

Veress Márton

A MÉSZKŐFEKÜ MORFOLÓGIÁJÁNAK HATÁSA A FEDETT KARSZTOSODÁSRA AZ ÉSZAKI-BAKONYBAN¹

ÖSSZEFOGLALÁS

Geofizikai módszerekkel (főleg VESZ mérésekkel) vizsgáltuk a mészkőfekü morfológiáját és annak fedőjét az Északi-Bakony 7 mintaterületén. A fedett karsztos formák közül a víznyelős töbrök elsősorban az elfedett mészkőfekü kiemelkedései felett (küszöb vagy magaslat) alakultak ki. A formák kialakulása a következőképpen történhet. Vékony fedőüledékelborítás esetén a fekü vakkürtőjének omlása közvetlenül átöröklődik a fedőre. A fedő anyaga beszállítódik (pl. beomlik) a kürtőbe. Vastagabb fedőüledékelborításnál ez úgy történik, hogy a fedőn képződött járat (amely a fekü kürtője felett jön létre) feletti fedőüledék előbb beomlik vagy megsüllyed. Azok a víznyelős töbrök, amelyek az eltemetett mészkőmagaslatok oldallejtő vagy eltemetett mészkőfekü mélyedései felett képződnek, kizárólag fedőüledékben, a fedő járatai felett alakulnak ki. Kialakulásuk ekkor úgy is történhet, hogy a feküben már korábban kialakult kürtő kitöltő üledékeit elveszíti, mivel azok a karszt belsejébe halmozódnak. A fedőüledékben kialakult nagyméretű, lefolyástalan formák (depressziók) kialakulását a területükön létrejött víznyelős töbrök okozzák. Ugyanis a víznyelős töbrök környezetéből a fedőüledékek e formák járataiba és kürtőibe halmozódnak.

1. BEVEZETÉS

Vizsgálatainkkal a mészkőfekü morfológiája, valamint a fedőüledék vastagsága és a fedett karsztosodás közti kapcsolatot elemezzük az Északi-Bakonyban. A fekü morfológiáját a hegységben a korábbi karsztosodási fázisok nagymértékben meghatározták. Ezért a fekü morfológiájának ismeretében a paleokarsztosodás és a recens fedett karsztosodás közti kapcsolat is vizsgálható.

A fedett karsztos mélyedések akkor alakulnak ki, ha a karsztosodó kőzetet (mészkő) nem karsztosodó, de vízáteresztő kőzet fedi (rejtett karszt). Ekkor a karsztosodó feküben vagy feküen, az oldódás során létrejött anyaghiány miatt a fedőben anyagátrendeződés történik. Emiatt a felszínen fedett karsztos formák képződnek.

A fedett karsztos töbrök három típusát különítik el (CVLJIĆ 1893, CRAMER 1941, THOMAS 1954, JENNINGS 1985). Utánsüllyedéses töbrő alakul ki, ha a nemkarsztos, laza fedőüledékben formálódik ki a mélyedés, miután a fedő anyaga részben a karsztba szállítódik. Átöröklődéses töbrő akkor képződik, ha a nemkarsztos fedőkőzet (pl. bazalt, homokkő) gyors, szakaszos mozgással (omlás) kerül a karsztos kőzet anyaghiányos részébe. Víznyelő jellegű töbrő jön létre akkor, ha a laza fedőüledékeket a felszíni vizek a karsztos járatokba halmozzák. Ez utóbbi formák többnyire a karsztvízszint közelében alakulnak ki, pl. poljékban. Működésük kettős: víznyelők (alacsony karsztvízszintnél a karsztba vízbevezetés történik), ill. forráshelyek (magas karsztvízszintnél vízkilépés történik a karsztból). Az utánsüllyedéses töbrőknek újabban két változatát is elkülönítik (DRUMM *et al.* 1990, THARP 1999, WALTHAM–FOOKES 2003). Lezökkenéses töbrő („cover collapse doline”) alakul ki akkor, ha a fedő összeálló üledék, és annak egy része a járatba beomlik. Az omlásnak több oka is lehet. Így pl. ha a fedő összeállóságának mértéke viszonylag nagy, vagy a fedő alatt az anyaghiány gyorsan létrejön. Gyorsan bekövetkező anyaghiányt okozhat pl. a fedő alsó részének szoliflukciós jellegű mozgása (DRUM *et al.* 1990, THARP 1999, WALTHAM–FOOKES 2003). A létrejövő töbrő oldallejtői meredek, szakadási felületek. A szuffúziós töbrő akkor alakul ki, ha az anyaghiányos részbe a nem összeálló (laza) fedőüledék nem omlással kerül (WILLIAMS 2003, WALTHAM–FOOKES 2003). Ez történhet a durvább fedő nagyobb dara-

¹Készült a TO48585 sz. OTKA pályázat támogatásával. A VESZ méréseket, valamint a geoelektromos földtani szelvények szerkesztését a Terratest Kft végezte.

bjainak elmozdulásával, a finomabb szemcséjű anyag utánsüllyedésével („cover subsidence sinkhole”), szuffúzióval (DRUM *et al.* 1990, WILLIAMS 2003, VERESS 2005a, 2005b), ill. lemosással (CRAMER 1941, DRUM *et al.* 1990, THARP 1999), továbbá valószínűleg a fedő tömörödésével. Megemlítjük, hogy elkülönítenek „buried” dolinát, amely a fekvőn lévő idős, karsztos mélyedést kitöltő üledék tömörödésével képződik, az üledék mélybe mosódása (BEZUIDENHOUT-ENSUN 1970, BRINK 1984), ill. a karsztvízszint süllyedése miatt (JENNINGS 1966). A tömörödést a fedőben lejátszódó kémiai folyamatok is okozzák (WILLIAMS 2003). Így a kicsapódott anyagnak a hézagterfogata kisebb lesz, mint a beoldódás előtti hézagterfogat (VERESS 1995). A forma sekély mélyedés. WALTHAM-FOOKES (2003) szerint az aktivizálódó „buried”-dolina („re-activated buried sinkhole”) a trópusi karszton fordul elő.

WALTHAM-FOOKES (2003) szerint a fedett karsztos töbrök különböző típusai a karszt különböző fejlődési fázisaiban jönnek létre. Így pl. a fiatal fázisban kicsi és kevés, míg az érett fázisban sok szuffúziós és lezökkenéses töbrő alakul ki. Összetett karszton a „buried”-töbrő, az ún. extrém karszton (amely állapot a trópusi karszton jellemzi) az összes fedett karsztos forma előfordul.

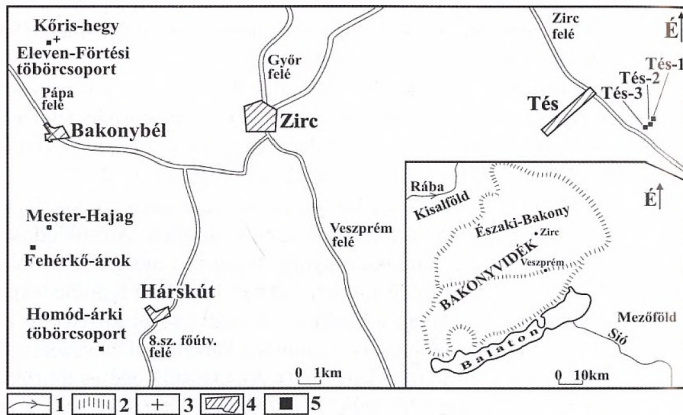
Általában a fekvőn az anyaghiányt üreg beomlásával (átöröklődéses töbrő), kürtő vagy ehhez hasonló forma (utánsüllyedéses töbrő, víznyelő jellegű töbrő) kialakulásával magyarázzák (JENNINGS 1985, TRUDGILL 1985, BULL 1977, VERESS 1982, 1999, WALTHAM-FOOKES 2003). A mélyedést részben vagy teljes mértékben a fedőüledék hordozza. Létezik azonban olyan elképzelés is, amely szerint a fekvőn nem kürtő képződik, hanem annak felülete leoldódik és ez okozza az anyaghiányt (BÁRÁNY-JAKUCS 1984).

2. AZ ÉSZAKI-BAKONY FÖLDTANI, MORFOLÓGIAI JELLEMZÉSE

Az Északi-Bakony, a Bakonyvidék északi részét képező alacsony, sasbércecs röghegység. Mintaterületeink a mintegy 1070 km² kiterjedésű Magas-Bakony és Keleti-Bakony térszínein találhatóak (1. ábra). A hegység különböző magasságú, vetőkkel határolt, rögök sorozatából áll. Miután a rögök az eocén eleje óta oszcilláló mozgást végeztek, a kréta (részben eocén) elegyentett felszín (szigetehegyes karszt) feldarabolódott (PÉCSI 1980). Egyes rögök területe fiatalabb karbonátos kőzetekkel (pl. eocén) elfedődött, más rögök felszínét viszont csak mezozoikumai karbonátos (főleg triász dachsteini mészkő, triász dolomit, jura és középső kréta mészkő) kőzetek építik fel (PÉCSI 1980). Utóbbiakról a fiatalabb karbonátos kőzetek hiányoznak, vagy azért, mert ezek lepusztultak, vagy azért, mert a rögök magasabb helyzete miatt azok nem képződhettek a területükön.

A hegységet teljes egészében – esetleg a magasabb helyzetű rögök kivételével – elfedte az oligo-miocén korú alluvium-képződmény, amely jelentős részben folyóvízi kavics (Csatka-i Kavics Formáció). Ez a nemkarsztos fedőüledék részben lepusztult, ill. áthalmazódott, eredeti településben nagyméretű foltjai csak az alacsonyabb rögök területén maradt meg. A pleisztocénben a hegység néhány m-es vastagságú lösz elborítást kapott, ami vagy a Csatka-i Kavics Formáció kavicsára települt, vagy közvetlenül a karbonátos felszínre. A lösz napjainkra a magasabb rögökről, ill. a meredekebb lejtőkről jelentős mértékben lepusztult és részben az alacsonyabb térszínre halmozódott át.

A hegység szerkezetmorfológiai elemei a hegyek (sasbércek), az árkok és a medencék. A vízfolyások különböző típusú völgyeket hoztak létre. Leggyakoribbak az átöröklődéses eredetűek (amelyek többsége ma



1. ábra: A kutatási területek

1. vízfolyás, 2. hegységhatár, 3. hegy, 4. település, 5. kutatási terület

már száraz völgy), a nemkarsztos kőzetekkel fedett térszíneken a regressziós (regressziós-epigenetikus) kialakulásúak, továbbá az antecedens völgyrészeket (főleg epigenetikus-antecedens). A hegység peremreit abráziós teraszok, pedimentek és hordalékkúpok szegélyezik.

A karbonátos felszínek még a fedőüledékek alatt is tagoltak. Ezt az alábbi folyamatok okozhatták:

– Vetődések miatt lépcsős szerkezetek jöttek létre.

– Idősebb karsztosodások miatt, amelyek főleg kréta és eocén korúak, de fellelhetők triász, oligocén előtti és panon előtti korúak is (FÖLDVÁRI 1933, VÉGHÉ 1976, BÁRDOSSY 1977, BÁRDOSSY *et al.* 1983, PATAKI-NYIRŐ 1973, MÉREI-ERDÉLYI 1989, KORPÁS 1999). E karsztosodásokat a bauxitszintek dokumentálják, ill. a bányászat vagy az exhumálódás során feltáruló paleokarsztos formák (BÁRDOSSY *et al.* 1983, PATAKI-NYIRŐ 1983, VERESS-FUTÓ 1990, VERESS 1991): mint pl. a töbrök, a töbörszerű formák, az aknák és a szigetehyges karszt különböző fejlettségű alakzatai. Létezik olyan felfogás is, amely szerint egyes paleokarsztos formák (pl. egykori poljék) eltemetődés nélkül is megőrződtek a hegységben (SZABÓ 1966).

– A folyóvízi erózió következtében különböző alakú és méretű völgyek tagolják a karbonátos fektű.

A hegységben a tipikus autogén ill. allogén karszt és formái (töbrök, víznyelők, vakvölgyes víznyelők) hiányoznak. A fedett térszíneken foltos elterjedésben nem nagy sűrűségben és többnyire nem nagy méretben fejlődtek ki a felszíni fedett karsztos formák. Ezeknek két jellegzetes fajtája a víznyelős töbör és a depresszió.

A víznyelős töbrök kis átmérőjű (átmérőjük legfeljebb néhányszor 10 m-es), gyakran meredek oldallejtőjű, fedőüledékben kialakult mélyedések. A fedőüledék lösz, agyag, ill. ezek homokos, iszapos, mészkőtörmelékes változatai. E formák az utánsüllyedéses töbörtípus egy változatának tekinthetők. Aljzatukon gyakoriak a fedőüledékben a kisebb bemélyedések. Többnyire vízelvezető járattal rendelkeznek, mely a fedőüledékben vagy az aljzaton előbukkanó mészkőben fejlődött ki. Lehatárolható vízgyűjtőjük csak ritkán van. A határoló fedőüledékes térszínről (amelyet alább háttérterületnek nevezünk) csapadékos időszakban hosszabb-rövidebb ideig vizet kapnak. VERESS (1999) szerint a víznyelős töbrök rejtett kőzethatáron jönnek létre. Nem rejtett kőzethatár ott alakul ki, ahol a felszínen karsztos és nemkarsztos kőzet érintkezik (JAKUCS 1971). Rejtett a kőzethatár ott, ahol a karsztos kőzet nemkarsztos kőzettel elfedett, de a fedőüledék lokálisan vékony. Erre ott lehet számítani – ha a felszín sík és nem tagolt, vagyis a fedőüledék lokálisan nem pusztult le –, ahol a mészkőfekü helyileg a felszínhez közeli, tehát kiemelkedést formál. Fúrással rejtett kőzethatárt mutattak ki a Mester-Hajag Mb-50 jelű karsztobjektumánál (VERESS-FUTÓ 1990). Az Mb-50 jelű fedett karsztos mélyedés ott alakult ki, ahol az elfedett feké kiemelkedést formál, tehát a fedőüledék lokálisan vékony.

Kis vastagságú fedőüledék alatt végbemenő oldódásnak több előidézője is lehet. Így a környezet vastagabb fedőüledékeinek a vizeit e helyekre terelik annak vízzáró jellegű betelepülései. Továbbá a víz a vékonyabb fedőn átszivárogva még oldóképes, ill. a vékonyabb fedőüledékben kisebb az esély vízzáró összlet megjelenésére. A kivastagodó fedőüledéknél felszíni karsztos forma kisebb eséllyel alakulhat ki. Ugyanis a vastag fedő alatt a karsztosodás miatti anyaghiányt a laza üledék utánsüllyedéssel úgy egyenlíti ki, hogy a fedő mindössze „fel-lazul”. Ezért a felszín nem vagy alig süllyed meg.

E formák kialakulása a következőképpen történik (VERESS 1999). A fedőüledéken átszivárgó vizek a mészkőfeküben elsődleges kürtöket hoznak létre. A feké felszínéhez közeli a fedő bemosott anyagaival részben kitöltődnek. Így itt az oldódás részben lefékeződik. A kürtök alsóbb részein a kitöltő üledék hiányában az oldódás folytatódik. Az alsó zónában az elsődleges kürtök összeoldódásával másodlagos kürtő, vagy vakkürtő alakul ki. A vakkürtő mennyezete beomlik. A folyamat a fedőre is átöröklődik. A fedő omlása vagy süllyedése miatt, a felszínen fedett karsztos mélyedés képződik. VERESS (1999) elkülönít szingenetikus és posztgenetikus karsztosodást. Szingenetikus karsztosodás során létrejövő fedett karsztos mélyedés kialakulási kora egyidős, míg posztgenetikus karsztosodás során létrejövő mélyedése fiatalabb, mint a létrejöttét okozó kürtő kialakulási kora.

A fedőüledékes depressziók (továbbakban depressziók) a fedőüledékben kialakult sekély (néhány m-es, legfeljebb 10 m-es mélységű), viszonylag nagy átmérőjű (kb. 50–500 m-es kiterjedésű) formák. Különösen gyakoriak e formák a requiniás és a középső-eocén mészkőterületeken. Ugyanis e mészkő felszínek magaslatokkal tagoltak. A magaslatok által közrefogott alacsonyabb térszínek fedőüledékeinek a felszínen történő elszállítását a magaslatok megakadályozzák. A depressziók belsejében rendszerint több, fejlődésének különböző fázisában lévő víznyelős töbör is előfordul.

3. KUTATÁSI MÓDSZER

A karsztok (így azok üregesedettsége) geofizikai módszerekkel is vizsgálhatók. Ilyen módszer pl. a szeizmikus, az elektromos ellenállás, az elektromágneses, a radar és a gravitációs módszer (HOOVER 2003).

A kutatási területekről domborzatrajzi térképeket készítettünk. VESZ (Vertikális elektromos szondázás) mérésekkel megállapítottuk a különböző helyeken a fekü mélységét és a fedőüledékek vastagságát. A VESZ mérés során két földelt elektródán át áramot vezetnek a felszín alá, majd másik két elektróda között mérik a létrejövő árameloszlás által okozott potenciál-különbséget. Az árameloszlás és így a mért potenciál-különbség, ill. az ebből számított ún. látszólagos fajlagos ellenállás függ az egyes rétegek fajlagos ellenállásától és azok vastagságától. A mért potenciál-különbség értékekből, az áramelektrodák távolságának függvényében görbék szerkeszthetők, amelyek segítségével, egy inverziós programot használva, ideális esetben a rétegsor ellenállásai és vastagságai meghatározhatók.

Az egyes helyeken számított rétegsorokat összeillesztve, a kialakított mérési vonalak mentén, metszetek szerkeszthetők (geoelektromos földtani szelvény). Ezek a felszín (a fedett karsztos mélyedésekkel) a mészköfékü, az összehatárak (és így a különböző fedőüledékek) lefutása, a fedőüledékek szerkezete, valamint a különböző kőzetek számított ellenállás értékei kerülnek ábrázolásra. A mészköfékü lefutása kiegészíthető, pontosítható ott, ahol a mészkö a felszínre bukkan. A mészkö magassági adatainak felhasználásával mészköfékü domborzati térképek (fekütérkép) is szerkeszthetők.

A geoelektromos szelvényekről a víznyelős töbröknek az alábbi adatait állapítottuk meg:

- A mélyedésnek a fekü domborzatához képesti helyzetét.
- Megadtuk a mélyedés környezetében a fedőüledék vastagságát. A fedőüledék vastagságát kétféle módon határoztuk meg. A legkisebb (vagy belső vastagság) fedőüledék-vastagságot úgy képeztük, hogy a mélyedés legmélyebb pontja és a fekü közti távolságot mértük. A legnagyobb (vagy külső vastagság) fedőüledék vastagságot viszont úgy, hogy a mélyedés két (szelvény menti) peremi pontját egyenessel összekötöttük, majd az egyenes és a fekü közti távolságot mértük, a mélyedés legmélyebb pontján keresztül.

Az adatok felhasználásával számítottuk a különböző helyzetű víznyelős töbröknél (amelyek lehetnek a fekü kiemelkedése, lejtője, mélyedése felett) a belső és külső fedőüledék átlagos vastagságát, valamint a fedőüledék vastagság intervallumát.

Sokelektrodás mérést is alkalmaztunk a Homód-árki mintaterületen. A sokelektrodás geoelektromos rendszerrel mérve számos (esetünkben 60) a fedőüledékbe szúrt elektróda közül kettő árambevezető, kettő másik pedig potenciál elektródaként funkcionál. Az árambevezető, ill. a potenciálmérő elektródák folyton változnak. Így végeredményben szelvénymenti méréseket (ezek a fajlagos ellenállás vízszintes irányú változásáról adnak képet) és szondázásokat (ezek pedig a fajlagos ellenállás függőleges irányú változásait mutatják) végezhetünk anélkül, hogy az elektródákat a mérés során mozgatni kellene. A mérés eredménye egy, a mérési vonal alá eső, ún. pszeudoszelvény, amiből megfelelő invertáló program segítségével fajlagos ellenállás eloszlás-szelvény nyerhető. A módszer alkalmazásával néhány m-es mélységig a fedőüledékek részletes, folytonos ellenállás „szerkezete” mutatható ki. Az ellenállás-eltérések kimutatásával a fedőüledékek víztartalmát és ezzel közvetve, azok porozitás változásait mértük. Ezáltal a porozitás változás szelvény mentén ábrázolható.

A kutatási területeket (1. ábra) és ezek néhány jellemzőjét, a területükön végrehajtott VESZ-mérések számát és az azokból nyert adatokat, az 1. táblázatban mutatjuk be.

4. A KARSZTOS MÉLYEDÉSEK KIALAKULÁSA

4.1. A fedőüledék szerkezete a mintaterületeken

A sokelektrodás mérések megmutatták, hogy a fedőüledékek eltérő porozitásúak. Az eltérő porozitású sávok függőlegesek, a porozitás oldalirányban változik. Egyes helyeken az eltérő porozitású sávok a felszín alatt „boltozatot” formálnak, más helyeken a sávok merőlegesek a felszínre (2.a. ábra).

A porozitás növekedések ott következnek be, ahol a fedő alatt az anyaghány megnövekszik. Egy szelvény mentén mért porozitás-változási típusokat és azok értelmezését a 2.b. ábrán mutatjuk be. A porozitásváltozás

tipusok egyetlen folyamat különböző fázisait reprezentálják. A folyamat során a fekűn keletkező anyagihiány miatt a fedő anyaga függőleges sávok mentén fellazul. Ezzel lehetővé téve, hogy a fedőben járat képződjön (ld. alább).

I. táblázat

A mintaterületek főbb adatai

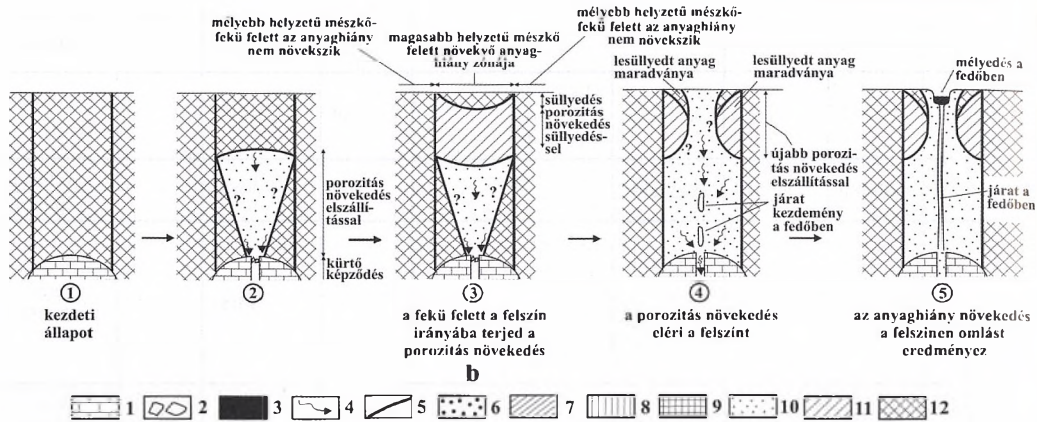
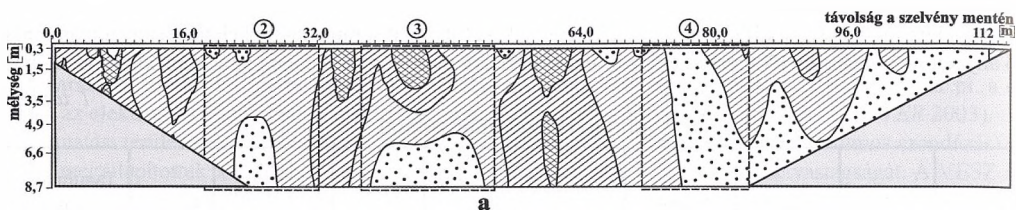
Mintaterület és jele	Magassága [m]	Fekű közete	Morfológiája	Karsztos formák ^{1,2,3}	VESZ mérés száma	Geo-elektromos földtani szelvény száma ⁴	Fekű - térkép	Tanulmány a mintaterület geofizikai vizsgálatáról
Eleven Főrlési töbör-csoport (E)	670-680	júra	sík térszín	D(kb.500m) Vt ⁸ (8+0) FVt ⁶ (4+0)	80	18(9 ⁹)	+	-
Tés-1 (T-1)	440-480	júra	völgytalp	D(kb.300m) Vt(4+2)	67	14(4)	+	Veress (2006b)
Tés-2/a (T-2/a)	450-460	júra	sík térszín	Vt(0+3)	55	15(8)	-	Veress (2005)
Tés-2/b (T-2/b)		júra	völgytalp	D ₂ (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(4)	+	Veress (2006b)
Mester-Hajag egy ik depressziója (Mb)	470-480	középső kréta requiniás	magaslattokkal tagolt	D(kb.200m) Vt(3+0)	29	4(2)	-	-
Fehérvárórok peremi depresszió (F)	340-360	középső kréta requiniás	magaslattokkal tagolt	D(kb.150m) Vt(4+0)	18	3(2)	-	-
Homód-árki töbör-csoport (H)	430-440	középső-eocén	idősebb, feltöltött völgytalp	D(kb. 400m) Vt(19+0)	52	6(8)	-	Veress (2006a)

Megjegyzés:

- 1 depresszió jele: D, zárójelben a méretük,
2. víznyelős töbör, jele: Vt, zárójelben a számuk; amelyek közül az első a depresszióban előforduló formák száma,
3. fosszilis fedett karsztos forma jele: FVt, zárójelben számuk,
4. zárójelben lévő szám mutatja, hány 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 D₂).
- 9: az E-1 jelű két rész mélyedése külön került feldolgozásra

A fedőüledékek a víznyelős töbrök környezetében és alattuk kifejlődhetnek vízszintesen, ferdén, hajlottan és lencsésen.

-Ha a vízszintesen egymásra települt összetettek meredek felület mentén végződnek el a mélyedések lejtőin, a hiányzó összetételrészt omlással került mélyebb helyzetbe (3.a. ábra, 4. ábra). A beomlott anyag közvetlenül a kürtöbe kerülhet az omlás során. Ha omlással a karsztos mélyedés aljzatára halmozódik, innen a befolyó vizek által szállítódik a kürtöbe.



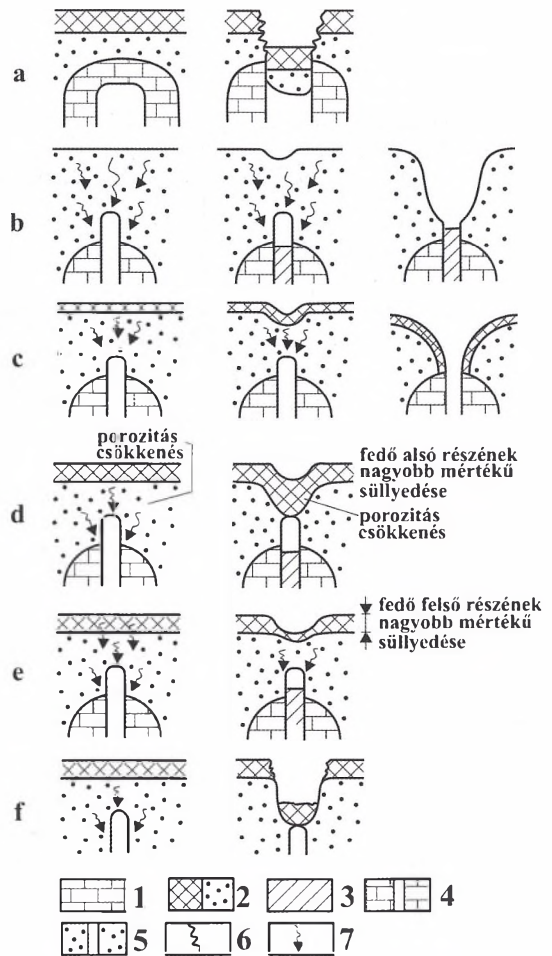
2. ábra: Járatképződés fázisai a fedőüledékben

1. mészkő, 2. omladék, 3. beomlott fedő, 4. vízszivárgás és szuffúzió a fedőüledékben, 5. eltérő porozitású üledékek határa; mért fajlagos ellenállások: 6. 1–5 Ωm, 7. 5–50 Ωm, 8. 50–120 Ωm, 9. 120–400 Ωm, elvi porozitás a fajlagos vezetőképesség figyelembevételével, 10. fedőüledék porozitása nagy, 11. fedőüledék porozitása közepes, 12. fedőüledék porozitása kicsi; A b ábra 2, 3, 4 részábrái a mérési árba (a) szagatott vonallal kijelölt részei alapján készültek.

- Ha a fedő összlet hajlott és a mélyedés lejtőin kifejlődött, de hajlása eltér a fekéü hajlásától vagy az alatta elhelyezkedő összletől, az alábbi szerkezetek fejlődhetnek ki:
 - Az összlet a felszínen a mélyedés környezetében is előfordul, de vastagsága a mélyedéstől távolodva nő. Ilyen esetben a környező felszín összlete, részben lepusztulva, a mélyedésbe szállítottott.
 - A karsztos mélyedést a hajlatot képező fedőüledék fogja közre. Ilyenkor a fedőüledéket a felszíni vizek a beszivárgás során már a felszín közeléből szuffuziósan mélyebre halmozzák. A felszín megsüllyed a kürtő feletti fedőüledék porozitásának növekedése miatt. A fedőüledékes felszín dőlése süllyedéssel egyre nagyobb lesz. A mélyedés a felszín (fedőüledék) lokális süllyedésével jön létre. Ha az anyagelszállítás folytatódik, a mélyedés aljzata elérheti a fekéüt (3.b. ábra, 5. ábra).
 - Akkor, ha az anyagelszállítás valamely összlet alól történik és az vékony, az összlet alakjának meg-tartásával behajlik (3.c. ábra, 6. ábra). Ha ez az összlet vastag és alóla az anyag csak részben mosódik ki, alsó része nagyobb mértékben süllyed, mint a felső (zsebes üledékszerkezet). Az összlet felső felületének hajlása kisebb lesz, mint az alsó felszín felületének hajlása (3.d. ábra, 7. ábra). Ha ezen felsőbb helyzetű összlet szintén elég vastag, de alsó részéből is kimosódik részben az anyag, felső része süllyed nagyobb mértékben. Az összlet felső felületének a dőlése nagyobb lesz, mint az alsó felületé (3.e. ábra, 6. ábra).
- Előfordulhat, hogy a felső, vízszintesen települt, hiányos és megszakadó összlet alatti üledék felülete hajlott. Ekkor ez utóbbi süllyedése miatt az eredetileg egységes felső összlet beomlik (3.f. ábra, 8. ábra).
- Ha a fedőüledékben (vagy a fekéün lévő mélyedésben) lencsés betelepülésű összlet fordul elő, és a lencsés település felülete sík, akkor az egykori paleokarsztos mélyedés kitöltődött. A lencsés kitöltődés valószínűleg a mélyedésekben létrejövő árvízi tavakból jött létre (VERESS 1986, 1999). Ha a lencsés betelepülésű összlet felső felülete kisebb mértékben hajlott, mint az alsó, a kitöltésben újabb mélyedés képződött süllyedéssel. Elsősorban a fedőüledékek szerkezetének a figyelembevételével dönthetjük el, hogy valamely víznyelős töbör szingenetikus vagy posztgenetikus karsztosodás során alakult-e ki.

A posztgenetikus karsztosodás során alakult ki a fedett karsztos forma az alábbi esetekben:

- Ha a fedőüledékben a jelenlegi karsztos mélyedés alatt, egymás felett kifejlődve, lencsés betelepülések (8. ábra, 9. ábra), ill. olyan hajlott összletek sorakoznak, amelyeknek alsó felülete nagyobb mértékben dől, mint a felső (6. ábra). A lencsés, de alul és felül is íves felületű üledékszerkezet betelepülés kialakulásának az oka, hogy a mélyedést kitöltő összlet a létrejövő anyaghiány miatt megsüllyed. Tehát a karsztos mélyedés kitöltésében újabb képződik.
- Ha a fedett karsztos mélyedés talpán további, egyébként kitöltött belső mélyedések fordulnak elő (a kitöltés lencsés szerkezetű) a fekűn vagy a fedőüledékben (9. ábra).
- Ha a fedett karsztos mélyedés és a fekű között a környezetétől eltérő fedőüledék betelepülés fordul elő (10. ábra).
- Ha a fekűn mélyedés van, és ennek kitöltésében képződött víznyelős töbor oldala, aljzata eléri vagy megközelíti a paleokarsztos mélyedés fekjét, ill. járatát (8. ábra).
- Ha a lencsés betelepülésű fedőben omlással kialakult fedett karsztos mélyedés van (8. ábra).
- Ha a fedőüledék kiékelődik, de a kiékelődési felület és a fedett karsztos mélyedés közé lencsés kifejlődésű összlet települ.
- Ha a fekűben lencsésen települt összlet felett ferde helyzetű, a víznyelős töbor belseje felé kiékelődő összlet fordul elő (9. ábra).
- Ha a víznyelős töbor kürtőjében (barlangjában) a kürtő egykori részleges vagy teljes kitöltődésre utaló formák fordulnak elő (ld. alább).



3. ábra: A víznyelős töbrök kialakulása során létrejövő üledékszerkezetek néhány típusa

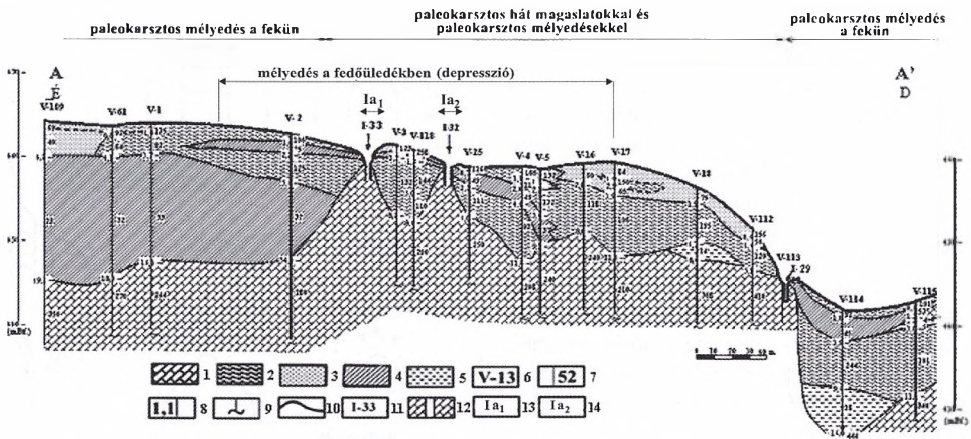
1. mész, 2. fedőüledék, 3. áthalmazott fedőüledék, 4. kürtő, 5. járat, 6. omlással a fedőben kialakult felület, 7. vízszivárgás és szuffúzió a fedőüledékben, a. a fedő beomlik, b-c. a felszín süllyed a fedőüledék elszállítása miatt, d. a felszín süllyed a felső összlet süllyedése során, de ez utóbbinak az alsó felülete nagyobb mértékben behajlik, mint a felső felülete, e. a felszín süllyed a felső összlet süllyedése során, de ez utóbbinak a felső felülete nagyobb mértékben hajlik be, mint az alsó felülete, f. a felső összlet beomlik, a fekű összlet süllyedésével kialakult térbe

4.2. A víznyelős töbrök képződési környezete

4.2.1. Üledékvastagság

AVESZ mérések adatainak felhasználásával megállapítható, hogy a mélyedések gyakorisága a fedőüledék vastagságának növekedésével csökken (II., III. táblázat). Különösen így van ez a belső fedőüledékvastagság esetében (a mélyedések 78,23 %-ánál értéke 4 m alatti). 100 %-nak a szelvényekre eső víznyelős töbor darabszámot (37 db-t) tekintettük. A külső üledékvastagság növekedésével kevésbé csökken a mélyedésszám.

Így 4 m alatti külső üledékvastagságú a mélyedéseknek a 32,43 %-a. Igaz, 6 m-nél kisebb külső üledékvastagságú van a formák 75,68 %-ának. A kicsi üledékvastagság és a nagy mélyedés gyakoriságának kapcsolatát tovább erősíti, ha a szingenetikus-, ill. a posztgenetikus mélyedések darabszámát külön bontjuk (21 ill. 16 db). Ha mindkét csoportba tartozó darabszámot 100 %-nak vesszük, akkor megadhatjuk, hogy a 6 m-nél kisebb, ill. nagyobb üledékvastagságúak között milyen arányban fordulnak elő szingenetikus, ill. posztgenetikus eredetű



4. ábra: Omlásos üledékszerkezetű víznyelős töbrök (A-A' jelű geoelektromos-földtani szelvény a Tés-1 jelű területről, a szelvény a Tábla-völgy talpán helyezkedik el, iránya megegyezik a völgy irányával)

1. mészkő, 2. mészkőtörlemék (agyagos), 3. lösz (homokos, vagy mészkőtörlemékes), 4. lösz (agyagos-iszapos), vagy mészkőtörlemékes agyag, 5. agyag, 6. VESZ mérés száma, 7. összlet geoelektromos ellenállása (Ohm), 8. geoelektromos összlet talpmélysége (m), 9. VESZ mérés kb. behatolása, 10. geoelektromos összehatár, 11. fedett karsztos mélyedés jele, 12. kürtő, 13. szingenetikus, magaslattal felett kialakult fedett karsztos mélyedés (külső üledékvastagság kicsi), 14. posztgenetikus, magaslattal felett kialakult fedett karsztos mélyedés (kicsi külső üledékvastagság)

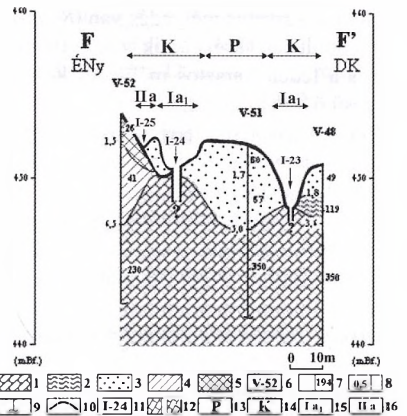
víznyelős töbrök. Kiderül, hogy a szingenetikus víznyelős töbröknél 80,95 %-ánál kisebb a külső üledékvastagság 6 m-nél (24,32 %-uknál 3,5 m-nél is kisebb), míg csak 19,05 %-uknál nagyobb. A fentiek egyrészt jelzik a 0-6 m közötti (ill. ilyen érték körüli) fedővastagság fontosságát, másrészt azt, hogy 6 m-nél nagyobb fedővastagságnál a szingenetikus karsztosodásnak az esélye csökken. Megállapíthatjuk tehát, hogy a szingenetikus fedett karsztos mélyedések többsége olyan térszíneken alakul ki, ahol a fedőüledék vastagság 6 m-nél kisebb. Ez utóbbi érték (6 m) valószínűleg a kialakulási üledékvastagságnak tekinthető, hiszen a belső üledékvastagság csökkenhet, de nőhet is.

A továbbiakban a 0-3,5 m fedőüledék-vastagságot kicsi, a 3,5-6 m vastagságot közepes, az ezt meghaladót nagy fedőüledék-vastagságnak tekintjük.

4.2.2. Fekű morfológia

A víznyelős töbrök elhelyezkedhetnek a fekű kiemelkedésének teteje felett (a forma kiemelkedés feletti helyzetű), a kiemelkedés oldalajtója felett (a forma lejtői helyzetű) és a fekű oldaldéése felett.

A geoelektromos földtani szelvények adatainak felhasználásával megállapítható, hogy a víznyelős töbrök többsége (22 db, 59,46 %) eltemetett kiemelkedés tetőszintje feletti helyzetű. A kiemelkedés lehet



5. ábra: Süllyedésszerű üledékszerkezetű víznyelős töbrök (F-F' jelű geoelektromos-földtani szelvény a Tés-2 jelű területről)

1. mészkő, 2. mészkőtörlemék (agyagos), 3. lösz (homokos, vagy mészkőtörlemékes), 4. lösz (agyagos-iszapos), vagy mészkőtörlemékes agyag, 5. agyag löszös, mészkőtörlemékes), 6. VESZ mérés száma, 7. összlet geoelektromos ellenállása (Ohm), 8. geoelektromos összlet talpmélysége (m), 9. VESZ mérés kb. behatolása, 10. geoelektromos összehatár, 11. fedett karsztos mélyedés jele, 12. kürtő, 13. paleokarsztos mélyedés, 14. kiemelkedés, 15. szingenetikus, magaslattal felett kialakult fedett karsztos mélyedés (külső üledékvastagság kicsi, ill. 0 m), 16. szingenetikus, magaslattal lejtője felett kialakult fedett karsztos mélyedés (külső üledékvastagság közepes)

Kiemelkedés teteje feletti víznyelős töbrök üledékvastagság adatai

Sorszám	Mélyedés jele	Kicsi külső (3,5 m-nél kisebb) üledékvastagság, az aljzaton mészkővel [m]				Közepes külső üledékvastagság, 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	0	1,6												m(III)
2.	I-33	0	2,0												k(II)
3.	I-24	0	2,0												k(II)
4.	I-28	0	2,0												k(II)
5.	I-23	0	3,4												k(II)
6.	E-7	0	3,4												m(I)
Átlag		0	2,4												-
Vastagság intervalluma		0	1,6-3,4												-
1.	I-32			0	1,8										m(I)
1.	H-6					1,0	2,0								k(II)
2.	E-3					2,0	3,6								m(III)
3.	I-16					0,9	4,9								m(I)
4.	H-14a					2,0	5,33								k(II)
Átlag						1,47	3,96								-
Vastagság intervalluma						0,9-2,0	2,0-5,33								-
1.	I-102							1,2	5,3						k(II)
2.	Mb-50							2,4	5,6						k(II)
3.	I-27							4,7	6,25						m(III)
4.	Mb-41							4,6	7,4						k(II)
Átlag								3,22	6,14						-
Vastagság intervalluma								1,2-4,7	5,3-7,4						-
1.	E-5									0	4,4				m(III)
2.	I-17									0	5,0				m(I)
3.	H-1									0	6,0				k(II)
4.	I-15									0	6,4				m(II)
Átlag										0	5,45				-
Vastagság intervalluma										0	4,4-6,4				-
1.	E-1/b											0	3,5		m(III)
2.	E-6'											0	5,4		m(I)
3.	E-1/a											0	6,9		m(III)
Átlag												0	5,27		-
Vastagság intervalluma												0	3,5-6,9		-

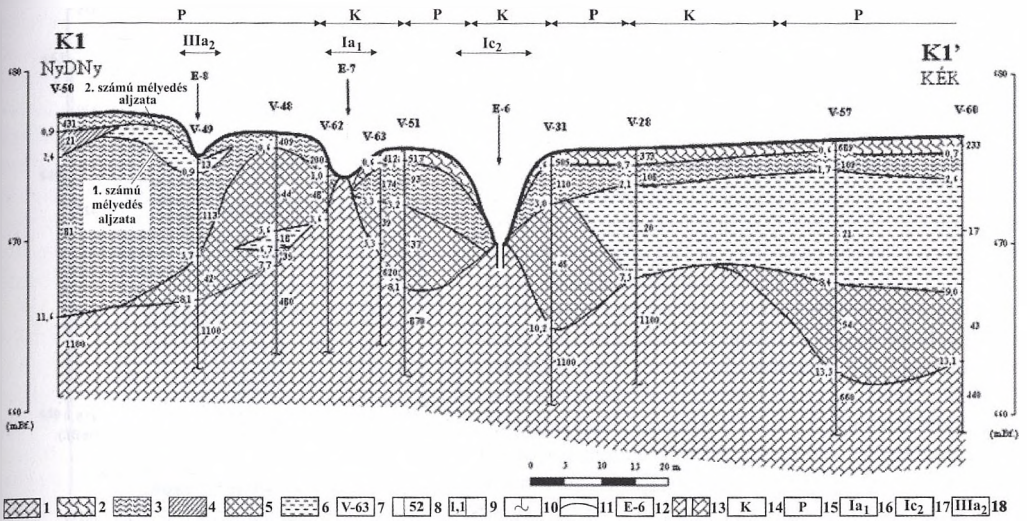
Magaslat felett: m, küszöb felett: k, feküterkép felhasználásával (I), feküterkép hiányában legalább eltemetett küszöb van, ha egyetlen szelvény van, és e mentén a fedett karsztos mélyedéstől ellentétes irányokba dől a fekü (II), eltemetett magaslat van, ha két egymást keresztező szelvény van, és ezek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

Kiemelkedés lejtője feletti és mélyedés feletti víznyelős töbrök üledékvastagság adatai

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

Mélyedés (k) ill. lejtő (kl) felett, paleokarsztos mélyedés (p) ill. lejtője (pl) felett, feküterkép felhasználásával (I), feküterkép hiányában legalább mélyedés van, ha egyetlen szelvény van és e mentén a különböző feküreszek 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 fekü minden irányból (III), továbbá ha a szelvényre merőlegesen és atól mindkét irányban, az eltemetett mélyedésnél a mészkő a felszínre bukkan (IV), 1. a mélyedésre merőleges szelvényre a kereszteződésnél kiemelkedés van, amelyen egy mélyedés helyezkedik el.

küszöb (a fekü két irányban dől a felszíni mélyedés felől) vagy magaslat (a fekü minden irányban dől a felszíni mélyedés felől). Ha a kiemelkedési helyzetűekhez hozzászámítjuk a lejtői helyzetűeket (7 db, ami az összes mélyedés 18,92 %-a), akkor a szingenetikus és posztgenetikus víznyelős töbrök 78,38 %-a helyezkedik el magaslaton. A lejtői helyzetűek többsége (4 db) is 6 m-nél kisebb üledékvastagságú környezetben képződött. Tehát 26 db mélyedés olyan magaslati környezetben alakult ki, ahol a fedő vastagsága 6 m-nél kisebb.



6. ábra: Süllyedésszerű üledékszerkezetű víznyelős töbrök (K1-K1' jelű geoelektromos földtani szelvény az Eleven-Förtés területéről)

Jelmagyarázat: 1. mész, 2. mészkőtörmelék, 3. mészkőtörmelék (agyagos), 4. lösz (agyagos-iszapos) vagy mészkőtörmelékes agyag, 5. agyag (lössös, mészkőtörmelékes), 6. agyag, 7. VESZ mérés száma, 8. összlet geoelektromos ellenállása (Ohm), 9. geoelektromos összlet talpmélysége (m), 10. VESZ mérés kb. behatolása, 11. geoelektromos összlethatár, 12. fedett karsztos mélyedés jele, 13. kürtő, 14. kiemelkedés, 15. paleokarsztos mélyedés, 16. szingenetikus, magaslat felett kialakult fedett karsztos mélyedés (külső üledékvastagsága kicsi), 17. posztgenetikus, magaslat felett kialakult fedett karsztos mélyedés (közepes), 18. paleokarsztos mélyedés felett kialakult posztgenetikus fedett karsztos mélyedés (nagy belső üledékvastagságú)

Megjegyzés: I. a mélyedések (E-6, E-7 jelű) úgy alakultak ki, hogy nem csak a felszín, hanem a legfelső összlet is süllyedt, a fekü összlet anyagvesztése miatt, II. az E-8 jelű mélyedésnél a legfelső összlet anyagvesztése miatt annak felső felülete nagyobb mértékben süllyedt, mint az alsó, III. E-8 víznyelős töbrő kialakulása: a mészkőtörmelékes agyagos összleten mélyedés képződik, ez kitöltődik agyaggal (E-8 jelű mélyedés alatti 1. számú mélyedés), az agyagos kitöltésben újabb mélyedés képződik (E-8 alatti 2. számú mélyedés), ez utóbbi kitöltődik mészkőtörmelékes agyagos összlettel, amelyben kialakul a jelenlegi mélyedés

Ha azonban a kiemelkedési és lejtői helyzetű víznyelős töbrök közül csak a szingenetikus eredetűeket tekintjük, akkor a 21 db-ból 18 db (85,71 %) 6 m-nél kisebb külső üledékvastagsággal rendelkezik. Mindössze 3 víznyelős töbrő fordul elő olyan magaslaton vagy lejtőn, ahol az üledékvastagság a 6 m-t meghaladja. Tehát a fedőüledék lokális kivéonodását, amely kedvez a szingenetikus víznyelős töbrök kialakulásának, a mészkőfekü lokális magasságváltozásai teszik lehetővé (ehhez hozzájárulhat még a felszíni lepusztulás is).

A víznyelős töbrök 21,62%-a található eltemetett mélyedés felett. Nem zárt mélyedést (a továbbiakban mélyedést) akkor képez a fekü, ha felszíne két irányból, míg paleokarsztos mélyedést (tehát zárt) akkor, ha minden irányból a felszíni mélyedés felé dől.

A depressziók alatt a mészkőfekü összességében kiemelkedést formál, de ennek felszíne kiemelkedésekkel és mélyedésekkel tagolt (4. ábra, 11. ábra).

4.2.3. A víznyelős töbrök genetikai típusai

A víznyelős töbröket a fekü morfológiájához képesti kelyzetük szerint típusokba, a hordozó fedő vastagsága szerint altípusokba, a fekü kürtőjéhez képesti kialakulási koruk szerint változatokba soroltuk (II., III. táblázat).

4.2.3.1. Kiemelkedés feletti helyzetű víznyelős töbrök kialakulása

– Leggyakoribbak az olyan víznyelős töbrök, amelyek kicsi üledékvastagságú térszíneken jönnek létre (I. típus). E töbröknél a belső üledékvastagság 0 m (a fekü az aljzaton előbukkan), a külső üledékvastagság legfeljebb 3,5 m (Ia altípus). E típus víznyelős töbreinek a kialakulása közvetlenül átöröklődéssel történik (4. ábra, 12. ábra,

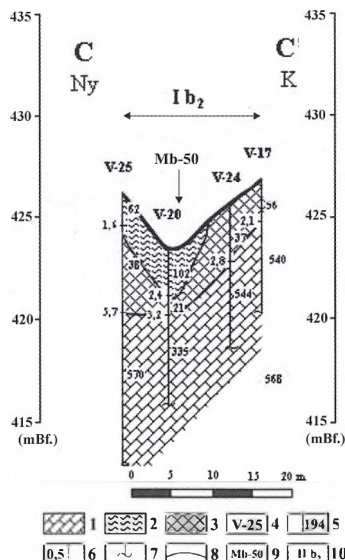
II. táblázat). A fedő anyaga, miután a vakkürtő omlással felnyílik, beomlik a kürtőbe. Az omlásos átöröklődést bizonyítja, hogy a víznyelős töbröket határoló fedőüledékek vízszintes helyzetűek. A mélyedések oldallejtői ezen összletek meredek elvégződésű szakadási felületei. E formák többsége szingenetikus karsztosodás (a magaslaton elhelyezkedő 22 db-ból 7 db ilyen kialakulású) során jött létre (Ia₁ változat). E típusba tartozó töbrök közül mindössze 1 db posztgenetikus (Ia₂ változat) kialakulású.

Ilyen mélyedés lehet, pl. az I-32 jelű mélyedés is (4. ábra). Járatának a mennyezetén mennyezeti csatorna található. Ez bizonyítja, hogy a kürtő (barlang) már korábban kitöltődött üledékekkel, majd később ezeket elveszítette. *BRETZ* (1996), *RENAULT* (1968), *SLABE* (1995) szerint mennyezeti csatornák akkor alakulnak ki, ha az üreg kitöltő üledékei a barlang mennyezetéhez szorítják a felettük áramló (szivárgó) vizet. A víz a mennyezet mentén áramolva (szivárgó) hozza létre az áramlási csatornát. Az I-32 jelű mélyedés barlangja, miután üledékeit veszítette, fedőüledékeinek omlásával a felszínre nyílt.

– Előfordulhat, hogy a mélyedés környezetében, bár az eltemetett kiemelkedés felett található, a fedőüledék vastagsága már nagyobb (közepes). Ekkor a mélyedések teljes egészében a fedőben képződtek, aljzatukon nem bukkan elő a fekkürtőzet (I.b. altípus, 13. ábra, II. táblázat). Az ilyen fedett karsztos mélyedésekben a belső üledékvastagság, adataink szerint 0,9–4,7 m közötti, átlaga 2,34 m, míg a külső üledékvastagság 2,0–7,4 m közötti, és átlaga 5,05 m. A víznyelős töbrő aljzatán lévő „kaput” és a fekü kürtőjét a fedőben kialakult járat kapcsolja össze. A fedőben járat csak akkor alakulhat ki, ha a feküben már kürtő létezik. A fedőben a járatképződés végbemehet a csapadékvíz áthalmozó tevékenységével (szuffúzióval) vagy omlással. Közvetlenül bizonyítja a járat létét a fedőüledékben, hogy a fedett karsztos mélyedés alatt, a fekü kiemelkedésén nincs mélyedés. Tehát a fedőüledék mélyedése nem a fekü alakját képezi le. Ezért a fedőn keletkező anyaghiány csak a fedő járatán keresztül végbemenő anyagszállítással történhet. (Ez az anyagszállítás okozhatja aztán a fedő már említett lokális süllyedését vagy omlását.) A fedőüledékben kialakult járat közvetlenül is megfigyelhető, feltárható (esetleg bejárható) a különböző fedett karsztokon: Bakony, Mecsek, Pádis (Románia), de észlelhető pszeudokarsztokon is (Izlandon a Hekla környékén).

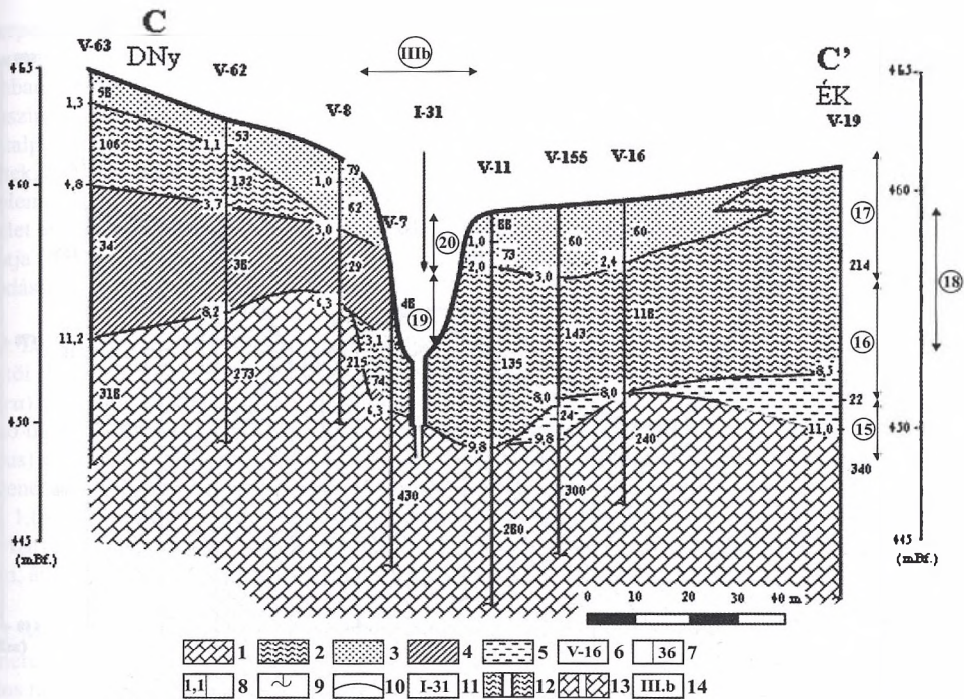
A járatképződés fázisai, a sokelektrodás mérések felhasználásával szerkesztett szelvény figyelembevételével, a következők lehetnek (2. ábra):

- A mészkőfeküen kürtő alakul ki, vagy egy idősebb kürtő elveszti 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 (2. ábra 2 fázis).
- A porozitás növekedés miatt a fedő felső része megsüllyed. A süllyedés porozitásnövekedést is eredményez. Ez utóbbi összlet felső felülete is megsüllyedhet. Felette és a felszín között eredeti porozitású lencsés összlet maradhat vissza (2. ábra 3 fázis).
- A további porozitás-növekedés miatt a fedőben járatkezdemények képződnek. A porozitásnövekedés zónája felfelé terjedve eléri a felszínt (2. ábra 4 fázis).
- Ha a fedőben járat is kialakul, a járat feletti fedő beomlásával (süllyedésével) a felszínen fedett karsztos mélyedés képződik (2. ábra 5 fázis).



7. ábra. Zsebes üledékszerkezetű víznyelős töbrő (a C-C' jelű geoelektromos földtani szelvény a Mester-Hajagról)

1. mészkő, 2. mészkőtörmelék (agyagos), 3. agyag (löszös, mészkőtörmelékes), 4. VESZ mérés száma, 5. összlet geoelektromos ellenállása (Ohm), 6. geoelektromos összlet talpmélysége (m), 7. VESZ mérés kb. bchatolása, 8. geoelektromos összlethatár, 9. fedett karsztos mélyedés jele, 10. posztgenetikus, magaslat felett kialakult fedett karsztos mélyedés (külső üledék-vastagság közepes, a fekü magaslatja az itt nem közölt A-A' szelvényen látható)



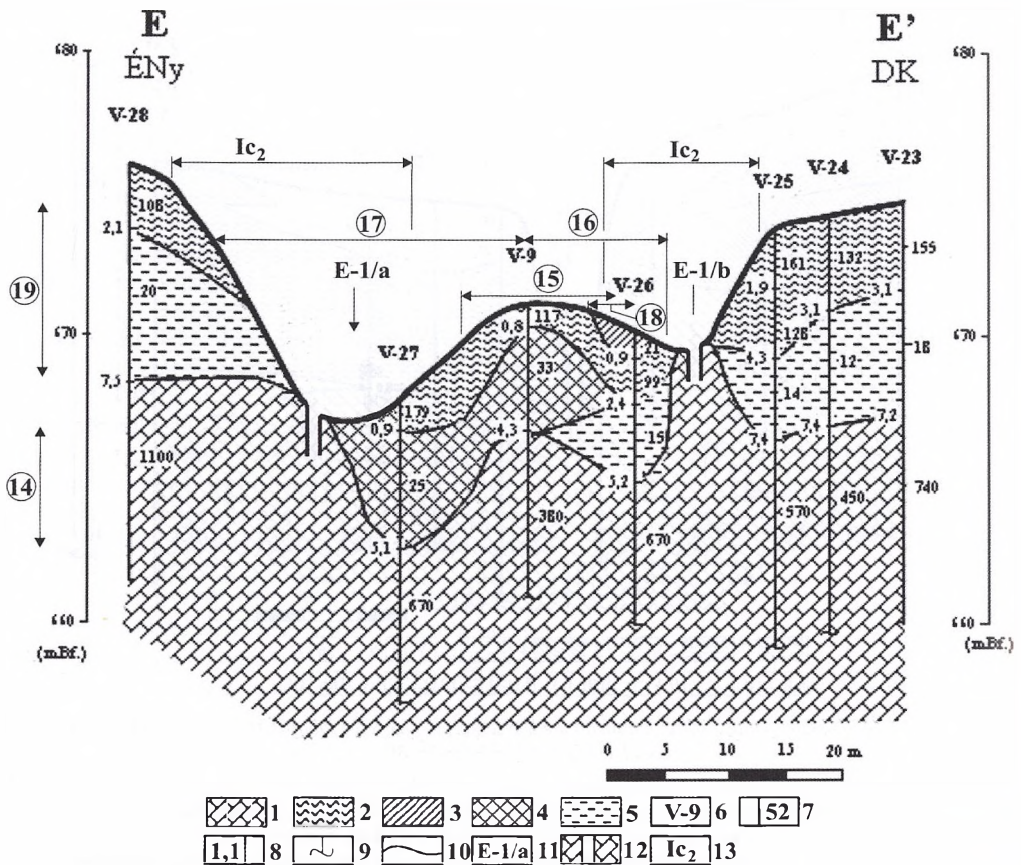
8. ábra. A legfelső fedő összlet omlása során kialakuló üledékszerkezetű víznyelős töbrök (C-C' jelű geoelektromos földtani szelvény a Tés-1 jelű területről)

1. mészkő, 2. mészkőtörmelék (agyagos), 3. lösz (homokos v. mészkőtörmelékes), 4. lösz (agyagos-iszapos) v. mészkőtörmelékes agyag, 5. agyag, 6. VESZ mérés száma, 7. összlet geoelektromos ellenállása (Ohm), 8. geoelektromos összlet talpmélysége (m), 9. VESZ mérés kb. behatolása, 10. geoelektromos összehatár, 11. fedett karsztos mélyedés jele, 12. feltárás kútgyűrűkkel kibérelve, 13. kürtő, 14. mélyedés feletti posztgenetikus fedett karsztos mélyedés (nagy külső és kicsi belső fedőüledék vastagsága), 15. paleokarsztos mélyedés, 16. paleokarsztos mélyedés kitöltése, 17. a paleokarsztos mélyedés feletti fedőüledékben kialakult 1. sz. posztgenetikus fedett karsztos mélyedés, 18. a 2. sz. posztgenetikus fedett karsztos mélyedés, amely az 1. sz. fedett karsztos mélyedés kitöltésében és a paleokarsztos mélyedés kitöltésében alakult ki, 19. szuffúziós anyaghiány zónája, 20. a fekü összlet anyaghiánya miatt omlással kialakult zóna.

A sokelektrodás szelvények adatai szerint porozitás-növekedési helyek (amelyeket járatkezdeményeknek tekintünk) egymás mellett viszonylag sűrűn fordulnak elő. Ez arra utalhat, miután a karsztos mélyedések lényegesen ritkábban fordulnak elő, ill. a mérési nyomvonalainkon egy sem volt, hogy a járatkezdemények közül csak kevés fejlődik járattá, ill. alakulhat ki az ilyen helyeken fedett karsztos mélyedés.

A fedett karsztos mélyedés járata a feküben kialakult oldásos eredetű kürtőhöz kapcsolja a mélyedést. A több méteres vastagságú fedőüledékben kialakult járat közvetítésével kerül a mélyedésből az üledék a fekü karsztos kürtőjébe.

E mélyedések is kialakulhatnak szingenetikus (I.b₁ változat), ill. posztgenetikus (I.b, változat) karsztosodás során (13. ábra). Az elkülönítést a mélyedések alatti üledékszerkezet figyelembevételével lehet elvégezni. A szingenetikus kialakulású víznyelős töbrök alatt a belső üledékvastagság 0,9–2,0 m közötti, amely átlaga 1,47 m, míg a külső üledékvastagság 2,0–5,33 m, ennek átlaga 3,96 m. A posztgenetikus kialakulású víznyelős töbrök alatt a belső üledékvastagság 1,2–4,7 m közötti, aminek átlaga 3,22 m, a külső üledékvastagság 5,3–7,4 m közötti, melynek átlaga 6,14 m (II. táblázat). Látható, hogy a posztgenetikus eredetű víznyelős töbrök alatt az üledékvastagság nagyobb. Mindez arra vezethető vissza, hogy a fekü magaslatok feletti felszínen akkumuláció történt. Emiatt egyrészt nőtt az üledékvastagság, másrészt a kisebb üledékvastagságnál kialakult



9. ábra: Paleokarsztos mélyedések felett kialakult posztgenetikus fedett karsztos mélyedés üledékszerkezete (E-E' jelű geoelektromos földtani szelvény az Eleven Förtés területéről)

1. mészkő, 2. mészkőtörmelék (agyagos), 3. lösz (agyagos-iszapos), vagy mészkőtörmelékes agyag, 4. agyag (löszös, mészkőtörmelékes), 5. agyag, 6. VESZ mérés száma, 7. összlet geoelektromos, ellenállása (Ohm), 8. geoelektromos összlet talpmélysége (m), 9. VESZ mérés kb. behatolása, 10. geoelektromos összelethatár, 11. fedett karsztos mélyedés jele, 12. kürtő, 13. posztgenetikus, magaslat feletti fedett karsztos mélyedés (külső üledékvastagsága közepes), 14. paleokarsztos mélyedések, 15. lencsés kifejlődésű agyag összlet; meredek lejtői ill. a kiékelődése DK-i irányban bizonyítja az összlet korábbi nagyobb kiterjedését és későbbi lepusztulását (DK-i részének lepusztulása a jelenlegi kürtőbe nem történhetett, mivel a kürtő magasabb helyzetű, mint az összlet), 16. itt alakult ki az 1. számú mélyedés, amely feltöltődött agyaggal és mészkőtörmelékkel, 17. valószínűleg a szelvény ÉNy-i részén is kialakult egy mélyedés, mivel a lencsés betelepülésű agyag és a mészkőtörmelékes összlet ÉNy-i elvégződése alacsonyabb helyzetű, mint a jelenlegi kürtő (az E-1/a jelű mélyedés alatti 1. sz. mélyedés), 18. a szelvény DK-i részén az 1. sz. mélyedés anyagában újabb mélyedés képződik (2. sz. mélyedés), amely kitöltődik löszsel, 19. a két jelenlegi kürtő kialakulásával a két rész mélyedés elnyeri jelenlegi alakját

mélyedés feltöltődött, majd eltemetődött. A már létező, de kitöltött kürtő, ill. járat a beszivárgó vizek hatására később üledékeit veszíti. Ezért a magaslat felett a feltöltődéssel létrejövő egyre magasabb felszíneken posztgenetikusan újabb és újabb víznyelős töbrök alakulhatnak ki.

Az üledékben vakon elvégződő járat feletti rész mint említettük beomolhat vagy süllyedhet. Omlás esetén a járat felszínre nyílik, falának lepusztulásával mélyedés formálódik. A süllyedés jellege és így a létrejövő üledékszerkezet attól függ, hogy a járat felső vége milyen távolságra van a felszínhez képest, és az anyag honnan szállítódik el (3.b, 3.c, 3.d, 3.e ábrák).

– Közepes üledékvastagságú környezetben jöhetnek létre, a fedő süllyedése során, olyan víznyelős töbrök is, amelyeknek a belső üledékvastagsága 0 m (aljazatukon előbukkan a mészkő). Külső üledékvastagságuk azonban 3,5–6,9 m közötti, amelynek átlaga 5,36 m (I.c. altípus). Ezek a mélyedések fejlődésük kezdetén valószínűleg I/b altípusúak lehettek. Ezen altípus mélyedéseinek a kialakulása úgy történhetett, hogy a mélyedés talp és a fekü közötti üledék szuffúzióval, ill. a járataikon keresztül elszállítottott. Ezért mindaddig mélyültek, amíg az aljazat elérte a feküt. A fedőüledéknek a karsztba szállítódásával az ilyen mélyedések járata is felemésződik. A kialakuló mélyedés oldalfalait süllyedéssel létrejött lejtők képezik (5. ábra). Ha a felső összlet anyaga részben vagy teljesen megmarad, a mélyedés oldalajtóit a lejtővel közel párhuzamos összlet alkotja (6. ábra). E típus is kialakulhat szingenetikus (I/c₁ változat), ill. posztgenetikus (I/c₂ változat) karsztosodással (14. ábra, II. táblázat).

4.2.3.2. Lejtői helyzetű víznyelős töbrök kialakulása

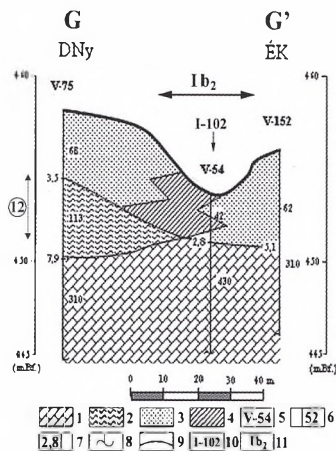
Lejtői helyzetű víznyelős töbrök nagyobb fedőüledék-vastagságú térszíneken jönnek létre (5. ábra, 15. ábra). Adataink szerint az ilyen mélyedéseknél a belső üledékvastagság 1–15 m közötti, átlaga 4,49 m. A külső üledékvastagság 3,6–15,0 m, és ennek átlaga 6,99 m (III. táblázat). Ilyen víznyelős töbrök kialakulása (II. típus) csak akkor lehetséges, ha a fedőben járat képződik. Ez történhet szingenetikus- (II/a altípus) vagy posztgenetikus (II/b. altípus) karsztosodással (15. ábra). A szingenetikus víznyelős töbröknél a belső üledékvastagság 1,0–5,0 m közötti, ennek átlaga 2,95 m, a külső 3,6–8,6 m, és ennek átlaga 5,28 m. A 3 db posztgenetikus víznyelős töbrömél – valószínűleg az ismétlődő eltemetődések miatt – nagyobb (a belső üledékvastagság 3–13 m, átlaga 6,67 m, a külső 5,33–15 m, átlaga 9,22 m) a fedőüledék vastagsága (III. táblázat).

4.2.3.3. Mélyedés feletti víznyelős töbrök kialakulása

Ismereteink szerint az ilyen víznyelős töbrök paleokarsztos mélyedés felett alakulnak ki (III. típus).

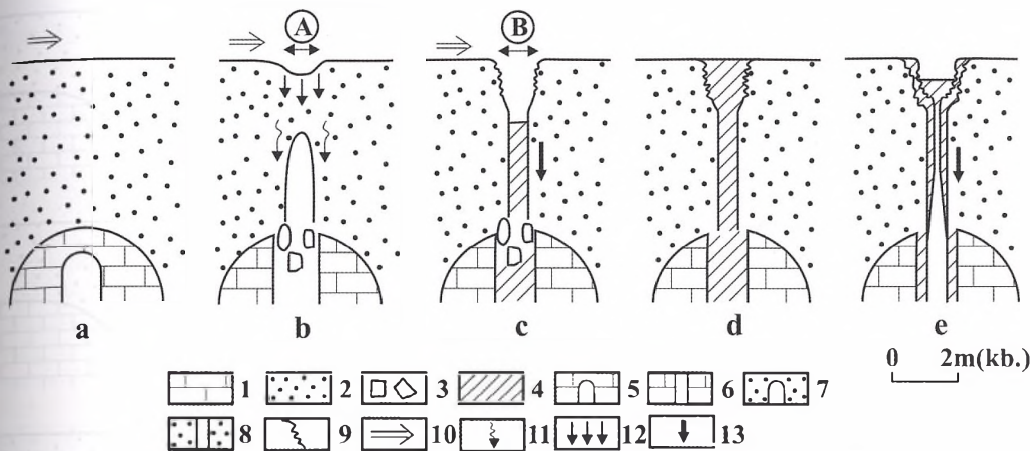
– Előfordulhat, hogy a fedett karsztos mélyedés szingenetikus. Ilyenkor az eltemetett paleokarsztos mélyedés kürtöje és a fedett karsztos mélyedés kialakulása egyidős (IIIa₁ altípus). E mélyedéseknek, mind a külső, mind a belső üledékvastagsága viszonylag kisebb (átlagos üledékvastagság 4,29 ill. 6,70 m). Ez a kialakulási mód elsősorban a requiniás és a középső-eocén mészkőterületeken fordulhat elő. Ugyanis e térszíneken a mészkő magaslatai által közrefogott felszínrészletek vizei a vastagabb fedőn is áthatolhatnak. Ennek okai az alábbiak:

- a depresszió vizei felszíni lefolyás hiányában elszivárognak,
 - a fedő mészkőtörmelék, amely még nagyobb vastagsága esetén is vízáteresztő,
 - a fedő agyagos betelepülései kiékelődnek; a kiékelődési helyeknél egyrészt a beszivárgó vizek elérhetik a feküt, másrészt e helyeknél több víz kerülhet a feküre, miután a kiékelődő összletek felett összegyűlő víz is itt éri el a feküt (pl. az F-2 jelű víznyelős töbrő).
- Ha a fedett karsztos mélyedés posztgenetikus kialakulású (III.a₂ változat), az eltemetett mélyedés kürtöje (amely kialakulása feltehetőleg a mára feltöltött mélyedés képződése során történt) idősebb, mint a fedett karsztos mélyedés.



10. ábra: Környezetétől eltérő fedőüledék betelepülés a jelenlegi mélyedés és a fekü között (a G-G' jelű geoelektromos földtani szelvény a Tés-2 jelű területről)

1. mészkő, 2. mészkőtörmelék (agyagos), 3. lösz (homokos vagy mészkőtörmelékes), 4. lösz (agyagos-iszapos), vagy mészkőtörmelékes agyag, 5. VESZ mérés száma, 6. összlet geoelektromos ellenállása (Ohm), 7. geoelektromos összlet talpmélysége (m), 8. VESZ mérés kb. behatolása, 9. geoelektromos összlethatár, 10. fedett karsztos mélyedés jele, 11. magaslat feletti posztgenetikus fedett karsztos mélyedés (külső üledékvastagsága közepes), 12. környezetétől eltérő fedőüledék betelepülés, egykori mélyedés kitöltése



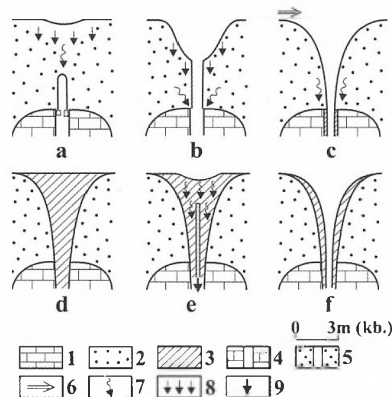
13. ábra: Fedett karsztos mélyedés kialakulása magasztat felett, közepes üledékvastagságnál (I.b. altípus)

1. mészkő, 2. fedőüledék, 3. omladék, 4. áthalmozott fedőüledék, 5. vakkürtő, 6. kürtő, 7. vakjárat, 8. járat, 9. omlással kialakult felület a fedőben, 10. vízáramlás és anyagszállítás a felszínen, 11. vízszivárgás és szuffúzió a fedőüledékben, 12. süllyedés a szuffúzió és kisebb omlások miatt, 13. üledék áthalmozódása a járatban és kürtőben, A. fiatal víznyelős töbrő, B. kifejlett víznyelős töbrő, a. vakkürtő képződik, b. a felszínen süllyedéssel mélyedés képződik, a vakkürtő beomlik, az omlás átterjed a fedőüledékre, ahol vakjárat képződik, c. a vakjárat omlással a felszínre nyílik, d. a kürtő és a járat kitöltődik, a felszíni mélyedés feltöltődik, e. a kitöltésben járat képződik, a feltöltésben újabb víznyelős töbrő képződik omlással, a-c: szingenetikus karsztosodás (I.₁ változat), d-e: posztgenetikus karsztosodás (I.₂ változat)

4.2.4. Depressziók kialakulása

Depressziók akkor alakulnak ki, ha a fedett karszt fekéje már korábban karsztosodott (11. ábra, 17a. ábra) és kiemelkedésekkel tagolt. A kiemelkedések jelenléte kedvez a víznyelős töbrök kialakulásának. A víznyelős töbrökön keresztül a fedő a karsztba szállítódik. A mélységi anyag elszállítás miatt a fedőn zárt mélyedés alakul ki. Növeli a depressziók kialakulásának az esélyét, ha a fedőüledékek felszíni lepusztulással kivékonyodnak (11. ábra). A depressziók fejlődése az alábbi módon történik (17. ábra):

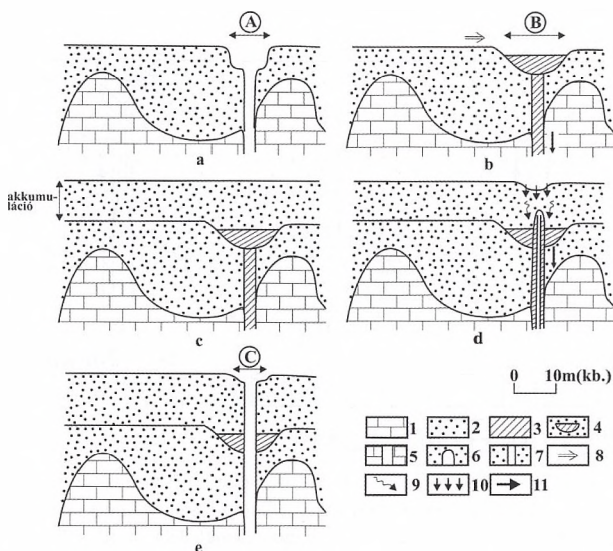
- Viszonylag kis területen végbemenő felszíni lepusztulás miatt az egyenetlen karsztos feké kiemelkedései felett víznyelős töbrök alakulnak ki. A víznyelős töbrök járataiba halmozódnak környezetük fedőüledékei (17b. ábra).
- A fedőüledékek kivékonyodása miatt újabb víznyelős töbrök jöhetnek létre. Mivel a fedőüledékes térszínről a lepusztulás minden irányból a víznyelős töbrök felé történik, a fedőüledékekben lefolyástalan forma jön létre (17c. ábra). A depresszióban a lepusztulás és így a fedőüledékeknek a karsztba szállítása fokozódik, miután mélyülése miatt a környezetéből egyre több vizet kap. A víznyelős töbrök egy része feltöltődik, területükön vízáró üledékek halmozódhatnak fel (17d. ábra). Ez növeli a meglévő



14. ábra: Fedett karsztos mélyedés kialakulása magasztat felett süllyedéssel (I.c. altípus)

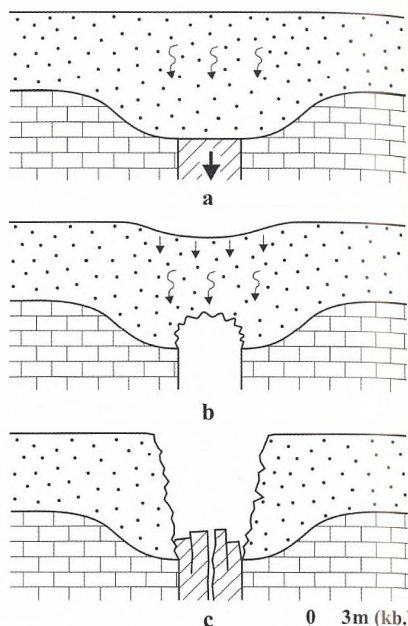
1. mészkő, 2. fedőüledék, 3. áthalmozott fedőüledék, 4. kürtő, 5. járat, 6. vízáramlás és anyagszállítás a felszínen, 7. vízszivárgás és szuffúzió a fedőüledékben, 8. szuffúziós felszínsüllyedés, 9. üledék áthalmozódása a járatban és kürtőben, a. a felszín megsüllyed a szuffúzió ill. a fedő anyagának a járatba halmozódása miatt, b. a besüllyedő

felszín (a mélyülő mélyedés aljzata) eléri a járatot, c. a mélyedés aljzat tovább süllyedve eléri a fekűt, d. a mélyedés feltöltődik a járat kitöltődik, e. a kitöltésben járat képződik, a kitöltés felszíne megsüllyed, f. újabb mélyedés alakul ki süllyedéssel, a-c: szingenetikus karsztosodás (I.c.₁ változat), e-f: posztgenetikus karsztosodás (I.c.₂ változat)



15. ábra. Fedett karsztos mélyedés kialakulása magaslat oldallejtője felett (II. típus)

1. mészkő, 2. fedőüledék, 3. áthalmazott fedőüledék, 4. karsztos mélyedés üledékkitöltése, 5. kürtő, 6. vakjárat, 7. járat, 8. vízáramlás és anyagszállítás a felszínen, 9. vízszivárgás és szuffúzió a fedőüledékben, 10. süllyedés a szuffúzió és kisebb omlások miatt, 11. üledékáthalmazódás a járatban és kürtőben A. kifejlett víznyelős töbrő, B. fosszilis víznyelős töbrő, C. fiatal posztgenetikus víznyelős töbrő a. kürtő, járat és mélyedés képződik, b. a fekéü kürtője kitöltődik, a fedett karsztos mélyedés feltöltődik, c. a fedőüledék vastagodik a kitöltött mélyedés eltemetődik, d. a fekéü kürtője kitisztul, a fedőüledékben vakjárat képződik, e. a járat felszínre nyílásával a felszínen mélyedés képződik, a: szingenetikus karsztosodás (II.a. altípus), b-e: posztgenetikus karsztosodás (II.b. altípus)



16. ábra. Posztgenetikus karsztos mélyedés kialakulása omlással (III.b. altípus)

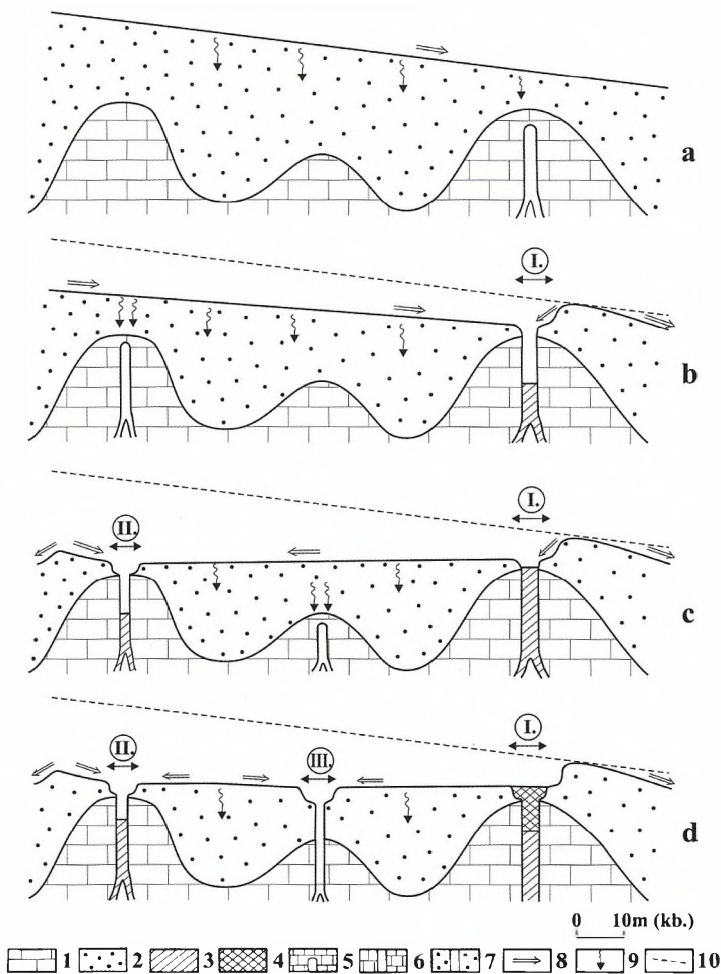
1. mészkő, 2. fedőüledék, 3. áthalmazott fedőüledék, 4. kürtő, 5. járatkezdemény, 6. járat, 7. leomlott fedő, 8. omlással kialakult felület a fedőben, 9. vízszivárgás és szuffúzió a fedőüledékben, 10. szuffúziós felszínstüllyedés, 11. üledékáthalmazódás a járatban és kürtőben, a. vízszivárgás a kitöltött kürtő felé, a kürtő kitöltés a karsztba szállítódik, b. a kürtő felett a fedőn omlással vakjárat képződik, amely felett a fedő maradéka megsüllyed, a felszínen mélyedés képződik, c. a fedő beleomlik a vakjáratba, ill. a kürtőbe

víznyelős töbrök háttér területeit és így emiatt ezekben több víz áramolhat. A depresszióban a megnövekedett vízáramlás tovább növeli aljzatának a pusztulását és így mélyülését. Az aljzatot vízmosás árkok tagolják fel.

– A depresszió környezetéből több üledéket kap, mint amennyi onnan a karsztba szállítható. Ezért belsejében a fedő vastagodik. A depresszió víznyelős töbrei feltöltődnek. Később posztgenetikus karsztosodás során azonban újra képződhetnek. Számos tényezőtől függ (pl. a környezetből származó üledék mennyiségétől, a karsztba szállítás intenzitásától), hogy a depresszió forma megmarad, vagy esetleg teljesen feltöltődik.

4.2.5. Következtetések

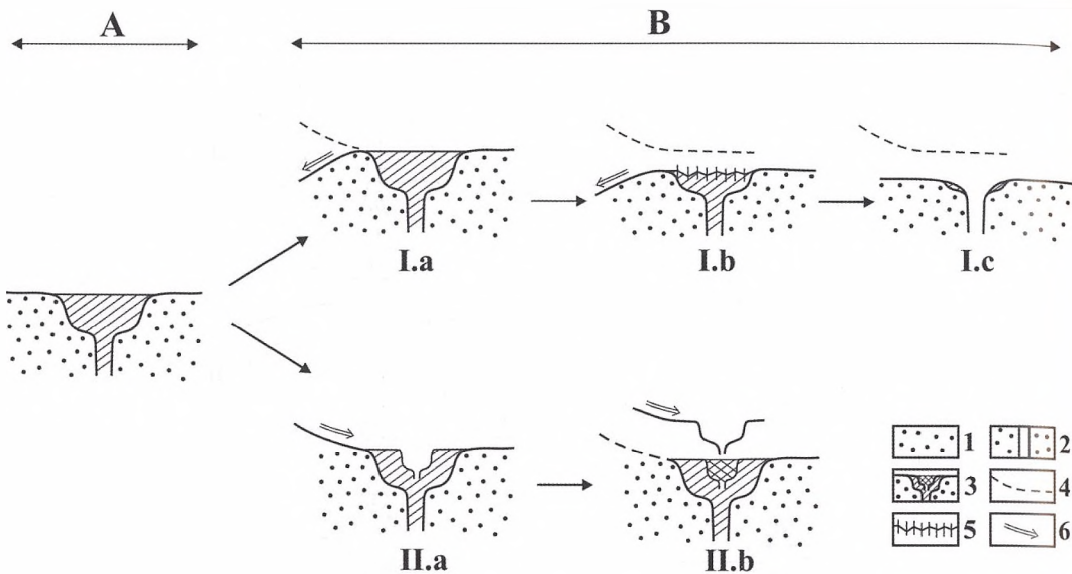
– A hegység víznyelős töbrei főleg magaslatok felett alakulnak ki. Kialakulásuknak kedvez, ha a lepusztulás a fedőt kivékonyítja. A 37 db vizsgált karsztos mélyedésből 3 db fordul elő sík, lepusztulástól mentes felszínen (Tés-2/a jelű terület), 26 db völgyben vagy völgyfőben helyezkedik el. A 26 db-ból azonban 19 db olyan



17. ábra: Depresszió kialakulása

1. mészkő, 2. fedőüledék, 3. áthalmazott fedőüledék, 4. vízzáró kitöltés, 5. vakkürtő, 6. kürtő, 7. járat, 8. vízáramlás és anyagszállítás a felszínen, 9. vízszivárgás és szuffúzió a fedőüledékben, 10. eredeti felszín, a. ahol a felszíni lepusztulás miatt a fedőüledék kivékonyodik, kürtőképződés történik, b. víznyelős töbor alakul ki (I. jelű), a fedőüledékek e forma környezetéből a mélyedésbe szállítódnak, majd innen a karsztba, ezen lepusztulás eredményeként a fedőüledékben lefolyástalan forma képződik, c. a fedőüledék lepusztulása miatt újabb magaslat felett alakul ki víznyelős töbor (II. jelű), az I. jelű fokozatosan elveszíti háttérterületét, d. újabb magaslat felett alakul ki víznyelős töbor (III. jelű), a depresszió tovább mélyül, aljzata különböző irányokba dőlő részekre különül, az I. jelű víznyelős töbor feltöltődik vízzáró üledékkel, amely miatt nő a felszíni vízfolyás és így a III. jelű víznyelős töborbe jutó víz mennyisége

depresszióban, amely völgytalpi helyzetű, 5 db völgyön kívüli depresszió medrének a talpán fejlődött ki. Valószínűleg egy fedett térszinen rejtett közethatár akkor jön létre (tehát fedett karsztosodás), ha a fedőüledék vastagsága 6 m-nél kisebb. Természetesen a megfelelő üledékvastagság mellett még egyéb feltételek megléte is szükséges (a fekűn törések, a fedő jó vízvezető képessége, a kevésbé vízvezető betelepülés kiemelkedése, sok víz e helyekre áramlása stb.) ahhoz, hogy a fedett karsztosodás be is következzen. A fedett karsztosodásra alkalmas zónában (egy rejtett közethatárnak a területén) jóval kevesebb víznyelős töbor alakul ki, mint ahány járat, járatkezdemény képződik a fedőben.



18. ábra: Fedett karsztos mélyedések fejlődését befolyásoló felszíni viszonyok

A. fosszilis mélyedés, B. a fosszilis mélyedés fejlődése I.a. a mélyedés körméke lepusztul, a mélyedés kiemelt helyzetbe kerül, I.b. a mélyedés üledékeit veszíti, I.c. újabb mélyedés kialakulása, miután a fedő kivékonyodik. II.a. a mélyedés környezete feltöltődik, a felszín a mélyedés irányába fog dőlni, ezért elegendő vizet kap ahhoz, hogy járata üledékét veszítse, ezáltal újabb, mélyebb képződik, II.b. a mélyedés és környezete elfedődik, II.c. bár az üledékvastagság nő, az eltemetett mélyedés feletti térszínre elegendő víz érkezik ahhoz, hogy a járat üledékeit veszítse és újabb mélyedés jöhessen létre, 1. fedőüledék, 2. járat, 3. mélyedéséskitöltés, 4. eredeti felszín, 5. lecsonkolódott mélyedéséskitöltés, 6. üledék áthalmozódása

- Kis üledékvastagság (0–3,5 m) esetén, a fekében végbemenő omlás közvetlenül átöröklődik a fedőre. Közepes (3,5–6 m), vagy nagy (6 m feletti) fedőüledék vastagság esetén a víznyelős töbrök akkor alakul ki, ha a fedőben járat képződik. A járat feletti fedő omlása, lepusztulása, vagy süllyedése miatt változatos alakú és üledékszerkezetű víznyelős töbrök képződnek.
- A víznyelős töbrök omlásos (I.a és III.b. altípus), de szuffúziós töbrök (I.c. altípus) is lehetnek attól függően, hogy a fedő anyaga milyen módon jut a karsztba.
- Közepes, de különösen nagy üledékvastagság esetén a víznyelős töbrök elsősorban posztgenetikus karsztosodással alakulnak ki. A nagy üledékvastagságú mélyedések, vagy paleokarsztos mélyedések felett előforduló víznyelős töbrök posztgenetikus karsztosodást jeleznek. Ha ez nem így lenne, a hegység fedett karsztos mélyedéseinek kialakulása még inkább a kicsi fedőüledék vastagságtól függne, vagy ilyen környezetben történne.
- Posztgenetikus karsztosodás, ill. az ezt kísérő víznyelős töbröképződés a karsztosodó térszínen végbemenő időleges akkumulációra utal.
- 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 (18.I. ábra), vagy annak helyén képződik újabb víznyelős töbrök. Feltöltődés esetén a már kialakult forma elpusztul (feltöltődik és eltemetődik), és majd felette egy újabb alakul ki (18.II. ábra). A fentiek miatt adott fedett karsztos forma nem hosszú életű és így a mérete sem számottevő.
- Depresszió csak ott alakulhat ki, ahol a mészkőfejú nagyobb kiterjedésű, de tagolt, elfedett kiemelkedést formál.
- A depressziók és a víznyelős töbrök egymást erősítő folyamatok során alakulnak ki. A víznyelős töbrök kialakulása elősegíti a depressziók kifejlődését, míg a depresszió létrejötté hozzájárul újabb víznyelős töbrök kialakulásához.

- BÁRÁNY I.–JAKUCS L. 1984. *Szemponatok a karsztok felszínformáinak rendszerezéséhez különös tekintettel a dolinák típusaira* – Földr. Ért. 33. p. 259–269.
- BÁRDOSY GY. 1977. *Karsztbauxitok*. Budapest, Akadémia Kiadó, p. 413
- BÁRDOSY GY.–PATAKI A.–NÁNDORI GY. 1983. *Bányaföldtani térképsorozat módszertani kidolgozása és gyakorlati alkalmazása az iharukúti külféjtéses bauxitbányászatban*. Földtani Kutatás 26. p. 3–10.
- BEZUIDENHOUT C. A.–ENSLIN J. F. 1970. *Surface subsidence and sinkholes in the dolomite areas of the Far West Rand*. Transvaal, Republic of South Africa. International Association of Hydrological Sciences, Publication No 89, p. 482–495.
- BRETZ, J. H. 1956. *Caves of Missouri*. Miss. Geol. Surv. and Water Resources, ser. 2, 39. p.
- BRINK A. B. A. 1984. *A brief review of the South Africa sinkhole problem*. – In: Beck B. F. (szerk.) *Sinkholes: their geology, engineering and environmental impact*, Balkema: Rotterdam, p. 123–127.
- BULL, P. A. 1977. *Cave boulders chokes and dolina relationships*. – Proc. 7th. Int. Cong. Speleol. p. 93–96.
- CRAMER, H. 1941. *Die Systematik der Karstdolinen*. – Neues Jb. Miner. Geol. Palaont, 85. p. 293–382.
- CVJIČ J. 1893. *Das Karstphaenomen Versuch einer morphologischen Monographie*. – Geog Abhandl Wien 5. p. 218–329.
- 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.
- FÖLDVÁRY M. 1933. *A Bakony-hegység és a Bakonyalja természeti értékei*. – Erdészeti Lapok 72. 1023–1033. p.
- JAKUCS L. 1971. *A karsztok morfogenetikája*. Budapest, Akadémia Kiadó, 310. p.
- JENNINGS J. E. 1966. *Building on dolomites in the Transvaal*. – The Civil Engineer in South Africa 8, p. 41–62.
- JENNINGS, J. N. 1985. *Karst Geomorphology*. – Basil Blackwell, New York, 293. p.
- KORPÁS L. 1999. *Középső triász, 235 millió éves paleodolina a Balaton-felvidéken (Litér, Hajmáskér)* – *Karsztfejlődés III*. Szombathely, BDF Természetföldrajzi Tanszék, p. 93–118.
- MÉREI K.–ERDÉLYI T. 1989. *A bányaföldtan helye és szerepe a Bakonyi Bauxitbányáknál*. – Földtani Kutatás 32. p. 59–61.
- PATAKI A.–NYIRŐ T. 1983. *A nyirádi-deáki bauxitbánya karsztos fekéje és ennek bányászati vonatkozásai*. – Földtani Kutatás 26. p. 19.
- PÉCSI M. 1980. *A Pannóniai-medence morfogenetikája*. – Földrajzi Értesítő 29. p. 105–127.
- RENAULT, PH. 1968. *Contribution a l'étude des action mécanique et sédimentologiques dans la spéléogenese*. – Annales de spéléologie 23 3, p. 529–5936.
- HOOVER, R. A. 2003. *Geophysical choices for karst investigations*.
www.saic.com/geophysics/downloads/karstChoices.pdf
- SLABE T. 1995. *Cave Rocky Relief*. – Znanstvenaraziskovalni Center Sazu, Ljubljana, 128. p.
- SZABÓ P. Z. 1966. *Újabb adatok és megfigyelések a magyarországi öskarsztjelenségek ismeretéhez*. – Dunántúli Tud. Gyűjtemény, p. 65–102.
- SZALASI S.–VERESS M.–NOVÁK A.–SZARKA L. 2006. *Geofizikai mérések fedett karszton (Homód-árok, Bakony)* – *Karsztfejlődés XI*. Szombathely, BDF Természetföldrajzi Tanszék, p. 153–170.
- THARP T. M. 1999. *Mechanics of upward propagation of cover-collapse sinkholes*. – Engineering Geology 52, p. 23–33.
- THOMAS T. M. 1954. *Swallow holes on the Millstone Grit and Carboniferous Limestone of the South Wales Coalfield*. – Geogr. J. 120, p. 468–75.
- TRUDGILL, S. T. 1985. *Limestone geomorphology*. - Longman, New York, 196. p.
- VERESS M. 1982. *Adatok a Hárskúti-fennsík karsztmorfogenetikájához*. - *Karszt és Barlang II. f.* p. 71–82.
- VERESS M. 1986. *Feltárás előrejelzése a karsztos üledékek vizsgálatával* - *Karszt és Barlang II. p.* 95–104.
- VERESS M. 1991. *Paleokarsztos sasbérczek felszínfejlődése a Bakony Hajag-Papod hegycsoportjában*. – Földrajzi Értesítő XL. p. 147–160.
- VERESS M. 1995. *Fosszilizálódo karsztos formák és környezetük fejlődésének értelmezése kitöltő üledékekkel*. *Karszt- és Barlangkutatás X. évf. 1981-95*. Budapest, MKBT, p. 225–236.

- VERESS M. 1999. *Az Északi-Bakony fedett karsztja – A Bakony Természettudományi kutatásának eredményei* 23. Zirc, Bakonyi Természettudományi Múzeum, 167. p.
- VERESS M. 2005. *Adalékok a Tábla-völgyi-dűlő (Tési-fennsík) fedett karsztosodásához – Karsztfeljlődés X*. Szombathely, BDF Természetföldrajzi Tanszék, p. 267–291.
- VERESS M. 2006a. *Adalékok nagyobb vastagságú fedőüledékes térszín karsztosodásához (Homód-árok környéke, Hárskút)*. Zirc, Bakonyi Természettudományi Múzeum Közleményei. 23. p. 7–26.
- VERESS M. 2006b. *Adatok a Tési-fennsík két térszínrészletének fedett karsztosodásához – Karsztfeljlődés XI*. Szombathely, BDF, Természetföldrajzi Tanszék, p. 171–184.
- VERESS M.–FUTÓ J. 1990. *Fedett paleokarsztos térszíneken végbement lepusztulás és felhalmozódás kimutatása a Bakony-hegységben*. – Földtani Közlöny 120. p. 55–67.
- VÉGH S.-NÉ 1976. *A Dunántúli-középhegység karsztjának anizotrópiája és annak bányavízvédelmi következményei*. – *Geonómia és Bányászat* 9. p. 163–171.
- WALTHAM, A. C.–FOOKERS, P. G. 2003. *Engineering classification of karst ground conditions*. – *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hidrology*, 36. p. 101–118.
- WILLIAMS, P. 2003. Dolines – In: GUNN J. (szerk.) *Encyclopedia of caves and karst science*. – Fitzroy Dearborn, New York, London. p. 304-310.

INFLUENCE OF MORPHOLOGY OF LIMESTONE FLOOR AT COVERED KARSTIFICATION IN THE NORTHEN-BAKONY MOUNTAINS (HUNGARY)

Abstract: We examined the morphology of the limestone floor and that of its covering on 7 sample areas of the Northern-Bakony with geophysical methods (for example VESZ measuring). Doline-with-ponor which is one type of covered karst forms developed primarily above elevations (ridge or mound) of covered limestone floor. The developing of these forms can happen in the following way: the breakdown of the blind pit of the limestone floor passes directly to the covering sedimentary rock in case of thin sedimentary rock cover. The matter of the covering moves (for example) breaks down into the pit. If the sedimentary rock is thicker the process will be as follows: burrow develops in the covering sedimentary rock (it is created above the pit of the limestone floor), the sedimentary rock above it collapses or sinks above the burrow. Those dolines-with-ponor which developed over the slide slopes of buried limestone elevations or above the depressions of buried limestone floor can only develop in the sedimentary rock above the burrows of the covering. The development of these forms may happen as well when the pit of the limestone floor lost its deposit because the sediments are transported into the karst. Doline-with ponor creates the developing of the depressions of the sedimentary rock (these forms are in the covering sedimentary rock, their size is great and they have closed drainage). Namely the covering sedimentary rock is transported from the surroundings of doline-with-ponor into the burrows and pits of these forms.