*KARSZTFEJLŐDÉS X.*
**Szombathely, 2005. pp. 245-265.**

# TÖBÖR-MORFOMETRIAI ELEMZÉSEK A SZILICEI-FENNSÍK KÖZÉPSŐ RÉSZÉN

TELBISZ TAMÁS[1], MÓGA JÁNOS[2]

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

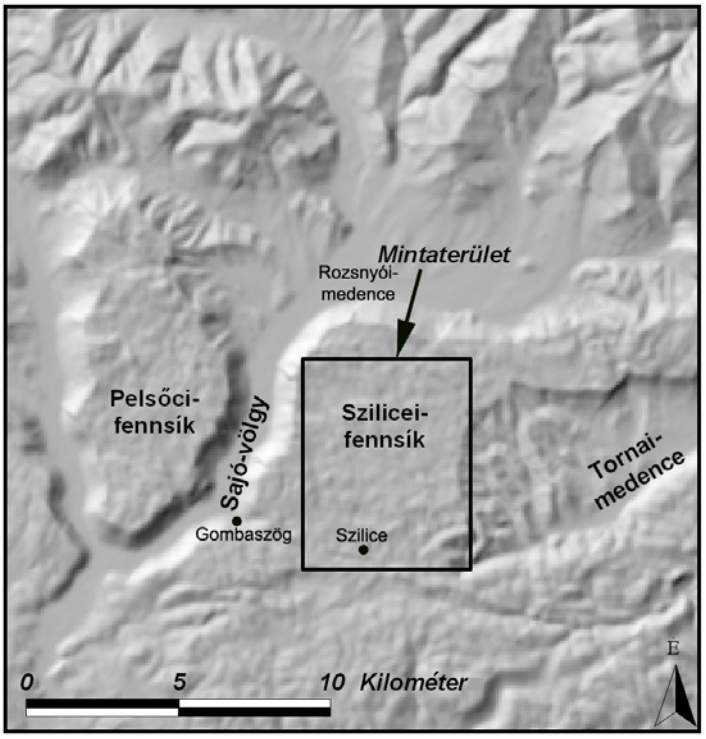
*Abstract: The northern limestone band of the Szilice plateau has a normal synclinal structure with Wetterstein Limestone in the core of it. Along the syncline limbs at the surface, several narrow or wide bands of different rock types are found such as the Lower Triassic impermeable schists (Bódvaszilas Sandstone, Szín Marl), and younger limestones and dolomites (Gutenstein Limestone and Dolomite, Steinalm Limestone, Schreieralm Limestone, Reifling Limestone). The landforms of this area are influenced by lithology and tectonic settings since all other physical geographical factors (concerning the landform processes) are more or less uniform throughout the area. Therefore this area provides a perfect background for a comparative morphometrical analysis of dolines developed on different lithology. This analysis has been performed in a GIS framework. The original dataset contained the topographical map of the area and the geological map while doline contours and doline centres have been digitized from the aforementioned map. This database is suitable for a detailed analysis of the area and for doline morphogenetic implications. Using similar data referring to the neighbouring Aggtelek Karst area a multiparameter comparison between the to karst territories has been carried out, too. Our sample area covers 27.4 km$^2$ where 820 dolines are found (based on closed contours of 2m contour interval). Therefore the mean doline density is high, 30 dolines/km$^2$, which is much higher than the mean value (9.8 dolines/km$^2$) of the doline karst areas of the Aggtelek Karst. Classifying the dolines according to the rock type, it is observed that almost all dolines are situated on four main rock type areas: the Wetterstein Limestone where high doline density and relatively smaller-size dolines are found; the Steinalm Limestone, Gutenstein Limestone and Dolomite areas where lower doline density but larger dolines are typical.*

## Bevezetés

A Gömör-Tornai-karszt középső részéhez tartozó, töbrökben gazdag Szilicei-fennsík (*1.ábra*) felszínalaktani szempontból többek között a geológiai szerkezet (redők, vetődések, törésvonalak) és a karsztos formakincs szoros kapcsolata miatt érdemel figyelmet (*MELLO* 1996, 1997, *LESS* 1998*; MÓGA* 1998, 1999).

Földtani szerkezete az alábbiakban foglalható össze (*MELLO* 1996, 1997, *LESS* 1998): É-i mészkősávja szabályos szinklinális szerkezetet formál, amelynek magját Wettersteini Mészkövek alkotják. A középső- és felsőtriász mészkövekből álló szinklinális tengelye nagyjából K-Ny-i irányban húzódik, a redő szárnyai pedig a Rozsnyói-medence felé néző fennsíkperemen és a Gombaszög–Szilice–Torna-völgyi antiklinális palasáv határán jelennek meg. A szinklinális két szárnyában keskenyebb, szélesebb sávokban emelkednek fel a fennsík felépítésében részt vevő mészkövek és dolomitok

(Gutensteini Mészkő Formáció és Dolomit Formáció, Steinalmi Mészkő Formáció, Schreieralmi Mészkő Formáció és Reiflingi Mészkő Formáció), melyek feküjét alsótriász vízzáró palák (Bódvaszilasi Homokkő Formáció, Színi Márga Formáció) alkotják. Ez a palasáv a Szilicei-fennsík É-i és D-i mészkősávja közé ékelődik. Gombaszög és Szilice között még csak keskeny vízválasztó hátként húzódik, K felé azonban mindenhol kibúvik a mészkövek alól, és egyre szélesedő sávban láthatóvá válik.




*1.ábra: A mintaterület elhelyezkedése a Gömör-Tornai-karszton belül*
*Fig. 1: Location of the study area within the Gömör-Torna Karst Area*

A felszínformák és a földtani jellemzők kapcsolatának szorosságát terepi megfigyelésekkel, a geológiai térkép és a topográfiai illetve felszínalaktani térkép összevetésével, valamint töbör-morfometriai eszközökkel (*TELBISZ* 2003, 2004, *ZBORAY-KEVEINÉ*, 2004, *MÓGA* 1998, 1999) vizsgáltuk, és az alábbi kérdésekre kerestük a választ:

● Hogyan jellemezhetők a Szilicei-fennsík töbrei morfometriai nézőpontból?

● „Mekkorák" a szilicei töbrök például az Aggteleki-karszt dolináihoz viszonyítva?

● Érvényesülnek-e valamiféle általános törvényszerűségek egyes töbörjellemzők gyakorisági eloszlásában?
● Kimutathatók-e a kőzettani, szerkezeti különbségek töbör-morfometriai eszközökkel?

## Módszerek

A terület hagyományos felszínalaktani jellemzése elsősorban terepbejárások tapasztalataira támaszkodik, és ez vezetett olyan töbrökre vonatkozó állítások megfogalmazásához, amelyek pontosabb vizsgálatát térinformatikai eszközökkel lehetett legegyszerűbben megvalósítani. Ehhez az *ArcView GIS 3.2* szoftvert használtuk fel. Vizsgálataink során gyakorlati szempontok figyelembevételével választottunk ki egy téglalap alakú mintaterületet (egy szlovák topográfiai térképszelvény határához igazítva) a Szilicei-fennsík északi-középső részén.

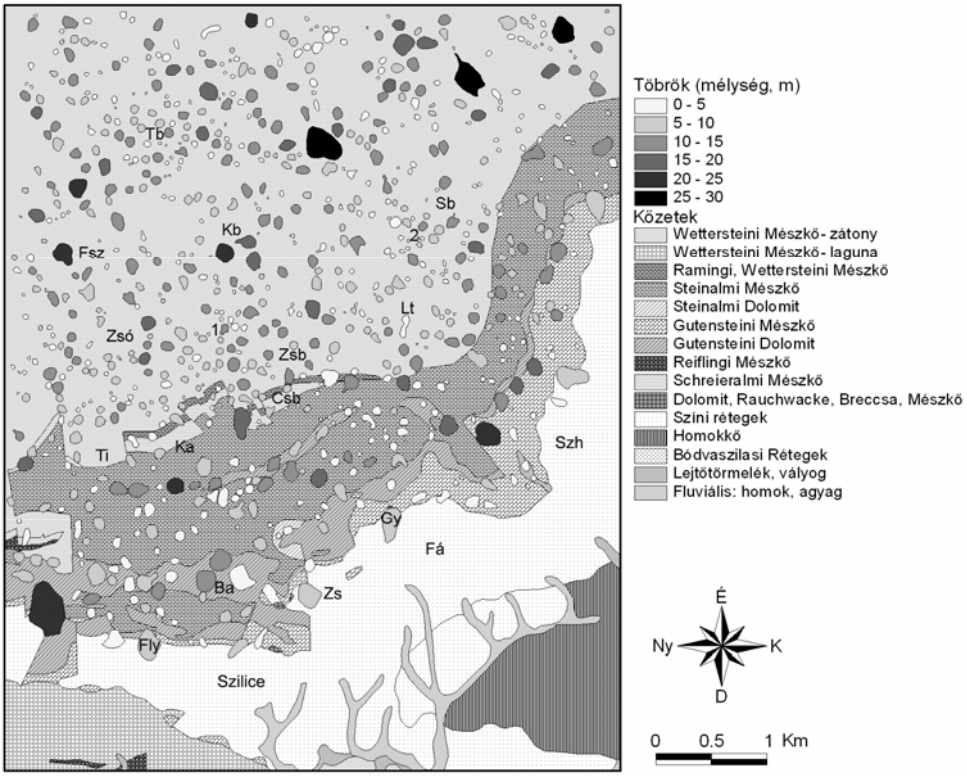
Kiindulásként egy térinformatikai adatbázist építettünk fel az alábbi alapadatokkal:
- szlovák topográfiai térkép (1:10 000; szintvonalköz: 2m),
- digitális domborzatmodell (erre a konkrét elemzésekben nem volt szükségünk, csak egyes ábrázolásokhoz, így a topográfiai térképhez képest jóval gyengébb felbontású – kb. 90m – SRTM-adatok is megfeleltek),
- szlovák-Karszt geológiai térképe (*MELLO, J.,* 1996).

A topográfiai térkép alapján készültek el digitalizálással az alábbi állományok:
- töbör-határok (legkülső zárt szintvonal digitalizálásával – az egyértelmű és egységes adatkezelés miatt választottuk ezt az elvet, mert a digitalizálást többen végezték; Tekintettel a 2m-es szintvonalközre, ez a definíció aránylag kevéssel becsüli alá a töbrök kiterjedését),
- töbör-középpontok.

Az így kialakított adatbázis segítségével lehetőség nyílt a töbör-morfometriai elemzések elvégzésére, melyek közül az alábbi jellemzőket vizsgáltuk:
- méret-jellemzők (kerület, terület, mélység, térfogat),
- alak-jellemzők (kerekítettség),
- térbeli eloszlás (sűrűség),
- irány-statisztikai jellemzők (hossztengely, legközelebbi szomszéd azimutja).

A térinformatikai megközelítés előnye, hogy mindezeket a jellemzőket különböző összeállításokban lehet térképeken ábrázolni, illetve például kőzettípus szerint elkülöníthetők a számított töböradatok.

Az alap és digitalizált adatok közül a kőzetek és a töbör-határok láthatók a *2.ábrán*.




*2. ábra: A mintaterület kőzettani térképe a töbrökkel (Rövidítések: Ba: Bikkalja; Csb: Csobán-bikk; Fá: Fábiánszög; Fly: Farkas-lyuk; Fsz: Furjánszög; Gy: Gyökérréti-tó; Ka: Kakas-bérc; Kb: Kerek-bikk; Lt: Legyes-tető; Sb: Sas-bikk; Szh: Szombat-hegy; Tb: Tiszta-bikk; Ti: Tilalmas-tető; Zs: Zsebce; Zsb: Zsebce-bikk; Zsó: Zsóna-bikk)*
*Fig.2: Geologic map and dolines of the study area*

## A mintaterület vázlatos felszínalaktani jellemzése terepi megfigyelések alapján

### *A redőszárnyak mentén kialakult karszt-formakincs*

Az egész Gömör–Tornai-karszt legszebb kőzethatáron kialakult víznyelősora figyelhető meg a Gombaszög-Szilice-Torna-völgy között húzódó antiklinális hát (palasáv) mentén, amelyről magasabb helyzete miatt lefolynak a vizek, és a szomszédos gutensteini mészkő peremén nyíló víznyelőkben

tűnnek el. A jégkorban a periglaciális éghajlat következtében felerősödött lejtős tömegmozgások által áthalmozódott málladék a vakvölgyek alján eltömte a kőzet repedéshálózatát. Bár nyílt szájú víznyelő egyik lápában sem figyelhető meg, a vastag málladékrétegen át a legcsapadékosabb időben is elszivárog a víz a Gutensteini Mészkő- és Dolomitsáv felé. A Szombat-hegy É-i lejtőin három egymáshoz szorosan tapadó aszimmetrikus víznyelőtöbör jelzi a mészkő és palasáv határát. Tovább É felé morfológiailag már kevésbé szembetűnő a kőzethatár. Kisebb töbrök, víznyelők mindenhol kialakultak a szerkezeti határon, de a Szombat-hegytől távolodva elkeskenyedik a palasáv és magassága is alig nagyobb a szomszédos mészkőterületekénél, ezért a vízzáró kőzetek felszínéről már csak elenyészően kevés víz folyik le a karsztfennsík irányába.

Nagyon érdekes felszínformák alakultak ki a Gutensteini Dolomit felszínén és határán is, amely párhuzamosan fut a vízzáró palákkal, de attól elválasztják a gutensteini mészkő keskenyebb-szélesebb sávjai. Az előző részben említett pala- és mészkősáv határán kialakult vakvölgyek felé, a dolomit felszínéről szép szabályos aszóvölgyek futnak le, amelyek eredetileg vízlevezető völgyek lehettek, de már töbörsorrá alakultak át.

A Szilice környéki területekről készített földtani és morfológiai térkép egybevetése arról tanúskodik, hogy a dolomitsávok a völgyképződés számára kedvezőbb feltételeket nyújtottak, és gyorsabban alacsonyodtak, mint a tisztán mészkőből felépülő sávok. Nagyon szembetűnő ez Szilicétől É-ra, ahol a Steinalmi Mészkő magasabbra emelt tetőit körben a Gutensteini Dolomit határolja, és az utóbbi felszíne mindenhol alacsonyabban fekszik, rajta töbrök, töbörsorok, uvalák és vakvölgyek alakultak ki. A terepen folytatott megfigyelések szerint itt a dolomit térszíneken nagyobb számban és méretben alakultak ki töbrök, mint a szomszédos steinalmi mészkő felszínén.

A Farkas-árokba É–ÉK felől betorkolló korróziós völgy folytatásában egy völgyi töbörsor helyezkedik el, amely a Gutensteini Dolomit keskeny sávjában húzódik. A fenti töbörsort a Steinalmi Mészkő magasabb tetőket hordozó tömbje veszi körül. Steinalmi Mészkő tetők veszik körül a Bikkalja nagy katlanát (uvaláját) is Szilicétől É-ra.

Szilicétől ÉK felé töbrök, töbörsorok, uvalává egyesülő töbrök és víznyelőtöbrök jelzik a dolomit és a szomszédos mészkősávok határát. Ugyancsak a Gutensteini Dolomit keskeny sávjához kapcsolódik (legalábbis fele részben) az a völgyi dolinasor, amely Szilicétől ÉNy-ra a Borzlyuk-tető és a Tilalmas-tető közt kezdődik, és legalább két km hosszúságban követhető K-ÉK felé. Ugyanabban az ívben hajlik, mint a fennsík peremét követő kőzetsávok. Alján mintegy negyven töbör található.

A Gutensteini Dolomit és a fennsík főtömegét alkotó Wettersteini Mészkő területe közt húzódik a Steinalmi Mészkő sávja. A Steinalmi Mészkő és a Wettersteini Mészkő határa egyben morfológiai határ is. A Steinalmi Mészkő területét egymáshoz szorosan kapcsolódó hegyhátak és karrmezőkkel borított magasabb tetők foglalják el, amelyeket helyenként csak pár méter magas lépcső választ el a szomszédos Wettersteini Mészkő felszínén kialakult sekély karsztos medencéktől. Ugyanezen a határon bukkan fel keskeny, nem összefüggő, erősen tektonizált sávokban a Schreieralmi és a Reiflingi mészkő.

A Steinalmi Mészkő lapos, nagy kiterjedésű tetői legalább 600 m magasságba emelkednek. A fenti tetőket haránttörésekhez igazodó töbörsorok választják el egymástól, az erősen karrosodott kopár tetőkön azonban feltűnően csekély számban jelennek meg töbrök.

*A szinklinális belső részeinek formái*

A fennsík központi részét felépítő Wettersteini Mészkő területe az autogén karsztokra jellemző oldásos formákat hordozza (*JAKUCS* 1971). A fennsík belső részét, nagyjából a Kis-hegy (679 m), Tilalmas-tető (631 m) és a Sas-bikk (606 m) által határolt háromszög alakú területen egy nagy kiterjedésű, sekély medenceség foglalja el. Medence jellege a terepen alig felismerhető, felszíne alig különbözik a szomszédos tetőktől, ellenben feltűnően nagy számban fordulnak elő benne töbrök. E nagy központi mélyedést szigetszerűen kiemelkedő hátak és tetők (Furjánszög, 623 m; Kerek-bikk, 626 m; Zsóna-bikk, 626 m és Zsebce-bikk, 613 m) három jól elkülönülő medencerészre osztják. A három elkülönülő medence közül csak a háromszög alakú lefolyástalan mélyedés ÉNy-i csúcsához közel eső mélyedésnek van neve, ez a Tiszta-bikk. A másik két medencerészt név hiányában a tájékozódás egyszerűsítése érdekében számokkal jelöltük. (A háromszög DNy-i csúcsához közel eső medence az 1. számú, a K-i csúcsánál lévő pedig a 2. számú, *2. ábra*).

Mind a három karsztos medence lapos, esetleg kissé lejtős alját (a Tiszta-bikk alja 550-560 m-en, az 1. számú medence talpa 590-595 m magasságban fekszik, a 2. számú medencét egy lépcső egy magasabb 580 m-es Ny-i, és egy alacsonyabb 560 m-es K-i részre osztja) szinte a felismerhetetlenségig tagolják a töbrök. A dolinák nem csak magányosan fordulnak elő, hanem sorokba, vagy csoportokba rendeződve is, némelykor 20-30 m mély fészkeket, gödröket alkotva. Maguk a töbrök nagyon sokféle méretűek és formájúak. Vannak szimmetrikusak és aszimmetrikusak, sekélyek és mélyek, tányér, tál és tölcsér alakúak, utóbbiak alján legtöbbször víznyelő nyí-

lik. Általában kisebb méretűek, mint a tetők magányos dolinái és fiatalabbak is azoknál.

*JAKÁL* (1975) morfogenetikai vizsgálatai szerint a medencéket körülölelő és a belőlük szigetszerűen kiemelkedő karsztos hegyhátak, tetők az eredeti pannon elegyengetett felszín maradványai, a rajtuk lévő nagyobb méretű töbrök a pannontól napjainkig zavartalanul fejlődhettek. A zárt medencék szerinte az eredeti felszín völgyeiből alakultak ki. Kimélyülésük a rodáni tektonikai mozgások meghatározó, fő szakaszához köthető, amikor a gyors kiemelkedés és az ezzel együttjáró karsztvízszintcsökkenés felújította a karsztosodást. A felszín kitakarózása (exhumálódása) és a kőzet repedéshálózatának újbóli kinyílása intenzívebb beszivárgással járt együtt, aminek következtében a felerősödött karsztkorrózió a korábban létrejött felszínformák kimélyülését eredményezte. A medencék homogén kőzetfelszínen történő kimélyülésében mikrotektonikai hatásokat és tektonikai preformációt is feltételez. A medence felszínébe százszámra mélyedő töbrök kialakulásának idejét a karsztos medence kialakulása utáni fejlődési szakaszra teszi. A töbörsorokat a régi vízfolyások völgyeinek maradványaként értelmezi, vagy egyszerűen a tektonikai vonalak mentén lejátszódó karsztos korrózióval magyarázza kialakulásukat.

Terepi megfigyeléseink szerint a nagy összefüggő, sekély lefolyástalan mélyedések kialakításában döntő szerepet játszott a Szilicei-fennsík É-i részének korábban ismertetett geológiai szerkezete. A szinklinális szerkezet redőszárnyain magasba emelkedő kőzetsávok, és a karsztfennsík peremén kiemelt tetők eredendően befelé irányuló vízhálózatot alakítottak ki. A vízhálózat kialakulásának kezdeti szakaszában a fedőrétegek vastagsága még elég volt a felszíni vízfolyások fenntartására. A fedőrétegek lehordása és elvékonyodása után azonban a vízfolyások fokozatosan áttevődtek a mélybe, ám a gyűrt rétegek dőlését követve továbbra is a fennsík belseje felé tartó vízmozgás volt a jellemző. A befelé és lefelé irányuló vízáramláshoz kapcsolódó karsztos korróziónak volt döntő szerepe a Szilicei-fennsík központi medencéjének kialakításában, amelyet a tektonikus adottságok (kőzethatárok, törésvonalak, mikrotektonikus adottságok) helyenként felerősíthettek, máshol gyengíthettek.

A felszínformáló folyamatok helyi különbségei hozták létre a karsztfennsík eltérő magasságú szintjeit a megfelelő kis- és nagyformákkal: a karsztfennsík jellemző tetőszintjét, az abból kiemelkedő karsztos hegyhátakat (völgyközi hátak), a karsztos medencéket és az azokba ágyazódó töbörfészkeket (uvala).

## Töbör-morfometriai eredmények

*Jellemző méretek, összehasonlítás az Aggteleki-karszttal (1. táblázat)*

*1. táblázat*
*Table I.*

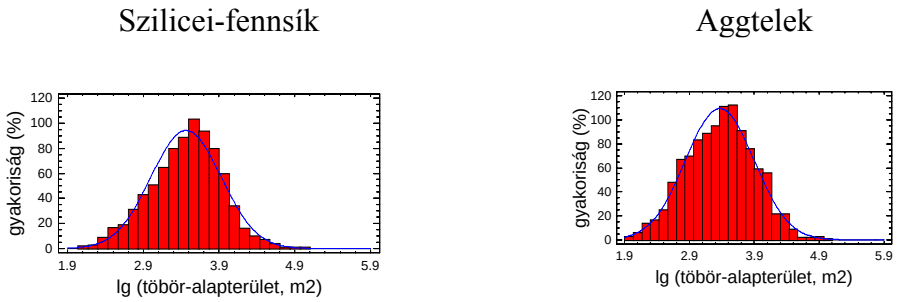
*Töbör-morfometriai adatok*
*Doline morphometric data*

| kőzettípus | elterjedési terület [km$^2$, %] | | töbörszám [db, %] | | töbör-peremek átlagos magassága [m t.sz.f.] | átlagos töbör-terület [m$^2$] | átlagos töbör-mélység [m] | átlagos töbör-kerekítettség | töbör-sűrűség [db/km$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gutensteini Mészkő | 1,60 | 5,87 | 34 | 4,15 | 554 | 7743 | 6,0 | 0,87 | 21,1 |
| Gutensteini Dolomit | 1,87 | 6,83 | 31 | 3,78 | 551 | 14383 | 6,7 | 0,89 | 16,6 |
| Ramingi, Wettersteini Mészkő | 0,13 | 0,51 | 5 | 0,61 | 585 | 6297 | 5,4 | 0,93 | 35,9 |
| Reiflingi Mészkő | 0,02 | 0,08 | 0 | 0,00 | | | | | 0,0 |
| Schreieralmi Mészkő | 0,31 | 1,13 | 10 | 1,22 | 586 | 7116 | 7,9 | 0,86 | 32,3 |
| Steinalmi Dolomit | 0,05 | 0,20 | 1 | 0,12 | 572 | 1882 | 1,0 | 0,97 | 18,6 |
| Steinalmi Mészkő | 5,67 | 20,71 | 152 | 18,54 | 565 | 5760 | 5,8 | 0,90 | 26,8 |
| Színi rétegek | 1,02 | 3,75 | 6 | 0,73 | 559 | 19636 | 4,7 | 0,81 | 5,8 |
| Wettersteini Mészkő | 16,65 | 60,78 | 579 | 70,61 | 577 | 3966 | 7,1 | 0,91 | 34,8 |
| Egyéb | 0,03 | 0,14 | 2 | 0,24 | 555 | 3721 | 1,0 | 0,93 | 52,1 |
| Szilicei-fennsík, mintaterület | 27,4 | 100 | 820 | 100 | 573 | 5013 | 6,8 | 0,90 | 30,0 |
| Aggteleki-karszt | 110,9 | | 1088 | | 428 | 4740 | 6,4 | 0,84 | 9,81 |

A mintaterület 27,4 km$^2$-es összterületén – a zárt szintvonalak (2m-es köz) alapján – összesen 820 töbör jelölhető ki, így az átlagos dolina-sűrűség igen magas, 30 db/km$^2$–es értékkel jellemezhető, ami jelentősen meghaladja az Aggteleki-karszt töbrös területeire számított 9,8 db/km$^2$-es átlagot. A töbrök túlnyomó többsége a terület 4 meghatározó kőzettípusához köthető: a Wettersteini Mészkőhöz, a Steinalmi Mészkőhöz és a Gutensteini Mészkőhöz illetve Dolomithoz – ebben a sorrendben csökkenő töbörsűrűséggel. A töbrök kőzettípusok szerint számított átlagos tengerszint feletti magassága meglehetősen kis tartományon belül mozog (551m és 586m között), ezzel számszerűen is jelzi a Szilicei-fennsík egyenletes plató-jellegét és az Aggteleki-karszt dolinás térszíneihez (átlagos t.sz.f.m.: 428m) viszonyított kiemelt helyzetét. A Szilicei-fennsík töbrei némileg nagyobbak (alapterület, mélység) és szabályosabbak (kerekítettség) az aggteleki dolina-populációhoz mérve, ám ez a különbség nem nevezhető jelentősnek.

Az újfajta töbör-morfometriai eljárásoknak köszönhetően a statisztikai mennyiségű töbör-adat alapján az egyes jellemzők gyakorisági eloszlá-

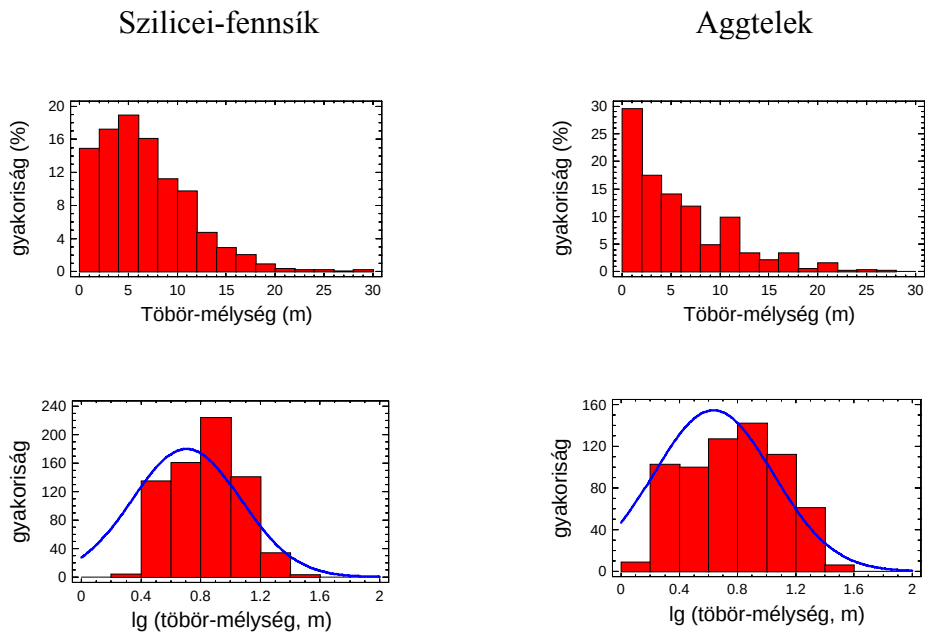
sát is vizsgáltuk. Mind a Szilicei-fennsík, mind pedig az Aggteleki-karszt töbör-alapterületeiből szerkesztett hisztogramok (*3. ábra*) közelítőleg lognormális képet mutatnak, azaz szemilogaritmikus ábrázolás esetén haranggörbe illeszthető az eloszlásokra. Ezt az eloszlás-típust tapasztaltuk bükki (*VALYON* 2005) illetve biokovoi (*TELBISZ* 2004) töbör-sokaságokon egyaránt, és valószínűnek látszik, hogy általános karsztfejlődési törvényszerűségről van szó, azonban ennek a tételnek az igazolásához, esetleges pontosításához (milyen feltételek esetén érvényes?) további területek morfometriai elemzésén keresztül vezet az út.




*3. ábra: Töbör-alapterület logaritmusának gyakorisági eloszlása*
*Fig. 3: Frequency distribution of the logarithm of doline area*

A töbrök mélysége[1] (*4. ábra*) úgy tűnik, hogy nem ragadható meg valamely egyszerű eloszlás-típussal. A két mintaterület között lényeges eltérésnek tűnik, hogy míg Aggteleken a legsekélyebb töbrök (0-2m, tehát csak egy zárt szintvonal jelzi) jelentik a legnépesebb osztályt, addig a Szilicei-fennsíkon a 4-6m-es kategória a leggyakoribb. Ez a tény a Szilicei-fennsík kiemeltebb helyzetéből adódó erőteljesebb függőleges irányú töbörfejlődéssel magyarázható.

[1] *A töbör-mélységgel kapcsolatban megjegyzendő, hogy a térképről leolvasott értékek eleve „kvantáltak" a szintvonalak miatt, így az eloszlások képében ez a körülmény is torzulást eredményezhet, ráadásul a szintvonalköz nem egyezik meg a két terület térképein, így az eredményeket illetően némi óvatosság indokolt.*




*4. ábra: Töbör-mélység gyakorisági eloszlása*
*Fig 4: Frequency distribution of doline depth*

A karsztfennsíkok lepusztulásának egyik fontos összetevője a negatív felszínformákban „*testet öltő*” hiányzó anyagmennyiség, amelyet a töbör-morfometriai adatok alapján ki lehet számolni. Ez a teljes lepusztult anyagmennyiségnek csupán egy részletét jelenti, hiszen a nagyobb völgyek, sőt az uvalák hiányoznak belőle, másrészt a lepusztulásnak nem kizárólagos módja a karsztos oldás, mégis a töbrök számított össztérfogata sokat elárulhat egy adott terület karsztos lepusztulásának nagyságrendjéről, a töbrösödés fejlettségéről. Az egyszerűsített gömbsüveg-szabály felhasználásával ($V = \frac{A \cdot h}{2}$, ahol $V$ a töbör térfogata; $A$ az alapterülete; $h$ a mélysége) a szilicei-fennsíki mintaterületre a töbrök össztérfogata $2{,}2 \cdot 10^7$ $m^3$-nek adódik, amelyet a vizsgált terület nagyságával (27,4 $km^2$) elosztva mm-egyenértékben kaphatjuk meg az egységnyi vízszintes területre jutó lepusztulást, melynek értéke jelen esetben: 802 mm. Ezt felhasználva a töbrösödés hatására bekövetkező hosszú távú átlagos lepusztulás üteme kifejezhető a lepusztulási idő (töbrök becsült kora) függvényeként (ábrával együtt ld. *TELBISZ-DRAGAŠICE-NAGY*, 2005). Ez a konkrét esetben számszerűen azt jelenti, hogy ha a töbrök korát például 2,5 millió évre becsüljük, akkor a hosszú távú átlagos lepusztulási ütem: 0,32mm/ka (ka=1000 év), míg 0,5 millió év esetén ugyanez a ráta: 1,6mm/ka.

*Különbségek kőzettípus szerint*

Vizsgálataink egyik fontos kérdése volt, hogy vajon a csekély éghajlati, növényzeti, domborzati különbségek mellett az alapkőzet milyen mértékben határozza meg a kialakuló töbrök alakját, méreteit. Ennek a kérdésnek a megválaszolásához érdemes néhány fontos morfometriai mutatót kőzettípus szerinti bontásban egymás mellett ábrázolni. Ehhez a legalkalmasabb eszközt az ún. *box-whisker diagram*[2] jelenti. Az összehasonlításokhoz azt az 5 alapkőzetet emeltük ki, melyeken legalább 10 töbör található. Az adatok értékelésénél azonban figyelembe kell venni, hogy a töbrök megoszlása rendkívül egyenlőtlen, van olyan kőzet, amelyhez 10 töbör tartozik és van olyan is, amelyikhez 579 (ld. *1. táblázat*).

*A) A töbrök területében*

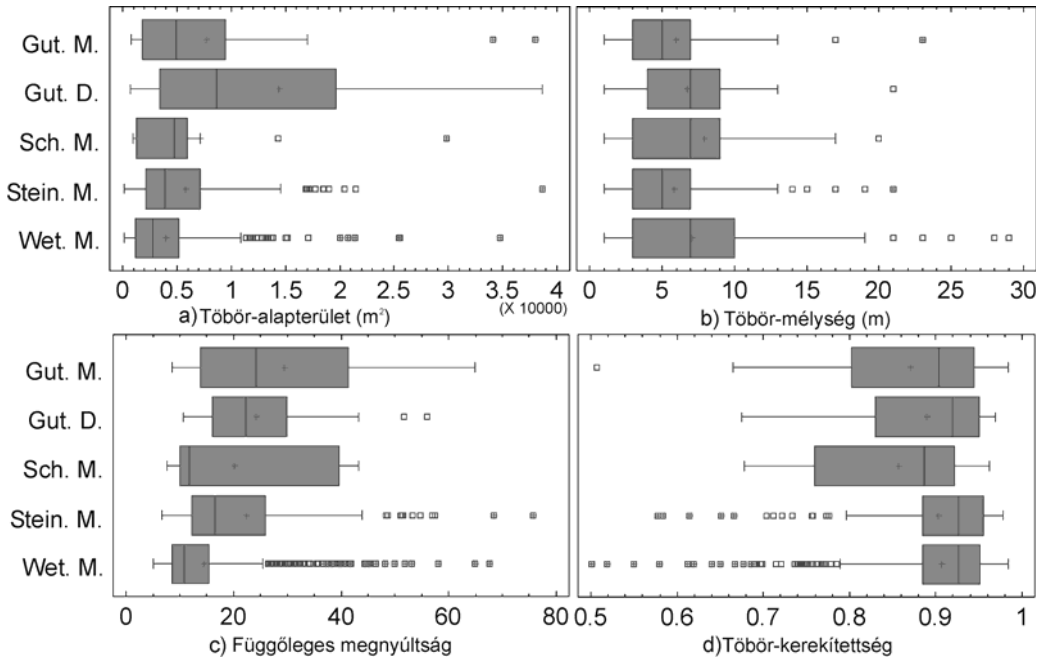
Az *5.a ábra* statisztikailag is igazolja azt a terepi megfigyelést, hogy a Gutensteini Dolomiton markánsan nagyobb kiterjedésű zárt mélyedések (töbrök) alakultak ki, amelyet kőzettani okokkal magyarázhatunk. A további négy, különböző mészkőtípushoz köthető terület vízszintes töbörméretei meglehetősen hasonló tartományba esnek, melyen belül a Gutensteini Mészkőre inkább a nagyobb, a Wettersteini Mészkőre pedig inkább a kisebb töbrök jellemzők.

*B) A töbrök mélységében*

A töbör-mélység (*5.b ábra*) szempontjából viszonylag egyveretű a kép: mindegyik kőzettípusra érvényes, hogy a töbrök középső 50%-a a 3-10m-es mélységi kategórián belül esik. Ezen belül kissé sekélyebbek a Gutensteini Mészkövön és a Steinalmi Mészkövön kifejlődött töbrök. A legmélyebb töbrök zömét ugyanakkor a Wettersteini Mészkövön találhatjuk (maximum: 29m). Ez a mutató tehát önmagában nem igazán tükrözi a kőzettani különbségeket.

---

[2] *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 „kívülálló" 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.*




*5. ábra: Töbör-jellemzők kőzettípus szerinti eloszlása. a) alapterület; b) mélység; c) függőleges megnyúltság; d) kerekítettség. Gut. M: Gutensteini Mészkő; Gut. D: Gutensteini Dolomit; Sch. M: Schreieralmi Mészkő; Stein M: Steinalmi Mészkő; Wet. M: Wettersteini Mészkő.*

*Fig 5: Doline characteristics distributions according to rock type. a) area; b)depth; c) vertical ratio; d)roundness. Gut. M: Gutenstein Limestone; Gut. D: Gutenstein Dolomite; Sch. M: Schreieralm Limestone; Stein M: Steinalm Limestone; Wet. M: Wetterstein Limestone.*

Egy töbör mélységét a töbör vízszintes kiterjedése nyilván jelentősen befolyásolhatja, ezért a dolinák alakjában megnyilvánuló különbségek értékelésénél ezt célszerű kiküszöbölni. Ezért a vízszintes megnyúltság (=hossz/szélesség) analógiájára használhatjuk a függőleges megnyúltság (=hossz/mélység) mutatószámot[3], amely képletesen az 1 m töbörmélységre jutó tengelyhosszt fejezi ki. Az ennek alapján készített *5.c ábra* már sokkal hangsúlyosabban mutatja a töbrök kőzettípus szerinti változatosságát: a Gutensteini Mészkő és a Gutensteini Dolomit töbrei (és a Schreyeralmi Mészkő töbreinek egy része) nagy kiterjedésükhöz képest viszonylag sekélyek, tehát fejlődésükben az oldalirányú, szélesedő (tányérosodó) folyamatok nagyobb szerepet játszhattak. Ezzel ellentétben a Wettersteini Mészkövön kialakult töbröknél tapasztalható a legmarkánsabb függőleges irányú fejlődés.

[3] *E mutatószám megnevezése az analógia alapján így indokolt, ám értelmezése szerint: minél nagyobb ez az érték, a töbör viszonylagosan annál sekélyebb, laposabb alakú.*

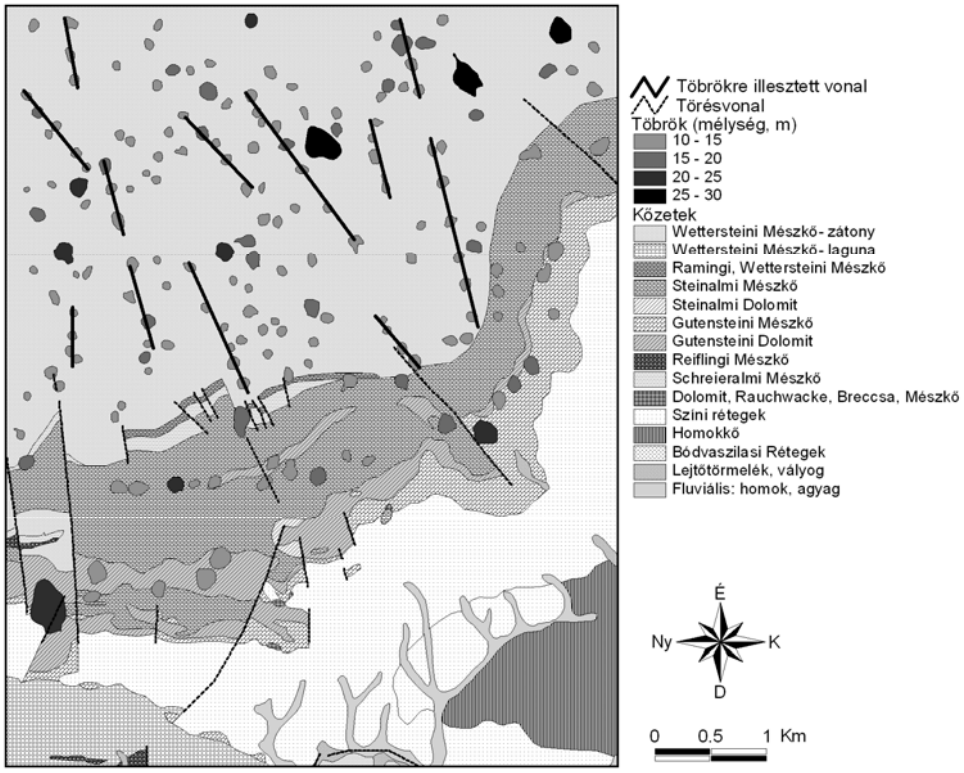
*C) A töbrök kerekítettségében*

A töbrök vízszintes alakját a vízszintes megnyúltság, a kerekítettség (=(4π·Terület) / Kerület$^2$) és a kompaktság ($\sqrt{4 \cdot \text{Terület}/\pi}$/hosszúság) hasonló módon jellemzi (*TELBISZ 2003*), ezek közül most technikai (szoftver) okok miatt a kerekítettséget választottuk (*5.d ábra*). A Wettersteini Mészkő és a Steinalmi Mészkő dolináinak 0,9 fölötti értékei azt jelzik, hogy ezeken a kőzettípusokon a töbrök túlnyomó többsége viszonylag szabályos, megközelítően kör alakú (bár ezeken a területen is akad szép számmal kilógó érték). A másik három kőzettípuson belül viszont jelentős arányt képviselnek a szabálytalanabb alakú, erősebben megnyúlt, aszóvölgyekben kialakuló dolinák.

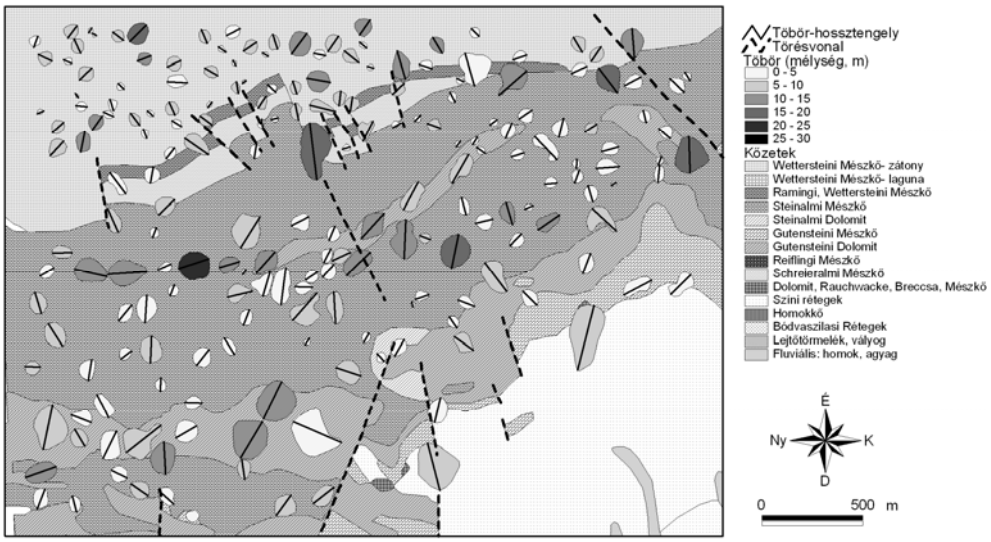
*Tektonikus hatások*

A szerkezeti viszonyok töbörfejlődésre gyakorolt hatásainak kimutatásához a vonalas elemek és a jellemző irányok meghatározása jelenthet fontos támpontot. A töbrök elhelyezkedését vizsgálva a *2. ábra* alapján igencsak kusza kép tárul a szemeink elé, mely első látásra nem sok eligazodást kínál. Ha azonban feltételezzük, hogy a tektonikus elemek (elsősorban: törésvonalak) elősegítik a töbrök mélyülését, és ennek érdekében – egyszerű térinformatikai művelettel – kiválogatjuk a 10 m-nél mélyebb töbröket (182 db), akkor a *6. ábra* tanúsága szerint jól értelmezhető ábrához jutunk. A mély dolinák vonalas elrendeződése sok helyen nyilvánvaló, amelyet a rájuk illesztett vonalakkal hangsúlyoztunk ki. Ezek az ÉÉNy-DDK-i irányú töbörsorozatok[4] zömmel Wettersteini Mészkővön fordulnak elő, és nagyjából párhuzamosak a geológiai térképen (többnyire inkább a többi kőzet területén) jelölt törésvonalakkal. Ezen kívül még szintén vonalas elrendezés figyelhető meg elsősorban a Steinalmi Mészkőbe ékelődő vékony Gutensteini Dolomit sávokhoz kapcsolódóan. Ezek a vonalak azonban a felszínre bukkanó antiklinális szárny lefutásához igazodva Ny-K-i, majd keletebbre egyre inkább É-D-i irányúak.

[4] *Szándékosan nem töbörsorok, mert nem kizárólag egy völgyben, egymás után következő töbrökből állnak ezek a sorozatok.*



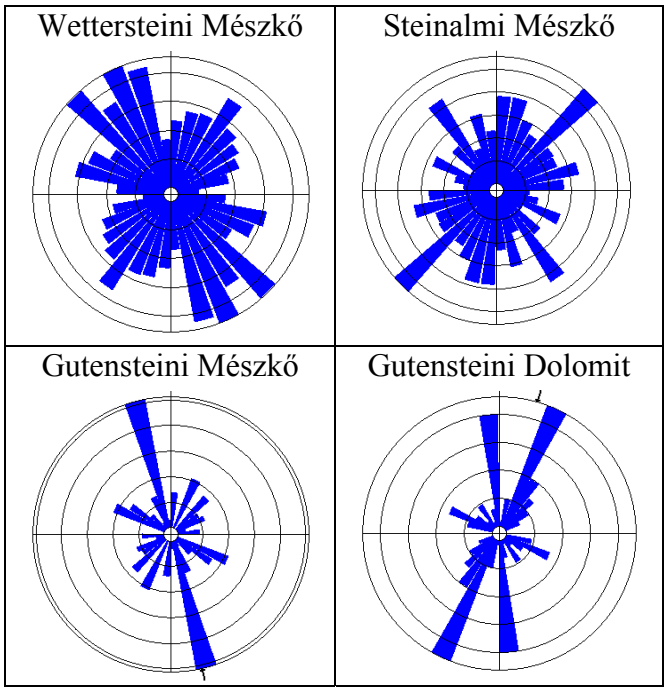

*6. ábra: A mintaterület 10m-nél mélyebb töbrei*
*Fig 6: Dolines deeper than 10 m*




*7. ábra: Töbör-hossztengelyek meghatározása (részlet)*
*Fig 7: Doline long axes (part of the study area)*

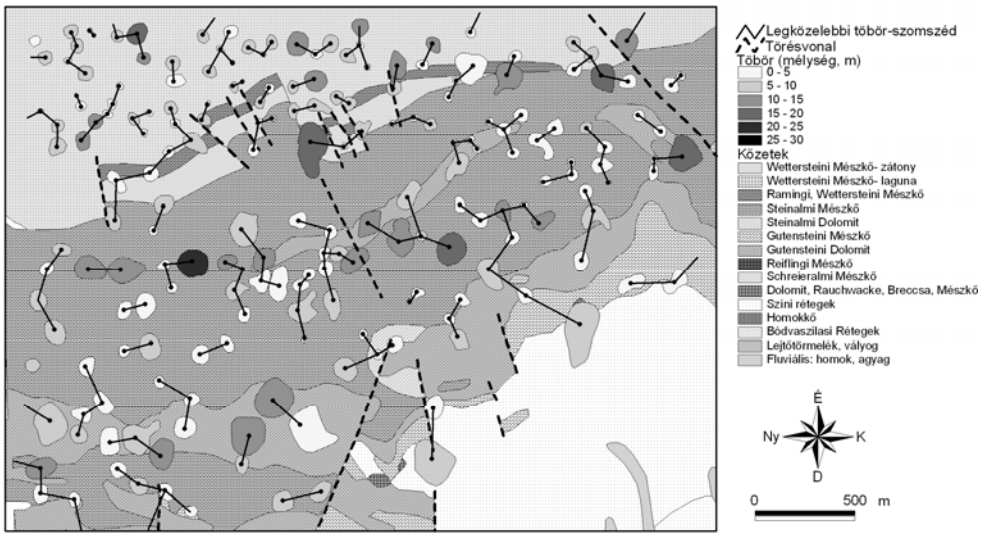
Nem csupán a töbrök térbeli elrendeződése, de megnyúlásuk iránya is sok esetben – gyakran a völgyirány révén közvetett módon – a törésvonalak irányához igazodik. A töbrök hossztengelyének kijelölése és azimutjának meghatározása térinformatikai környezetben szintén viszonylag egyszerűen elvégezhető művelet. Jelen vizsgálatokhoz az *ArcView 3.2*-höz készült „*Longest Straight Line*" kiterjesztést (*JENNESS* 2003) használtuk, és ennek megfelelően a töbrök tengelyét a töbörbe húzható leghosszabb egyenes vonalként definiáltuk. Ennek eredményét a jólláthatóság érdekében egy részlettérképen (*7. ábra*) mutatjuk be.

A töbör-hossztengelyek északi iránnyal bezárt szöge alapján kőzettípusonként külön rózsa-diagramokat szerkesztettünk (*8.ábra*). A rózsadiagramok készítésénél a tengelyirányokat a tengely hosszával súlyozva vettük figyelembe. Ezekről leolvasható, hogy a töbrök megnyúltsága – kőzettípusonként különböző mértékben – a fő törésirányhoz (310°-350°) illetve egy másodlagos irányhoz (40°-50°, Gutensteini Dolomitnál: 20°-30°) igazodik. Ez a második irány a korábbiak szerint részben az antiklinális redőszárnyainak csapásirányához kapcsolható, és ily módon a töbrök réteg- ill. kőzethatár menti megnyúlását jelzi, illetve feltételezhető a fő törésirányra közel merőleges másodrendű törések szerepe is.




*8. ábra: Töbör-hossztengelyek alapján szerkesztett rózsa-diagramok kőzettípus szerint*
*Fig 8: Rose diagrams of doline long axes according to rock type*

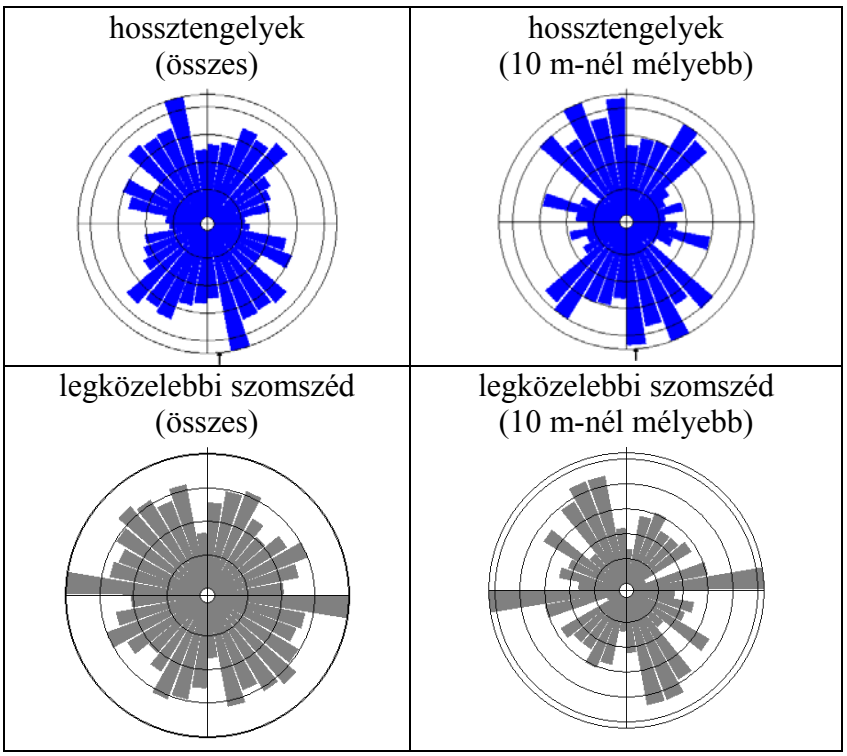
Egy terület töbrös fejlődésének megértésében, a térbeli mintázat elemzésében segítséget jelenthet, ha megvizsgáljuk, hogy egy töbörtől milyen irányba és milyen távolságra esik a legközelebbi szomszédja (*KEMMERLY* 1986, *TELBISZ* 2003). A *„Nearest Feature”* kiterjesztés (*JENNESS* 2004*)* segítségével elvégzett művelet eredmény-térképének egy részletét mutatja be a *9. ábra*.




*9. ábra: Legközelebbi töbör-szomszéd meghatározása (részlet)*
*Fig 9: Doline nearest neighbour (part of the study area)*

A hossztengelyeknél tapasztaltakkal ellentétben azonban ezen a térképen nehezen ismerhetők fel jellegzetes irányok, és ezt a megfigyelést igazolja a legközelebbi töbör-szomszéd irányok alapján szerkesztett rózsadiagram (*10. ábra*) is, amelyen a meglehetősen homogén irány-eloszlásból éppenhogy csak kiemelkedik egy nagyjából Ny-K-i irány. Ha azonban a 10 m-nél mélyebb töbrökre leszűkítjük a vizsgálatot, akkor már kiugrik a hossztengelyekre is jellemző 320°-350°-os tartomány és felismerhető egy 10°-60°-os intervallum is. Ugyanakkor megmarad a kiugró Ny-K-i irány, amely elsősorban a vizsgált terület Ny-i felében hasonló lefutású réteg- és kőzethatárokhoz köthető.

Ennek alapján kijelenthető, hogy míg a nagyobb (mélyebb) töbrök kialakulását és térbeli mintázatát jelentős mértékben befolyásolja a törésvonalak lefutása és a réteg- ill. kőzethatárok redőszárnyakhoz igazodó elhelyezkedése, addig a kisebb (sekélyebb) töbrök térbeli eloszlását viszonylagos összevisszaság jellemzi.



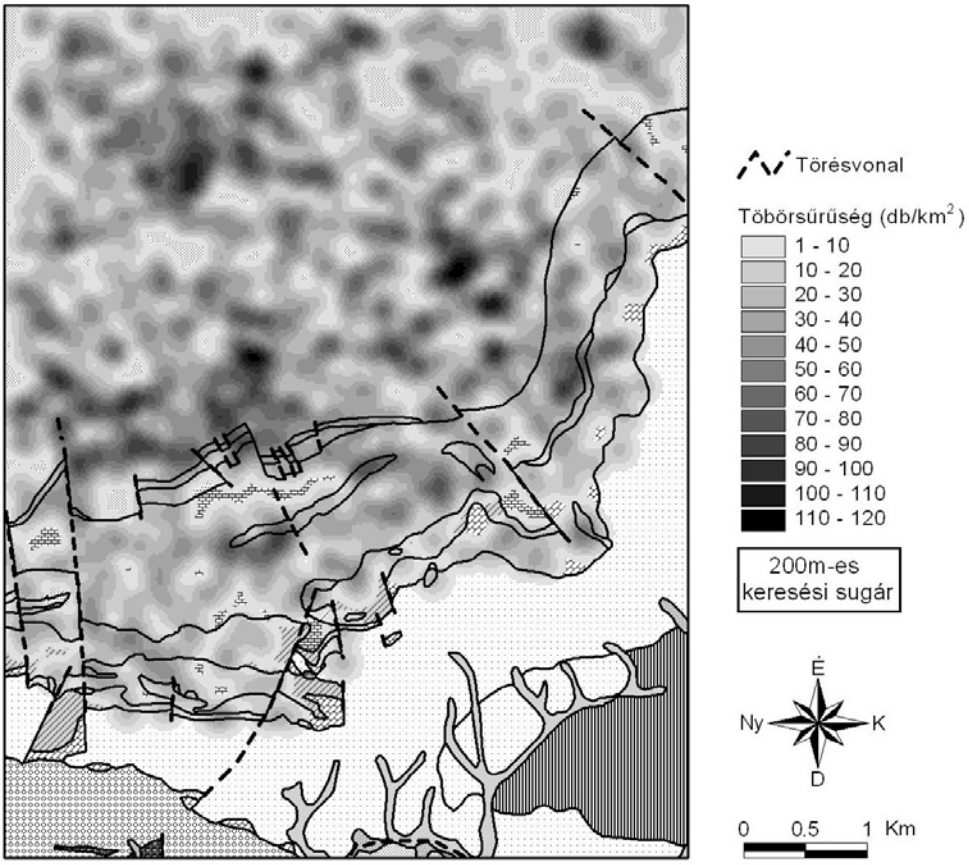

*10. ábra: Töbör-hossztengelyek illetve legközelebbi töbör-szomszéd irányok alapján szerkesztett rózsadiagramok (az összes töbör /820db/ ill. csak a10 m-nél mélyebb töbrök /182db/ adataiból)*
*Fig 10: Rose-diagrams of doline long axes and nearest neighbour azimuths (from data of all dolines (N=820) and of dolines deeper than 10 m (N=182))*

## *Sűrűség*

A töbörsűrűség kérdéskörében a térinformatikai megközelítés szintén új lehetőségeket hordoz: nem csupán egy kisebb-nagyobb terület átlagos töbörsűrűségét lehet kiszámítani, hanem folytonos sűrűség-eloszlás térképet is lehet készíteni a töbrök elhelyezkedése alapján (*ArcView 3.2 „Calculate Density", Kernel-algoritmus*). Ezt kétféle keresési sugárral (200m, 400m) is elkészítettük (*11, 12. ábra*). Az így számolt töbörsűrűség számértékileg természetesen erősen függ az alkalmazott keresési sugártól, ezért a kvantitatív összehasonlítás csak azonos keresési sugár esetén értelmezhető, egyébként a növekvő keresési sugár csökkenő maximális töbörsűrűségi értékeket eredményez.

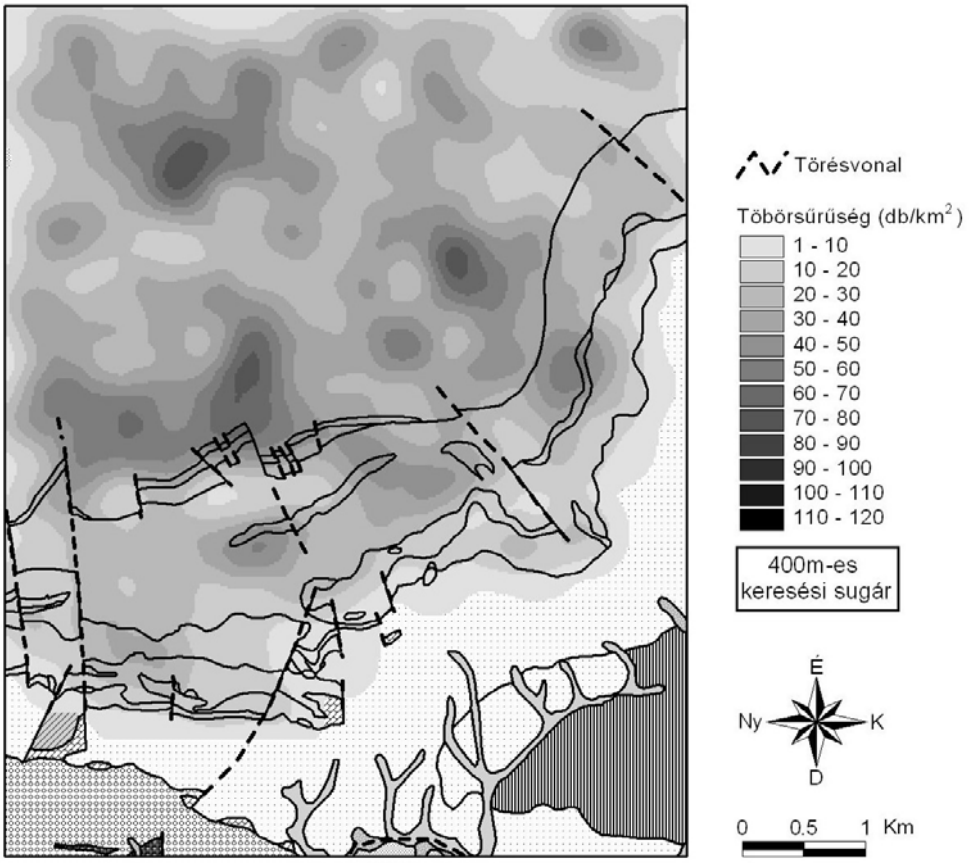
A 200 m-es keresési sugár elég kis területet fog át, így a *11. ábra* térképe még erősen tagolt sűrűséget mutat, alapvetően az alig kiemelkedő

bérceket körülölelő völgyek hálózata jelenik meg. A kisebb-nagyobb, kerekded, sötét foltok az uvalásodó gócpontokat jelölik ki, a néhol elnyúltabb jelleget öltő sötétebb sávok pedig a kőzethatároknál (Steinalmi Mészkőbe ékelődő Gutensteini Dolomitnál és a Wettersteini Mészkő peremén), illetve néhol a törésvonalak mentén tűnnek föl.




*11. ábra: A mintaterület töbörsűrűsége 200m-es keresési sugárral*
*Fig 11: Doline denstiy of the study area with search radius of 200m*

A 400 m-es kereségi sugárral készült térképen nagyon határozottan, jól körülhatárolhatóan jelenik meg az a három sűrűn töbrösödött medencerész, amelyet már a terepi megfigyelések fejezetben is említettünk. Erről az ábráról az is leolvasható, hogy az ÉNy-i, nagy dolinasűrűségű területet délről és keletről egy kevésbé töbrösödött zóna határolja, melynek lefutása a Wettersteini Mészkő peremével többé-kevésbé párhuzamos, így feltehető, hogy szintén egy szerkezetileg meghatározott sávról, kőzettípuson belüli inhomogenitásról van szó.




*12. ábra: A mintaterület töbörsűrűsége 400m-es keresési sugárral*
*Fig 12: Doline denstiy of the study area with search radius of 400m*

## Következtetések

A Szilicei-fennsík jelentős részére kiterjedő mintaterületen végzett terepbejárásaink felszínalaktani megfigyeléseit a térinformatikai vizsgálatok segítségével sikerült megerősíteni, számszerűsíteni. A domborzatilag meglehetősen egyveretű területen a kőzettani különbségek elsősorban a töbrök alapterületében és mélység/hossz arányában nyilvánulnak meg, de különbség mutatható ki a töbrök alakjában is. A legnagyobbb töbörsűrűségű Wettersteini Mészkövön találhatók a legszabályosabb alaprajzú, átlagosan legkisebb méretű, de viszonylagosan legmélyebb dolinák. Ezzel szemben lényegesen nagyobb területű, ám relatíve sekély, sokszor megnyúlt alakú töbrök jellemzik a Gutensteini Dolomit felszíneket. A tektonikus vonalak hatása elsősorban a nagyobb, mélyebb töbrök elhelyezkedésében és megnyúlási irányában ismerhető fel kvantitatív eszközökkel. E két utóbbi jel-

lemzőt (térbeli elhelyezkedés és irányítottság) a vizsgált területen a gyűrődéses szerkezetek felszínre bukkanó redőszárnyainak csapásiránya is kimutatható mértékben befolyásolja. A terület összességében véve töbrökkel sűrűn tagolt (30 db/km$^2$), de ezen belül jelentős különbségek is előfordulnak és a töbörsűrűségi térkép alapján egyértelműen meghatározható az a három – Wettersteini Mészkő területére eső – medencerészlet, ahol a töbrök sűrűsége a 80 db/km$^2$-es értéket is megközelíti nagyjából 0,5 km$^2$-es egységenként végezve a számításokat (400 m-es keresési sugár esetén). Más vizsgált területekhez hasonlóan itt is megállapítható, hogy kellő számú adat esetén a töbör-alapterületek gyakorisága lognormális eloszlással közelíthető.

Jelen dolgozatban bemutatott vizsgálati módszerünket a Gömör-Tornai karszt további területeire, valamint egyéb Kárpát-medencei karsztvidékekre is alkalmazhatónak tartjuk. Ugyanakkor ez a módszertan jó felbontású digitális domborzatmodell esetén kiegészíthető további vizsgálatokkal is (pl. töbör-aszimmetria, térfogat pontosabb becslése, stb.).

## Irodalom


*JAKÁL, J.* (1975): Kras Silickej Planiny - Vyd. Osveta 145 p.

*JAKUCS L.* (1971): A karsztok morfogenetikája - 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

*KEMMERLY, P. R.*. (1986): Exploring a contagion model for karst-terrane evolution. – Geol. Soc. of America Bulletin, 97, p. 619-625.

*LESS Gy.* (1998): Földtani felépítés - In: Baross G. (szerk.) Az Aggteleki N. P. Mezőgazda, Budapest, p. 26–66.

*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, Budapest, Kézirat, 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.

*TELBISZ T.* (2003): Karsztos felszínfejlődés és beszivárgás matematikai modellezése – PhD-értekezés, ELTE, Természetföldrajzi Tanszék, 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. 231-245.
*VALYON N.* (2005): Geomorfológiai elemzések a Bükk digitális domborzatmodellje alapján – Szakdolgozat, ELTE, Természetföldrajzi Tanszék, Budapest, Kézirat.
*ZBORAY Z.-KEVEINÉ BÁRÁNY I.* (2004): Domborzatértékelés a Bükk-fennsíkon légifelvételek felhasználásával – Karsztfejlődés IX., BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 207-213.