOBLÉA, F. – JEANNIN, P.-Y. – KUNAVÉR, J. – MONBARON, M. – SUŠTERŠIĆ, F. – TOGNINI, P. – TRIMMEL, H. – WILDBERGER, A. 2006: Cave genesis in the Alps between the Miocene and today: a review. – *Zeits. f. Geomorph. N. F.* 50. (2) pp. 153–176.
- BAUER, F. – ZÖTL, J. 1972: Karst of Austria – In: HERAK, H. – STRINGFIELD, V. T. (edits.): *Karst, Important Karst Regions of the Northern Hemisphere*, Elsevier, Amsterdam-London-New York, pp. 225–265.
- BINI, A. – PELLEGRINI, A. 1998: Il carsimo del Moncodeno. – *Geologia Insubrica* 3(2) 296 p.
- CVJIČIĆ, J. 1899: Glacial and morphological studies of the mountains in Bosnia, Herzegovina and Monte Negro (in Serbian). – *Glas Srpske Kraljevske Akademije Nauka, Belgrade*, LVII, 196. p.
- CVJIČIĆ, J. 1911: Base for the geography and geology of Macedonia and Old Serbia (in Serbian). – *Posebno izdanje Srpske Kraljevske Akademije Nauka, Belgrade* III. pp. 1074–1094.
- CVJIČIĆ, J. 1913: The ice age in the Prokletije and surrounding mountains (in Serbian). – *Glas Srpske Kraljevske Akademije Nauka, Belgrade*, XCI, 149. p.
- FORD, D. C. 1983: Effects of glaciations upon karst aquifers in Canada. – *Journal of Hydrology*, 61 pp. 149–158.
- FORD, D. C. 1996: Karst in a cold climate. – In.: S.B. MC CANN – D. C. FORD (eds): *Geomorphology sans Frontières*, John Wiley and Sons, Chichester pp. 153–179.
- FORD, D. C. – WILLIAMS, P. W. 2007: *Karst Hydrology and Geomorphology* – John Wiley and Sons Ltd, Chichester 562 p.
- FRISCH, H. – KUHLEMANN, J. – DUNKL, I. – SZÉKELY B. – VINNEMANN, T. – RETTENBACHER, A. 2002: Dachstein-Altfläche, Augenstein-Formation und Höhlenentwicklung – die Geschichte der letzten 35 Millionen Jahre in den zentralen Nördlichen Kalkalpen. – *Die Höhle* 53(1) pp. 1–36.
- HUGHES, P. D. – WOODWARD, J. C. – CALSTEREN VAN P. C. – THOMAS, L. E. – ADAMSON, K. R. 2010: Pleistocene ice caps on the coastal mountains of the Adriatic Sea. – *Quaternary Science Reviews* 29 (27–28) pp. 3690–3708.
- KUNAVÉR, J. 2009: The nature of limestone pavements in the central part of the southern Kanin plateau (Kaminski podi) Western Julian Alps. – In: A. GINÉS – M. KNEZ – T. SLABE – W. DREYBRODT (eds): *Karst Rock Features – Karren Sculpturing ZALOZBA ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Ljubljana, Eslovenia, Carsologica*, 9: pp. 299–312.
- MAIRE, R. 1990: La haute montagne calcaire. – *Karstologia-Mémoires* 3 La Ravoire, 731 p.
- MAROVIC, M. – MARKOVIC M. 1972: Glacial morphology of the Durmitor Mt. wider area (in Serbian). – *Geoloski anali Balkanskog poluostrva, Belgrade* XXXVII pp. 37–48.
- MENKOVIC, LJ. 1994: Glacial traces in the Djeravica area. Prokletije Mountains (in Serbian). – *Geografski gadisnjak, Kragujevac* 30 pp. 139–146.
- MENKOVIC, LJ. – MARKOVIC, M. – CUPKOVIC, T. – PAVLOVIC, R. – TRIVIC, B. – BANJAC, N. 2004: Glacial morphology of Serbia, with comments on the Pleistocene Glaciation of Monte Negro, Macedonia and Albania. *Quaternary Glaciations: Extent and Chronology. Part 1: Europe* (eds.): EHLERS, J. – GIBBARD, P. L. – ELSEVIER B. V. pp. 379–384.
- MONBARON, M. – WILDBERGER, A. 2009: The karrenfields of the Muota valley: type localities of the main karren types after the nomenclature by Alfred Bögli. In: GINES, A. – KNEZ, M. – SLABE, T. – DREYBRODT, W. (eds.): *Karst Rock Features. – Karren Sculpturing ZALOZBA ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Ljubljana, Eslovenia. Carsologica*, 9 pp. 291–298.
- SAURO, U. 2009, Glaciokarst landforms of the lower Adige and Sarca valleys. In: GINES, A. – KNER, M. – SLABE, T. – DREYBRODT, W. (eds.): *Karst Rock Features Karren Sculpturing – ZALOZBA ZRC. Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU, Postojna. Ljubljana, Eslovenia. Carsologica*, 9 pp. 323–328.
- TELBISZ T. 2005: A Horvátországi Biokovo-hegység karsztmorfológiai jellemzése terepi megfigyelések és digitális domborzatelemzés alapján. – *Karsztfejlődés X. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely*, pp. 229–243.

- TELBISZ T. 2010: A montenegrói Sinjajevina-karsztfennsík felszínalaktani vizsgálata terepi és térinformatikai módszerekkel – *Karsztfelődés XV*, NYME, TTK, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 85–101.
- VERESS M. 2009: Investigation of covered karst form development using geophysical measurements. – *Zeits. f. Geomorph.* 53. (4). pp. 469–486.
- VERESS M. 2010: Karst Environments Karren Formation in High Mountain. – Springer, Dondrecht, Heidelberg, London, New York 230 p.
- VERESS M. 2012a: Fedőüledékes depressziók típusai és kialakulásuk – *Földrajzi Közlemények* 136 (1) pp. 2–21.
- VERESS M. 2012b: Glacial Erosion and Karst Evolution (Karren Formation on the Surfaces Formed by Glaciers) – In: VERESS B. – SZIGETHY J. (szerk.): *Horizons in Earth Science Research* – New York, Nova Science Publishers Inc., pp. 1–94.
- VERESS, M. – SZUNYOGH, G. – ZENTAI, Z. – TÓTH, G. – CZÖPEK, I. 2006: The effect of the wind on karren formation on the Island of Diego de Almagro (Chile). – *Zeits. f. Geomorph.*, 50. (4) pp. 425–445.
- WILLIAMS, P. W. 1966: Morphometric analysis of temperate karst landforms. – *Irish Speleol.*, 1. pp. 23–31.