

ZÁRÓJELENTÉS

A KARSZTFORMÁK MÉSZKŐFEKÜJÉNEK VIZSGÁLATA C. TO48585 SZ. OTKA KUTATÁS EREDMÉNYEIRŐL

Veress Márton

1. Bevezetés

Kutatási programunkban a karsztos fekü morfológiáját, valamint a fedő vastagságát, összetételét, szerkezetét vizsgáltuk, hogy a különböző karsztos felszíni formák képződéséhez, a vizsgált mintaterületek karsztos fejlődéséhez adatokat kapjunk. Elsősorban a fedett karsztosodás folyamatát, ennek során létrejövő formák kialakulását, a képződésüket meghatározó feltételeket kívántuk elemezni. Utóbbi ismeretében a formák kialakulása előre jelezhető. Az előrejelzés jelentősége, hogy ezáltal az emberi létesítmények kockázatmentesebben tervezhetők. A kutatási helyszíneket (mintaterületek) az általunk legjelentősebbnek tartott hazai karszterületeken (Bakony-hegység, Mecsek-hegység, Bükk-hegység, Aggteleki-karszt) választottuk ki (I. táblázat). Az I. táblázat adataiból látható, hogy a kutatási programban a tervezetthez képest lényegesen több VESZ észlelést végeztünk. A vizsgált mintaterületek száma is nőtt.

A mintaterületeken előforduló főbb felszíni karsztos formák az alábbiak:

- Oldódás töbrök és uvalák, amelyek kialakulás és eredet szerint lehetnek sortöbrök és függő töbrök (JAKUCS 1971, HEVESI 1980). A függő töbrök lehetnek tányéros töbrök (HEVESI 1984), amelyek roncsötörök, ha oldallejtőjük részben hiányzik (VERESS 1992). Utóbbiak lehetnek kismértékben lefolyástalanok (félig kinyílt roncsötör), vagy teljesen lefolyástalanok (teljesen kinyílt roncsötör). A nem függő helyzetű roncsötörök uvalákhoz kapcsolódhatnak (uvalás roncsötör). Az uvalák roncsötörrei is lehetnek félig, vagy teljesen kinyíltak.
- A fedett karsztos formáknak – amelyek akkor alakulnak ki, ha a karsztos feküt lokálisan, vagy kiterjedtebben nem karsztos fedő borítja – eredetük szerint szintén több változatát különböztetik el. Így lehetnek utánsüllyedésszerű töbrök, víznyelő jellegű töbrök és víznyelős töbrök, ha kialakulásuk közvetlenül a feküben létrejött anyagihiányhoz (kürtő) kapcsolódik és a fedő nem összeáll. Utánsüllyedésszerű töbröknek két változatát is elkülönítik. A lezökkenésszerű töbröt, amely összeállóbb fedő és gyorsan létrejövő anyagihiány és a szuffúziós töbröt, amely szuffúzió, lejtőleemosás, tömörödés során alakul ki (JENNINGS 1985, DRUMM et al. 1990,

THARP 1999, WILLIAMS et al 2003, WALTHAM-FOOKES 2003, WALTHAM et al 2005). A víznyelős töbrök VERESS (1999) szerint a fekü vakkürtőinek a beomlásával jönnek létre. (Kialakulásuk jellegétől függően egyaránt lehetnek lezökkenéses, vagy szuffúziós töbrök). VERESS (1999) szerint a fedett karsztos formák a fedő kivékonyodásainál képződnek. E helyek rejtett közethatárok. A fentebb felsorolt típusokba tartozó formák viszonylag kis átmérőjűek (legfeljebb néhányszor 10 m-es a horizontális kiterjedésük és viszonylag mélyek. A fedett karsztos formák VERESS (1997) szerint szingenetikus és posztgenetikus kialakulásúak lehetnek. Előző esetben a fekü kürtője és a fedő mélyedése egyidős, míg utóbbi esetben nem. Ekkor a kürtő előbb eltömődik, a fedő mélyedése feltöltődik, majd a kürtő miután üledékét elveszíti a felszínen újabb mélyedés alakul ki. A „burried” töbrök az idősebb mélyedések kitöltés anyagának tömörödésével képződnek (WALTHAM-FOOKES 2003). Lényegében e formák fosszilis fedett karsztos töbrök, amelyek területén a mélyedés jelleg alig ismerhető fel. Gyakran területükön a kitöltő üledékek vízzáró jellege miatt, időszakos tavak, vagy vizes, vizenyős felszín részletek jönnek létre. A depressziók a fedőüledékben kialakult nagy átmérőjű (több száz m), sekély (néhány m-es mélységű) képződmények, amelyek területén különböző fedett karsztos formák fordulhatnak elő.

- Maradványformák, amelyek között alakjuk szerint elkülöníthetők küszöbök és magaslatok (karsztdombok). E formák a karsztosodó kőzeten formálódnak ki.

2. Módszerek

- A mintaterületekről részletes domborzatrajzi térképeket készítettünk (M 1:250).
- Kijelölt irányok mentén a kiválasztott helyeken VESZ módszerrel geofizikai méréseket végeztettünk.
- Egyetlen helyen (Homód-árok, Bakony) sokelektrodás módszerrel vizsgáltattuk a fedőt.
- A VESZ mérések adatainak felhasználásával geoelektromos-földtani szelvények szerkesztésére került sor. Ezekről megállapítható a fekü domborzata, a fedő vastagsága, összetétele, a fedett karsztos mélyedéseknél a külső, ill. a belső fedővastagság. (A külső fedőüledék vastagságot a fedett karsztos forma kialakulása előtti fedővastagságnak tartjuk.)
- Azokon a mintaterületeken, amelyeken a VESZ mérés sűrűsége elegendőnek bizonyult, fekütérképeket szerkesztettünk.
- A sokelektrodás mérések felhasználásával készült szelvények kiértékelésével vizsgáltuk és elemeztük a fedőüledékek porozitás változását.

- Néhány fedett karsztos mélyedés járatában (barlangjában) morfológiai adatgyűjtést végeztünk. A járatok morfológiája adatokat szolgáltat a mélyedések kialakulásához (erózió vagy korrózió), továbbá kialakulási korához (szingenetikus, vagy posztgenetikus karsztosodású-e a járatához tartozó fedett karsztos forma?).
- Terveztük a fedő átfúrását is. Ez a módszer nem bizonyult sikeresnek, miután a különböző helyeken a fúró a törmelékben elakadt. Így a VESZ mérések adatainak fúrési adatokkal történő pontosítására, javítására nem volt lehetőség.

3. Eredmények

3.1. Általánosítható eredmények fedett karszton

- A fedett karsztos formák elhelyezkednek a fekü magaslata (I. típus), a fekü lejtője (II. típus) és a mélyedése felett (III. típus). A fekü felszínének és a fedőben kialakult forma lejtőinek a térbeli helyzete még akkor sem hasonló, ha a fedett karsztos forma a fekü kitöltött mélyedése felett képződött. A fedett karsztos mélyedések mintegy „függenek” a fekü mélyedése felett. A kiemelkedés, vagy kiemelkedés lejtője feletti helyzetű fedett karsztos formáknál a két felület dőlése pedig részben, vagy teljesen ellentétes lehet. A két felület helyzete mindössze 2 db középső-kréta mészkövön kialakult mélyedésnél mutat hasonlóságot.
- A magaslatok felett, ahol a fedőüledék vékony (3,5 m-nél kisebb a külső üledékvastagság) elsősorban szingenetikus fedett karsztos mélyedések alakulnak ki. A kicsi üledékvastagság növeli a karsztosodás esélyét. Egyrészt több víz érheti el a feküt, másrészt nagyobb az esély, hogy a fekűn kialakult anyagihiány a fedőre is áterjedjen. A kicsi üledékvastagság létrejöhet dinamikus változó felszínen az egyenetlen fekü elborítása során vagy akkor, ha az akkumulációt lepusztulás követi. Ez utóbbi a gyakoribb.
- A fedőüledék kivékonyodását okozhatja, akár a fekü morfológiájától függetlenül is, csak a felszíni lepusztulás is. Ezzel magyarázható, hogy pl. a Bakony-hegység 37 db fedett karsztos mélyedéséből 33 db völgyben, völgyfőben vagy depresszióban fordul elő (völgyben 19 db, depresszióban 14 db). Tehát ott, ahol a fedőüledék kivékonyodik a lepusztulás miatt. E helyekre – az időszakos vízfolyások miatt – több víz is érkezik. Ily módon nőhet a beszivárgás és ezáltal a karsztosodás esélye is.
- A karsztos mélyedések főleg ott alakulnak ki, ahol a magaslatok felett a felszínen meder, vagy völgy képződik.

- Nagyobb (3,51-6,0 m), vagy nagy üledékvastagság (6,01 m-nél nagyobb vastagság) esetén a fedőben mélyedés úgy alakulhat ki, ha a fekü kürtője felett járat képződik. A járatképződést és fázisait a fedőben sokelektrodás módszer szelvényeinek a kiértékelésével állapítottuk meg (1. ábra). A járat közvetlenül is észlelhető a fedőben. Pl. a Pádison felszínre nyílt egy olyan kb. 2-3 m-es mélységű, néhány dm-es átmérőjű járat, amely kizárólag a fedőben fejlődött ki. A sokelektrodás mérésekkel a fedőben eltérő porozitású sávok mutathatók ki. A nagyobb porozitású sávok több vizet képesek felvenni és ezáltal kisebb ellenállásúak lesznek (1.a. ábra). A porozitás növekedése a fedő fellazulása miatt következik be, amit viszont a feküben létrejövő anyagihiány okoz. A nagy porozitású sávok eltérő fejlettsége eltérő fejlettségű járatokra, járatkezdeményekre utalnak (1.b. ábra). A járatkezdemények nagy sűrűsége és e helyen a felszíni mélyedések hiánya azt valószínűsíti, hogy bár a fedőben számos járatkezdemény alakulhat ki, csak egy kis hányaduk alakul járattá, ill. fedett karsztos mélyedéssé. A járatképződés fázisai az alábbiak:

- A mészkőfekün kürtő alakul ki, vagy egy idősebb kürtő elveszíti az üledékeit. A kürtő felett a fedőben a porozitás nő. A porozitás növekedés oka, hogy a fedő anyagának egy része a beszivárgó vizek áthalmozásával, vagy gravitációs úton a kürtőbe kerül. A megnövekedett porozitású, fellazult zóna, felfelé szélesedve megközelíti, de nem éri el a felszínt (1. ábra 2 fázis).
- A porozitás növekedés miatt a fedő felső része megsüllyed. A süllyedés porozitás növekedést is eredményez. Ez utóbbi összlet felső felülete is megsüllyedhet. Felette és a felszín között eredeti porozitású lencsés összlet maradhat vissza (1. ábra 3 fázis).
- A további porozitás növekedés miatt a fedőben járatkezdemények képződnek. A porozitás növekedés zónája felfelé terjedve eléri a felszínt (1. ábra 4 fázis).
- Ha a fedőben járat is kialakul, a járat feletti fedő beomlásával (vagy süllyedésével) a felszínen fedett karsztos mélyedés képződik (1. ábra 5 fázis).

- Közepes és nagy üledékvastagság esetén nő a posztgenetikus karsztosodás esélye. Posztgenetikus karsztosodás bekövetkezhet ugyancsak ha a felszín lepusztul, vagy feltöltődik.

- A posztgenetikus karsztosodás során egymást követően ugyanazon a helyen egy, vagy egymás felett több, a kürtőnél fiatalabb, fedett karsztos mélyedés is kialakulhat, amelyek kialakulási kora egymástól eltér. Több, egymás felett elhelyezkedő egykori fedett karsztos forma közül mindig a magasabb helyzetű a fiatalabb. Posztgenetikus karsztosodás során az alábbi események történnek. A feküen kürtő, a fedőn járat és fedett karsztos mélyedés képződik. A kürtő fedőüledékekkel kitöltődik. A felszíni mélyedésbe több üledék érkezik, mint amennyi onnan a karsztba szállítható. A fosszilizáló fedett karsztos mélyedés feltöltődik,

elveszíti mélyedés jellegét. A kürtőbe szivárgó vizek a karszt mélyebb járataiba halmozzák annak üledékeit. A kürtőben keletkezett anyagihiány miatt a fedőben járat, a felszínen újabb mélyedés képződik. Lehetséges egy másféle fejlődés, amely a következőképpen játszódik le. Fedetlen karszton kürtő képződik, majd a karszt elfedődhet. A kürtő ugyancsak kitöltődhet, majd miután üledékeit elveszíti, már fedett karsztos mélyedés képződik a fedő üledékes térszínen. Ez esetben a fedett felszínen létrejövő első fedett karsztos mélyedés is posztgenetikus.

- Azon a fedett karsztos felszínen, ahol a fedőben egykori mélyedés(ek) mutatható(k) ki, akkumuláció történt e formák feltöltődése alatt. A feltöltődő, magasodó felszínen újabb és újabb fedett karsztos mélyedések képződnek, a kürtő ismételt kitisztulása miatt (2.a.II. ábra). A járatok ugyancsak kitisztulhatnak, vagy újabbak képződnek. Valószínű, hogy az újra aktivizálódásra ott nő az esély, ahol felszínről sok víz juthat a fedőbe (pl. völgytalpak alatt). Összességében azonban ilyen felszíneken az újabb fedett karsztos forma kialakulásának esélye csökken (a fedőben egyre hosszabb járatnak kell kialakulnia), feltöltődésének az esélye egyre nagyobb és ez egyre gyorsabban következik be. A feltöltött mélyedések lepusztulás esetén lecsonkolódnak, vagy teljesen elpusztulnak. Előző esetben a lencsés összlet nem eltemetett, felső felülete foltszerű előbukkanást képez (2a.Ia., 2.b. ábra). A lecsonkolódott fedett karsztos forma részben vagy teljes egészében aktivizálódhat (2.a.I.c ábra).

- A karsztosodás akkor posztgenetikus, ha az alábbi üledékszerkezetek fordulnak elő a jelenleg létező fedett karsztos forma (a felszínen mélyedés van) alatt.

- Ha a fedő valamely összletének felső felülete hajlott.
- A fedőben lencsés üledékbetelepülés van. Ez esetben az egykori mélyedés kitöltődött, majd eltemetődött. Ekkor a mélyedés környezetében feltöltődés történt.
- A fedőben olyan lencsés üledékbetelepülés van, amelynek felső felülete is íves felületet formál (3. ábra). Ekkor az egykori mélyedéskitöltésben alakult ki egy újabb mélyedés. (A mélyedés kitöltődése során a fedett karsztos forma környezetében számottevő feltöltődés nem történt.) Ez utóbbi mélyedés ugyancsak kitöltődött, majd eltemetődött.
- Akkor, ha a fedőben egymás felett, egymástól elkülönülten, több lencsés betelepülés is előfordul. Ekkor a feltöltődő felszínen, ugyanazon a helyen, de egyre magasabban újabb és újabb fedett karsztos formák képződtek (ld. alább). Ez esetben a mélyedés környezetében számottevő, de nem folytonos feltöltődés történt.
- A fedett karsztos mélyedés talpán lencsés üledékkitöltés fordul elő (4. ábra). Ekkor egy idősebb mélyedés kitöltődött, majd elfedődött. A jelenlegi mélyedés a lencsés kitöltés feletti fedőben alakult ki. A fedőben a mélyedésképződést bizonyítja az is, hogy a jelenlegi

mélyedés aljzatán elhelyezkedő fedő maradvány ferde helyzetű és a mélyedés belseje felé kiékelődik. Ez ugyanis jelzi, hogy ez az üledékfoszlány annak a lencsés összetetnek a maradványa, amelyben a jelenlegi mélyedés képződött. Ez különösen akkor áll fenn, ha utólagos áthalmazódás kizárható. Erre utalhat, ha kettő, vagy több irányból részmedvények fogják közre a mélyedés talpi lencsés üledékkitöltést. Az olyan térszínrészleteken, ahol ilyen mélyedések fordulnak elő, a fedő nem vastagodott, hanem inkább kivékonyodott, tehát lepusztulás történt.

- A fedett karsztos mélyedés és a fekü között környezetétől eltérő (nem feltétlenül lencsés) betelepülés fordul elő (5. ábra).
- A posztgenetikus karsztosodás akkor is kimutatható, ha a fedő vékony, ill. a beomlása miatt a mélyedés alatt már hiányzik. A fedett karsztos forma kürtőjének formakincse utalhat ez esetben arra, hogy a kürtő már korábban kialakult, mint a fedőben lévő forma (mélyedés). Akkor ugyanis, ha a kürtőben üledékkitöltéshez kapcsolható formák fordulnak elő a kürtő kialakulását követően kitöltődött (ekkor alakultak ki az üledékkitöltés időszaka alatt képződő formák). A kitöltés a felszíni fedett karsztos forma kialakulása során, vagy azt követően jött létre, miután a fedő járatán keresztül üledék szállítódott a kürtőbe. Barlangok üledékkitöltése felett és alatt kialakult formáknak tartják, pl. a pendantokat és a különböző mennyezeti csatornákat (BRETZ 1956, RENAULT 1968, SLABE 1995). A kürtő miután az üledékeit elveszítette a falán létrejött formái hozzáférhetők és láthatók. Anyaghiány miatt a felette lévő fedőben kialakulhat a jelenlegi fedett karsztos mélyedés. Üledékkitöltés mellett képződő formákat (pl. a mennyezeti csatorna) a Tés-1 jelű mintaterület két fedett karsztos formája alatti barlangban is kimutattunk.
- Posztgenetikus karsztosodás történt akkor is, ha ezen üledékszerkezetekből egymás felett több is van a fedőben, de a felszínen nincs mélyedés. A posztgenetikus karsztosodás nem bizonyítható akkor, ha a lencsés üledékszerkezetből (vagy valamely felső hajlott összetétel felületből) csak egy van a fedőben és a felszínen e képződmény felett nincs fedett karsztos forma.

3.2. Területi eredmények

3.2.1. Bakony-hegység

A fedett karsztos mélyedés alatti fekü morfológiára, a fedővastagságára, összetételére, a mélyedések kialakulására vonatkozó megállapítások ott tehetők, ahol az legalább egy

geoelektromos-földtani szelvényen helyezkedik el. A hegység különböző mintaterületeiről 37 db ilyen fedett karsztos formával rendelkezünk.

- A szingenetikus mélyedések darabszáma 21, míg a posztgenetikus formák száma 16. A szingenetikus fedett karsztos formák 33,33 %-nál 3,50-nél kisebb, 47,51 %-nál 3,51-6,0 m közötti és csak 19,5 %-nál nagyobb mint 6,01 m a külső fedőüledék vastagság. A posztgenetikus fedett karsztos formák 6,25 %-nál a fedőüledék kisebb, mint 3,50 m, 37,5 %-nál 3,51-6,0 m közötti és 56,25 %-nál nagyobb, mint 6,01 m (II. táblázat). Látható, hogy egyre nagyobb fedővastagságnál a szingenetikus fedett karsztos forma kialakulási esélye csökken, míg a posztgenetikus formák gyakoriságát a fedővastagság növekedése kevésbé befolyásolja. Sőt a fedővastagság növekedésével a gyakoriságuk némileg nő. Ehhez valószínűleg két tényező is hozzájárul. Egyrészt a nagyobb vastagságú fedőüledék létrejöttéhez – ha eltekintünk a nagyobb intenzitású felhalmozódástól – hosszabb idő szükséges. Hosszabb idő alatt viszont nagyobb az esély posztgenetikus fedett karsztos mélyedés kialakulására. Másrészt a már kialakult kürtő, ill. járat nagyobb fedővastagság esetén is könnyebben aktivizálódik (veszíti el üledékeit).

- A fedett karsztos formák 59,46 %-a eltemetett kiemelkedés felett helyezkedik el. (A lejtői helyzetűekkel együtt 78,38 %). Ha a kiemelkedési ill. lejtői helyzetű mélyedések közül csak a szingenetikus eredetűeket tekintjük, akkor a fedett karsztos formák 85,71 %-ánál (a 21 db-ból 18 db) a fedőüledékvastagság 6 m-nél kisebb.

- Megállapítható, hogy a fedett karsztos mélyedések a hegységben a fedőüledék lokális kivékonyodási helyeinél alakultak ki. Ez ott lehetséges, ahol a fekü magasabb helyzetű a környezeténél és a fedőüledék lokálisan lepusztult. A már említett völgytalpi ill. völgyfői helyzetű (e helyek egyébként mindegyike depresszióvá fejlődött) 19 db fedett karsztos mélyedés közül 15 db alatt a fekü magaslata vagy magaslat lejtője feletti helyzetű. A fennmaradó 18 db-ból 14 db depresszió területén található, ahol a fedőüledék ugyancsak lokálisan kivékonyodott. A 14 db fedett karsztos mélyedésből 10 db magaslat, vagy lejtője felett fejlődött ki. A 37 db fedett karsztos mélyedésből mindössze 4 db található sík térszínen, tehát ahol a fedő lokális lepusztulása nem történt meg. Azonban ezek mindegyike magaslat vagy annak oldallejtője feletti helyzetű.

- A hegység fedett karsztos formái kialakulás szerint a következőképpen osztályozhatók:

- I.a. altípusú fedett karsztos mélyedések, amely miután magaslati helyzetűek, külső üledékvastagságuk 3,5 m-nél kisebb, a belső üledékvastagságuk 0 m. A kicsi üledékvastagság következtében a fedő anyaga miután a vakkürtő felnyílik, beleomlik a kürtőbe (I.a₁ altípus). Ilyen fedett karsztos mélyedés, pl. az I-33 jelű (6. ábra, III. táblázat). E típus posztgenetikus

formái (I.a₂ altípus) akkor jönnek létre, ha a vékony fedő anyagai idős, üledékeit veszítő kürtőbe (barlangba) omlanak. Ilyen fedett karsztos forma, pl. az I-32 jelű (6. ábra, III. táblázat). Az I.a. altípusba tartozó fedett karsztos formák kialakulását a 7. ábrán mutatjuk be.

- I.b. altípusú fedett karsztos formák akkor alakulnak ki, ha a fedő vastagsága nagyobb. A szingenetikus változatnál (I.b₁ változat) a külső üledékvastagság 2,0-5,33 m, míg a belső 0,9-2,0 m. Ilyen fedett karsztos mélyedés, pl. az E-3 jelű (8. ábra, III. táblázat). A posztgenetikus változatnál (I.b₂) a külső üledékvastagság 5,3-7,4 m, míg a belső 1,2-4,7 m. Ilyen fedett karsztos mélyedés, pl. az I-102 jelű (5. ábra, III. táblázat). A nagy üledékvastagság miatt a mélyedés kialakulásának előfeltétele, hogy a fedőben járat képződjön. Az I.b. altípusba tartozó fedett karsztos formák kialakulását a 9. ábrán mutatjuk be. A járat képződését bizonyítják a terepi megfigyelések és a sokelektrodás mérések.

- Közepes üledékvastagságú környezetben létrejöhetnek olyan fedett karsztos mélyedések is, amelyeknél a belső fedőüledékvastagság 0 m. E formák kialakulása két szakaszban történik: előbb a fedőben járat képződik, majd a járaton keresztül történő anyagszállítás miatt a felszínen mélyedés képződik. Az anyagelszállítás miatt a mélyedéstalp alatti üledék és járat felemészthető. Ezen altípusnak is lehetnek szingenetikus (I.c₁) és posztgenetikus (I.c₂) változatai is. I.c₁ változatba sorolható az E-5 jelű (8. ábra, III. táblázat), I.c₂ változatba az E-6 jelű fedett karsztos forma (3. ábra, III. táblázat). Az I.c. altípusba tartozó fedett karsztos formák kialakulását a 10. ábrán mutatjuk be.

- A lejtői helyzetű fedett karsztos mélyedéseknél a külső fedővastagság változatos, de általában nagy. Így kialakulásuk előfeltétele ugyancsak járat létrejötte a fedőben. A szingenetikus változat (II.a altípus) kisebb üledékvastagságnál is létrejön (3,6-8,6 m), míg a posztgenetikus változatnál (II.b altípus) ennek értéke nagyobb (5,33-15,0 m). II.a. altípusba sorolható az I-25 jelű (11. ábra, IV. táblázat), II.b. altípusba az I-26 jelű fedett karsztos forma (12. ábra, IV. táblázat). A II. típusba tartozó fedett karsztos formák kialakulását a 13. ábrán mutatjuk be.

- Mélyedés feletti fedett karsztos formák külső üledékvastagság változatos. Kialakulhat szingenetikus változatuk is (IIIa₁) akkor, ha a fedő viszonylag vékony és ha a kitöltés vízáteresztő mészkőtörmelék, vagy a fedő vízzáró összelete a kialakuló mélyedésnél kiékelődik. A kitöltött fekülmélyedések felett azonban a fedő többnyire vastag. Ekkor kialakulhatnak olyan posztgenetikus víznyelős töbrök (IIIa₂), ahol mind a külső, mind a belső fedőüledék vastagság nagy (4,6-20,0 m ill. 3,8-8,0 m). A fedett karsztos mélyedés kialakulása járat képződés során történik. Ilyen fedett karsztos forma pl. az E-8 jelű (3. ábra). Kialakulhat azonban posztgenetikus fedett karsztos mélyedés omlással is (IIIb. altípus), ha az idős kürtő

üledékeit gyorsan elveszíti és/vagy a fedő viszonylag összeálló. Az ilyen fedett karsztos formáknak a külső üledékvastagsága nagy (kb. 16 m), míg a belső kicsi (1-2 m). Ilyen fedett karsztos forma, pl. az I-31 jelű (14. ábra, IV. táblázat). E típus kialakulását a 15. ábrán mutatjuk be.

- Depressziók akkor alakulnak ki, ha vagy a fedőüledék nagyobb területen fejlődött ki, de a feké már korábban karsztosodott (6, 8, 16. ábra, 17a. ábra), vagy ha a fedetlen mészkő térszín kiemelkedésekkel tagolt és ezért a fedőüledék foltos kiterjedésű (pl. mint említettük a középső kréta mészkőterületeken). Utóbbi esetben ugyanis kedvezőek a feltételek ahhoz, hogy a már kitakaródott kiemelkedések között megmaradó fedőüledék foltokon karsztosodás történjen, miután felszíni vízfolyás nem lehetséges. Mindkét esetben (nagyobb területen fedett, vagy csak részlegesen, foltosan fedett térszíneken) szingenetikus-, vagy posztgenetikus karsztosodással víznyelős töbrök jöhetnek létre. Ezért a fedőüledékek nem a felszínen szállítódnak el, hanem a karszt belsejébe halmozódnak a mélyedések járatainak közvetítésével. Ez kedvez a zárt forma kialakulásának a fedőüledékben. Növeli a depressziók kialakulásának az esélyét, ha a fedőüledékek felszíni lepusztulással kivékonyodnak (16. ábra). A depressziók fejlődését az alábbiak jellemzik (17. ábra).

- A depressziók és a fedett karsztos mélyedések egymást erősítő folyamatok során alakulnak ki. A fedett karsztos mélyedések kialakulása elősegíti a depressziók kifejlődését, míg a depresszió létrejötte hozzájárul újabb fedett karsztos mélyedések kialakulásához.

- A depressziók is újraképződhetnek. Ekkor területükön posztgenetikus karsztosodás történik. Depresszió területén, feltöltődés során összetett üledékszerkezet jöhet létre: a depresszió vékony, nagy kiterjedésű kitöltésébe (amely a depresszió feltöltődése során jött létre) kis kiterjedésű lencsés kitöltések (e képződmények a depresszió területén kialakult fedett karsztos mélyedések kitöltése során képződtek) ékelődnek be.

- A fedőüledék áthalmozódása miatt ugyanazon a helyen a karsztosodás gyorsan változik, ill. átalakul. Lepusztulás esetén vagy új helyen alakul ki fedett karsztos mélyedés, vagy ugyanazon a helyen. Ez utóbbi esetben a korábbi akkumuláció során kitöltött mélyedésben (2.a.I.c ábra), vagy annak helyén képződik újabb fedett karsztos mélyedés. Feltöltődés esetén a már kialakult forma elpusztul (feltöltődik és eltemetődik), majd felette egy újabb alakul ki (2.a.II.c ábra). A fentiek miatt adott fedett karsztos forma nem hosszú életű és így számottevő méretet sem érhet el.

- A hegység mintaterületeinek sorából a Tábla-völgy (T-1), a Tés-2, a Tés-3 jelű, az Eleven-Förtés területén és a középső-kréta térszíneken ill. a Tés-1 és a Tés-2 jelű barlangjaiban

végbemenő karsztosodásra további, a kutatási tervben felvetett kérdésekre, az alábbi megállapítások tehetők.

- A Tábla-völgy, geoelekromos-földtani szelvényeinek tanúsága szerint, a mészkőre átöröklődött völgy (18. ábra). Ez arra utal, hogy a lösz elborításnál korábbi üledékelborításnál, eróziós völgyképződés történt. A Tábla-völgy vizsgált szakaszán a fekü nagymértékű tagoltsága (6. ábra) a mészkőbe bevésődött völgytalp karsztosodását jelzi. A nagyméretű, kitöltött és eltemetett mélyedések feltehetően egykori víznyelők. Ezek jelenléte és az itt előforduló barlangok kavicsai egy korábbi eróziós fejlődésre utalnak.

- A Tábla-völgy vizsgált szakaszán depresszió kialakulásának a feltételeit völgytalpi üledékelszállítás teremtette meg. A fedő kivékonyodása miatt kialakuló fedett karsztos mélyedések, amelyek főleg a fekü magaslatai felett alakultak ki, tették ezt követően lehetővé, hogy a völgytalp üledékei a karsztba szállítódjanak. Ez a völgytalp fedőüledékeinek lokális lepusztulását, így a völgytalp lokális mélyülését eredményezte.

- A Tés-2 jelű terület karsztosodott völgye (a Tábla-völgy egyik mellékvölgye) a szelvények tanúsága szerint ugyancsak epigenetikus völgy.

- A Tábla-völgytől Ny-ra elhelyezkedő ún. Tés-3 jelű mintaterület depressziója völgyfőben képződött. Itt jelen vannak a depresszióképződés jellegzetes feltételei. A depresszió alatt a fekűn több magaslat is kifejlődött. A Tábla-völgy egy másik mellékvölgyének hátrálása megteremtette a fedett karsztos mélyedések kialakulásának a feltételeit a fekü magaslatain (16. ábra). Ezt követően a fedett karsztos mélyedések környezetéből a fedő anyagának egy része a mélyedések járatain a karsztba szállíthatott.

- Az Eleven-Förtési fedett karsztos formák közül egy sincs, amely alatt a fekü felülete párhuzamos lenne a fedőben kialakult mélyedések lejtőivel. A fekü viszonylag mélyen helyezkedik el az E-1/a és E-1/b jelű mélyedések alatt, de a fekűnek ezek a mélyedései fedőüledékkel kitöltöttek.

- Az Eleven Förtés depressziójában több fosszilis mélyedés is előfordul. A V-6 jelű VESZ mérés környezetében (19. ábra) a fekü mélyedése felett, ahol az agyag vastagsága mintegy 8 m, már nem alakult ki fedett karsztos mélyedés. Ezt jelzi, hogy a fedőben hiányzik a lencsés üledékbetelepülés. A sekély, tavas mélyedés a fedő tömörödésével alakult ki. Ugyanakkor a V-36 jelű VESZ mérésnél a fedő agyagos (löszös, mészkőtörmelékes) összletének felülete hajlott (20. ábra). Ennek vastagsága mintegy 4,5 m. Tehát ilyen agyagvastagság mellett már létrejöhet fedett karsztos forma. Bár valamely fedett karsztos forma kialakulását számos tényező befolyásolhatja az agyagosság mértéke és az agyagos összlet vastagságán kívül a

fentiek szerint, valószínű, hogy 4,5 m-nél kisebb agyagvastagságnál még létrejön, de kb. 10 m-nél nagyobb üledékvastagságnál már nem képződik fedett karsztos mélyedés.

- A Középső-kréta fedetlen mészkő magaslatokkal közrefogott térszíneken a depressziók ugyancsak fedőüledékben alakultak ki. A depressziók fedőüledék foltjai alatt a fekü ugyancsak mélyedésekkel és magaslatokkal tagolt, mint a hegység más közei felett kialakult depresszióinál, de a fekü itt nem emelkedik környezetének feküje fölé. A Mester-Hajagi mintaterületen a magaslatok tetőszintje a környező fedetlen magaslatok tetőszintje alatti helyzetű. A Fehérkő-árki mintaterületen a depresszió aljzatának és a fekünek a lefutása közel hasonló, a fekün csak olyan lokális mélyedések vannak, amelyek fedett karsztos mélyedések alattiak.

- A Jubileumi-zsombolyt (I-29 jelű formából nyílik) az I-24 és az I-32 jelű fedett karsztos mélyedések barlangjait vizsgáltuk. A barlangokban előforduló kvarcitkavicsok (a Jubileumi-zsombolyban 0,5-1,5 cm átmérőjű közepesen kerekített kvarcit kavicsok, az I-32 jelű mélyedés barlangjában közepesen koptatott tűzkőkavicsok található) ill. erózióval kialakult formák (barázda a barlang padozatán) jelzik a barlangok fejlődésében az eróziós hatást. Ugyanakkor a barlangokban több olyan forma is fellelhető, amelyek arra utalnak, hogy azok akkor keletkeztek, amikor még az üregek üledékekkel kitöltöttek voltak. Ilyenek az anasztomózisok (Jubileumi-zsomboly főtéjében), valamint a mennyezeti csatornák (Jubileumi-zsomboly, I-32 mélyedés barlangja) és a pendantok (Jubileumi-zsomboly). E barlangok a Tábla-völgy talpa alatt helyezkednek el. Ugyanakkor az I-24 jelű mélyedés barlangjában, amely a Tábla-völgy egyik mellékvölgye alatt található, sem erózióra utaló kavicsokat, sem egykori üledékkitöltésre utaló formakincset nem sikerült kimutatni (V. táblázat).

3.2.2. Mecsek-hegység

A Cigány-hegyi terület a Mecsek-hegység fedett karsztjának része. Így e területre vonatkozó következtetések a hegység más fedett karsztos térszíneire is kiterjeszthetők. A Cigány-hegy 3 mintaterületén végzett VESZ mérések adatainak felhasználásával az alábbi megállapítások tehetők. A 3 mintaterület közül kettőről mutatunk be szelvényeket. Ezért ezeknek közöljük a domborzatrajzi térképeit is (21, 22. ábra).

- A felszíni karsztos formakincs két csoportba sorolható: az egyik csoportot képviselik azok a formák, amelyek a karsztos fekün vagy azon is mélyedést formálnak. A másik csoportot azok,

amelyek a fedőüledéken és fedőüledékekben alakultak ki (fedett karsztos formák). Ezért előzőek idősebbek mint utóbbiak és valószínűleg oldódásos eredetűek (oldódásos dolinák).

- Az oldódásos dolináknak két altípusa is kimutatható: egy nagyobb átmérőjű és mélyebb (átlagos átmérő 70,5 m, átlagos mélység 15,0 m), valamint egy kisebb átmérőjű és kevésbé mély (átlagos átmérő 27,0 m, átlagos mélység 6,0 m) altípusa. Miután az első altípusba tartozó formák esetében a fedőüledékek többé-kevésbé követik a fekü lefutását, tehát a felszínen is mélyedés van, ezért a továbbiakban az ilyen formákat kibélelt oldódásos dolinának nevezzük. Ilyen, pl. a C-1 jelű karsztos forma (21, 23. ábra) és a C-12 jelű (22. ábra), vagy a C-16 jelű (22, 24. ábra). A második altípusba tartozó formák viszont teljesen kitöltöttek, sőt eltemetettek fedőüledékekkel. Tehát a felszínen nincsenek mélyedések, vagy ha igen, akkor azok a fekü mélyedéseitől teljesen függetlenek. Ezért ezt az altípust eltemetett oldódásos dolinának nevezzük. Ilyen eltemetett dolina található, pl. a C-14 jelű fedett karsztos mélyedés alatt (22, 25. ábra). A két altípusba tartozó dolinák alakja azonban közel megegyező. A kibélelt dolinák átlagos átmérőjének és átlagos mélységének hányadosa 4,7, míg az eltemetett dolinák esetében ez az érték 4,5. A kibélelt oldódásos töbrök feküje ritkán tagolt kisebb bemélyedésekkel. Megállapítható az is, hogy a fedőüledékek módosíthatják nem csak az oldásos dolina alakját, hanem méretét is. Bár a bélelő fedőüledék települése követi az aljzat dőlését, mégis gyakori, hogy a fedőüledék a mélyedés középpontja felé vastagodik. Ez azonban nem biztos, hogy minden esetben a fedő utólagos áthalmazódására vezethető vissza. Gyakori, hogy a fedőn lévő mélyedés túlnyúlik a fekűn meglévő mélyedés peremén. Így, pl. a 23. ábra szelvényének Ny-i részén. Morfológiai inverzió is megfigyelhető. Ilyenkor a felszínen látható üledékekkel kibélelt töbr pereme az alatta elhelyezkedő oldódásos töbr peremén túlnyúlva, egy szomszédos töbr belseje felett helyezkedik el. Ilyen helyzet látható a fentebb említett A-A' szelvény (23. ábra) K-i részén. Előfordulhat, hogy egyetlen kibélelt töbr két oldódásos töbr felett formálódott ki. Ritkábban azonban az is tapasztalható, hogy a fedőn lévő mélyedés kisebb, mint a fekűn kialakult mélyedés (pl. C-21 jelű kibélelt dolinánál). Az oldódásos töbr mélységéhez képest a fedőüledék vastagsága (tehát az eredeti töbr feltöltöttsége) igen változó lehet. Így pl. a legnagyobb fedővastagság az oldódásos dolina mélységének lehet a 23 %-a (C-11 jelű mélyedés), de elérheti a 63 %-ot is (C-10 jelű mélyedés).

- A fedett karsztos mélyedések többnyire néhány m-es átmérőjűek és mélységűek (a 10 m-es átmérőt és az 5 m-es mélységet a vizsgált képződmények egyike sem haladja meg). A bakonyi fedett karsztos mélyedésekhez képest a posztgenetikus karsztosodással létrejötték száma kicsi. A szelvényekre eső (tehát vizsgált) 21 db mélyedésből mindössze 5 mélyedésnél

valószínűsíthető, hogy posztgenetikus karsztosodás során alakult ki. Jelentős azoknak a mélyedéseknek a száma, amelyek agyagösszlet kiékelődésénél, vagy agyagösszlet felett alakultak ki (23, 24, 25. ábra). A 21 db fedett karsztos mélyedésből 16 db agyagösszlet kiékelődésénél, 4 db agyagösszlet felett helyezkedik el. Mindössze 1 db fedett karsztos forma környezetében nincs anyagösszlet a fedőben. Az agyagösszlet ritkán épül fel kizárólag agyagból, többnyire mészkőtörmelékes homokos agyag és általában nem a felszínen helyezkedik el, hanem betelepült. Agyag kiékelődés esetén az agyagösszlet a fedett karsztos formához képest kétféleképpen helyezkedhet el. Az agyag kiékelődhet a lejtőn a fedett karsztos mélyedés felett (fedett karsztos forma felé dől az agyagos összlet) és a fedett karsztos forma alatt (a fedett karsztos formától dől az agyagos összlet). Fedett karsztos forma felé dől az agyagösszlet, pl. a C-1/3 jelű mélyedésnél (23. ábra), a formától dől az agyagösszlet, pl. a C-16/2 jelű mélyedésnél (24. ábra). Előző csoportba 13 mélyedés (57,14 %), utóbbi csoportba 3 mélyedés (14,28 %) tartozik. Akkor, ha a fedett karsztos forma felé dől az agyagos összlet a fedett karsztos forma kialakulása úgy történik, hogy a részben, vagy teljesen vízzáró agyag felszínén a beszivárgó vizek annak a kiékelődéséig szivárognak. A kiékelődésnél a vízáteresztő összleten (amely többnyire homok-lössz) a fekü irányába szivárgó vizek létrehozzák a fekün a kürtőt, majd a fedőn szuffúzióval a járatot és/vagy a mélyedést. Akkor, ha a fedett karsztos formától dől az agyagos összlet, akkor a mélyedés feletti fedőben szivárgó vizek az agyag összlet kezdeténél „torlódnak” és kényszerülnek lefelé a fekü irányába szivárogni. Ez utóbbi kialakulási módnak az esélye kisebb, miután az agyag feletti vízáteresztő üledékben szivárgó víz jelentős hányada már az agyag kiékelődési hely felett a fekübe szivároghat. Valószínű, hogy az agyagösszlet kiékelődésnél megnövekedett beszivárgás segíti elő, hogy nagyobb fedővastagságnál is kialakulhatnak fedett karsztos formák. Így a 11 db szingenetikus karsztos forma közül – amelyek agyag kiékelődésénél helyezkednek el csak 6 db-nál kisebb a külső fedővastagság, mint 6 m (2 db 3,5 m alatti) és 5 db-nál 6 m-nél nagyobb (6,0 és 10,5 m közötti).

A fedett karsztos formák elhelyezkedhetnek az agyag betelepülés felett is. Ilyen helyzetű, pl. a C-16/1 jelű mélyedés (24. ábra). A vizsgált fedett karsztos mélyedések közül 4 db alatt figyelhető meg hajlott (v. ehhez közel álló, pl. lencsés) agyagos betelepülés. Ha a szivárgó vizek bejuthatnak az agyagösszlet alá, annak kiékelődésétől különböző távolságra módosulhat a szivárgási irányuk. Ahol a ferde szivárgási irány függőlegesre változik az agyag alatt szuffúziós anyagihiány keletkezik, amely az agyagnak a süllyedésszerű behajlását okozza. A süllyedésszerű fedett karsztos formák a kibélelt dolinák középső, vagy legmélyebb részén, ill. ott helyezkednek el, ahol a fekün lokális kisméretű mélyedés helyezkedik el. Mindez

valószínűleg arra vezethető vissza, hogy a fekü dőlése irányítja a felette elhelyezkedő fedőben a víz szivárgását. Ezáltal a fedőbe került csapadék vizek az oldódásos dolinák legmélyebb része fölött gyűlnek össze, ahol mintegy csapdába jutva a fekübe szivárognak.

- A fedett karsztos mélyedések a fekühez képest elhelyezkedhetnek a fekü kiemelkedése (28,57 %), kibélelt dolina (42,86 %) és kitöltött (eltemetett) dolina (28,57 %) felett. A mecseki fedett karszton az alábbi morfogenetikai altípusai különíthetők el a fedett karsztos formáknak.

- Magaslat feletti fedett karsztos formák (I) típusába tartozó mélyedések idősebb oldódásos dolinák közti küszöbök, hátaik felett helyezkednek el. Bár ezek kialakulásában is szerepet játszanak az agyagösszlet betelepülések a Bakonyban már megismert két kialakulási mód is felismerhető. Az egyik a közvetlen átöröklődés, amely kicsi (3,5 m-nél kisebb) üledékvastagságnál történik (Ia altípus). A másik kialakulási mód, amikor a járat feletti fedőüledékek megsüllyednek (Ic altípus). Mindkét altípusnál elkülöníthető szingenetikus (Ia₁, Ic₁) és posztgenetikus (Ia₂, Ic₂) változat (VI. táblázat).

- Kibélelt dolinában alakult ki a vizsgált fedett karsztos formák 42,86 %-a (9 db). Az e típusba tartozó formák változatos kialakulásúak. Előfordulnak közöttük olyanok, amelyek agyagösszlet felett alakultak ki (5 db) valamint olyanok, amelyeknél a fedett karsztos forma felé dőlő (2 db) és olyanok, amelyek a fedett karsztos formától dőlő agyagösszletnél (2 db) jöttek létre (VII. táblázat). Az üledékvastagság még a szingenetikus eredetű képződményeknél is közepes, vagy nagy. Így az agyagösszlet felett kialakult fedett karsztos formáknál az átlagos külső üledékvastagság 6,9 m, az üledékvastagság intervallum 4,8-8,6 m. Az agyagösszlet elvégződésénél kialakultak esetében az üledékvastagság közepes (átlagos, külső üledékvastagság 5,35 m, üledékvastagság intervallum 4,4-7,2 m).

- Az eltemetett dolinák felett alakult ki a fedett karsztos formák 28,57 %-a (VII. táblázat). E formák közül a szingenetikusak egy kivételével fedett karsztos mélyedés felé dőlő agyag kiékelődésnél alakultak ki. A külső üledékvastagság ezen típusba tartozó formák esetében, ha szingenetikus karsztosodással alakultak ki, közepes, de inkább nagy (átlagos vastagság 7,35 m, üledékvastagság intervallum 5,2-10,4 m).

- Megállapítható, hogy a mintaterületeken és valószínűleg a mecseki karszton máshol is a fedett karsztos formák elsősorban oldódásos dolinákban alakultak ki. Ezt az agyagösszletek lokális kifejlődése tette lehetővé. Az agyagösszletek mentén elszivárgó víz még nagyobb üledékvastagság esetén is kedvező feltételeket biztosított a fedett karsztos formák kialakulásának. Az oldódásos dolinák közvetve elősegíthetik a fedett karsztos formák kialakulását. Ugyanis az agyagösszletek egyrészt a területükön ékelődnek ki, másrészt

ezeknek a dőlése követi a karsztos fekü dőlését. Mindezek azt eredményezik, hogy a csapadékvíz a kibélelt ill. kitöltött mélyedésekbe jut, ahonnan mintegy „csapdába esve” már csak a karsztba szivároghat.

3.2.3. Bükk-hegység

A bükk-hegységi mintaterületeken (26, 27. ábra) laterális korrózió, víznyelőképződés, fedett karsztosodás, valamint völgytalpi leoldódás mutatható ki a geoelektromos-földtani szelvények felhasználásával.

3.2.3.1. Laterális korrózió

- A Nagy-Mező egyik „tányéros töbre” (N-13 jelű), ill. roncstöbrei (mint az N-12 jelű), valamint az egyik Fekete-Sár-Réti töbör területén kialakított geoelektromos földtani szelvényeket tekintve az alábbiak állapíthatók meg:

- Az L-L' szelvény mentén (28a. ábra) az N-13 jelű töbör átmérője (amelyet a peremi mészkőelőbukkanások közti távolságból számítottunk) 150 m, a fekü legnagyobb mélysége 5,8 m, a fedőüledék legnagyobb vastagsága 3,4 m (a K-J' szelvény mentén kissé nagyobb, eléri a 3,6 m-t), a töbör legnagyobb mélysége 2,2 m, a fekü dőlése (a fekü felületét ferde síknak feltételezve mintegy 4°40' (28.b. ábra). A mélység, ill. vastagság értékeket azon peremi mészkő előbukkanásokhoz képest adtuk meg, amely a legkisebb tengerszint feletti magasságú és a szelvény által harántolt.

- A fekü nem mindenhol a töbör belseje felé dől. A K-J' szelvény mentén a töbör közepétől a pereme felé dőlő aljzatrész is előfordul.

- Amíg a felső, agyagos mészkőtörmelékes összlet vastagsága változatlan, de a feküvel nem párhuzamos lefutású, addig ezen összlet alatt lencsés, kiékelődő agyagos összlet helyezkedik el (L-L' szelvény). A K-J' szelvény mentén a töbör É-i ill. D-i részében két különböző üledékkitöltés fejlődött ki nevezetesen a D-i részén agyag, míg É-i részén agyagos-iszapos lösz, vagy mészkőtörmelékes agyag.

- A fentiek figyelembevételével a töbör fejlődésében az alábbi sajátosságok valószínűsíthetők.

- Az N-13 jelű töbör egy-egy töbörből - amelyek É-i és D-i részének résztöbrei - alakult ki. Ezt bizonyítják az ellentétes dőlésű töbör-aljzat részek a K-J' szelvény mentén, ill. ugyanezen szelvény mentén előforduló kétféle üledékkitöltés. Tehát e forma csak látszólagosan töbör,

(álroncsötör) valószínűleg egy olyan uvala, amelynek sík és egységes aljzatát a fedőüledék hozta létre.

- Már a két eredeti töbör is laterális korrózióval fejlődött (ez tette lehetővé összekapcsolódásukat). A laterális korróziót bizonyítja, az N-13 jelű töbör kicsi mélysége átmérőjéhez képest, továbbá a fekü felszínének csekély dőlése.

- A VESZ mérések adatainak figyelembevételével nem dönthető el, hogy a fedő lösz ill. mészkőtörmelékes agyag beszállított, vagy helyben keletkezett anyag-e. Az L-L' szelvény Ny-i részén – miután ez az összlet a töbör belseje felé vastagodik – beszállítottnak tűnik, míg a K-i részén, mivel vastagsága változatlan és követi a töbör aljzatot, hullóporos eredetű lehet akkor, ha lösz. Feltehetően a lösz a már kialakult résztöbörben ülepedett le. (Ha mészkőtörmelékes agyag, akkor valószínű, hogy mállási maradék és helyben keletkezett.) A felső, agyagos mészkőtörmelékes összlet miután felületei nem párhuzamosak a fekü felszínével, mélyebb helyzetű részlete (NM-30 VESZ mérési hely környéke), az alatta elhelyezkedő összletek tömörödés következtében alakult ki. Ezáltal a töbör talpon egy belső mélyedés jött létre. A fenti összlet süllyedését a fekü oldódása nem okozhatta, miután a fekü nem ott a legmélyebb helyzetű, ahol a töbör aljzat. Valószínű, hogy ez az összlet tömegmozgással (pl. gelizoliflukció) során jött létre és anyaga a töbör környezetéből származott. Tömegmozgásos eredetére utal nagy felületi elterjedése, kicsi, de hasonló vastagsága. Folytonos kifejlődése a töbörben arra is utalhat, hogy kialakulása idejére már létezett a jelenlegi összeoldódásos töbör (uvala).

- Az N-12 jelű függő töbör területén ugyancsak laterális korrózió történetett. Ny-i irányban nyitott, vagy mert az oldódás miatt ebbe az irányba hátrált a lejtője, vagy mert a határoló völgyoldalon a laterális korrózió miatt K-i irányba hátráló, ellankásodó lejtőrész alakult ki. Ezáltal létrejött egy alaprajzban félkörös, teraszszerű forma. Ezt bizonyítja feküjének aszimmetrikus keresztmetszete (29. ábra).

- A vizsgált Fekete-Sár-Réti roncsötör (30. ábra) geoelektromos földtani szelvényeiből az alábbiak állapíthatók meg.

- Az A-A' szelvény mentén a töbör 72 m átmérőjű, a fekü mélysége 2,6 m, a fedő legnagyobb vastagsága 2,2 m, a legnagyobb mélysége (azon peremi ponthoz képest, ahol az oldallejtő hiányzik) 0,5 m, a fekü dőlése kb. 4° (31a. ábra). A B-B' szelvény mentén a fenti paraméterek értékei a következők: 95 m, 2,4 m, 1,4 m, kb. 15° (31b. ábra).

- A fekü egyes részei e töbörnél is ellentétes dőlésűek. Különösen a B-B' szelvény mentén különül a töbör két részmélyedésre azáltal, hogy az Fs-2 számú VESZ mérési helytől az Fs-4 számú és az Fs-5 számú VESZ mérési helyek felé dől a fekünek a felszíne (31b. ábra).

Tehát e töbör is összeoldódás során jött létre. Ez a képződmény valójában kis mértékben eltemetett körkörös uvala (a résztöbrök nem vonalas elrendeződésűek), amelynek a középső részén egy kis magasságú, de eltemetett karsztdomb lehet. Ezért a Fekete-Sár-Rét területén különböző fejlettségű, nem elfedett és elfedett aljzatú körkörös uvalák fordulnak elő, amelyek rendszerint négy résztöbröből épülnek fel. A különböző fejlettséget mutató uvalák résztöbreit elválasztó magaslatok, küszöbök eltérő méretűek (magasságúak). A fedetlen uvalák (valószínűleg fiatalabb) területén a fekü karsztdombja, küszöbe felszíni magaslatot képez és résztöbröket különít el, míg a fedett uvalák (valószínűleg idősebb) esetében nem. A fiatalabb körkörös uvalák résztöbrei is sík aljzatúak. A sík aljzat laterális korrózióval, majd a résztöbör aljzatának elfedődésével jöhetett létre. A sík résztöbör feküje azonban lehet tagolt is, ha aljzatán oldódásos „aktív töbör” van. Ez arra utal, hogy a körkörös uvalák nem csak laterális korrózióval fejlődnek, hanem aljzatukon oldódásos töbrök kialakulásával, függőleges, lefelé irányuló növekedéssel is. A fejlődés utolsó, végső fázisát a VESZ szondázással vizsgált képződmény képviseli, ahol az eredeti morfológia a fedőüledékek alatt még jelen van. A feltehetően négy résztöbör látszólagosan egyetlen, sík aljzatú álroncstöbröt képez.

3.2.3.2. Víznyelőképződés és feltöltődés

- Egykori víznyelők léteztek a Nagy-Mezőn az N-11/b jelű feltöltött mélyedés területén. Ezt az alábbiak bizonyítják:

- A felszíni morfológia, ugyanis e képződményhez meder vezet.
- A fekü morfológiája, mivel a fekün kialakult mélyedések (N-A és N-B jelű) mélyek és meredek oldallejtőjűek (32. ábra).
- A fekü mélyedéseinek kitöltése igen vastag (helyenként megközelíti a 20 m-t is). Ilyen vastagságú összlet még abban az esetben is, ha az lösz, véleményünk szerint vízi szállítást jelez. Tehát e helyhez állandó, vagy időszakos vízfolyás(ok) vezetett, amely egykori víznyelő létezésére utal.

- A felszíni morfológia és az A-A' szelvény együttes elemzése arra utal, hogy a Nagy-Mező ezen részletén egy vakvölgy jött létre. Miután azonban az N-11/b jelű mélyedést egy küszöb két részre különíti, két víznyelő is kialakulhatott (az N-A, ill. az N-B jelű) a vakvölgy D-i elvégződésénél. A két egykori víznyelő a víznyelőhely és így a mélységi lefejeződés helyének a hátrálását jelzi. Tény ugyanakkor, hogy a VESZ mérések nem mutatták ki azt a fedőt (pl. kavicsot), amelynek elvégződésénél a víznyelőképződés történhetett. Ez fakadhat mérési

hibából, vagy abból, hogy a kavics mára teljes mértékben lepusztult. A lepusztulás (ill. az anyagnak a karsztba szállítása) a feltöltődést követően is jelentős lehetett. Ugyanis a lösz (vagy mészkőtörmelékes agyag) felszíne az N-B jelű egykori víznyelőben alacsonyabb helyzetű (majdnem 10 m-rel), mint az N-A jelű egykori víznyelőben. Az N-B jelű víznyelőben az egykori kitöltés szintje a K-58 jelű kőzetkibúvás magasságának szintjében (kb. 780 m-es magasságban) húzódhatott. Miután az üledékszállítás É-ről történt az N-B jelű víznyelő területén az egykori kitöltés szintjének 780 m-nél magasabban kellett elhelyezkednie. Tehát a kitöltésből legalább 10 m vastagságot (az N-B jelű egykori víznyelő területén a felszín jelenlegi magassága kb. 770 m) kitevő üledék szállítódott a karsztba. Ez a folyamat azonban valószínűleg az N-B jelű víznyelő területén lejátszódó fedett karsztosodáshoz köthető (ld. alább).

- Az F-2 jelű mélyedés (Kis-fennsík) víznyelő eredetére (völgytalpi víznyelő, amely völgyi közethatár mentén jött létre) utalhat üledékszerkezete (33. ábra). Jelentős mértékű feltöltöttsége, kiékelődő, lencsés összeletei, vízi üledékszállítást jelezhetnek. A lencsés összeletek felső felületének hajlottsága a kitöltő összlet egy részének járaton keresztül a karsztba elszállítását bizonyíthatják. A víznyelő eredet azonban kétségesé teszi, hogy a fekün kialakult forma mélysége kicsi, oldallejtői kis dőlésűek.

3.2.3.3. Fedett karsztosodás

A Nagy-Mező fedett karsztos mélyedései az alábbi módon jöhettek létre.

- Rejtett közethatáron létrejött szingenetikus fedett karsztos forma, a Nagy-Mező területén az N-2 jelű fedett karsztos mélyedés. Ez a fedett karsztos forma az N-A és N-B jelű feltöltött víznyelőket elválasztó küszöbön alakult ki. Külső üledékvastagsága mintegy 3,5 m, aljzatán a mészkő előbukkan (32. ábra). A mélyedés kialakulása a fedőüledék omlásával, vagy süllyedésével következhetett be.

- Posztgenetikus fedett karsztos mélyedések az N-9, N-7, N-4 és N-6 jelű mélyedések.

- Az N-9 jelű fedett karsztos mélyedés létrejöttét az egykori víznyelő (N-A) kürtőjének aktivizálódása okozhatta. Az egykori víznyelő feltöltődése során valószínűleg egy, vagy két alkalommal újraképződött (34. ábra). Felhalmozódó löszben (v. mészkőtörmelékes agyag) alakult ki a legidősebb mélyedés (1. sz. fedett karsztos mélyedés), amely feltöltődött agyagos mészkőtörmelékekkel. Az agyagos mészkőtörmelék felső felületének a besüllyedésével alakult ki a következő fedett karsztos mélyedés (2. sz. fedett karsztos mélyedés), amelyet ismételten

löss (v. mészkőtörmelékes agyag) töltött ki. Végül a vastagodó feltöltődés agyagos mészkőtörmelékében kialakult a jelenlegi mélyedés (3. sz. fedett karsztos mélyedés).

- Az N-7 jelű fedett karsztos mélyedés fekéjén – az egykori mederben – kialakult egy mélyedés (egykori víznyelő?), amit a feké mélyedése bizonyít. Ezen forma járatának ismétlődő kitisztulása okozhatta, hogy a felöltődő mederben egymás felett legalább két alkalommal fedett karsztos formák képződjenek. Kialakult a 2. sz. fedett karsztos mélyedés löszben (vagy mészkőtörmelékes agyagban), majd ennek agyagos mészkőtörmelékes kitöltésében a jelenlegi, 3. sz. fedett karsztos mélyedés (35. ábra).

- Az N-4 jelű mára nagymértékben feltöltődött fedett karsztos mélyedés alatt, kisebb üledékvastagságnál ott alakult ki az egykori fedett karsztos forma, ahol a feké még viszonylag a felszínhez közeli helyzetű (e helytől K-i irányba meredeken dőlve egyre mélyebb helyzetbe kerül). Az agyagos mészkőtörmelék és a lösz (v. mészkőtörmelékes agyag) összefogódásánál kicsi üledékvastagságnál alakult ki az 1. sz. fedett karsztos mélyedés. Ez kitöltődött lösszel (homokos v. mészkőtörmelékes). Utóbbiban képződött a 2. sz. fedett karsztos mélyedés, amely agyagos mészkőtörmelékkel töltődött ki. A jelenlegi mélyedés az agyagos mészkőtörmelékben formálódott ki (36. ábra).

- Az N-6 jelű mélyedés löszben alakult ki, a meder kitöltésében, annak lejtője felett. Kialakulásában szerepet játszhatott, hogy itt a fedő vékonyabb lehetett. Az 1. sz. fedett karsztos mélyedés agyagos mészkőtörmelékkel feltöltődött, amelyben kialakult a jelenlegi, 2. számú fedett karsztos mélyedés (35, 37. ábra).

- Végül megemlítjük az N-1 és N-3 jelű fedett karsztos mélyedéseket. Ezek a fedőüledék pereménél alakultak ki, tehát közethatáron képződött víznyelőknek is tekinthetők. Morfológiájuk azonban megegyezik a fentebb tárgyalt fedett karsztos formákkal, amelyek a feltöltődés során képződött térszín belsejében helyezkednek el. Tehát fedett karsztos formáknak tekinthetők. Miután területükön ill. peremükön VESZ mérés nem történt, nem dönthető el, hogy szingenetikus, vagy posztgenetikus eredetűek-e.

- A Nagy-Mező vakvölgyes uvalarendszerének feltöltődésével egy kis kiterjedésű fedett karsztos térszín alakult ki, amelynek oldallejtőit mészkő, aljzatát fedőüledék alkotja. A depresszió aljzata előbb feltöltődve egyre magasodott, majd ezt követően és jelenleg is egyre mélyül. Az aljzatnak mind a feltöltődése, mind a mélyülése során területén posztgenetikus, ill. szingenetikus fedett karsztos mélyedések képződnek. E mélyedések vízgyűjtői a depresszió fedőüledékes aljzatrészei (38. ábra).

3.2.3.4. Völgytalpi oldódás

- A Forrás-völgy felső völgytalprésztletén a K-11 és a K-17 számú VESZ észlelési helyek között a fedőüledékek alatt a fekün, egy a völgy irányába megnyúlt hosszanti (mintegy 100 m hosszú), zárt, karsztos mélyedés helyezkedik el (39. ábra). E mélyedés aljzat egyenetlen, sekélyebb mélyedésekkel tagolt, amelyeket lekerekített küszöbök választanak el egymástól. Megállapítható az is, hogy az F-3 jelű mélyedés nem a fekü valamelyik lokális mélyedése felett alakult ki. Ez utóbbi kialakulását okozhatta a fedőüledék tömörödése, vagy a fekületen kialakult kürtön keresztül történő anyagelszállítás.
- A fenti jellegzetességek arra utalnak, hogy e völgytalp szakaszon nem víznyelőképződés történt, hanem a fekübe mélyült völgytalp leoldódása. A forma alakját a völgy alakja nagymértékben irányította. Ezáltal egy keskeny, mintegy 20 m széles, megnyúlt karsztos forma alakult ki a fedőüledék alatt.
- Valószínűleg hasonló, megnyúlt (kb. 75 m hosszú mélyedés van a fekün a KF-19 és a KF-4 számú VESZ észlelési helyek között. (Az aljzat lefutása a KF-1 és KF-19-es számú VESZ észlelési helyek között bizonytalan, miután e helyek között a völgytalpon nem történt mérés). Feltehetően a völgytalp kismélységű formája (F-1) ugyancsak a fedő tömörödésével jött létre (33. ábra).

3.2.4. Aggteleki-karszt

VESZ méréseket az Aggtelek-Jósvafő országút mellett (attól É-ra egy töbör sorban) a Vizes és a Keserű-tó lánca területén végeztünk (40, 41, 42. ábra). Az Aggteleki-karszton a laterális korrózióknak a szerepét az uvala kialakulásban a tervezettől eltérően – az erre alkalmasnak látszó uvalában nem lehetett méréseket végezni – nem sikerült vizsgálni.

- A töbör sorról megállapítható, hogy az egy uvala és nem völgytalpi töbör sor. Nem tekinthető az országúttól D-re sorakozó valamelyik völgy folytatásának és így a töbrök nem is egykori víznyelők. A fentieket az alábbiak bizonyítják (43, 44, 45. ábra).

- A töbrök üledékkitöltése nem számottevő (kb. 2-10 m között váltakozik). Ez a kitöltés elhanyagolható a töbrök kiterjedéséhez (átmérőjük 50-200 m közötti, mélységük többször 10 m) képest.
- Az üledékkitöltésük agyag és mészkőtörmelék. Elsősorban a mészkőtörmelék lehet helyben keletkezett. (Az agyag elvileg beszállított is lehet, bár helyben keletkezése valószínűbb.) A hosszirányú szelvényeken a töbör aljzati agyagfoltokat mészkőtörmelék felhalmozódások

határolják. Ez arra utal, hogy az uvala töbrei sem D-ről, sem É-ről nem kaphattak vízi szállítású üledéket.

- A kitöltő üledék lokális kiterjedésű és lencses településű, mely ezért helyben keletkezettnek tekinthető. Vízi szállítás esetén É-D-i irányban megnyúlt és valamilyen irányban dőlő összleteknek kellene jelen lenni, mint ahogy az más mintaterületeken – ahol vízi szállítás kimutatható – jellegzetes (ld. a Nagy-Mezőt és a Keserű-tó lábáját).

- A Vizetes területe nem völgy, hanem egy kis vastagságban elfedett kis reliefű, karsztos térszín. Valószínűleg uvala, vagy uvala csoport, amely elfedődve mára poljév alakult. Az uvalás eredetét az alábbiak bizonyítják.

- A fekü mélyedésekkel és magaslatokkal tagolt, tehát karsztosodott (46. ábra).

- A fekün lévő mélyedés széles, nem hasonlít egy átöröklődött völgy alakjára (47. ábra).

- A fekü a Vizetes területén végigfolyó vízfolyással ellentétes dőlésű (48. ábra). Ez a VE-28 jelű VESZ mérési helytől K-re eső szelvényrészén tapasztalható.

- A fedőüledékek kitöltés felhalmozódás során keletkeztek.

- A Vizetes kialakulása az alábbi módon történhetett.

- Karsztosodással kialakult a Vizetes öse, egy uvalás térszín.

- A környezetéből, É-ről és D-ről, a környező felszínekről, üledékek beszállításával az uvalás térszín feltöltődött, poljév alakult.

- A polje peremi forrás vize vízfolyást hozott létre. A polje K-i peremén egy karsztos kiemelkedésen víznyelő alakult ki, amely a vízfolyás vizét befogadta.

- A vízfolyás mélyítette, majd laterális erózióval szélesítette, átalakította a polje fedőüledékes aljzatát.

- A Galya-erdő és a Pitics-hegy között közel É-D-i irányú mélyedéssor húzódik, amelynek egyik részmélyedése a Keserű-tó lábaja. A mélyedések nem különülnek el egymástól, méretük déli irányba növekszik. Fedőüledékekkel kibéleltek, de közzethatárhoz közeli helyzetűek. MÓGA (2002) szerint a mélyedéssor mélyedései a Vizetes patakja víznyelőhelyeinek (mélységi lefejeződési helyek) hátrálása során alakultak ki. Szerinte a mélyedéssorhoz kapcsolódó mellékvölgyeket csak e mélyedésekhez lefutó felszíni vizek hozták létre később. A mélyedéssornak VESZ mérésekkel vizsgált két részmélyedésében az alábbi sajátosságok ismerhetők fel.

- ÉNy-ről DK-re dőlő, folyóvízi szállítást is tükröző (pl. homok, kavics), összletek ismerhetők fel egyes szelvények anyagában (49. ábra). A Keserű-tó lábájában a jelenlegi víznyelő a fekü magaslata felett helyezkedik el. E víznyelőhöz vezető völgytalpon nagy méretű (a fekü 33 m-nél nagyobb mélységben van) mélyedés helyezkedik el. A fekü

mélysége, alakja, üledékei, egykori víznyelőre utalnak. Ez a víznyelő a kitöltésének üledékszerkezete alapján (lencsés betelepülés) legalább egy alkalommal aktivizálódott, majd teljesen kitöltődött és elfedődött. Az ÉNy-ról szállított üledék elborította környezetét, az elfedődés pereme DK-i irányba a jelenlegi víznyelő felé terjeszkedett.

- A Keserű-tó lábájával szomszédos mélyedésben (K-1 jelű) több kisebb fedett karsztos mélyedés is előfordul, amelyek alatt lencsés üledékszerkezetek ismerhetők fel (50. ábra). Ez jelzi, hogy e mélyedésben posztgenetikus karsztosodás történt.

- A mélyedéssor jelenlegi legmélyebb részén a fekü karsztosan tagolt, de az eltemetett víznyelők hiányoznak. A fedőüledékek nem dőlnek ÉK-i vagy DK-i irányban, kiékelődnek, egyes helyeken követik a fekü lefutását.

- A fentiek figyelembevételével az alábbi fejlődés valószínűsíthető:

- Az egykori közethatár a jelenlegi közethatártól (amely a mélyedéssor DK-i lejtőjén húzódik, ill. a Galya-erdő lejtőjén) korábban ÉNy-ra helyezkedett el. Közethatár mentén víznyelőképződés történt. E közethatártól DK-re a jelenlegi mélyedések területén fedetlen karsztosodás ment végbe, uvalák képződtek. A víznyelők kitöltődtek, majd eltemetődtek.

- A fedőüledék áthalmozódása miatt a közethatár DK-re vándorolt, a fedetlen karsztosodás során kialakult mélyedések (résztöbrök) kitöltődtek, majd elfedődtek.

- A K-1 jelű résztöbör kitöltődése során fedett karsztos mélyedések képződtek.

- A fedett karsztos mélyedéseken a jelenlegi víznyelőn esetleg más, korábban létezett víznyelőkön keresztül a fedő üledék egy része a karsztba szállítódott, ill. szállítódik jelenleg is.

- Végeredményben a mélyedéssor egy depressziósor. A depressziók résztöbröket, uvala részeket kitöltő fedőüledékben alakultak ki. A depressziók talpán fedett karsztosodás és víznyelőképződés egyaránt előfordulhat. A depressziók mérete dinamikusan változhat. Feltöltődhetnek, ha ÉNy felől az üledékbeszállítás intenzitása megnő, méretük nőhet, ha területükről a fedőüledék elszállítása a karsztba meghaladja az üledék beszállítási mértékét.

- Nem csak a fedett karsztos formák képződnek rejtett közethatáron, ugyanis mind a Vizetes, mind a Keserű-tó lábájának a víznyelője rejtett közethatáron helyezkedik el.

3.3. Gyakorlati hasznosítás

Fedett karsztokon a fedőre átöröklődés, tehát mélyedés képződés megakadályozására különböző műszaki eljárásokat dolgoztak ki. Így az üregek feletti fedőben horizontálisan kiterjedt műtárgyak beépítését (DESTEPHEN-WARGO 1992). Egy másik eljárás, amikor az

üregék felett a fedőt kimélyítik. E mélyedéseket összetömörített nem karsztos kőzetekkel feltöltik (BECK et al. 1997), ill. a kialakított mélyedésbe cementdugót hoznak létre (SOWERS 1996). Ezek az eljárások nem csak költségesek. Felszíni mélyedés hiányában ki kell mutatni a mészkő üregét. Az üreg felett nem feltétlenül képződik mélyedés a fedőn. (Ha ez nem történik meg a megelőző műszaki tevékenység felesleges.) Ezért célszerűbb a potenciális karsztosodási helyeket kimutatni. Így a létesítmények úgy tervezhetők, hogy a fentebb említett műszaki eljárásokra nem, vagy csak a feltétlenül szükséges mértékben kerül sor. Ezért a fedett karsztos térszíneken a műtárgyak tervezése során az alábbiakat célszerű figyelembe venni ill. alkalmazni.

- A posztgenetikus karsztosodás nagyobb mértékben veszélyezteti az emberi létesítményeket, mint a szingenetikus karsztosodás akkor, ha a posztgenetikus és szingenetikus karsztosodási helyeken a fedő üledék vastagsága és összetétel hasonló.
- A fedett karsztokon geofizikai mérésekkel kijelölhetők azok a sávok, ahol szingenetikus ill. posztgenetikus karsztosodás következhet be. A karsztosodási sávok nem folytonosak, hanem potenciális karsztosodási foltokra különülnek.
- A karsztosodási foltok, ahol fedett karsztosodás bekövetkezhet, a lokális üledékkivékonyodási helyek (szingenetikus karsztosodás) és a lencsés üledékszerkezetek. Ez utóbbiak környezetében – miután korábban már karsztosodás történt – nagyobb eséllyel következhet be újabb karsztosodás (pontgenetikus karsztosodás). A lokális üledékkivékonyodási helyek (rejtett közethatárok) létrejöttéhez hozzájárulhat a felszíni lepusztulás, a fekü egyenetlensége, vagy mindkettő. A kitöltések agyagos betelepüléseinek kiékelődéseinél még nagyobb üledékvastagságnál is bekövetkezhet, mint szingenetikus, mind posztgenetikus karsztosodás. Sok elektródás mérésekkel a fedő porozitás változásai és ezáltal a járatkezdemények is kimutathatók. A nagy porozitású helyek közvetlen előjelei lehetnek akár a szingenetikus-, akár a posztgenetikus karsztosodásnak.
- A feltöltött depressziókat az összetett lencsés üledékszerkezet jelezheti. Ezen formák területén a posztgenetikus karsztosodásnak igen nagy lehet az esélye. Ha ez bekövetkezik a fedett karsztos formák gyakorisága területükön számottevővé válhat. Emiatt a fedőüledék nagy kiterjedésű foltokban süllyedhet, vagy omolhat be.
- Potenciális karsztosodási helyekre a felszíni morfológia is utalhat. Így pl. karsztosodás következhet be a depressziók területén, a medrek és vízmosásos árkok fekü kiemelkedések feletti talprészletein, a rossz lefolyású térszínrészleteken, ill. ahol sok agyaggal feltöltött karsztos mélyedés van (mivel az egykori mélyedések feltöltődött területéről vízkiáramlás történik).

- Potenciális karsztosodás bekövetkezésére kevésbé, vagy egyáltalán nem kell számítani, ahol a fedőüledék agyag és a vastagsága mintegy 10 m-nél nagyobb.
- A fedett karsztosodási feltételeinek ismeretében a jövőbeni karsztosodási helyek kijelölhetők. A fedett karszton potenciális karsztosodási sávokat bemutató térkép készíthető (potenciális, karsztosodási térkép). A potenciális karsztosodási sávok ismeretében az utak, vasutak, gáz- és kőolajvezetékek nyomvonala optimálisabban tervezhető. Így pl. ezek ne essenek a potenciális karsztosodási sávokra, ill. azokat ne, vagy minél kevesebbszer keresztezzék. Nagy kiterjedésű fedett karsztokon a fenti műtárgyak igen jelentős hosszúságúak lehetnek. Egy ilyen térkép felhasználásával csak ott szükséges a fedő beomlását, süllyedését műtárgyakkal meggátolni, ahol az utak, vasutak a karsztosodási sávokat keresztezik és a kereszteződési helyen karsztosodási folt van. A karsztosodás bekövetkezése is csökkenthető, ha a potenciális karsztosodási helyek ismertek. Pl. megfelelő vízrendezéssel e helyekre minél kevesebb víz hozzáfolyást kell megengedni.

IRODALOM

- BECK, B. F.-STEPHENSON, J. B. (1997): The Engineering Geology and Hidrology of Karst Terraines – Conferencia proceedings, Balkena, Rotterdam, 516 p.
- BRETZ, J. H. (1956): Caves of Missouri – Miss. Geol. Surv. and Water Resources, ser. 2, p. 39.
- DESTEPHEN, R. A.-WARGO, R. H. (1992): Foundation Design in Karst Terrain – Bull. Assoc. Enging Geologists XXIX 23 p. 165-173
- DRUMM E. C.-KANE W. F.-YOON C. J. (1990): Application of limit plasticity to the stability of sinkholes. Engineering Geology 29, p. 213-225.
- HEVESI A. (1980): Adatok a Bükk-hegység negyedidőszak ösföldrajzi képéhez – Földt. Közl. 110 p. 540-550.
- HEVESI A. (1984): Karsztformák kormeghatározásáról és mészkőhegységeink új harmadidőszak végi – jégkori arculatának megrajzolásában játszott szerepéről, a Bükk-hegység példáján – Földr. Ért. XXXIII. p. 25-36.
- JAKUCS L. (1971): A karsztok morfogenetikája – Akadémia Kiadó, Budapest, 310 p.
- JENNINGS, J. N. (1985): Karst Geomorphology – Basil Blackwell, New York 293 p.
- MÓGA J. (2002): Feszín alaktani vizsgálatok a Galyaság területén – Karsztfejlődés VII, BDF, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 143-158.
- RENAULT, Ph. (1968): Contribution a l'étude des action mécanique et sédimentologiques dans la spéléogenese – Annales de spéléologie 23 3, p. 529-596.

- SLABE T. (1995): Cave Rocky Relief – Znanstvenaraziskovalni Center Sazu, Slubljana p. 128.
- SOWER, G. F. (1996): Building on Sinkholes – ASKE Press, 202 p.
- THARP T. M. (1999): Mechanics of upward propogation of cover-collapse sinkholes. Engineering Geology 52, p. 23-33.
- VERESS M. (1992): Adatok a Fekete-Sár-Rét karsztmorfogenetikájához – Bükk karsztja, vizei, barlangjai, I. k. Konferencia kiadvány, p. 5-18. Miskolc
- VERESS M. (1999): Az Északi-Bakony fedett karsztja – A Bakony Természetudományi kutatásának eredményei 23, Bakonyi Természettudományi Múzeum, Zirc 167 p.
- WALTHAM, A. C.-FOOKES, P. G. (2003): Engineering classification of karst ground conditions – Quarterly Journal of Engineering Geology and Hidrology, 36. p. 101-118.
- WALTHAM, T.-BELL, F.-CULSHAW, M. (2005): Sinkholes and subsidence – Praxis Publishing Ltd, Chichester, p. 382.
- WILLIAMS, P. (2003): Dolines p. 304-310. – In: GUNN J. (szerk.): Encyclopedia of caves and karst science, New York, London, 902 p.

I. táblázat:

A mintaterületek főbb adatai

| mintaterület és jele | magassága [m] | fekü közete | morfológiai környezet | karsztos formák ^{1,2,3} | VESZ mérés száma | geoelektromos földtani szelvény száma ⁴ | domborzati térkép | fekü térkép | morfológiai térkép | tanulmány készült a mintaterület geofizikai vizsgálatáról | barlangjában morfológiai vizsgálat |
|---------------------------------------|---------------|-------------------------|--|--|------------------|--|-------------------|-------------|--------------------|---|------------------------------------|
| Bakony-hegység | | | | | | | | | | | |
| Eleven Förlési töbörccsoport (E) | 670-680 | júra | sík térszín | D(kb.500m) Vt ⁵ (8+0) FVt ⁶ (4+0) | 80 | 18(8 ⁹) | + | + | + | - | - |
| Tés-1 (T-1) | 440-480 | júra | völgytalp | D(kb.300m) Vt(4+2) | 67 | 14(5) | + | + | + ¹⁰ | Veress (2006) | + |
| Tés-2/a (T-2/a) | 450-460 | júra | sík térszín | Vt(0+3) | 55 | 15(9) | + | - | - | Veress (2005b) | - |
| Tés-2/b (T-2/b) | | júra | völgytalp | D ₁ (kb.100m), Vt(4+0)D ₂ (kb.30m), Vt(2+0) | | | + | + | + | | + |
| Tés-3 (T-3) | 455-460 | júra | völgytalp | D(kb. 90 m) Vt(3+0) | 45 | 11(3) | + | + | + | Veress (2005b) | - |
| Mester-Hajag egy ik depressziója (Mb) | 470-480 | középső kréta requiniás | magaslatokkal tagolt | D(kb.200m) Vt(3+0) | 29 | 4(2) | + | - | + | - | - |
| Fehérkő-árok peremi depresszió (F) | 340-360 | középső kréta requiniás | magaslatokkal tagolt | D(kb.150m) Vt(4+0) | 18 | 3(2) | + | - | - | - | - |
| Homód-árki töbörccsoport (H) | 430-440 | középső-eocén | idősebb, feltöltött völgytalp | D(kb. 400m) Vt(19+0) | 52 | 6(7) | + | - | + ¹⁰ | Veress (2005a) | - |
| Bükk-hegység | | | | | | | | | | | |
| Nagy-Mező sík (N) | 770-790 | triász | fennsík | U,T,VK,Ft,FTF,Vt, D (400m) Vt(8+0) | 44 | 13(4) | + | - | + | Veress (2006) | - |
| Fekete-Sár-rét (Fs) | 850-855 | triász | fennsík | U, karsztdombok | 5 | 2 | + | + | + ¹⁰ | Veress (2006) | - |
| Forrás-völgy | 415-435 | triász | fennsík | völgytalpi sortöbrök | 20 | 5 | + | - | - | Veress (2006) | - |
| Aggteleki hegység | | | | | | | | | | | |
| Vizetes | 290-310 | triász | fennsíkok közti alacsony felszín | polje, víznyelő | 30 | 4(1) | + | - | - | - | - |
| Keserű-tó lápája (K) | 275-317 | triász | fennsíkok közti alacsony felszín | D ₁ (kb250m) Vt(4+0) D ₂ (kb300m) Vt(4+0)víznyelő | 37 | 10(7) | + | - | - | - | - |
| Aggtelek-Jósvafő országút mellett | 380-420 | triász | fennsík | U | 11 | 10(3) | + | - | - | - | - |
| Mecsek (A) | | | | | | | | | | | |
| Cigány-hegység I. (C-I) | 340-370 | triász | völgyekkel közrefogott hegylábi fűlsík | OD(5+3) Vt | 41 | 5(11) | + | - | - | - | - |
| Cigány-hegység II. (C-II) | 275-300 | triász | völgyekkel közrefogott hegylábi fűlsík | OD(3+0) | 22 | 2(4) | + | - | - | - | - |

| mintaterület és jele | magassága [m] | fekü közete | morfológiai környezet | karsztos formák ^{1,2,3} | VESZ mérés száma | geoelektromos földtani szelvény száma ⁴ | domborzati térkép | fekü térkép | morfológiai térkép | tanulmány készült a mintaterület geofizikai vizsgálatáról | barlangjában morfológiai vizsgálat |
|-----------------------------|---------------|-------------|--|----------------------------------|------------------|--|-------------------|-------------|--------------------|---|------------------------------------|
| Cigány-hegység III. (C-III) | 365-403 | triász | völgyekkel közrefogott hegylábi félsík | OD(3+5) Vt | 42 | 5(8) | + | - | - | - | - |

Megjegyzés:

- 1 depresszió jele: D, zárójelben a méretük,
2. fedett karsztos forma, jele: Vt, zárójelben a számuk; amelyek közül az első a depresszióban vagy más, nagyobb karsztos mélyedésben előforduló formák száma,
3. fosszilis fedett karsztos forma jele: FVt, zárójelben számuk,
4. zárójelben lévő szám mutatja, hány fedett karsztos mélyedést kereszteztek a szelvények,
5. az E-1 jelű összetett, amelyhez egy kb. 200 m hosszú meder vezet, a 8 mélyedésből 3 a medertalpon helyezkedik el,
6. a területükről időszakosan túlfolyó víz a víznyelős töbröket táplálja,
- 7: a Tés-2 jelű területet két részre különítettük,
- 8: a Tés-2/b jelű területen két depresszió fordul elő (D₁ és a D₂).
- 9: az E-1 jelű két rész mélyedése külön került feldolgozásra
10. ezen kutatási program előtt
11. U: uvala, T: tányéros töbör, VK: vakvölgy, OD: oldásos töbör, FT: félig kinyílt töbör, FTF: félig kinyílt függő töbör
12. Keserű-tó lapjánál K₁ a D₁ jelzésű, K₂ a D₂ jelzésű depresszió

II. táblázat

A szingenetikus és posztgenetikus víznyelő töbrökhöz tartozó külső fedőüledék vastagságok

| külső fedőüledék vastagság [m] | szingenetikus fedett karsztos mélyedések | | postgenetikus karsztos mélyedések | |
|-----------------------------------|--|--------|-----------------------------------|--------|
| | darab | % | darab | % |
| 0-3,5 | 7 | 33,33 | 1 | 6,25 |
| 3,51-6,0 | 10 | 47,62 | 6 | 37,5 |
| 6,01> | 4 | 19,05 | 9 | 56,25 |
| total | 21 | 100,00 | 16 | 100,00 |

III. táblázat

Kiemelkedés feletti víznyelés töbrök üledékvastagság adatai a Bakony-hegységből

| sorszám | Mélyedés jele | morfológiai helyzete | Kicsi külső (3,5 m-nél kisebb) üledékvastagság [m], az aljzaton mészkővel | | | | Közepes külső üledékvastagság [m] aljzatán a mészkő nem bukkan elő [m] | | | | Közepes külső üledékvastagság, az aljzaton mészkővel [m] | | | | A fekü morfológiája és annak minősítési módszere |
|------------------------|------------------|----------------------|---|---------|-----------------------------------|-------|--|----------|-----------------------------------|-------|--|---------|-----------------------------------|-------|--|
| | | | Szingenetikus (Ia ₁) | | Posztgenetikus (Ia ₂) | | Szingenetikus (Ib ₁) | | Posztgenetikus (Ib ₂) | | Szingenetikus (Ic ₁) | | Posztgenetikus (Ic ₂) | | |
| | | | belső | külső | belső | külső | belső | külső | belső | külső | belső | külső | belső | külső | |
| 1 | E-4 | V | 0 | 1,6 | | | | | | | | | | | m(III) |
| 2 | I-33 | V | 0 | 2,0 | | | | | | | | | | | k(II) |
| 3 | I-24 | V | 0 | 2,0 | | | | | | | | | | | k(II) |
| 4 | I-28 | S | 0 | 2,0 | | | | | | | | | | | k(II) |
| 5 | I-23 | V | 0 | 3,4 | | | | | | | | | | | k(II) |
| 6 | E-7 | D | 0 | 3,4 | | | | | | | | | | | m(I) |
| Átlag | | | 0 | 2,4 | | | | | | | | | | | - |
| Vastagság intervalluma | | | 0 | 1,6-3,4 | | | | | | | | | | | - |
| 1 | I-32 | V | | | 0 | 1,8 | | | | | | | | | m(I) |
| 1 | H-6 | D | | | | | 1,0 | 2,0 | | | | | | | k(II) |
| 2 | E-3 | V | | | | | 2,0 | 3,6 | | | | | | | m(III) |
| 3 | I-16 | V | | | | | 0,9 | 4,9 | | | | | | | m(I) |
| 4 | H-14/a | D | | | | | 2,0 | 5,33 | | | | | | | k(II) |
| Átlag | | | | | | | 1,47 | 3,96 | | | | | | | - |
| Vastagság intervalluma | | | | | | | 0,9-2,0 | 2,0-5,33 | | | | | | | - |
| 1 | I-102 | V | | | | | | 1,2 | 5,3 | | | | | | k(II) |
| 2 | Mb-50 | D | | | | | | 2,4 | 5,6 | | | | | | k(II) |
| 3 | I-27 | S | | | | | | 4,7 | 6,25 | | | | | | m(III) |
| 4 | Mb-41 | D | | | | | | 4,6 | 7,4 | | | | | | k(II) |
| Átlag | | | | | | | | 3,22 | 6,14 | | | | | | - |
| Vastagság intervalluma | | | | | | | | 1,2-4,7 | 5,3-7,4 | | | | | | - |
| 1 | E-5 | D | | | | | | | | 0 | 4,4 | | | | m(III) |
| 2 | I-17 | V | | | | | | | | 0 | 5,0 | | | | m(I) |
| 3 | H-1 | D | | | | | | | | 0 | 6,0 | | | | k(II) |
| 4 | I-15 | S | | | | | | | | 0 | 6,4 | | | | m(II) |
| Átlag | | | | | | | | | | 0 | 5,45 | | | | - |
| Vastagság intervalluma | | | | | | | | | | 0 | 4,4-6,4 | | | | - |
| 1 | E-1/b | V | | | | | | | | | 0 | 3,5 | | | m(III) |
| 2 | E-6 ¹ | D | | | | | | | | | 0 | 5,4 | | | m(I) |
| 3 | E-1/a | V | | | | | | | | | 0 | 6,9 | | | m(III) |
| Átlag | | | | | | | | | | | 0 | 5,27 | | | - |
| Vastagság intervalluma | | | | | | | | | | | 0 | 3,5-6,9 | | | - |

Magaslat felett: m, küszöb felett: k, feküterkép felhasználásával (I), feküterkép hiányában legalább eltemetett küszöb van, ha egyetlen szelvény van és e mentén a fedett karsztos mélyedéstől ellentétes irányokba dől a fekü (II) eltemetett magaslat van, ha két egymást keresztező szelvény van és ezek mentén a kereszteződési helytől minden irányba dől a fekü (III), ¹ posztgenetikus eredete bizonytalan
V: karsztos mélyedés völgyben, D: karsztos mélyedés depresszióban, S: karsztos mélyedés sík térszínén

IV. táblázat

Lejtő és mélyedés feletti víznyelős töbrök üledékvastagság adatai a Bakony-hegységből

| sorszám | Mélyedés jele | morfológiai helyzete | Lejtő feletti víznyelős töbrök üledékvastagsága [m] | | | | Mélyedés feletti víznyelős töbrök üledékvastagsága | | | | | | A fekvő morfológiája és annak minősítési módszere | |
|------------------------|---------------|----------------------|---|---------|---------------------------------|---------|--|-----------|-------------------------------------|----------|-----------------------|----------|---|--------------------|
| | | | Szingenetikus (IIa) | | Posztgenetikus (IIb) | | Szingenetikus (IIIa ₁) | | Posztgenetikus (IIIa ₂) | | Posztgenetikus (IIIb) | | | |
| | | | belső | külső | belső | külső | belső | külső | belső | külső | belső | külső | | |
| | | | Nagy belső üledékvastagság [m] | | Kicsi belső üledékvastagság [m] | | | | | | | | | |
| 1 | F-1 | V | 1,0 | 5,25 | | | | | | | | | | pl(III) |
| 2 | I-25 | V | 2,8 | 3,6 | | | | | | | | | | m(II) |
| 3 | H-2 | D | 3,0 | 3,66 | | | | | | | | | | kl(II) |
| 4 | I-22 | V | 5,0 | 8,6 | | | | | | | | | | pl(III) |
| Átlag | | | 2,95 | 5,28 | | | | | | | | | | - |
| Vastagság intervalluma | | | 1-5,0 | 3,6-8,6 | | | | | | | | | | - |
| 1 | I-18 | V | | | 3,0 | 5,3 | | | | | | | | kl(I) |
| 2 | H-16 | D | | | 4,0 | 7,33 | | | | | | | | pl(IV) |
| 3 | I-26 | S | | | 13,0 | 15,0 | | | | | | | | pl(III) |
| Átlag | | | | | 6,67 | 9,22 | | | | | | | | - |
| Vastagság intervalluma | | | | | 3-13 | 5,33-15 | | | | | | | | - |
| 1 | F-2 | V | | | | | 3,55 | 5,11 | | | | | | p(IV) |
| 2 | H-12 | D | | | | | 4,33 | 6,67 | | | | | | k(II) |
| 3 | H-14/b | D | | | | | 5,0 | 8,33 | | | | | | k(II) |
| Átlag | | | | | | | 4,29 | 6,70 | | | | | | - |
| Vastagság intervalluma | | | | | | | 3,55-5,0 | 5,11-8,33 | | | | | | - |
| 1 | E-2 | V | | | | | | | 3,5 | 4,6 | | | | k(II) ¹ |
| 2 | E-8 | D | | | | | | | 8,0 | 10,2 | | | | p(I) |
| 3 | H-23 | D | | | | | | | 11,5 | 20,0 | | | | pl(II) |
| Átlag | | | | | | | | | 7,67 | 11,6 | | | | - |
| Vastagság intervalluma | | | | | | | | | 3,5-11,5 | 4,6-20,0 | | | | - |
| | I-31 | V | | | | | | | | | 2,5 | 10,5 | | p(I) |
| | I-32/L | V | | | | | | | | | 1,2 | 9,6 | | p(I) |
| Átlag | | | | | | | | | | | 1,85 | 10,05 | | - |
| Vastagság intervalluma | | | | | | | | | | | 1,2-2,5 | 9,6-10,5 | | - |

Mélyedés (k) ill. lejtő (kl) felett, paleokarsztos mélyedés (p) ill. lejtője (pl) felett, fekvő felhasználásával (I), fekvő hiányában legalább mélyedés van, ha egyetlen szelvény van és e mentén a különböző fekvések egymás irányába dőlnek a fedett karsztos mélyedés felé (II), eltemetett paleokarsztos mélyedés van, ha két egymást keresztező szelvény van és ezek mentén a kereszteződési hely felé dől a fekvő minden irányból (III), továbbá ha a szelvényre merőlegesen és attól mindkét irányban, az eltemetett mélyedésnél a mélyedésre merőleges szelvényre a kereszteződésnél kiemelkedés van, amelyen egy mélyedés helyezkedik el.

V: karsztos mélyedés völgyben, D: karsztos mélyedés depresszióban, S: karsztos mélyedés sík térszínen

V. táblázat

A vizsgált barlangok formái kialakulás szerint

| barlang neve/jele | eróziós formák | szivárgó és áramló vizek oldásos formái | üledékkitöltés feletti oldásos formák | üledékkitöltés |
|--|------------------|---|--|--|
| Jubileum-zsomboly (I-29 jelű fedett karsztos mélyedés) | barázda a talpon | szinlő scallops csatorna ujjbegy karr | pendant anasztomozis mennyezeti csatorna | agyag vörösagyag mészkőtörmelék tűzkőtörmelék közepesen koptatott kvarcitkavics |
| I.-24 jelű karsztos forma barlangja | -- | rovátka karrok scallops | --- | agyag mészkőtörmelék |
| I-32 jelű fedett karsztos forma barlangja | -- | --- | mennyezeti csatorna | agyag vörösagyag közepesen koptatott kvarcitkavics |

VI. táblázat

Kiemelkedés feletti fedett karsztos mélyedések üledékvastagság adatai a Cigány-hegyen (Mecsek-hegység)

| sorszám | mélyedés jele | kicsi külső (3,5 m-nél kisebb) üledékvastagság [m] az aljzaton mészkővel | | | | közepes külső üledékvastagság [m] aljzatán a mészkő nem bukkan elő | | | | közepes külső üledékvastagság, az aljzaton mészkővel [m] | | | | agyagösszlethez képesti helyzete |
|---------|---------------|--|-------|-----------------------------------|-------|--|-------|-----------------------------------|-------|--|-------|-----------------------------------|-------|----------------------------------|
| | | szingenetikus (Ia ₁) | | posztgenetikus (Ia ₂) | | szingenetikus (Ib ₁) | | posztgenetikus (Ib ₂) | | szingenetikus (Ic ₁) | | posztgenetikus (Ic ₂) | | |
| | | belső | külső | belső | külső | belső | külső | belső | külső | belső | külső | belső | külső | |
| 1 | c-15 | 0,0 | 2,5 | | | | | | | | | | | K (amh) |
| 2 | c-17 | 0,0 | 3,2 | | | | | | | | | | | N |
| 3 | c-2 | | | 0,0 | 1,0 | | | | | | | | | K (amh) |
| 4 | c-5 | | | | | | | 4,4 | 5,6 | | | | | K (amh) |
| 5 | c-19 | | | | | | | | | 0,0 | 3,6 | | | K (amh) |
| 6 | c-9 | | | | | | | | | 0,0 | 7,0 | | | K (amh) |

Megjegyzés:

K: agyagösszlet kiemelődik

N: agyag nincs

amh: agyag (mészkőtörmelékes, homokos)

VII.táblázat

Kibélelt és kitöltött dolinák felett kialakult fedett karsztos formák üledékvastagság adatai a Cigány-hegyen (Mecsek-hegység)

| sorszám | mélyedés jele | kibélelt dolina | | | | | | | | kitöltött dolina | | | | | | | | agyagösszlethez képesti helyzete |
|-----------------------------|---------------|-----------------------------|---------|----------------|------|---------------------|---------|----------------|------|-----------------------------|----------|----------------|------|---------------------|------|----------------|------|----------------------------------|
| | | agyagösszlet elvégződésénél | | | | agyagösszlet felett | | | | agyagösszlet elvégződésénél | | | | agyagösszlet felett | | | | |
| | | szingenetikus | | posztgenetikus | | szingenetikus | | posztgenetikus | | szingenetikus | | posztgenetikus | | szingenetikus | | posztgenetikus | | |
| b.ü. | k.ü. | b.ü. | k.ü. | b.ü. | k.ü. | b.ü. | k.ü. | b.ü. | k.ü. | b.ü. | k.ü. | b.ü. | k.ü. | b.ü. | k.ü. | b.ü. | k.ü. | |
| 1 | c-10/1 | 3,3 | 4,4 | | | | | | | | | | | | | | | K** (amh) |
| 2 | c-1/3 | 3,7 | 4,8 | | | | | | | | | | | | | | | K (amh) |
| 3 | c-16/2 | 4,0 | 5,0 | | | | | | | | | | | | | | | K** (amh) |
| 4 | c-10/2 | 6,4 | 7,2 | | | | | | | | | | | | | | | K (amh) |
| üledékvastagság átlag | | 4,35 | 5,35 | | | | | | | | | | | | | | | |
| üledékvastagság intervallum | | 3,3-6,4 | 4,4-7,2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | c-4 | | | | | 2,6 | 4,8 | | | | | | | | | | | K (a) B (amh) |
| 2 | c-16/1 | | | | | 4,7 | 7,8 | | | | | | | | | | | B (amh) |
| 3 | c-21/1 | | | | | 5,0 | 8,6 | | | | | | | | | | | B (amh) |
| 4 | c-10/3 | | | | | 4,4 | 6,4 | | | | | | | | | | | B (amh) |
| üledékvastagság átlag | | | | | | 4,17 | 6,9 | | | | | | | | | | | |
| üledékvastagság intervallum | | | | | | 2,6-5,0 | 4,8-8,6 | | | | | | | | | | | |
| 1 | c-1/1 | | | | | | | 3 | 6 | | | | | | | | | L; M (amh) |
| 1 | c-7* | | | | | | | | | 4,6 | 5,2 | | | | | | | K** (a); L (amh) |
| 2 | c-13 | | | | | | | | | 5,6 | 6,4 | | | | | | | K (amh) |
| 3 | c-3 | | | | | | | | | 5,6 | 7,4 | | | | | | | K (amh) |
| 4 | c-6 | | | | | | | | | 9,0 | 10,4 | | | | | | | K (a; amh) |
| üledékvastagság átlag | | | | | | | | | | 6,2 | 7,35 | | | | | | | |
| üledékvastagság intervallum | | | | | | | | | | 4,6-9,0 | 5,2-10,4 | | | | | | | |
| 1 | c-14 | | | | | | | | | | | 8,0 | 11,0 | | | | | K (amh) |
| 1 | c-8 | | | | | | | | | | | | | | | 3,2 | 3,7 | L (a) K (amh) |

Megjegyzés:

a: agyag, amh: agyag (mész-kötőrmelék, homokos),

K: kiékelődik,

B: behajlik,

L: lencsés,

M: agyagösszlet felszínén mélyedés,

* alatta lencsés agyag (mész-kötőrmelék, homokos),

** agyagösszlet kiékelődése a mélyedés alatti lejtőn,

b.ü.: belső üledékvastagság,

k.ü.: külső üledékvastagság.