

TÖBÖR-MORFOMETRIAI ELEMZÉSEK A SZILICEI-FENNSIK DÉLNYUGATI RÉSZÉN

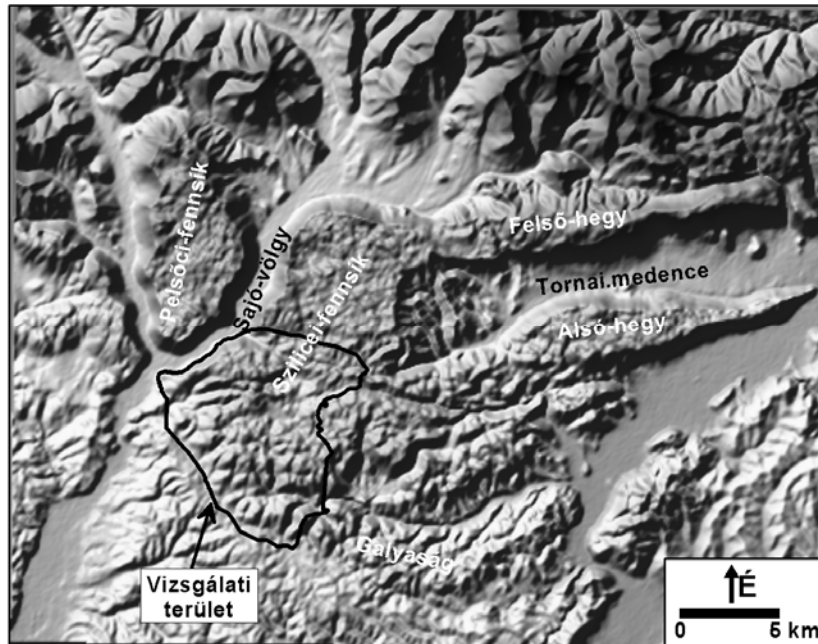
TELBISZ TAMÁS-MÓGA JÁNOS-KÓSIK SZABOLCS

ELTE Természetföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány
1/C., telbisztom@ludens.elte.hu, jmoga@freemail.hu

Abstract: The south-eastern segment of the Silice karst plateau (part of the Gömör-Torna karst area, NE-Hungary and SE-Slovakia) was analysed in terms of doline morphometry using GIS methods. From structural and lithological point of view, it is a highly compound zone where constrains on doline evolution can be fairly well studied by statistical assessment due to the large number of dolines. Mean doline density of the area is 14.4 km⁻², which is less than in the northern section of the same large karst plateau. The spatial pattern of doline density is presented on calculated density maps, which show a remarkable coincidence with the lithologic map since most of the dolines are found on Wetterstein Limestone areas. There are only few dolines on the dolomitic facies of the same rock formation (the so called Wetterstein Dolomite) and even those dolines are different in their characteristics: larger area, less relative depth and more irregular shapes are typical of them. With the help of rose diagrams, it is demonstrated how the strike of faultlines and fold structures determine doline evolution. The frequency distributions of the whole doline population show lognormality in case of doline area and doline watershed area that can be geometrically explained by the „multistep breaking” of the whole plateau area into smaller watersheds.

Bevezetés

A Gömör-Tornai-karszt egésze rendkívül változatos képet mutat közettani és szerkezeti szempontból egyaránt (MELLO 1996, 1997, LESS 1998, MÓGA 1998, MÓGA 1999, MÓGA 2001), amelynek hatása jól megfigyelhető a felszínformák elhelyezkedésében és jellemzőiben. Tanulmányunkban a közettani, szerkezeti adottságok illetve a felszínformák térbeli elhelyezkedésének és jellemzőinek kapcsolatát szeretnénk bemutatni térinformatikai, statisztikai módszerekkel is (MARI 2003, TELBISZ 2003, TELBISZ 2004, ZBORAY-KEVEINÉ 2004), ami előrelépést jelenthet a korábbi leíró, kvalitatív jellegű megközelítésekhez képest. Célunk a karsztvidék minél teljesebb feldolgozása ezzel az eszköztárral, amelyhez már korábban is tettünk lépéseket (TELBISZ 2001, TELBISZ-MÓGA 2005). Jelen tanulmány az egy évvel korábban megjelent munkánk közvetlen folytatásának tekintendő, így fő kérdéseit és munkamódszerét tekintve megegyezik az abban leírtakkal, csupán vizsgálataink fókuszát toltuk el délnyugat felé.



1.ábra: A mintaterület elhelyezkedése a Gömör-Tornai-karszton belül (SRTM domborzatmodell felhasználásával)
 Fig. 1: Location of the study area within the Gömör-Torna Karst Area (using SRTM digital elevation model)

A jelen dolgozatban vizsgált terület határai (1. ábra) három oldalról természetes határok is egyben: DNy-on és D-en egybeesnek a karsztosodó kőzetek felszíni határvonalával (nagyjából a Pelsőc-Hosszúszó országút mentén), ÉNy-on a Sajó-völgy, ÉK-en a Gombaszög-Szilice között futó kisebb nemkarsztos kőzetsáv jelöli ki a határt, K-en viszont a kőzettani, domborzati adottságok helyett – technikai okokból – az országhatárhoz igazítottuk vizsgálatainkat.

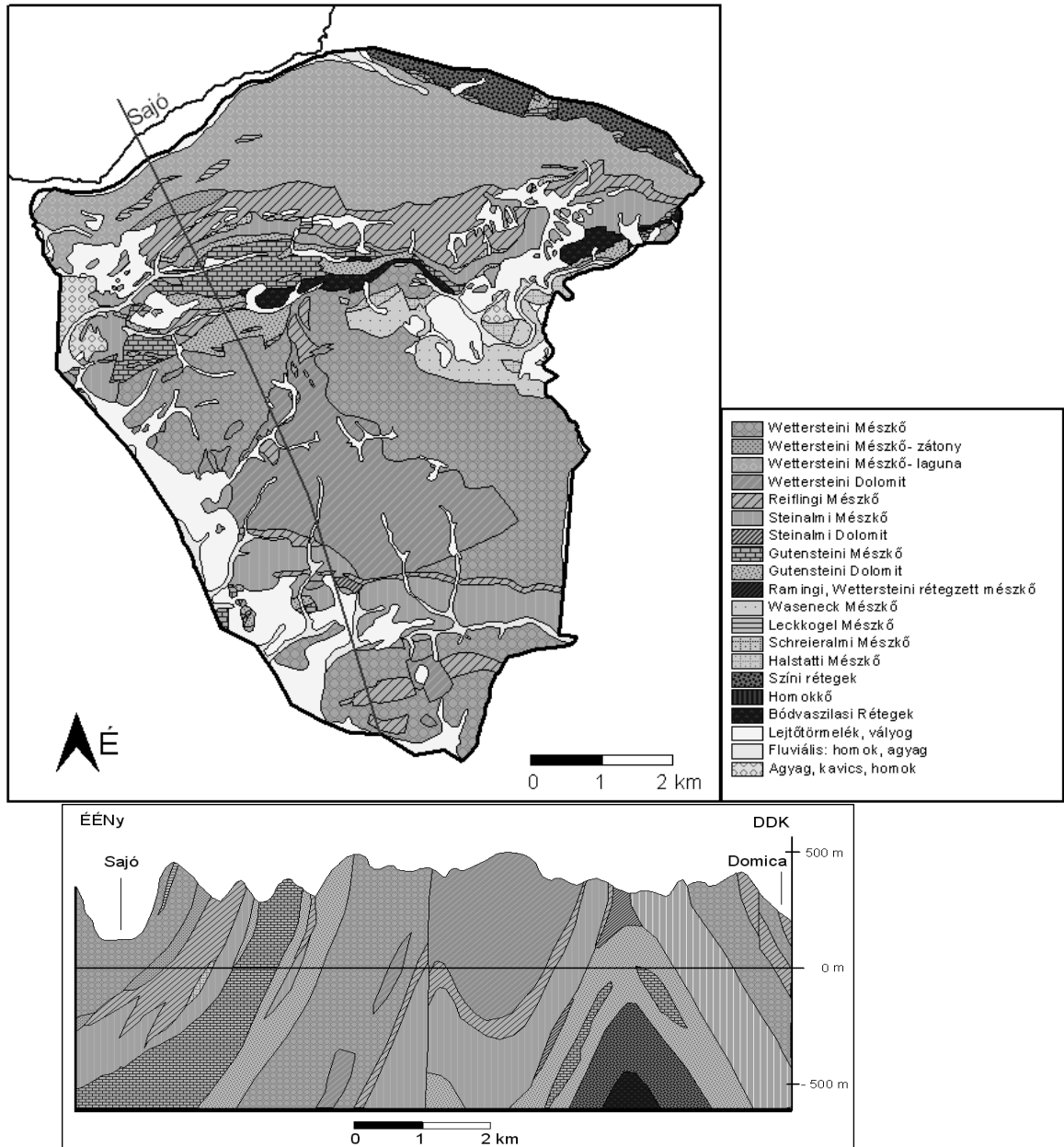
A Szilicei-fennsík D-i részén (2. ábra) két, nagyjából K-Ny-i irányban húzódó mészkősáv található, melyeket a Ménes-Borzova-Ardó közti feltolódási vonalhoz kapcsolódó vízzáró palák és homokkövek választanak el egymástól (MÓGA 2001). Az első, kisebb méretű mészkősáv Pelsőcnél kezdődik, a Bikk planinájában orsószerűen kiszélesedik, K felé a Lednice-bérc területén folytatódik és az Ardó-hegy, ill. a Mész-hegy (az Alsó-hegy Ny-i pereme) közti nyeregben végződik. Az átlagosan 500-580 m magas fennsík erősen többszörösödött tetőit foltokban vörös agyag fedi, Pelsőc körüli lealacsonyodó peremét helyenként elborítja a Poltári-kavics is.

A Bikk D-i pereme egybeesik a szerkezeti-kőzettani viszonyok által kijelölt Király-kút-völgy, a Borzovai-polje és az Ezsdán-völgy (Roskó-völgy) vonalával. Különböző oldékonyságú középső- és felsőtriász mészkő-

vek és dolomitok (Reiflingi Mészke, Steinalmi Mészke, Gutensteini Mészke és Dolomit, Tiszolci Mészke, Halstatti Mészke) kapcsolódnak a vízzáró kőzetekhez ebben a tektonikailag is mozgalmos övben. Ráadásul kisebb foltokban még agyagos, vályogos, kavicsos rétegek is betakarják a karbonátos kőzeteket, amelyek elősegítették az időszakos és állandó felszíni vízfolyások kialakulását.

A fent említett, Szilicei-fennsíkot keresztülszelő, erősebben tektonizált sávban kialakult völgyek és a Kecső, ill. Jósva-völgy között húzódik a Szilicei-fennsík D-i mészkőszávjá. E terület szerkezete, földtani felépítése az előzőhöz képest meglehetősen egyszerű. Két feltolódási sáv közötti szinklinálisban jelennek meg karsztosodó kőzetei (Wettersteini Mészke, Wettersteini Dolomit). Az egész D-i mészkőszáv morfológiáját és hidrológiáját a mészkő- és dolomitfoltok egymáshoz való viszonya, sajátos elrendeződése határozza meg, mely a Kecsői-fennsíkon a legszembetűnőbb. A Kecsői-fennsík központi részét elfoglaló nagyméretű dolomitfolt karsztosodása a mészkőétől eltérő formakincs kialakulásának kedvezett, felszínén alig található töbrök, és a kevés itt kialakult töbör is főleg a közethatáron fordul elő. Töbrei nem típusosak, völgszerűen megnyúltak, lejtőjük üledékekkel borított. A dolomit térszíneken a töbröket aszóvölgyek helyettesítik (Szorosszoba-v., Borzút-v., Kecső környéki völgyek).

A vizsgált terület legdélebbi része, az Aggteleki-fennsík, a Sziliceitakaró legdélebbi – a szlovákiai Hosszúszónál kezdődő és a magyarországi Szőlősardónál végződő – mészkőszávjához kapcsolódik. Alacsony, töbör Soros aszóvölgyekkel tagolt tetőit (Domicatető, 465 m; Poronya-tető, 506 m; Baradla-tető, 484 m; Magas-hegy, 507 m; Galya-tető, 484 m; Somos-tető, 438 m) északon eróziós völgyek (Jósva- és Kecső-völgy, Ördöglyuk-víznyelő aszóvölgye) választják el a Szilicei-fennsík D-i részétől. D-i határa egybeesik a fedett karszttal (Putnoki-dombság). Az Aggteleki-fennsík felépítése, szerkezete meglehetősen egyszerű. Tektonikailag kevésbé zavart hegyvidék, Wettersteini és Steinalmi Mészke alkotja, amelyhez É-on, a Kecső-völgy peremén, keskeny sávban Gutensteini Mészke kapcsolódik. A fenti kőzetrétegek a Jósva-völgy – Kecső-völgy vonalában húzódó antiklinális D-i szárnyához kapcsolódnak. (LESS *et al* 1988, LESS 1998, MELLO 1996, MELLO 1997).



2. ábra: A mintaterület kőzettani térképe és egy ÉÉNy-DDK-i irányú magassági és geológiai szelvény (MELLO, 1997 felhasználásával)

Fig. 2: Geologic map of the study area and a NNW-SSE elevation and geologic profile (based on MELLO, 1997)

Módszerek, adatok

A térinformatikai vizsgálatokhoz *ArcView GIS 3.2* szoftvert használtunk. Kiindulásként egy térinformatikai adatbázist építettünk fel az alábbi alap-adatokból kiindulva:

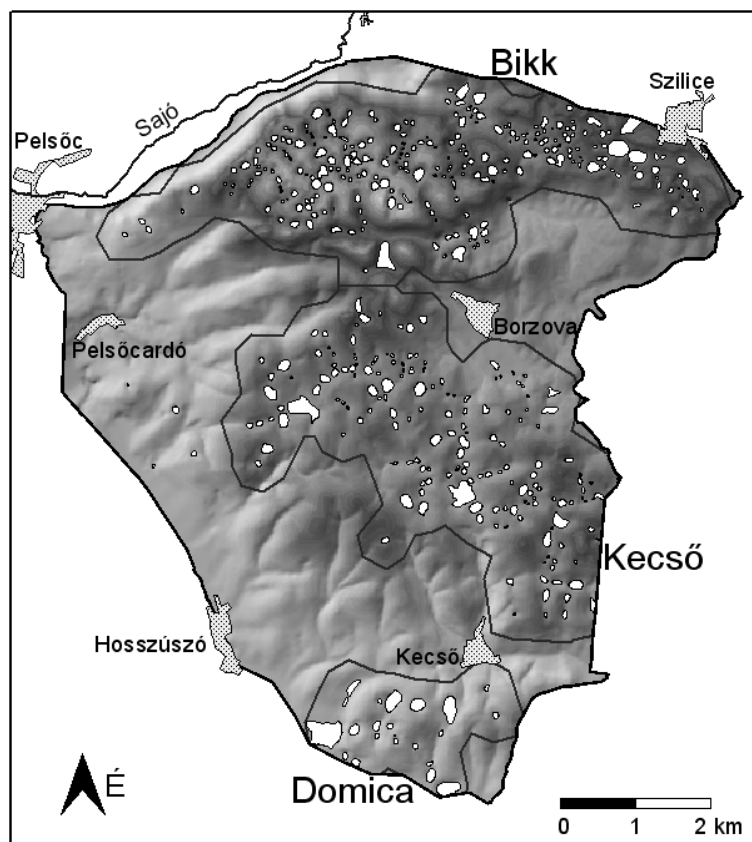
- Szlovák topográfiai térkép (méretarány: 1:10 000; szintvonalköz: 2m)
 - Szlovák-Karszt geológiai térképe (méretarány: 1:50 000; *MELLO* 1996)
- Ezek digitalizálása után további „rétegeket” állítottunk elő:
- Digitális domborzatmodell (a topográfiai térkép szintvonalainak digitalizálásával, kriging interpolációval, 20m-es horizontális felbontással)
 - Töbör-határok (melyeket a legkülső zárt szintvonal alapján határoztunk meg az egyértelmű és egységes adatkezelés miatt)
 - Töbör-középpontok
 - Földtani határok, törésvonalak

Az így kialakított adatbázis segítségével lehetőség nyílt a töbör-morfometriai elemzések elvégzésére, melyek közül az alábbi jellemzőket vizsgáltuk:

1. méret-jellemzők (kerület, terület, mélység, térfogat),
2. alak-jellemzők (függőleges megnyúltság, kerekítettség),
3. térbeli eloszlás (sűrűség),
4. irány-statisztikai jellemzők (hossztengely, legközelebbi szomszéd azimutja).

Kiértékelés

A vizsgált terület 55 km²-re terjedt ki, melynek kicsit több mint fele (31 km²) tekinthető töbörös térszínnek, ahol összesen 447 db töbör található. Így az átlagos töbör-sűrűség 14,4 töbör/km²-nek adódik. A töbrök területi eloszlása alapján 3 részterület jelölhető ki: a Bikk-fennsík (a Lednice-bérccel és az Ardó-heggyel), a Kecői-fennsík és a Domica-barlang környéke (3. *ábra*).



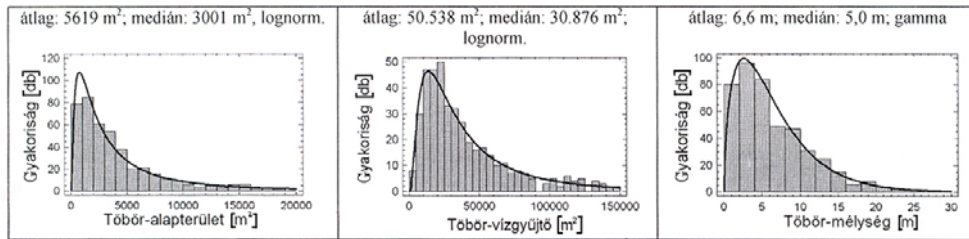
3. ábra: A mintaterület töbrei a 3 fő részterület határaival
 Fig. 3: Dolines of the study area and the boundaries of the 3 subareas

A töbrös területek kijelölése a sűrűség-térkép (ld. később) felhasználásával történt, melyen azokat a részeket határoltuk le, ahol a sűrűség értéke nagyobb volt, mint $1 \text{ töbr}/\text{km}^2$. A további elemzésekből a terület nyugati részén – Pelsőcardó közelében – fekvő négy „magányos” töbröt kihagytuk.

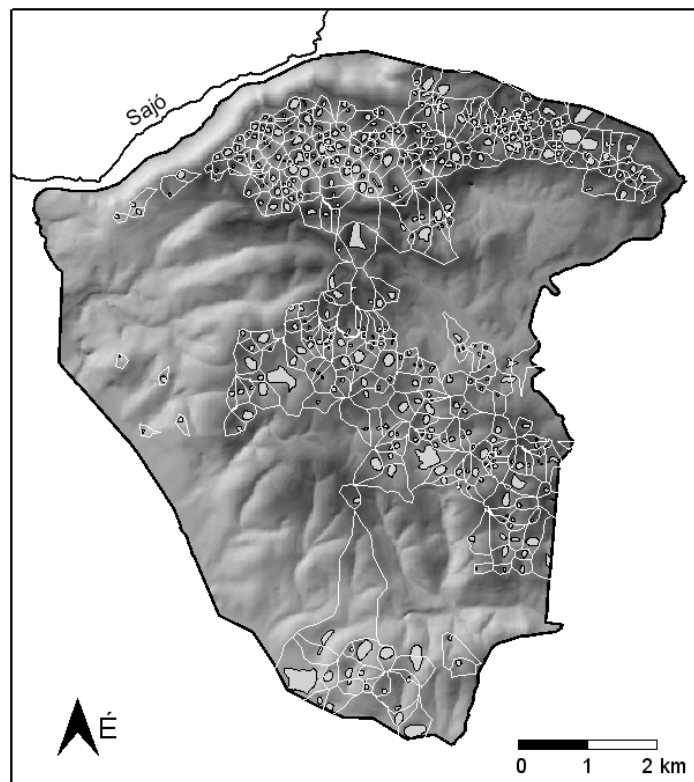
A teljes töbr-sokaság statisztikai jellemzése

Elsőként megvizsgáltuk, hogy a főbb töbr-jellemzők, a teljes sokaságot feldolgozva, milyen statisztikai eloszlást mutatnak (4. ábra). Számos korábbi vizsgálathoz hasonlóan ezúttal is bebizonyosodott, hogy a töbr-alapterületek lognormális eloszlást mutatnak, ami azt jelenti, hogy a kisméretű (de nem a legkisebb) töbrökből van a legtöbb, és ettől a nagyobb töbr-kategóriák felé haladva egyre csökken a gyakoriság. A digitális domborzatmodell és a töbr-középpontok alapján szerkesztett töbr-vízgyűjtők (5. ábra) területének eloszlása szintén lognormális jellegű. A töbr-mélység –

bár ránézésre hasonló – ettől statisztikailag kissé eltérő, gamma típusú eloszlással jellemezhető. Ez a máshol is tapasztalt különbség arra utal, hogy a töbrök függőleges és vízszintes irányú fejlődését részben különböző tényezőkre kell visszavezetni.



4. ábra: A főbb töbr-jellemzők gyakorisági eloszlása az átlag és medián értékekkel ill. az eloszlás típusával
 Fig. 4: Frequency distributions of the most important doline characteristics with average and median values and distribution type



5. ábra: A DDM alapján meghatározott töbr-vízgyűjtők (ArcView Watershed kiterjesztés segítségével)
 Fig. 5: Doline watersheds derived from the DEM (using ArcView Watershed extension)

Néhány gondolat a lognormális eloszlás lehetséges magyarázatához. Ez a gyakorisági eloszlás rendszerint akkor lép fel, hogy ha egy folyamat

során a véletlenszerűen fellépő események hatása szorzódik és nem összeadódik (DAVIS 1986). Ez az eloszlás-típus elméletileg is bizonyítottan előfordulhat bizonyos „növekedési” folyamatoknál, amelyekben a vizsgált objektumok növekedése arányos az aktuális mérettel (pl. sejtkolóniák mérete), és előfordulhat „aprítási” jelenségeknél, ahol törési, osztódási folyamatok végtermékeinek méretét vizsgáljuk (PRÉKOPA 1980). Jellemző földtani előfordulásai például: a kőolajkutakból kitermelt olaj mennyisége egy nagyobb olajmező esetén vagy a szemcseméreték eloszlása a törmelékes közetekben (DAVIS 1986).

A fentiek értelmében tehát, ha egy területet véletlenszerűen néhány kisebb egységre bontunk, majd az így keletkező részeket véletlenszerűen tovább osztjuk, és így tovább, akkor egy olyan területi mozaikhoz jutunk, amelyben az egyes részek méretének eloszlása lognormális jellegű lesz. A karsztfennsíkok vízgyűjtőkre bontása épp egy ilyen hézagmentes területi felosztást ad, ahol az egyes részek méreteinek gyakorisági eloszlására teljesül a lognormalitás. Fontos megjegyezni, hogy ez a megfontolás egyfajta *geometriai* magyarázatot ad a vízgyűjtők méret-eloszlására, ebből azonban nem lehet arra következtetni, hogy a folyamat *időbeli* lezajlása is egy hasonló osztási folyamattal lenne leírható.

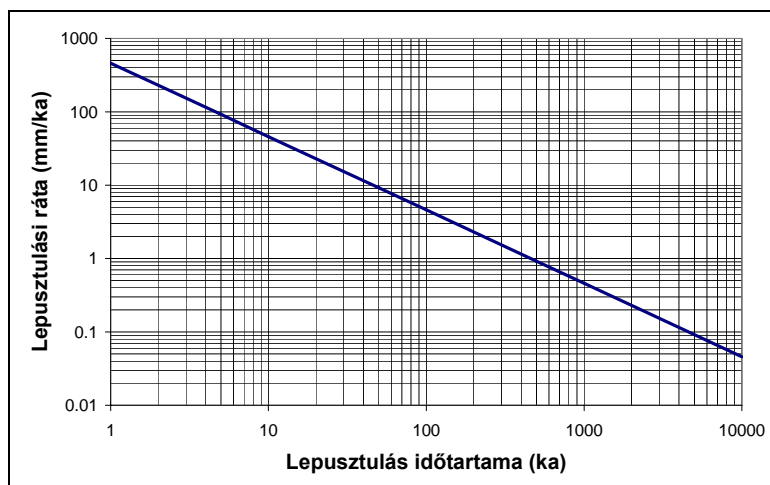
A vízgyűjtők és a töbrök kiterjedése közti kapcsolatot az egymásnak megfeleltetett objektumpárok területének hányadosa (R_A) adja meg:

$$R_A = \frac{T_{\text{töbör}}}{T_{\text{vízgyűjtő}}} \cdot 100(\%)$$

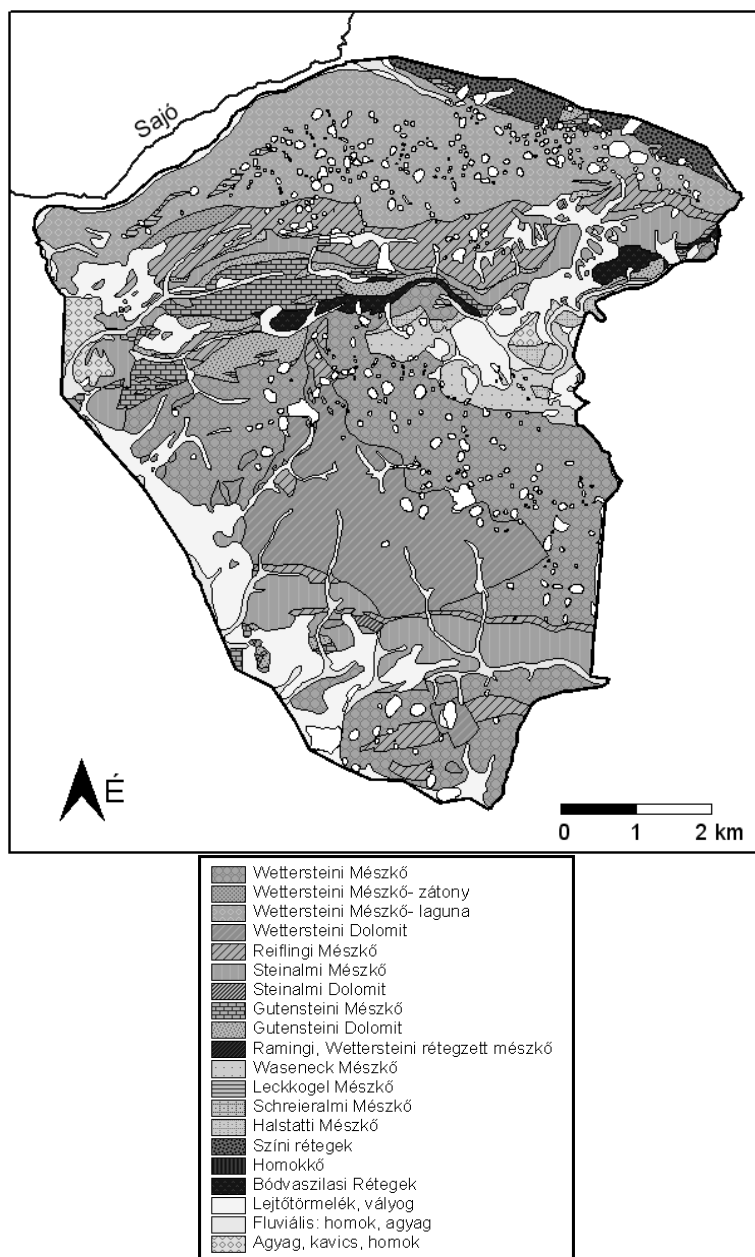
Ez a hányados a vizsgált területen 0,5% és 50% között változik, átlagértéke 13%, de a legjellemzőbb kategória (módusz) a 2-6%, vagyis a zárt szintvonalú töbrök vízgyűjtőjüknek jellemzően ekkora hányadát foglalják el. A töbrök túlnyomó részét tekintve nagyságrendi eltérés nincs e százalékos értékek között, így a töbör-alapterületek lognormális eloszlását visszavezethetjük a vízgyűjtők lognormális eloszlására.

Érdekes módon R_A hányados gyakorlatilag nem függ a töbör-vízgyűjtő területétől (*korrelációs együttható* = -0,23; $R^2 = 5,3\%$), viszont – ha nem is túl erősen, de – függ a töbör-alapterülettől (*korrelációs együttható* = 0,61; $R^2 = 37,6\%$), mégpedig „pozitív” értelemben, tehát a nagyobb méretű töbrök viszonylagosan több helyet foglalnak el a saját vízgyűjtőjükből, mint kisebb társaik. Ezt azzal magyarázhatjuk, hogy a vízgyűjtők határai viszonylag stabilak, ezért az egyes töbrök növekedése általában a vízgyűjtőn „belül marad” és nem jár együtt a vízválasztók módosulásával.

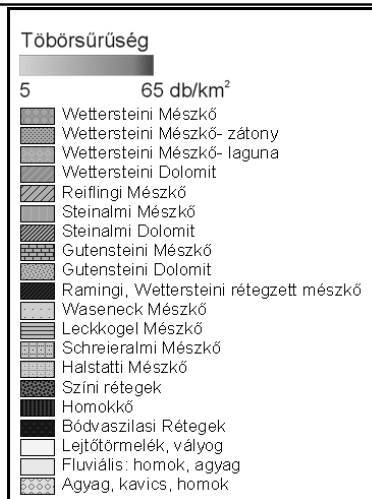
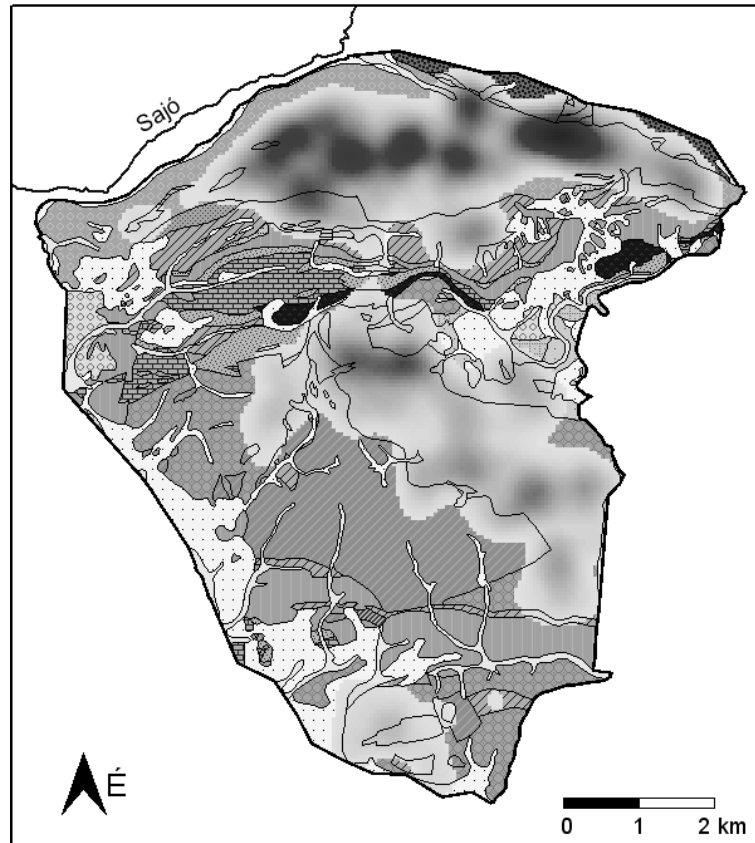
A töbrök összterfogata alapján az oldásos eredetű lepusztulásnak egy fontos tényezőjét becsülhetjük meg. (Hogy ez hányadrészét adja a teljes lepusztulásnak az egyelőre nyitott kérdés, mindenesetre tény, hogy ez a hiányzó anyagmenyiség az, ami formailag is nyomot hagy a tájon, így feltételezhető, hogy az összlepusztulásnak egy jelentős hányadáról van szó.) Korábbi vizsgálataink (TELBI SZ 2004, TELBI SZ-MÓGA 2005) alapján ehhez az egyszerűsített gömbsüveg-szabályt használtuk ($V = \frac{A \cdot h}{2}$, ahol V a töbrő térfogata; A az alapterülete; h a mélysége). A töbrök összterfogatát ($14,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$) osztva a vizsgált terület nagyságával (31 km^2) mm-egyenértékben kaphatjuk meg az egységnyi vízszintes területre jutó lepusztulást (D), melynek értéke jelen esetben: 460 mm . Ez a mutató a töbrős lepusztulás összértékét adja meg, és így kapcsolatot teremt a lepusztulási ütem és időtartam között (6. ábra). Összehasonlításként a Szilicei-fennsík középső részének hasonló adata 802 mm ; a biokovo-fennsíki mintaterületé pedig 1886 mm (TELBI SZ-MÓGA 2005, TELBI SZ et al, 2005). Ezek az értékek azt mutatják, hogy a Szilicei-fennsík délnyugati részén a töbrős lepusztulás üteme lassabb volt és/vagy rövidebb ideig tartott mint a Szilicei-fennsík északabbra fekvő területein, de az összlepusztulást tekintve mindkettő lényegesen elmarad a Biokovo-hegységtől.



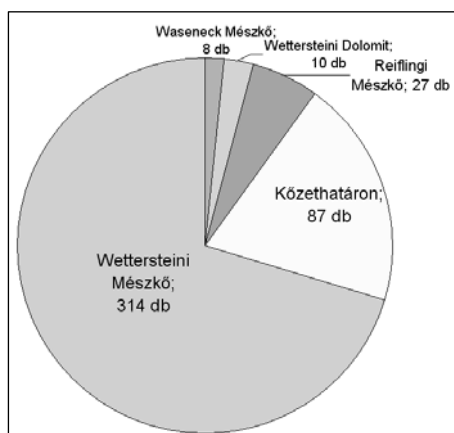
6. ábra: Lepusztulási ráta és időtartam összefüggése a töbrök térfogata alapján
 Fig. 6: Denudation rate vs duration based on doline volume data



7. ábra: Töbrök elhelyezkedése és a kőzetípusok
 Fig. 7: Spatial distribution of dolines with lithology

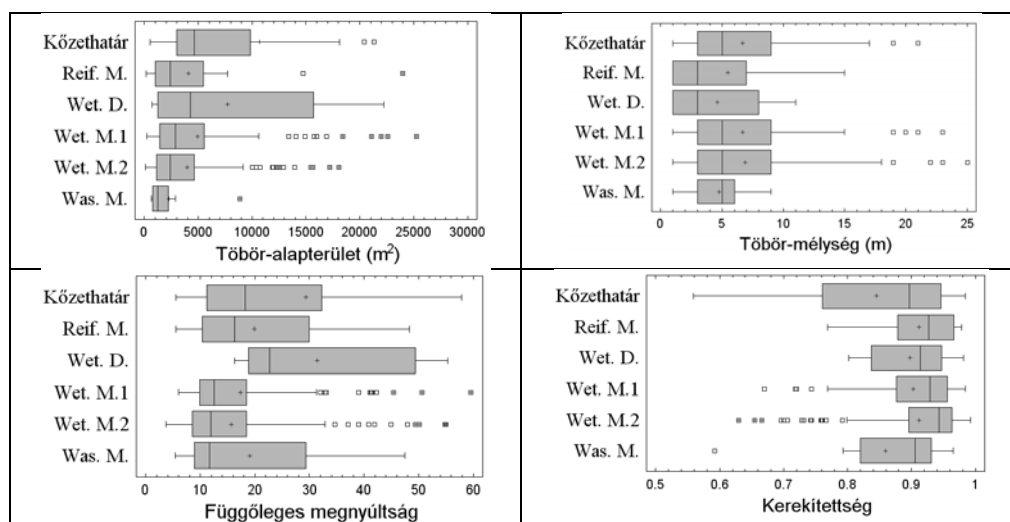


8. ábra: Töbör-sűrűség (ArcView Calculate Density, Kernel algoritmus, keresési sugár:500m) és kőzettípusok.
 Fig. 8: Doline density (ArcView Calculate Density, Kernel algorithm, search radius:500m) with lithology



9. ábra: Töbrök megoszlása alapkőzet szerint
Fig. 9: Doline distribution according to bedrock

Töbrösödés és az alapkőzet kapcsolata



10. ábra: Töbr-jellemzők kőzettípus szerinti eloszlása. a) alapterület; b) mélység; c) függőleges megnyúltság¹; d) kerekítettség². Reif. M.: Reiflingi Mésző; Wet. D.: Wettersteini Dolomit; Wet. M.: Wettersteini Mésző; Was. M.: Waseneck Mésző.

Fig. 10: Doline characteristics distributions according to rock type. a) area; b) depth; c) vertical ratio; d) roundness. Reif. M.: Reifling Limestone; Wet. D.: Wetterstein Dolomite; Wet. M.: Wetterstein Limestone; Was. M.: Waseneck Limestone..

¹ függőleges megnyúltság = hossz / mélység (1 m töbrmélységre jutó tengelyhossz)

² kerekítettség = $(4\pi \cdot \text{Terület}) / \text{Kerület}^2$ (kör esetén 1, egyébként kisebb)

Első megközelítésként érdemes a töbrök elhelyezkedését illetve a töbrősűrűséget a geológiai térképre helyezve tanulmányozni (7, 8. ábra). Ezekről világosan leolvasható, hogy a töbrösödött térszínnek igen jó egyezést mutatnak a Wettersteini Mészkö felszíni elterjedésével, továbbá, hogy a közethatárokhoz kapcsolódik számos dolina. Ezek mellett csupán elenyésző számú töbröt találhatunk egyéb kőzeteken (számszerűen ld. a 9. ábrán), pl. a Bikkfennsíktól D-re eső Reiflingi Mészkö sávon vagy a Borzova melletti Waseneck Mészkövön. Különösen markáns a Kecsoi-fennsík nyugati részén található Wettersteini Dolomit térszín töbrő-szegénysége, pedig ez a terület szerkezetileg-domborzatilag nagyon hasonló helyzetben van, mint a szomszédos Wettersteini Mészkö térszínnek. A kettő közötti kőzettani határt – enyhe „átlózással” – szépen követi a töbrősűrűségi térkép is (8. ábra).

A kőzetek eltérő lepusztulási sajátosságait a töbrő-morfometriai paraméterek kőzettípus szerinti eloszlásainak összehasonlításával is vizsgálhatjuk ún. *box-whisker* diagramok segítségével³ (10. ábra). Ezek alapján legegyszerűbben a Wettersteini Dolomiton kialakult töbrök különíthetők el, melyek jóval nagyobb területűek, ugyanakkor relatíve lényegesen sekélyebbek, mint a többi kőzeten fekvő dolinák. Ez a – most már statisztikailag is igazolt tény – két dologra vezethető vissza: egyrészt a dolomit az oldódás mellett jelentős mértékben aprózódik is, ami a töbrök fejlődésében a tömegmozgásos folyamatoknak nagyobb szerepet enged, mint a mészkö esetében, ezért a peremek felől jelentős a törmelékes anyagmozgás a töbrő belseje felé, ami laposabb töbrőalakokat eredményez. Másrészt a dolomit sokszor vízáró módon viselkedik, így rajta szárazvölgyek alakulnak ki, amelyek néhol zárt mélyedésekhez kapcsolódva „beépülnek” a töbrő alakjába. Ez utóbbi jelenséggel magyarázhatjuk egyébként a közethatáron kialakult töbrök hasonló tendenciát mutató, bár kevésbé markáns statisztikai jellemzőit is. Ebbe a vegyes összetételű csoportba azokat a dolinákat soroltuk, amelyek legalább két kőzetre kiterjednek a térkép alapján. Jelentős arányt képviselnek benne a dolomit-mészkö határon kialakult töbrök, de ide tartozik sok olyan töbrő is, amely két különböző mészkö találkozásánál jött létre és ebbe a kategóriába soroltuk azokat a zárt mélyedéseket is, amelyek a nemkarsztos-karsztos kőzetek érintkezésénél találhatók. Ez a csoport

³ A *box-whisker* („doboz-bajusz”) diagramon a „doboz” értéktartományába esik az adatok 50%-a (alsó kvartilistól a felső kvartilisig) a „bajusz” két vége pedig a kvartilis értékeken innen ill. túl elvileg 1,5-szeres interkvartilis távolságig ér el, de ha a minimum (maximum) ennél nagyobb (kisebb), akkor csak odáig. Az ennél kisebb ill. nagyobb értékek „kivülálló” jelöléssel szerepelnek. Ennek az ábrázolásnak az előnye, hogy nemcsak egy-két kiragadott mutató (átlag, medián, szórás) felhasználásával jellemez, hanem viszonylag takarékosan be is mutatja az adatok eloszlását.

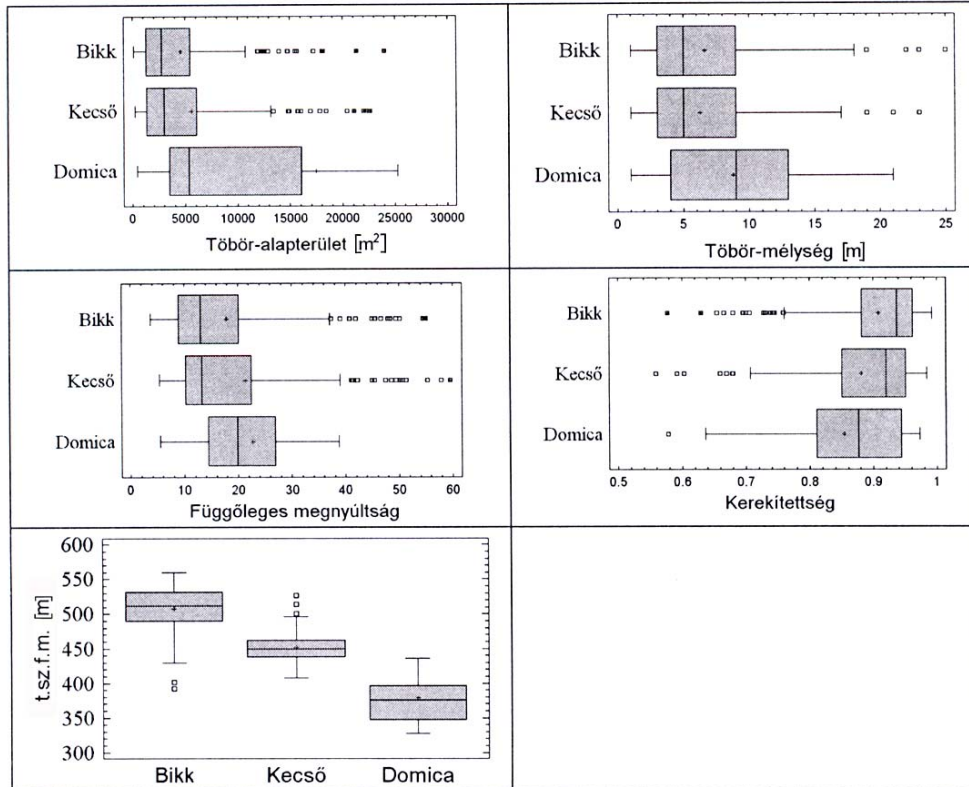
egyébként leginkább alakjának szabálytalanságával, vagyis gyenge kerekítettségével tűnik ki, amit a víznyelő jellegű zárt mélyedésekhez futó „*völgyecskek*” miatti tagolt töbrök-körvonalakkal magyarázhatunk. A diagramok további érdekessége, hogy míg a töbrök-mélység szempontjából alig van különbség a közettípusok között, addig a függőleges megnyúltság világosan elkülöníti az eltérő töbrök-típusokat. Ez utóbbi mutató azt is jelzi, hogy a Wettersteini Mészkövön kialakult töbrök fejlődnek legintenzívebben függőleges irányban.

Részterületek összehasonlítása

A vizsgált területen belül elkülöníthető három töbrös részterületet is hasonló módszerekkel vetettük egybe (11. ábra). Darabszám és sűrűség szempontjából is a leginkább töbrösödött egység a Bikk-fennsík (254 db; 18,3 db/km²), ezt követi a Kecői fennsík (171 db; 12,3 db/km²) majd a Domica környéke (22 db; 6,5 db/km²). Mindhárom részre jellemző, hogy a töbrök zöme egy viszonylag szűk (20-50 m) kiterjedésű magassági tartományban, a fennsík-okhoz igazodva kerül el (11. e ábra). Ez is jelzi, hogy a domborzati meghatározottság mennyire fontos a töbröfejlődésben. Ezek a magassági zónák a térszín általános lejtéséhez és a szerkezethez igazodva dél felé fokozatosan alacsonyodnak.

A magassági eltérések ellenére a Bikk- és a Kecői-fennsík dolinái statisztikailag azonos jellemzőket mutatnak. A csekély eltérések a függőleges megnyúltságban és a kerekítettségben a Kecői-fennsíkon található – fentiekben már tárgyalt – dolomiton illetve közethatáron kialakult töbröknek köszönhetők. Ezek azonban számarányukat tekintve viszonylag kis jelentőségűek ahhoz, hogy a statisztikákat lényegesen módosítsák. Mindezek alapján kijelenthető, hogy a közettani felépítésnek lényegesen nagyobb szerepe van a töbröfejlődésben, mint az ilyen mértékű magassági különbségeknek.

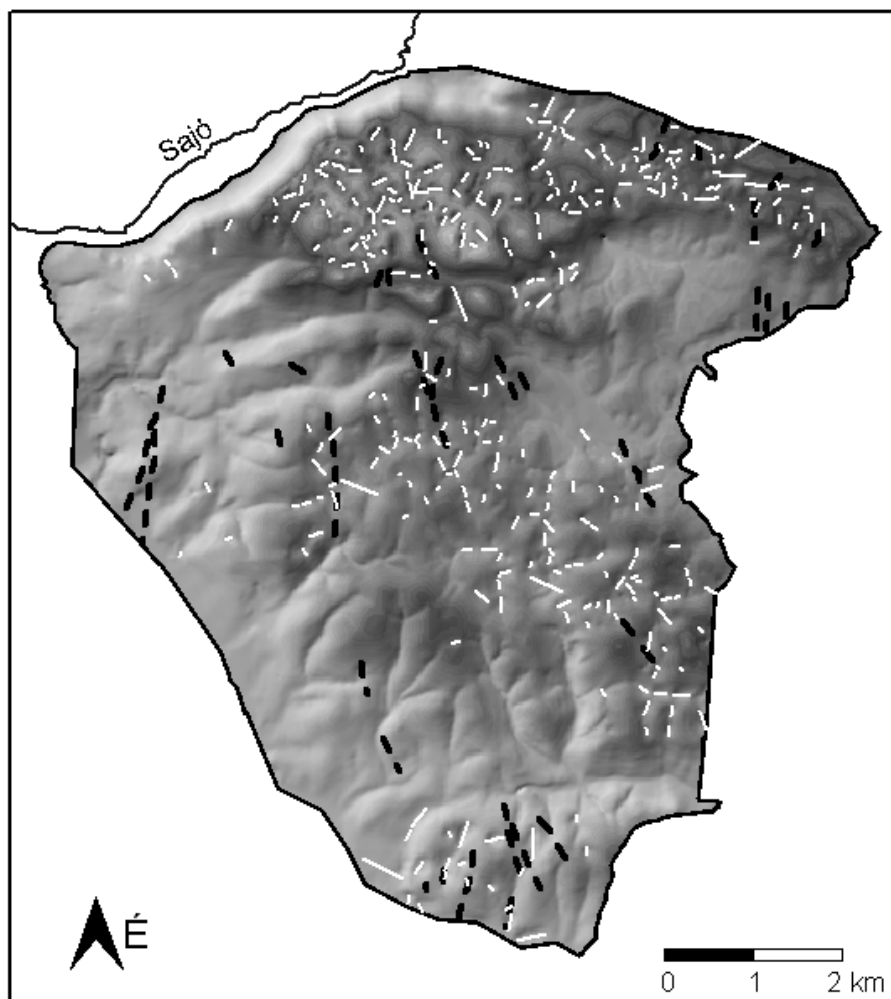
A Domica környéki töbrök nagyobb mérete, viszonylagos sekélyisége és gyengébb kerekítettsége mögött a karsztperemi helyzetet kell keresni. Ezeknek a töbröknek a fejlődésében a víznyelő fázisuk idején a fedett karszt (D, DNy) felől érkező vizeknek nagyobb szerepe lehetett: hosszabb ideig és bővebb hozamokkal működhetek nyelőként, mint a kiemeltebb északabbi fennsíkok dolinái. Ezt a jelenséget korábban az Aggteleki-karszton szintén sikerült statisztikailag igazolni (TELBI SZ 2001).



11. ábra: Töbör-jellemzők részterület szerinti eloszlása. a) alapterület; b) mélység; c) függőleges megnyúltság²; d) kerekítettség³; e) t.sz.f.magasság.

Fig. 11: Doline characteristics distributions according to subarea. a) area; b) depth; c) vertical ratio; d) roundness; e) elevation.

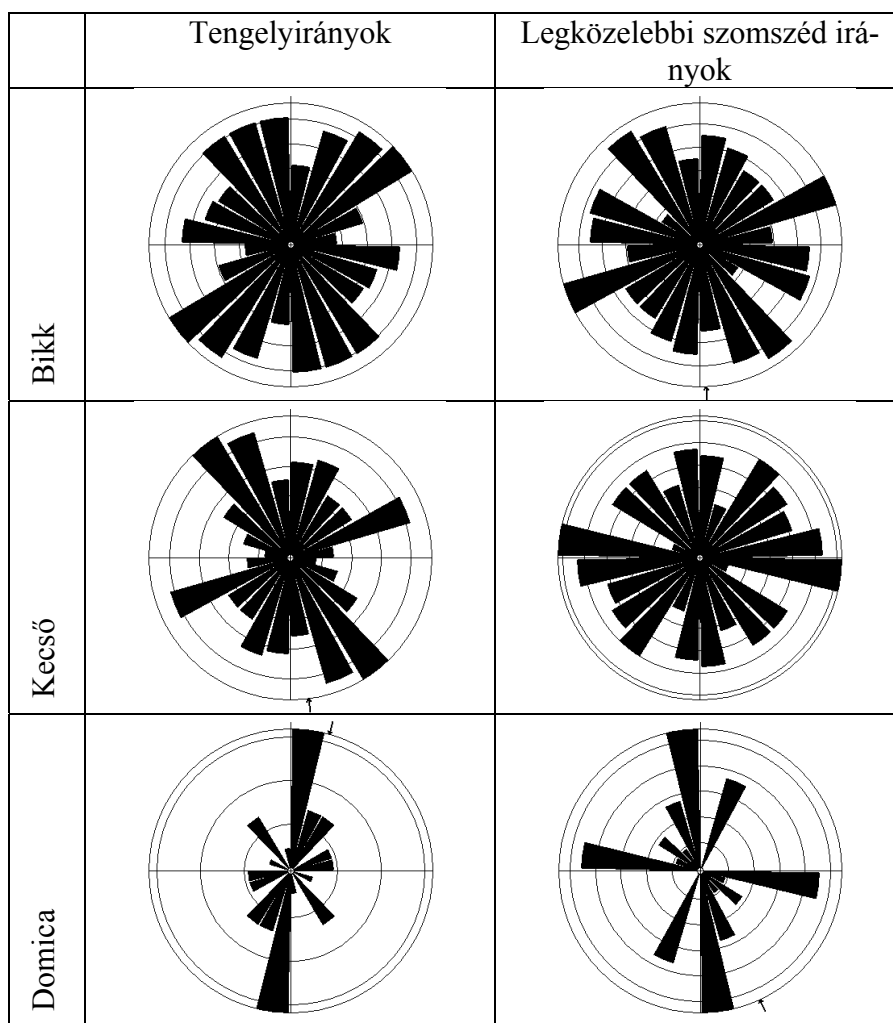
A töbrök irány-statisztikai vizsgálatát is a részterületek szerinti bontásban végeztük el. Meghatároztuk a töbrök hossz tengelyének állását és hosszát (*ArcView Longest Straight Line* kiterjesztést /JENNESS 2003/, 12. ábra) valamint a legközelebbi töbör-szomszéd irányába mutató vektorokat (*ArcView Nearest Feature* kiterjesztés /JENNESS 2004/). Ezeket az adatokat irányrózsákon is ábrázoltuk (13. ábra). Itt is többé-kevésbé megfigyelhető volt az a jelenség, amit korábbi hasonló elemzéseinkben tapasztaltunk, hogy a legközelebbi töbör-szomszéd irányok nagyobb szórást mutatnak, mint a tengelyirányok, továbbá azokhoz képest általában nagyobb hangsúlyt kap egy második, a főirányra nagyjából merőleges irány (TELBI SZ 2001). Ennek egy lehetséges magyarázatát az idézett munkában be is mutattuk.



12. ábra: Nagyobb töbrök hossz tengelyei (fehér szaggatott) és a törésvonalak (fekete szaggatott)
 Fig. 12: Long axes of larger dolines (white dashed) and fault lines (black dashed)

A tengelyirányokat szemlélve a Bikk- és a Kecsői-fennsík területén leghangsúlyosabb az ÉÉNy-DDK-i irány, ami a geológiai térképen is jelzett törésvonalak állásával szép egyezést mutat. A Domica környéki területen a rózsadiagramról leolvasható közel É-D-i ($0-15^\circ$) iránnyal egybeeső törésvonalak szintén megtalálhatók a geológiai térképen. Ez az irány, ha kisebb csúccsal is, de a Kecsői-fennsík tengelyirányaiban is megjelenik. Ezek mellett a Bikk-fennsík esetében jól felismerhető még egy ÉK-DNy-i irány (a Kecsői-fennsíkon: KÉK-NyDNy-i), amelyet feltehetőleg a gyűrt szerkezetek csapásirányával hozhatunk kapcsolatba. Az ilyen állású töbrök fejlődésében a meredeken dőlő réteglapok menti beszivárgás illetve a gyűrődések csapás-

irányával párhuzamos, karsztos-nemkarsztos kőzethatárok játszhatnak szerepet. Ez utóbbi magyarázat indokolhatja a Bikk-fennsíkra még halványan jellemző NyÉNy-KDK-i irányt is, ami a térképet (12. ábra) szemügyre véve a vizsgált terület ÉK-i részén jellemző. Itt egy reverz vetőhöz kapcsolódó nemkarsztos-karsztos kőzethatár mentén alakult ki számos ilyen állású dolina. Összességében a rózsadiagramok elemzésével megállapíthatjuk, hogy az idősebb gyűrődéses és a fiatalabb töréses szerkezetek hatása (utóbbiak kicsit nagyobb súllyal) egyaránt jelentkeznek a töbrök fejlődésében.



13. ábra: Töbör-hossztengelyek ill. legközelebbi szomszéd irányok alapján szerkesztett rózsadiagramok részterületek szerint

Fig. 13: Rose diagrams of doline long axes and nearest neighbour azimuths according to subareas

Következtetések

A Szilicei-fennsík délnyugati részén a töbrök száma és sűrűsége kisebb, mint a fennsík középső, északi térszínein. Így a töbrök térfogata alapján egységnyi területre számolt össz-lepusztulási érték is alig több mint a fele a fennsík középső részeire kapott adatnak, ami lassabb és/vagy rövidebb ideig történő oldásos felszínfejlődésre utal.

A jelen dolgozatban vizsgált területek közül a Bikk-fennsíkon találjuk a legtöbb töbröt (zömmel 490 és 530m közti magasságokban) és egyben a legnagyobb töbrő-sűrűséget ($18,3 \text{ db/km}^2$) is. A Kecői-fennsík töbrei túlnyomórészt a 440-460m közötti magassági tartományba esnek. Méretükben csak kevéssé térnek el a Bikk-fennsík dolináitól, ám valamivel ritkábban ($12,3 \text{ db/km}^2$) tagolják a tájat. Végül a Domica környéki töbrök tengerszint feletti magassága az alacsonyodó térszínhez igazodva többnyire 350 és 400m közé esik. Itt a töbrök lényegesen nagyobbak (a barlang egyik fő víznyelőjéhez tartozik a vizsgált terület legnagyobb kiterjedésű „*dolinája*” is), viszont relatív mélységük kisebb, mint a másik két részterületen. Ennél a részterületnél az eltérő töbrő-jellemzők kialakulásában a karsztperemi helyzet is fontos szerepet játszhatott.

A töbrök fejlődésében – a vizsgált területen belül – sokkal inkább az alapkőzet a meghatározó és nem a magassági tartomány, ami elsősorban a Kecői-fennsík domborzatilag hasonló, ám kőzettanilag eltérő területegységeinek elemzésével bizonyítható. Az összes vizsgált töbrő közel háromnegyede Wettersteini Mészkövön található, e mellett még említésre érdemes számban a Reiflingi és a Waseneck Mészkövön továbbá a Wettersteini Dolomiton alakultak ki zárt mélyedések. A tektonikus okokra visszavezethető kőzettani változatosság egyik fontos következménye, hogy jelentős a kőzethatárokhoz köthető és így részben a nem karsztosodó kőzetekre is átnyúló, zárt mélyedések száma. A Wettersteini Dolomiton és a kőzethatárokon kialakult töbrök általában nagyobbak, relatíve sekélyebbek, alakjuk szabálytalanabb.

A töbrő-hossztengelyek és legközelebbi szomszéd irányok elemzésével megállapítottuk, hogy a töbrök fejlődésében az idősebb gyűrődéses szerkezetek (nagyjából ÉK-DNy-i csapásiránnyal) és a fiatalabb töréses szerkezetek (ÉÉK-DDNy-i csapásiránnyal) hatása egyaránt fölismerhető, ezen belül kicsit hangsúlyosabban jelentkezik az utóbbi tényező.

Az összes töbrőre vonatkozó statisztikai elemzések kimutatták, hogy a töbrő-alapterületek illetve a hozzájuk tartozó vízgyűjtő-területek lognormális eloszlással jellemezhetők, amit geometriai értelemben a fenn-

síkok kisebb vízgyűjtőkre való többlépcsős „felaprózásával” magyarázhatunk.

IRODALOM

- DAVIS, J.C. (1986): Statistics and Data Analysis in Geology. (Second Edition) – John Wiley and Sons, New York, 640 p.
- FORD, D.C.-WILLIAMS, P.W. (1989): Karst Geomorphology and Hydrology – London, Unwin Hyman, 560.p.
- JAKÁL, J. (1975): Kras Silickej Planiny. Vyd. Osveta 145 p.
- JAKUCS L. (1971): A karsztok morfofenetikája. Akadémiai kiadó, Budapest, 310 p.
- JENNESS, J. (2003): Longest Straight Line v1.3 – Jenness Enterprises, <http://www.jennessent.com/arcview>.
- JENNESS, J. (2004): Nearest features (nearfeat.avx) extension for ArcView 3.x, v3.8a. – Jenness Enterprises, <http://www.jennessent.com/arcview>
- LESS Gy. (1998): Földtani felépítés. p. 26-66, In: Baross Gábor (szerk.): Az Aggteleki N. P. Mezőgazda, Budapest p. 519
- MARI L. (2003): Felszínborítás-változás vizsgálata térinformatikai módszerekkel az Aggteleki Nemzeti Park területén – Karsztfejlődés VIII., BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 231-242.
- MELLO, J. (1996): Geologická mapa Slovenského krasu. Geologická služba Slov. Rep. Bratislava.
- MELLO, J. (1997): Vysvetlivky ku geologickej mape Slovenského krasu 1 : 50000. Vyd. Dionýza Štúra, Bratislava, 255 p.
- MÓGA J. (1998): Felszínalaktani megfigyelések a Gömör-Tornai-karsztvidéken. Doktori (PhD) disszertáció, ELTE TTK Természeti Földrajz Tanszék, p.141.
- MÓGA J. (1999): Reconstruction of the development history of karstic water network on the southern part of the Gömör-Torna karst on the basis of ruined caves and landforms - Acta Carsologica, Ljubljana, p. 159-174.
- MÓGA J. (2001): A szerkezet és kőzetfelépítés szerepe a Szilicei-fennsík karsztos felszínformáinak kialakításában – Karsztfejlődés VI., BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 143-159.
- PRÉKOPA A. (1980): Valószínűségelmélet műszaki alkalmazásokkal (IV.kiadás) – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 440 p.
- TELBISZ T. (2001): Új megközelítések a töbör-morfológiában az Aggteleki-karszt példáján – Földrajzi Közlemények, 125 (49) p. 95-108.
- TELBISZ T. (2003): Karsztos felszínfejlődés és beszivárgás matematikai modellezése – PhD-értekezés, ELTE, Budapest, Kézirat.

- TELBISZ T.* (2004): Karsztos felszínformák vizsgálata digitális domborzatmodellek segítségével – I. HUNDEM Konferencia, Miskolc.
- TELBISZ T.-DRAGAŠICE, H.-NAGY B.* (2005): A horvátországi Biokovo-hegység karsztmorfológiai jellemzése terepi megfigyelések és digitális domborzatelemzés alapján – Karsztfejlődés X., BDF, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p.229-244.
- TELBISZ T.-MÓGA J.* (2005): Töbör-morfometriai elemzések a Szilicei-fennsík középső részén – Karsztfejlődés X., BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp.245-266.
- ZBORAY Z.-KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (2004): Domborzatértékelés a Bükk-fennsíkon légifelvételek felhasználásával – Karsztfejlődés IX., BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 207-213.