

A KARROSODÁSI EGYSÉGEK TÍPUSAI A TSANFLEURON- GLECCSER (BERNI-ALPOK) ELŐTERÉBEN

TÓTH GÁBOR¹ – SCHLÄFFER ROLAND¹ – DOMINIQUE GUEX²

¹BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely Károlyi G. tér 4. 9700
tothg@bdtf.hu

²EPFL ENAC HYDRAM Station 2 1015 Lausanne – Switzerland
Dominique.Guex@epfl.ch

Abstract: At the foreground of the Tsanfleuron glacier in the Bernian Alps a karrenfield of 10 km² is situated between 2200 and 2600 m altitudes. First we distinguished here karren units with the aid of photogrammetric documentation. Using the ArcView geographic information system we calculated the specific dissolubility of karren cells that is the ratio of the total area of forms and the area of the carrying karren cells. This value was compared to the distance from the glacier. Combining measurements obtained during field work and data from geographic information system, we could typify the karren units on the karrenfield. In addition, we were able to establish that moving off the glacier, the morphological diversity of karren cells and their specific dissolubility is increasing as well as the ratio of the zonal karren units.

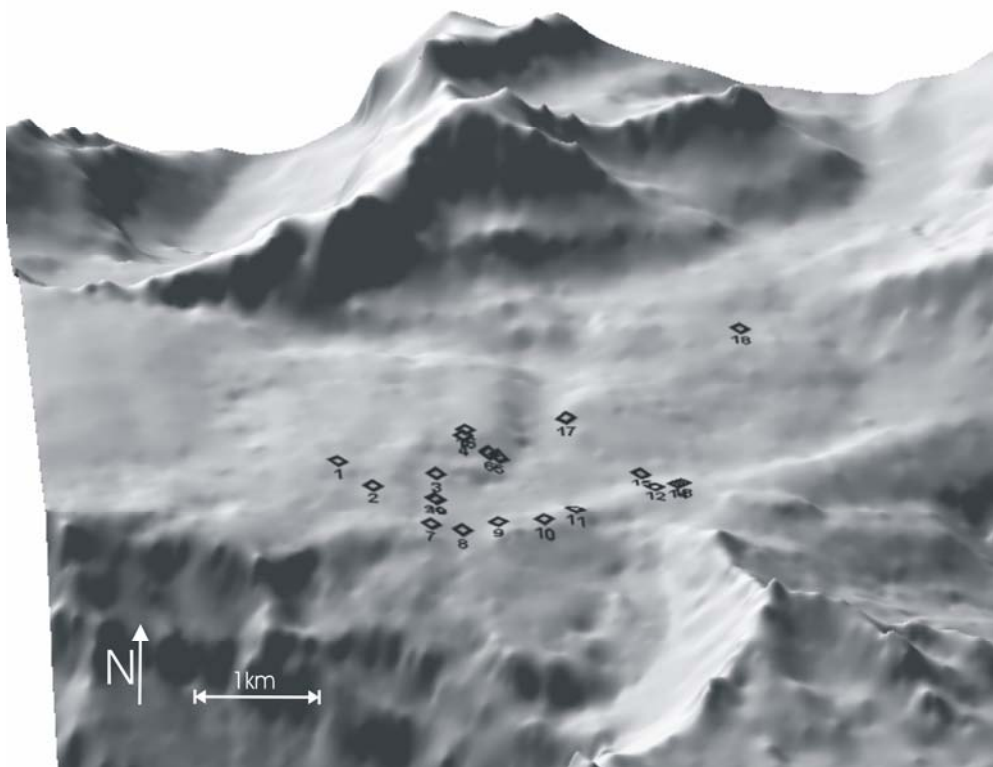
Bevezetés

A karrosodási egységek vagy karros cellák környezetüktől elkülönülő térszínek, amelyek karros fejlődéséhez a felszínükre hullott csapadék szolgáltatja az oldószert. (VERESS 2003.) A Svájci-Alpokban végzett vizsgálataink során oly módon vizsgáltuk a cellákat, hogy nem emeltünk ki egyes formákat, hanem az egység formakincsét összességében tekintettük mind a dokumentáció, mind pedig a feldolgozás során. Ez azt jelenti, hogy a feldolgozáskor az összes forma területét figyelembe vettük. A felmérés lehetővé teszi a különböző kialakító tényezők (lejtőszög, közettani adottságok, csapadék, stb.) elemzését is. A karros cella lehatárolásának alapja nem a méret vagy a morfológia, hanem a karrosodás folyamata. A karros cella akkora terület tehát, amekkorán a karrosodás megközelítőleg azonos közettani, morfológiai és éghajlati feltételek mellett megy végbe. Hidrográfiai elkülönülésük két módon történhet: vagy környezetükből kiemelkednek, vagy hasadékok határolják (3. ábra). További fontos jellemzőjük, hogy egy cellán belül a lejtőszög nem, vagy csak csekély mértékben változik. (TÓTH-SCHLÄFFER 2004). Tapasztalataink azt mutatják, hogy a karros egységek mérete néhány m²-től akár több ezer m²-ig terjedhet.

A karros egységek kialakulásának legkedvezőbb morfológiai környezet az ún. réteglépcsőkarszt (Schichttreppenkarst). A réteglépcsőkarszt réteglapjai változatos karros formakincs kialakulását teszik lehetővé, míg az

idősebb rétegfejekon többnyire falikarrok képződnek. Hasonló morfológiával találkozunk a Triglav déli oldalán (TÓTH-SCHLÄFFER 2004), a Dachsteinben (TÓTH 2003, VERESS-TÓTH 2002) több helyen is, ill. a svájci Alpokban a Märenberg-fennsíkon (BÖGLI 1964).

Karros felszínek felszínfejlődése minőségileg és mennyiségileg is leírható. Minőségi leírásra példaként említhetők CVIJIC (1924), WILLIAMS (1966), VERESS (2003) munkái. Újabban olyan tanulmányok jelentek meg a témában, amelyek igyekeznek a karros felszín fejlődését kvantitatív módszerrel dokumentálni és elemezni (VERESS et al 2001, TÓTH 2003). A fajlagos kioldódás (VERESS 1999) bevezetésével lehetővé vált a karros térszínnek oldódásának mennyiségi jellemzése. A fajlagos kioldódás megadja egy szelvény mentén, hogy átlagosan hány cm forma szélesség jut az adott karros egység egy méterére (VERESS M. et al 1999). A karrosodási egységek vizsgálatában további előrelépést jelent a térinformatika (TÓTH-SCHLÄFFER 2004) és a számítógépes modellezés bevonása (TELBISZ 2004), mivel képes a karros felszín egészét vizsgálni. A térinformatika bevonásával lehetővé vált a fajlagos kioldódás területi megadása is.



1. ábra: A Lapiés de Tsanfleuron domborzatmodellje a mintaterületek feltüntetésével.
Fig 1. The relief model of Lapiés de Tsanfleuron with indication of the studied areas.

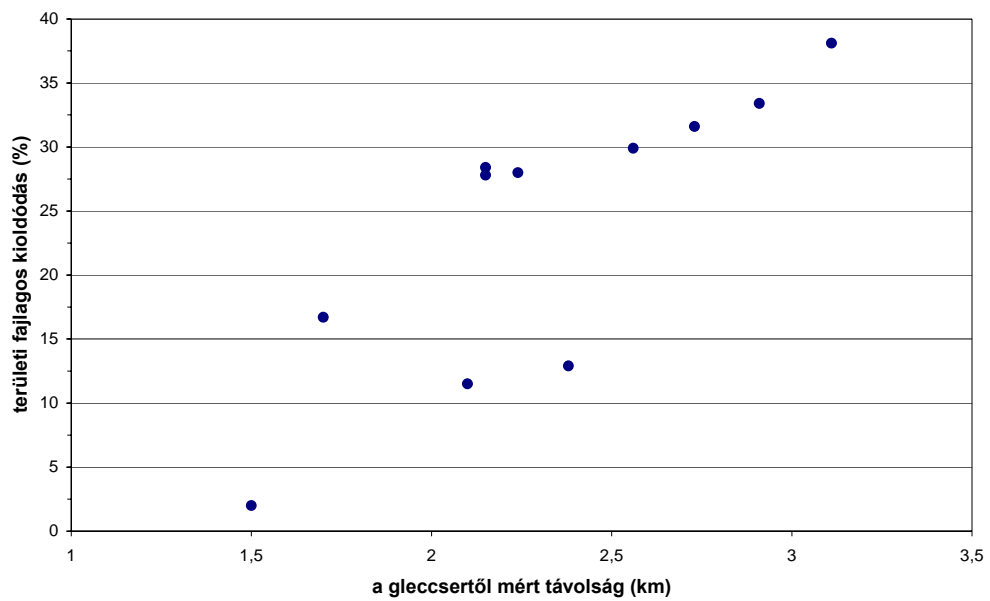
A karros cellák fotogrammetriai elemzését 2003-ban a Júliai-Alpokban kezdtük el, ahol elsősorban a módszer kipróbálása történt meg hasadékkarros felszíneken (TÓTH-SCHLÄFFER 2004). A módszer segítségével a hasadékok bármely pontján mérhetővé vált a szélesség, melyhez függvény segítségével mélységadatot rendeltünk. Tovább pontosítva a terepi dokumentációt 2004 nyarán a Berni-Alpokban végeztünk felmérést különböző fejlettségű karrosodási egységeken (1. ábra). E tanulmányban a Tsanfleuron gleccser előterében végzett mennyiségi felvételezés adatainak felhasználásával azt kívánjuk bemutatni, hogy a jég visszahúzódását követően a karrosodást milyen minőségi és mennyiségi sajátosságok jellemzik.



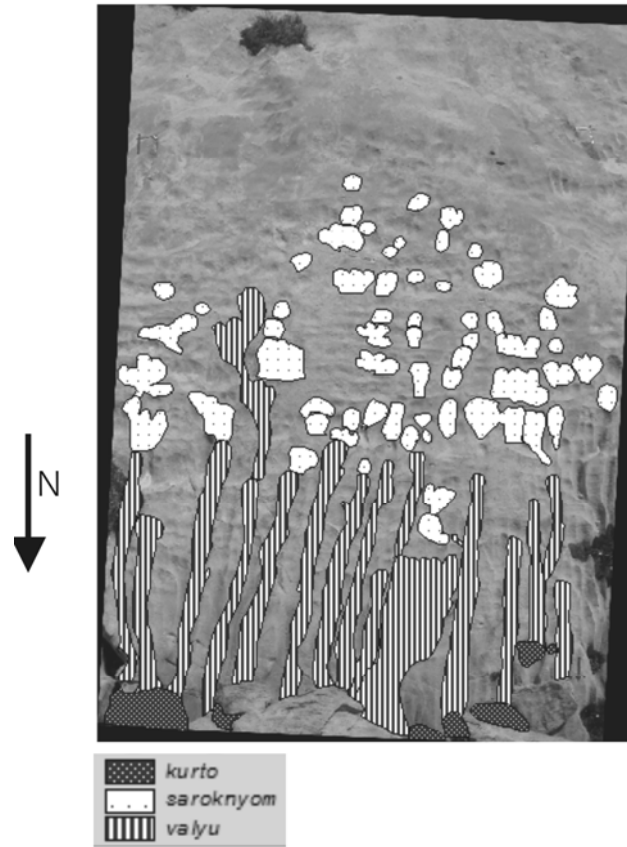
2. ábra A nappal olvadó hófolt táplálja a karrvályukat.
Fig 2. The rinnenkarren are fed by the melting patches of snow.



3. ábra Környezetéből kiemelkedő karros egység képe a Júliai –Alpokból.
 Fig 3. View of a karren unit emerging from its surroundings in the Julian-Alps.



4. ábra: A fajlagos kioldódás alakulása a gleccsertől távolodva.
 Fig 4. The specific solution taken as a function of the distance of the glacier.



5. ábra Szabályosan kifejlődött övezetes karrosodási egység.
 Fig 5. Normally developed zonal karren unit.

I. táblázat
 Table I.

karros cella száma	távolsága (km)	mérete (m ²)	területi fajlagos kioldódás	jellemző forma
1	1,5	13,045	0,02	karrvályú
2	1,7	1,179	0,167	rácskarr
4	2,1	1,52	0,115	kürtőkarr
5	2,15	25,99	0,284	hasadékkarr
6	2,15	5,748	0,278	falikarr
7	2,24	9,67	0,28	övezetes cella
9	2,38	11,965	0,129	övezetes cella
10	2,56	24,085	0,299	övezetes cella
11	2,73	81,58	0,334	övezetes cella
12	2,91	51,12	0,381	övezetes cella

A Tsanfleuron gleccser előterének geológiai és morfológiai jellemzői

A Tsanfleuron gleccser a Berni-Alpok déli részén helyezkedik el 2600-2800 m közötti magasságban. A nagy magasság miatt a hóval borítottság az év nagy részében megmarad. A 2004-ben hullott jelentősebb csapadék miatt a karrmező számottevő része egész nyáron hóval fedett maradt. Különösen a réteglépcsős felszínnek árnyékban lévő részletein marad meg a hó, amelynek nappali olvadása a nap nagy részében oldószert biztosít a karrosodáshoz (2. ábra).

A terület részletes geomorfológiai térképét E. Reynard készítette el (*SCHOENEICH* et al 1998). Az utóbbi 30 év erőteljes olvadási tendenciája következtében a gleccser nyelvterülete szinte teljesen eltűnt, melynek előterében 10 km²-en rendkívül változatos karrmező terül el. Ezt a karrmezőt a gleccser 1850-es morénasánca két részre osztja: a gleccser felőli, nyugati oldalon fiatal réteglépcsőkarszt helyezkedik el, melynek oldódásos fejlődését még csak néhány - centiméterben mérhető - vályú jelzi, a réteglépcsők találkozásánál azonban már intenzív aláoldódás (réteghézagkarr) figyelhető meg. Ezen a helyen 1973-ban még gleccser sípálya építéséhez kezdtek, amely azonban az erőteljes olvadás miatt mára jég nélkül maradt. A morénasánc déli oldalán - a kis jégkorszakban sem került jégelborítás alá - jól fejlett, nagyméretű karrosodási egységekkel találkozunk, melyeken minden magashegységi karros forma előfordul.

A Lapiés de Tsanfleuron karros területeit az alsó kréta barrémi emeletének mészköve hordozza 2200-2600 m magasságban. Az erősen tagolt felszínen különböző kitettségű (többségük keleti, délkeleti) és dőlésszögű réteglapok alkotják a karrosodási egységeket. A terület karros formakincsének értékét nagymértékben növeli a karrosodási egységek különböző fejlettsége. Ennek köszönhetően a formák kialakulásuk különböző fázisaiban is vizsgálhatók. A karrmezőt paleokarsztos eredetű dolinák tagolják fel, amelyek kialakulásában az oldódás mellett a jég mélyítő munkája is szerepet játszott. A tagolt felszínnek köszönhetően a karros cellák különböző dőlésszöggel és kitettséggel vizsgálhatók. A mintaterületek távolsága a gleccser jelenlegi végpontjától 1,4 és 3,8 km közötti távolságra vannak.

Kutatási módszer és az adatok feldolgozása

A karros formákat alapvetően két módon közelíthetjük meg: vizsgálhatjuk a formákat egyedileg, illetve csoportosan. Egyedi formák térképezésével *VE-RESS – BARNA* (1998) foglalkozott, akik nagy pontossággal dokumentáltak vályúkarrokat a Totes- Gebirgében. A formák szintvonalas térképét morfo-

lógiai térképpel egészítették ki. *SZUNYOGH* et al. (1998) nagyobb karros felszín térképét készítette el szintén a Totes-Gebirgében.

A mintaterületek karros formáinak tömeges dokumentálása és feldolgozása során térinformatikai (fotogrammetriai) módszert használtunk, amelyet terepi mérésekkel egészítettünk ki. A karros térszinek vizsgálata során a térinformatika (*TELBISZ* 2004, *TÓTH-SCHLÄFFER* 2004) nagy mennyiségű, pontos adatot szolgáltat a vizsgált terület egészéről, amelyek utólagos feldolgozása is egyszerűbb.

A karrosodási egységeket úgy igyekeztünk kiválasztani, hogy a gleccsertől különböző távolságra helyezkedjenek el és tükrözzék szűkebb környezetük morfológiáját is. Minden karros cellán négy tájékozási pontot helyeztünk el egy képzeletbeli téglalap négy sarkán, amelyeknek megmértük az egymáshoz képesti távolságát. A területet egy magasabb pontról ismert optikai szöggel lefényképeztük. Az így kapott digitális fotót torzítás és tájékozás után térképként tudtuk felhasználni, amelyen ArcView program segítségével mértük az adatokat. Berajzoltuk és minősítettük az egyes formákat, így a vizsgált mintaterületek mindegyikéről karros térkép készült, amelyről bármely forma területe leolvasható.

A formák összterületét elosztva a hordozó térszín területével kaptuk a területi fajlagos kioldódást, amely kifejezi, hogy hány cm^2 forma (forma-összterület) jut a karros cella egy m^2 -rére. Az általunk használt területi fajlagos kioldódás abban különbözik a fajlagos szélességtől, hogy nem szelvény mentén, hanem területen értelmezzük. A fajlagos kioldódási értékeket grafikonon ábrázoltuk a gleccsertől mért távolság függvényében. A mintaterületek koordinátáit digitális domborzatmodellen helyeztük el, amelyen kiszereztettük a gleccser korábbi elhelyezkedését is. Ezt az az adatsor tette lehetővé, amely 1880-tól tartalmazza a gleccser területére vonatkozó visszahúzóási értékeket.

A Lapiés de Tsanfleuron karrosodási egységei

A Lapiés de Tsanfleuron területén 10 karrosodási egység részletes vizsgálatát végeztük el. A mintaterületek többsége réteglapos felszín, amelyek kitettsége megegyezik a gleccser kitettségével. A vizsgált mintaterületek közé három olyan karrosodási egység is került, amelyek morfológiai helyzete részben eltérő. Az egyik a réteglépcső rétegfejes oldalán kialakult falikarr (6. terület), amelynek dőlése függőleges, a második pedig egy olyan réteglapos felszín, amelynek felszíne a gleccser felé dől (9. terület). A harmadik karros cella morfológiai helyzete annyiban eltérő, hogy felszíne vízszintes (4. terület). A terepi munka során minden vizsgált karrosodási egységen

végeztünk morfológiai méréseket is, amellyel a későbbi fotogrammetriával előállított térképeket ellenőriztük és pontosítottuk. A három eltérő morfológiai adottságokkal rendelkező terület területi fajlagos kioldódása eltérést mutat a többi mintaterülethez képest.

Megállapítható, hogy a területi fajlagos kioldódás a gleccsertől távolodva nő (4. ábra). Ez a legmarkánsabb tendencia a tsanfleuroni karrmezőn. Ez csak úgy lehetséges, ha az egyes karros cellák karrosodása különböző idejű. Tehát egy karros cella karrosodása akkor kezdődött, amikor a jég adott cella hordozóterületéről visszahúzódott. Hasonló jellegzetesség mutatható ki a Hallstatt gleccser előterében is (VERESS et al. 2001), ahol a gleccser jelenlegi végétől távolodva az alábbi formák fordulnak elő: rillenkarrok, rinnenkarrok, majd legtávolabb a saroknyomok. Megállapítottuk, hogy a saroknyomok kb. 30 éves jégmentes karrosodás során alakultak ki, akárcsak a Lapiés de Tsanfleuron karrjai.

A területi fajlagos kioldódás (4. ábra) folyamatos növekedését a fent említett 4. és 9. mintaterület szakítja meg. A 4. karros egység, - amelyen kizárólag kürtőkarr fordul elő - abban tér el a többi karros cellától, hogy felszíne vízszintes. Valószínűsíthető, hogy ezen a karros cellán a többitől lényegesen különböző lejtőszöggel magyarázható a sajátos formakincs. A 9. terület a gleccser irányába dől, ahol a kisebb fajlagos kioldódás azzal magyarázható, hogy a jég elborítása minden bizonnyal tovább tartott, mint a déli-délkeleti dőlésű felszíneken.

A gleccsertávolság függvényében a formagazdagság is változik (I. táblázat). 1,5 és 2,15 km között kizárólag homogén karros formakincsű területek találhatók. Az első olyan karros cellák, amelyeken többféle forma fordul elő 2,15 km-nél nagyobb távolság után jelentkeznek. A 2,15 km-nél távolabb található mintaterületek mindegyike gazdag és változatos formakincsel rendelkeznek. Ha elfogadjuk, hogy a karrosodás a gleccser visszahúzódását követően kezdődött - akkor a távolságbeli különbség egyben a karrosodás időtartamára is vonatkozik. Így tehát, a heterogén formakincsű cellák, csak bizonyos idő elteltével alakulnak ki. Ezt azonban össze kell vetnünk azzal a ténnyel, hogy a homogén mintaterületek között is előfordul kürtőkarr, falikarros, vályúkarros, hasadékkarros és rácskarros is. Ebből arra következtethetünk, hogy létrejött egy elsődleges formakincs valamilyen meghatározó kialakító tényező hatásaként (pl. dőlésszög, kőzetminőség), ami módosítja a hordozó térszínen lefolyó víz áramlási viszonyait. A módosult áramlás teszi aztán lehetővé más formák kialakulását is, amit másodlagos formakincsnek nevezhetünk. Tapasztalataink szerint a másodlagos formakincs többféle formából is állhat. Példaként említhető, hogy a magas törzszámú cellán fejlett rácskarr jött létre, mint primer formakincs, majd a

hasadékok közötti területen kezdetleges madáritatók és vályúk kialakulása kezdődött meg.

A karros egységek egy sajátos típusának tekinthetők az övezetes karros cellák, amelyeken a karros formák övezetes kifejlődést mutatnak (VERESS 2003). Az övezetek elhelyezkedése különböző lehet, szabályszerű kifejlődés esetén azonban a lejtő felső részén saroknyomok és rillenkarrok, középső részén vályúk, alsó részén pedig kürtők helyezkednek el. A tsanfleuroni karrmezőn kialakult övezetes egységek ilyen szabályos övezetes cellák (5. ábra). A 10 karrosodási egységből 5 tartozik ebbe a típusba (I. táblázat). Érdekesen alakul ezen egységek elhelyezkedése. Az övezetesség természetesen csak 2,15 km-től jelenik meg, hiszen az övezetességnek feltétele a heterogén formakincs, viszont 3 km-nél nagyobb távolságra sem fordulnak már elő. Innentől a karrosodás olyan nagy mértékű, hogy az nem kedvez az övezetességnek. Valószínű, hogy ezeken az egységeken a nagymértékű kioldódás miatt már megszűnt az övezetesség. Az övezetes karros egységek másik közös jellemzője, hogy dőlésszögük $15-30^\circ$ között alakul. Ennél nagyobb, vagy kisebb dőlésszögű tartományban ugyanis a dőlésszög olyan meghatározó kialakító tényezővé lép elő, amely inkább kedvez egy-egy karrforma kialakulásának, mint a többfélének, tehát az övezetes karrosodásnak.

Következtetések

Méréseinkből arra a következtetésre jutottunk, hogy a Lapiés de Tsanfleuron karros cellái a jég visszahúzódását követően alakultak ki. Megállapítható, hogy a jég jelenlegi elvégződésétől számítva 2,15 km távolsáig homogén karros cellák, míg 2,15 és 3 km között heterogén, övezetes karros cellák jellemzőek. Ezen a távolságon túl a karros cellák „túlfejlődése” miatt a formakincs már nem övezetes. Övezetes cellák közepes lejtőszög ($15-30^\circ$) esetén alakulnak ki, ennél kisebb vagy nagyobb dőlés esetén nem jellemző az övezetesség. A vizsgálataink azt valószínűsítik, hogy a cellák karrosodása két szakaszban történik. Előbb kialakulnak az elsődleges formák, majd további karrosodást követően fejlődnek ki a másodlagos formák, melyek kialakulásuk kezdeti szakaszában vannak. Az elsődleges és másodlagos karros formák méretük alapján elkülöníthetők.

IRODALOM

BÖGLI, A. (1964): Le Schichttreppenkarst – un exemple de complexe glaciokarstique. Revue Belge de Géographie, H. 1/2

- CVJIČ J.* (1924): The evolution of lapiés a study in karst physiography, - Geogr. Rev. XIV, p. 26-49.
- SCHOENEICH, PH. – REYNARD, E. – PIERREHUMBERT, G.* (1998): Geomorphological mapping in the Swiss Alps and Prealps – In: Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 11, Wien 1998, p. 145-153
- SZUNYOGH G-LAKOTÁR K.-SZIGETI I.* (1998): Nagy területet lefedő karrvályúrendszer struktúrájának elemzése - Karsztfejlődés II. p. 125-147. BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely
- TELBISZ T.* (2004): Digitális domborzatmodellek használata a karsztkutatásban – Karsztfejlődés IX. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely p. 21-33.
- TÓTH, G.* (2003) Karrenmorphologische Forschungen im Dachstein und im Toten-Gebirge - Gmundner Geo-Studien 2 –Beiträge zur Geologie des Salzkammerguts.
- TÓTH G. - SCHLÄFFER R.* (2004): Karros felszín elemzése digitális módszerrel - Karsztfejlődés IX. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely p. 133-140.
- VERESS M.* (2003): A karrok – Akadémiai doktori értekezés, kézirat, Szombathely
- VERESS M. – BARNA J.* (1998): Karmeanderek morfológiai térképezésének tapasztalatai – Karsztfejlődés II. (Totes Gebirge karrjai), p. 59-73. BDTF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely
- VERESS M. TÓTH G.*(2002): Egy dachsteini réteglapos térszínrészlet karros fejlődéstörténete – Karsztfejlődés VII. BDF-Szombathely, p. 187-204.
- VERESS M. – TÓTH G. – PÉNTEK K.* (2001): Adalékok karrformák kialakulási korához és fejlődési sebességéhez a Hallstatt – gleccser jégmentes völgytalpán Karsztfejlődés VI. BDF- Szombathely, p. 161-169.
- VERESS M.-TÓTH G.-ZENTAI Z.-KOVÁCS GY.* (2001): Study of a new method for characterising karren surfaces based on alpine researches – Revue de Géographie Alpine, 89. p. 49-62.
- VERESS M. - ZENTAI Z. – KOVÁCS GY.*(1999): Adalékok az Asiagói-fennsík karrosodásához – Karsztfejlődés III. BDTF-Szombathely p. 7-17.
- WILLIAMS, P. W.* (1966): Limestone pavements with special reference to Western Ireland - Inst. Brit. Geogr. Trans., 40. p. 155-171.