

A BAKONYVIDÉK GENETIKAI AKNATÍPUSAI

THE GENETIC SHAFT TYPES OF THE BAKONY REGION

VERESS MÁRTON

ELTE SEK Földrajz- és Földtudományi Intézet, Földrajz Tanszék, 9700
Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4. veress.marton@sek.elte.hu

Abstract: The potential and explored lengths of the shafts of the Bakony Region were studied. Shaft patterns were distinguished with the help of shaft maps and potential shaft lengths were calculated considering preforming geological structures and the thickness of the vadose zone. The average depth and average specific length of the explored shaft lengths were calculated in some areas of the Bakony Region. It can be established that potential shaft length depends on the thickness of the vadose zone, on the spatial position of the preforming geological structures and on the length compared to each other of the shaft parts that developed along them. The explored shaft lengths may exceed the potential shaft lengths since in addition to the above mentioned things, lengths depend on the type of the shaft pattern which is affected by the water-filled state of the shafts. In the Bakony Region there are some karst areas where the value of the explored average shaft depth and of the explored average specific length is large, while these values are smaller in other areas. The first group involves those areas where the characteristic features of the karst favour more frequent shaft floods. This flood results in paragenetic shaft development. The flood may originate from surface water, karst water and from both of the simultaneously. The chance of flood of surface origin depends of the morphology of the surface. There is a great chance of karst water flood if the thickness of the vadose zone is small, the rise of the karst water level is large, and the elevation difference of the shaft floor and the karst water level is small. In the various karst areas of the Bakony Region, shafts can be put into three types according to their genetics: surface flood development type, karst water and surface flood development type and the tectonic development type. The type of shaft development is determined by the characteristics of the block bearing the karst area.

Keywords: Bakony Region, vadose zone, shaft, paragenetic shaft development, surface flood shaft development type, karst water and surface flood shaft development type

Bevezetés

E tanulmány célja, a Bakonyvidék aknáinak, a potenciális-és tényleges aknahosszak és aknamintázatok figyelembevételével, a genetikai tipizálása, majd e típusok fejlődésének a bemutatása.

Az aknahossz lehet potenciális-, tényleges-, feltárt- és fajlagos hossz. Potenciális hossz alatt értjük azt a számítással meghatározható hosszt, amelyet egy akna elméletileg elérhet fejlődése (növekedése) során, adott vadózus zóna vastagságnál és adott preformáló földtani szerkezetnél. A tényleges hossz az akna jelenlegi hossza, míg a feltárt hossz az akna ismert hossza. Ha az aknaképződés a preformáló szerkezet mentén a vadózus zóna teljes kiterjedésében végbemegy, amelyhez megfelelő hosszúságú és intenzitású aknaképződés szükséges, az akna tényleges hossza megegyezik a po-

tenciális aknahosszal. A fajlagos aknahossz az 1 m-es függőleges irányú mélység növekedéshez tartozó aknahossz, amely az összhossz és a mélység hányadosából képezhető. Ez lehet potenciális-, tényleges- és feltárt fajlagos hossz.

Amikor a potenciális aknahosszt vizsgáljuk, akkor a feltárt aknahosszak adatai állnak rendelkezésre. Ezen adatok azt mutatják, hogy a vizsgálatba vont bakonyvidéki aknák fajlagos feltárási hosszai igen különbözőek (*I. táblázat*). Alább arra keresünk választ, hogy az eltérő fajlagos feltárási hosszakat néhány tényező (vadózus zóna vastagsága, a preformáló földtani szerkezet térbeli helyzete, az akna szerkezete) hogyan befolyásolja.

A barlangképződés és üregkialakulás a karszton a vadózus-, ill. a freatikus zónában történhet. A vadózus zóna barlangjai az aknák, amelyek vertikális kiterjedése nagy, a horizontális viszonylag kicsi.

Az aknák kialakulhatnak oldódással, vagy eróziósan (*FORD, WILLIAMS 2007*). Utóbbiak már meglévő freatikus járatok továbbfejlődése során (*FORD, WILLIAMS 2007*). Az aknák a kőzetek folytonosságát megszakító felületek mentén képződnek, amelyeknél a létrejövő aknák falain a lefelé mozgó vízfilm lassan telítődik és oldóképességét nagy mélységig lejutva megőrzi (*WHITE 1988*). Az aknák képződését elősegítik a nyitott törések (*WILLIAMS 2008*), valamint a tartós, folyamatos vízutánpótlás. Ilyen vízbepótlási mód lehet pl. a gleccserek olvadékvize (*FORD 1984*), az aknák hó kitöltésének olvadékvize (*VERESS et al. 1996*), a mérsékeltövi oldásos dolinák talpára áramló, hó eredetű olvadékvíz (*SÁRVÁRY 1970*).

A hegyvidéken csupasz-, talajos-, rejtett-, eltemetett karszt egyaránt előfordul mozaikos elterjedésben. Eltemetett és allogén karszt a Kab-hegyi bazalttakarós térszín. Eltemetett karszt a bazalttakaró belseje, ahol a bazalt kivékonyodik, ahol azonban a mészkő előbukkan (a bazalttakaró pereménél és egyes helyeken a belsejében), allogén típusú.

A hegységben a rejtett karszt a legnagyobb kiterjedésű (leggyakoribb) és a legjellegzetesebb. Legjelentősebb rejtett karsztos területei: Tési-fennsík, Kab-hegy (a bazalttakarótól mentes térszínnek), Márvány-árok környéke, Som-hegy és a Száraz-Gerence völgy közötti terület, Hárskúti medence és a Középső-Kréta mészkővekből (Zirc Mészkő Formáció) felépült rögök (Mester-Hajag, Égett-hegy). A felsoroltak a hegyvidék összesítésünk szerint mintegy 691 db utánsüllyedékes dolinájából 535 db-ot hordoznak.

Felszíni karsztformák rejtett karszton az utánsüllyedékes dolinák (főleg a szuffóziósak), bazalttakaró eltemetett karsztján az átöröklődékes dolinák, a bazalttakaró pereménél a víznyelők.

A hegyvidék karsztvize főkarsztvízre és karsztvízemeletekre különíthető. A főkarsztvíz felett lokális vízzáróknál alakultak ki a hegyvidék

karsztvízemeletei. A főkarsztvíz szintje, a hegység peremén a hegységperemi karsztforrások és karsztlápok magassági adatainak a figyelembevételével 117-220 m (az Északi-Bakony É-i peremén 140-180 m, míg a hegység DK-i részén 200 m fölé emelkedett) közé tehető (PAPP 1941, SZÁDECZKY-KARDOSS 1941, 1948). Miután a karsztvízszint a hegység belseje felé emelkedik, a rekonstruált karsztvízszint elérte a 290 m-es, maximális magasságot (BÖCKER et al. 1983), ill. a 260-280 m-t (CSEPREGY 2007). A karsztvízszint ingadozás és így az epifreatikus zóna vastagsága jelentős lehet. BÖCKER (1972) adatai szerint meghaladhatja a 100 m-t (Hárskút közepén) is. Karsztvízemelet (magaskarsztvíz) alakult ki a Pénzesgyőr környéki kréta és eocén mészköves rögökben (például Mester-Hajag), valamint a Kab-hegyen.

I. táblázat
Table I.

Néhány feltárt akna fajlagos hossza a Bakonyvidéken
Specific lengths of some explored shaft in the Bakony Region

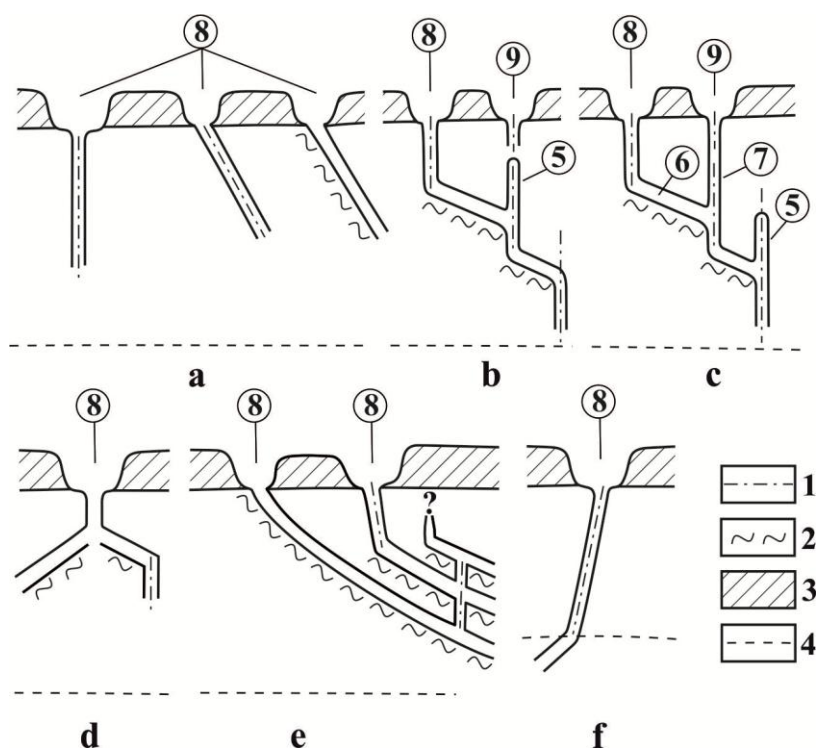
[www.fs.z.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm.2018.05.10.](http://www.fs.z.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm.2018.05.10)

Barlang neve	előfordulási hely	hossza (m)	mélysége (m)	fajlagos hossza
AlbaRegia-barlang	Tési-fennsík	3600,00	200,20	17,98
Alba Regia-barlang Főága	Tési-fennsík	406,25	200,20	2,03
Csengő-zsomboly	Tési-fennsík	230	133,9	1,72
Háromkürtő-zsomboly	Tési-fennsík	360,00	105,00	3,43
Jubileumi-zsomboly	Tési-fennsík	223,00	121,00	1,84
Tábla-völgyi-barlang	Tési-fennsík	350,00	78,00	4,49
Gombás-pusztai-barlang (G-5/a jelű depresszió aknája)	Hárskúti-medence	70,00	25,00	2,80
Homód-árki barlang (Ereszes-zsomboly)	Hárskúti-medence	28,00	16,00	1,75
Kisharaszti-zsomboly	Hárskúti-medence	20,00	12,00	1,67
Bujó-lik	Kab-hegy	208,00	39,50	5,27
Fenyér-hegyi-zsomboly	Kab-hegy	4,50	4,50	1,0
Öreg-Köves víznyelőbarlang	Kab-hegy	378,00	59,00	6,41
Kessler-Hubert-barlang	Keszthelyi-hegység	2000	200	10,00

Az aknák oldódásos eredetűek, kialakulásukban az erózió szerepe alárendelt. A feltárt aknák száma (az inaktívakkal együtt) a hegyvidéken több mint 100 db. Az aknák előfordulhatnak utánsüllyedéses dolinák (pl. Tési-fennsík, Hárskúti-medence), víznyelők (Kab-hegy) és egykori víznyelők ma már utánsüllyedéses dolinákká átalakult depressziók (Tési-fennsík) alatt.

A hegyvidék aknái méréseink, ill. az aknák térképeinek (KÁRPÁT 1981, 1982) elemzése szerint törés (vető), vagy/és réteglap mentén alakultak

ki. Az aknákat különböző aknaelemek (főakna, mellékakna, vakakna) építik fel. A főakna az akna hosszabb aknaeleme. A mellékakna az akna rövidebb, de a felszínt elérő része. A vakakna az akna felszínt el nem érő alkotó eleme. A különböző aknaelemek kombinációjával különböző aknaszerkezetek jöhetnek létre. Elsősorban a földtani szerkezet által preformált aknaszerkezet az alábbi lehet (1. ábra).

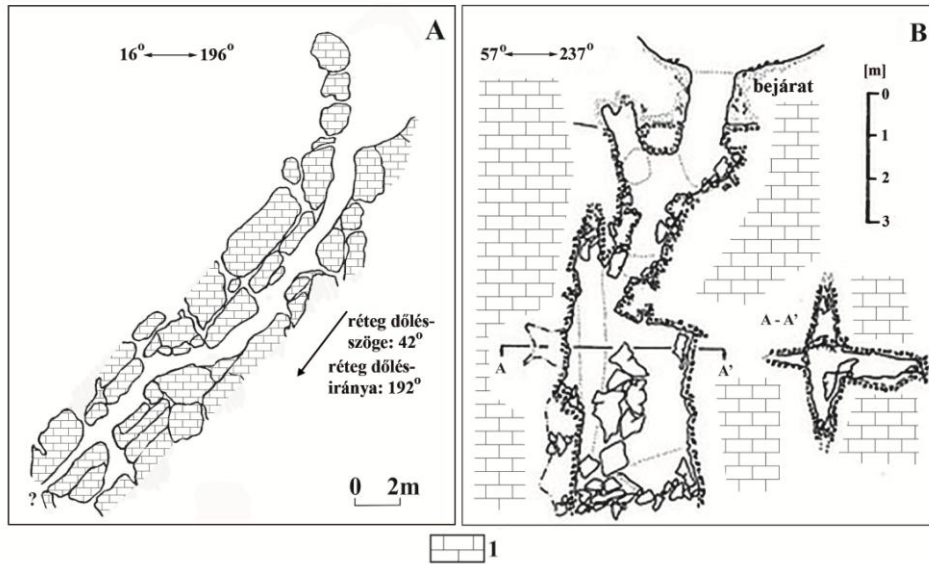


1. ábra: Aknatípusok

Jelmagyarázat: a. egyszerű akna, b. összetett akna, c. aknarendszer, d. szétágazó akna, e. emeletes akna, f. akna, freatikus járatrészsel, 1. törés, 2. réteglap, 3. fedő (löss), 4. karstvízszint, 5. paragenetikus vakakna, 6. főakna, 7. mellékakna, 8. fődolina, 9. mellékdolina

Fig. 1: Shaft types

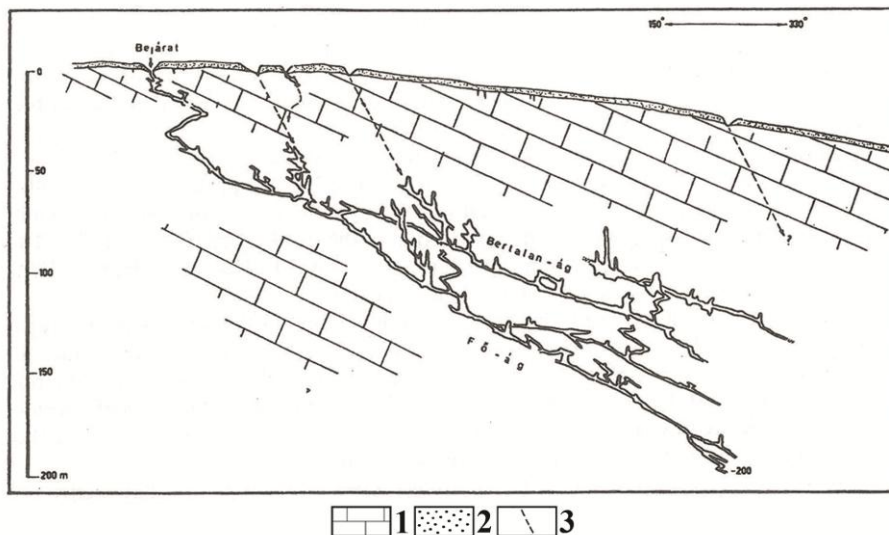
Legend: a. simple shaft, b. complex shaft, c. shaft system, d. bifurcating shaft, e. storied shaft, f. shaft with a phreatic passage part, 1. fracture, 2. bedding plane, 3. cover (loess), 4. karst water level, 5. paragenetic blind shaft, 6. main shaft, 7. tributary shaft, 8. main doline, 9. tributary doline



2. ábra: Egyszerű aknák: réteglap mentén kialakult akna (A. G-5 jelű dolina aknája, Veress 2000), törés mentén kialakult akna (B. Csillag-zomboly, www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4info/mol/bakony/tes.htm)
Jelmagyarázat: 1. mészkő

Fig. 2: Simple shafts: shaft that developed along bedding plane (A. the shaft of the doline marked G-5, Veress 2000), shaft that developed along fracture (B. Csillag shaft, www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4info/mol/bakony/tes.htm)

Legend: 1. limestone

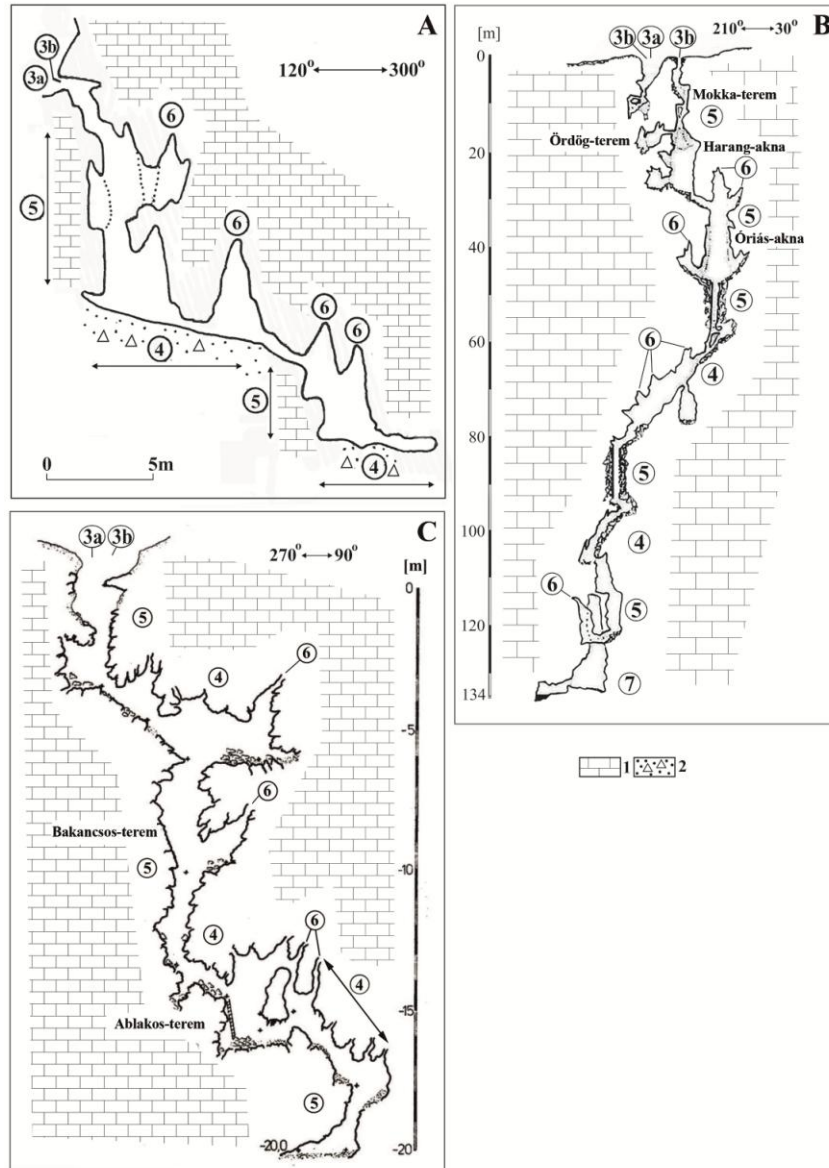


3. ábra: Emeletes akna: Alba Regia-barlang (KÁRPÁT 1982)

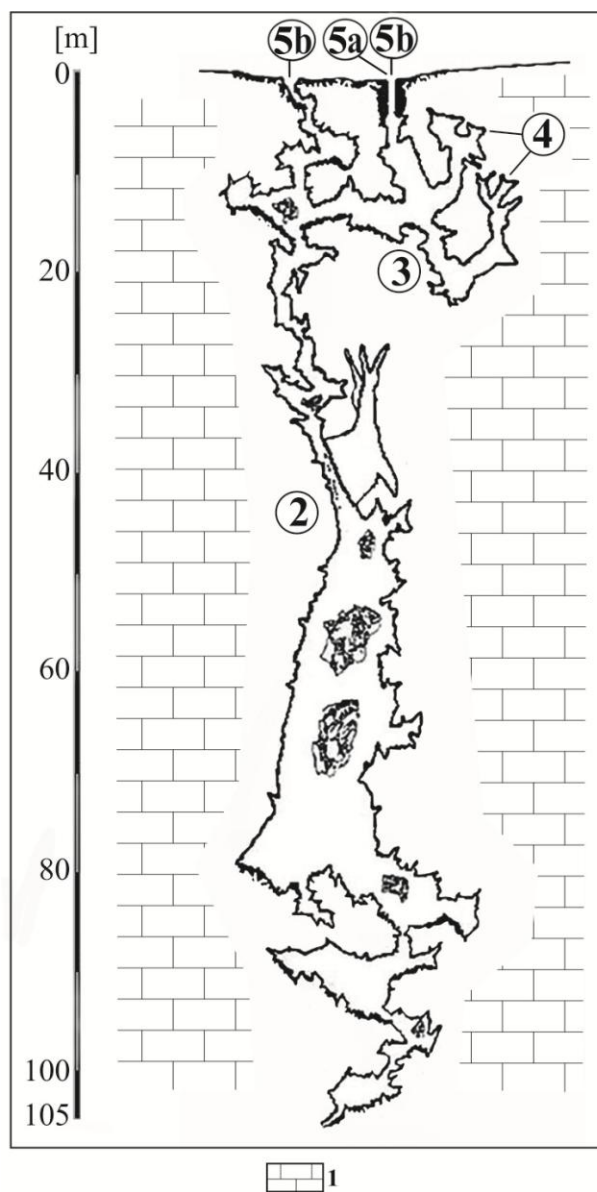
Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. fedő, 3. törés

Fig. 3: Storied shaft: Alba Regia cave (KÁRPÁT 1982)

Legend: 1. limestone, 2. cover, 3. fracture

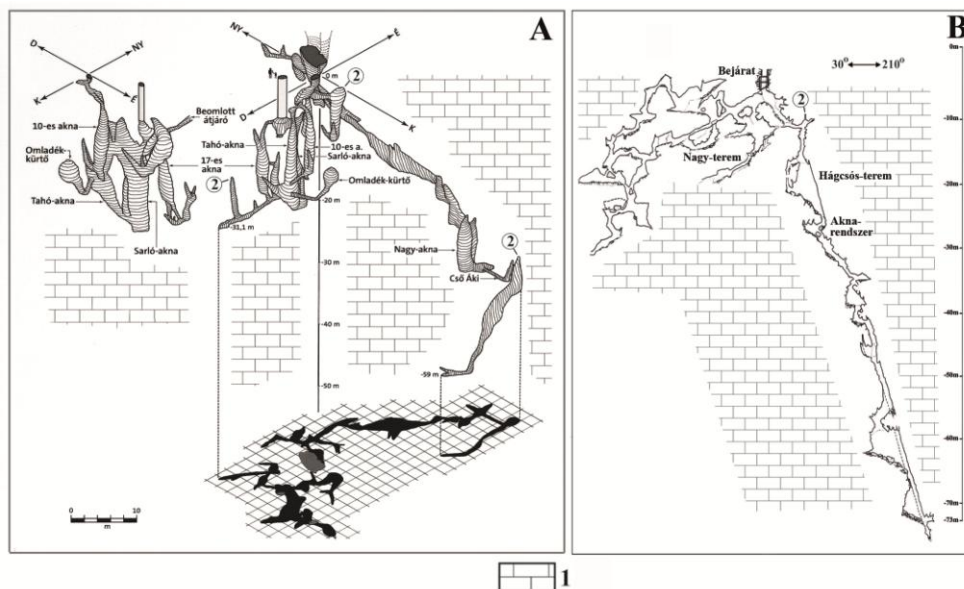


4. ábra: Összetett aknák: Homód-árki barlang (A), (VERESS 2000), Csengő-zsomboly (B, www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm), Egérfogó-barlang (C, www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm)
 Jelmagyarázat: 1. bezáró kőzet, 2. bemosott talaj, kőzettörmelék, 3a. utánsüllyedékes dolina, 3b. bejárat, 4. réteg-lap mentén kialakult szakasz, 5. törés mentén kialakult szakasz, 6. paragenetikus vakakna, 7. szifon
 Fig. 4: Complex shafts: the cave of Homód Valley (A), (VERESS 2000), Csengő shaft (B, www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm), Egérfogó cave (C, www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm)
 Legend: 1. host rock, 2. washed-in soil, debris, 3a. subsidence doline, 3b. entrance, 4. section that developed along bedding plane, 5. section that developed along fracture, 6. paragenetic blind shaft, 7. siphon



5. ábra: Aknarendszer (Háromkürtő-akna, www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm)
 Jelmagyarázat: 1. bezáró kőzet, 2. főakna, 3. mellékakna, 4. paragenetikus vakakna, 5a. utánsüllyedékes dolina, 5b. bejárat

Fig. 5: Shaft system (Háromkürtő shaft, www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm)
 Legend: 1. host rock, 2. main shaft, 3. tributary shaft, 4. paragenetic blind shaft, 5a. subsidence doline, 5b. entrance



6. ábra: Sztágazó akna: (Öreg-Köves víznyelő barlangja (A) (VERESS 2016), Tábla-völgyi-barlang (B), www.fsz.bme.hu/mts/barlang/4info/mol/bakony/tes.htm)

Jelmagyarázat: 1. bezáró kőzet, 2. vakakna

Fig. 6: Bifurcating shaft: (cave of the Öreg-Köves ponor (A) (VERESS 2016), the cave of Tábla Valley (B), www.fsz.bme.hu/mts/barlang/4info/mol/bakony/tes.htm)

Legend: 1. host rock, 2. blind shaft

- Egyszerű akna, amely vagy törés (vető), vagy réteglap mentén alakult ki. Egyszerű akna a G-5/a jelű utánsüllyedéses dolina aknája (2A. ábra) és a Csillag-zsomboly (2B. ábra).
- Emeletes akna, amelynek az egyes részei egymás feletti rétegek réteglapjai mentén képződtek (az egyes aknák nem feltétlenül egymás felett vannak), de ezek összekapcsolódtak. Ilyen emeletes akna pl. az Alba Regia-barlang (I-44 jelű depresszió aknája, 3. ábra).
- Összetett akna az olyan akna, amelynek egyes szakaszai törések (vetők) mentén képződtek, más szakaszai réteglapok mentén. Utóbbi szakaszok az előzők mentén kialakult aknákat kötik össze. E típus aknáinál gyakoriak a vakaknák. Összetett akna a Homód-árki barlang (Ho-1 jelű depresszió aknája, 4A. ábra), a Gyenespusztai-Zsivány-barlang, az Egérfogó-barlang (4C. ábra, I-66/b jelű depresszió aknája), a Csengő-zsomboly (I-110 jelű depresszió aknája, 4B. ábra).
- Aknarendszernek fő- és mellékaknái vannak, de rendelkeznek vakaknákkal is. A mellékaknák a főaknához kapcsolódnak. Aknarendszer a Háromkürtő-akna (I-12 jelű depresszió aknája, 5. ábra), s a Kisharaszti-zsomboly (a Gy-12 jelű utánsüllyedéses dolina aknája).

- Szétágazó akna esetén a karsztos depresszió alatt az akna szétágazva, fűr-tős rendszert képez. E típusnál fő-, mellékaknák és vakaknák is előfordul-nak. Ilyen pl. az Öregköves víznyelő aknája (6B. ábra, Veress 2016), a Táb-la-völgyi-barlang (6A. ábra).
- Akna freatikus járatrészsel jön létre, ha a vadózus zóna aknája rá-, vagy összekapcsolódik az alatta elhelyezkedő freatikus járattal. Ilyen akna a Keszthelyi-hegységben a Kessler Hubert-barlang (SZILAJ 2014).

Módszer

A potenciális aknahossz a vadózus zóna vastagságával egyenlő, ha az akna függőleges helyzetű preformáló szerkezet mentén alakul ki, és ha az akna képződése a karsztvízszintig történhet, míg ha nem függőleges a képződési felület, annál nagyobb is lehet. Értéke az alábbi módon számítható, a függő-legestől eltérő helyzetű akna esetén, mivel ekkor az akna, továbbá a bejára-tától húzott függőleges egyenes, valamint az aknatalp és a függőleges egye-nes között meghúzott egyenes derékszögű háromszöget alkot (7a. ábra):

$$\sin \alpha = \frac{h}{L}$$

$$L = \frac{h}{\sin \alpha}$$

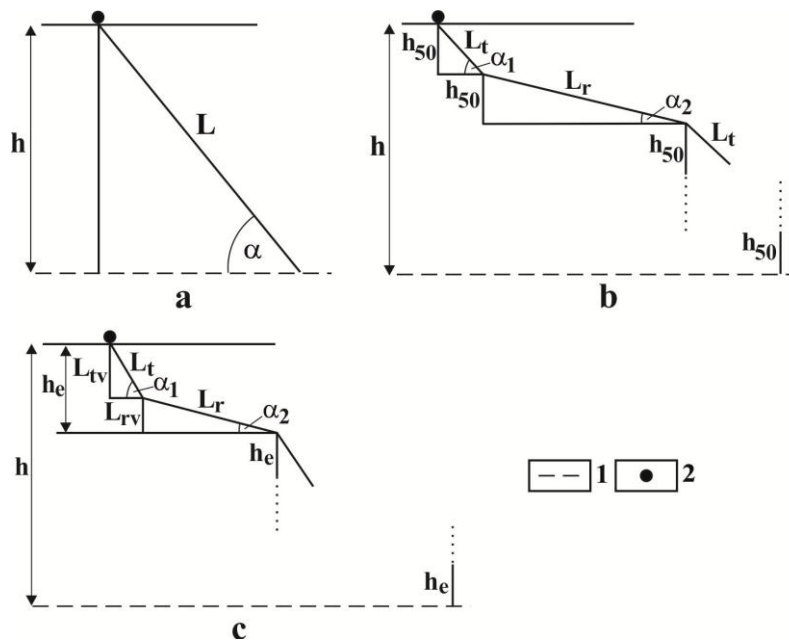
ahol L a potenciális aknahossz,

h a vadózus zóna vastagsága,

α azon törés (vető), vagy réteg dőlése, amely mentén az akna kialakult.

A vadózus zóna vastagsága (8. ábra) függ az aknát hordozó rög fel-színének a magasságától, és a karsztvízszint magasságától. A vadózus zóna kiterjedése (h) megadható, ha az akna bejáratot hordozó rög felszín és a hegység erózióbázisa (a hegységperemi karsztforrás) közti magasságkül-önbséget vesszük, amit a hegység vadózus zónájának nevezünk (h_1). Meg-adható úgy is, hogy a rög felszín magasságát a rögben húzódó fő karsztvíz-szinthez viszonyítjuk. Ez a lokális vadózus zóna (h_2). Végül ott, ahol a rög-ben karsztvízemelet van (a betelepült nem karsztos összletek miatt) értéke a rögfelszín magasságának és a karsztvízemelet szintjének a magasságkülönb-ségével képezhető, amit karsztvízemelet feletti vadózus zónának nevezünk (h_3). Miután az aknák többsége valószínűleg nem éri el a hegység peremet (ha csak nincsenek ahhoz nagyon közel) az értéke inkább függ a hordozó rögben kialakult karsztvízszint magasságától (h_2). Így pl. a hegység legma-gasabb dolinacsoportjánál (Eleven-Förtési töbör csoport) a h_1 értéke 535-495 m, miután a töbör csoport magassága 675 m és a közelében a hegység É-i ré-

szén a karsztvízszint előbukkanása 140-180 m közötti (PAPP 1941). A rög alatti karsztvízszinthez képest, ahol a karsztvízszint 230 m (BÖCKER et al. 1983) viszont értéke (h_2) kisebb, 445 m. Valószínű, hogy a hegyvidéken a h_2 értékek a mérvadók. A h_2 értékek meghatározásához szükséges főkarsztvízszint adatokat a Dunántúli-középhegység karsztvízszint térképéről (BÖCKER et al. 1983) leolvasható rekonstruált karsztvízfelszín megadó magassági értékek (szintvonalak) leolvasásával kaptuk. A maximális lokális vadózus zóna vastagság értéknek az 500 m-t vettük. De figyelembe véve, hogy a dolinák többsége ennél lényegesen alacsonyabban van, 100 m-es léptetéssel 400, 300, 200, 100 m-es értékekkel is számoltunk a h_2 értéket.



7. ábra: Potenciális aknahosszak számítása

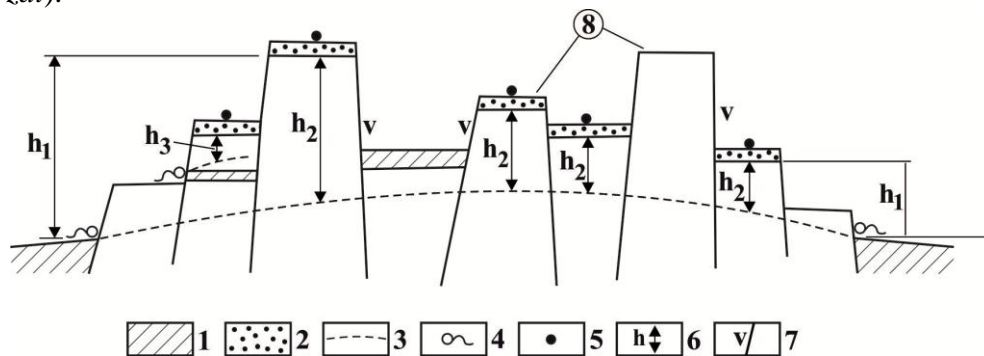
Jelmagyarázat: 1. karsztvízszint, 2. karsztos depresszió, h : vadózus zóna, L : aknahossz, α : akna dőlése, L_t : törésmentén kialakult aknaszakasz 50 m-es kőzetvastagságnál, L_r : réteglap mentén kialakult aknaszakasz 50 m-es kőzetvastagságnál, α_1 : törés menténi aknaszakasz dőlése α_2 : réteglap menténi aknaszakasz dőlése, L_{tv} : a törés menténi aknaszakasz függőleges vetülete, L_{rv} : réteglap menténi aknaszakasz függőleges vetülete, h_e : függőleges vetületek összege, a. teljes vadózus zónánál egyszerű akna potenciális aknahossza, b. 50-50 m-es vastagságok esetén adott vadózus zónánál az összetett akna potenciális aknahossza, c. adott törés menténi és adott ismert réteglap menténi szakaszoknál adott vadózus zónához tartozó összetett akna potenciális aknahossza

Fig. 7: Calculation of potential shaft lengths

Legend: 1. karst water level, 2. karstic depression, h : vadose zone, L : shaft length, α : shaft inclination, L_t : a shaft section that developed along fracture in case of a rock thickness of 50 m, L_r : shaft section that developed along bedding plane in case of a rock thickness of 50 m, α_1 : inclination of a shaft section that developed along fracture α_2 : inclination of a shaft section that developed along bedding plane, L_{tv} : vertical projection of a shaft section that developed along fracture, L_{rv} : vertical projection of a shaft section that developed along bedding plane, h_e : sum of vertical projections, a. potential shaft length of a simple shaft in case of a complete vadose zone, b. potential shaft length of a complex shaft in case of a given vadose zone and a thickness of 50-50 m, c. potential shaft length of a complex shaft belonging to a given vadose zone in case of sections along a given fracture and a given known bedding plane

A rétegdőlések a földtani térképek, de a saját méréseink szerint is nem nagyok a hegységben. (A legnagyobb általunk mért dőlés 42° -os volt, de a térképek adatai szerint 10° - 20° közötti dölések a legjellemzőbbek). Ezért 10° -os léptetéssel 10° , 20° , 30° , 40° -os rétegdőléshez számítottuk a réteglapok mentén kialakult aknahosszakat. A törés (vető) dőlésszögek a földtani térképek szerint 30° - 90° között fordulnak elő. Ennek megfelelően a törés (vető) menténi aknahosszakat 30° , 40° , 50° , 60° , 70° , 80° , 90° -os dőlésszög figyelembevételével számítottuk.

Számításokat végeztünk olyan egyszerű aknahosszakra, amelyek 100 m és 500 m közötti vadózus zóna vastagságoknál 10° - 40° közötti dőlésű rétegek réteglapjai mentén, valamint 30° - 90° dőlésű törések (vetők) mentén alakulnak ki (II. táblázat). Az összetett aknák hosszát megadtuk 100 m-es és 500 m közötti vadózus zóna vastagságokra úgy, hogy önkényesen 50-50 m-es vertikális kiterjedésű kőzetösszletekhez számítottuk a réteglap, ill. a törés (vető) mentén képződött aknák hosszát (a fentebb megadott törés- és réteglap dölésekkel), majd ezen értékeket összegeztük (7b. ábra, III, IV. táblázat).



8. ábra: Vadózus zóna vastagság változatok a hegyvidéken

Jelmagyarázat: 1. nem karstos vízzáró (részben vízzáró) kőzet, 2. vízáteresztő fedő (lössz), 3. karstvízszint, 4. karstforrás, 5. karstos depresszió, 6. vadózus zóna (h_1 : a hegység vadózus zónája, h_2 : lokális vadózus zóna, h_3 : karstvízemeletfeletti vadózus zóna), 7. vető, 8. rög

Fig. 8: Varieties of vadose zone thickness in the mountains

Legend: 1. non-karstic impermeable (partly impermeable) rock, 2. permeable cover (loess), 3. karst water level, 4. karst spring, 5. karstic depression, 6. vadose zone (h_1 : the vadose zone of the mountains, h_2 : local vadose zone, h_3 : vadose zone above karst water storey), 7. fault, 8. block

Ehhez meghatároztuk a vadózus zóna 50 m-es vastagságú zónájához (h_{50}) tartozó α_1 dőlésű, törés (vető) mentén kialakult akna hosszát (L_L), majd a vadózus zóna ugyancsak 50 m-es zónájához (h_{50}) tartozó α_2 dőlésű réteglap mentén kialakult akna hosszát (L_T).

$$\sin\alpha_1 = \frac{L_{s0}}{L_t}$$

$$L_t = \frac{L_{50}}{\sin\alpha_1}$$

$$\sin\alpha_2 = \frac{L_{50}}{L_r}$$

$$L_r = \frac{L_{50}}{\sin\alpha_2}$$

Összetett akna esetén a potenciális akna összhosszúság az alábbi módon számítható.

$$L = \frac{h}{100} (L_t + L_r)$$

Számítottuk az összetett aknahosszt (100 m-es vadózus zóna vastagságnál és adott dőlés szögeknél) megadott, egyenlő értékű, majd különböző értékű aknahosszakra (7c. ábra, V. táblázat). Ezekhez a törésmenti (L_t) és a réteglap menténi (L_r) hosszakhoz tartozó függőleges vetületi értékeket (L_{tv} és L_{rv}) határoztuk meg:

$$L_{tv} = L_t \cdot \sin\alpha_1$$

$$L_{rv} = L_r \cdot \sin\alpha_2$$

Az L_{tv} és az L_{rv} összege a h_e lesz. Ennek ismeretében egy hányados képezhető (A), amely megadja, hogy a megadott aknahosszak (L_t és L_r) hányszorosa foglalja el az adott vadózus zóna szélességet. Ezért az A az alábbi módon képezhető:

$$A = \frac{h}{h_e}$$

Az A ismeretében adott szélességű vadózus zónához tartozó összetett akna potenciális hosszát az alábbi módon számítjuk:

$$L = A(L_t + L_r)$$

Számítható mind egyszerű, mind összetett aknákra a potenciális fajlagos aknahossz, valamint a feltárt fajlagos aknahossz. Előző úgy, hogy a potenciális aknahossz és a hozzá tartozó vertikális érték hányadosát vesszük. Utóbbi úgy, hogy a feltárt aknahossz és az ehhez tartozó vertikális érték hányadosát képezzük (I. táblázat). Miután az aknák a feltárt szakaszon

túl is folytatódnak (és ez utóbbi hossz nem ismert), természetesen a tényleges fajlagos aknahossz nem adható meg.

Összehasonlítottuk a Bakonyvidék néhány karsztos területén a feltárt aknák adatait, így azok átlagos vertikális méretét, átlagos fajlagos hosszát, valamint az aknatalpak és a karsztvízszintnek a magasságkülönbségét a hegyvidék barlangkataszteri adatbázisában szereplő aknák adatainak (www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm) a felhasználásával. Ehhez a hegyvidék 83 db feltárt aknájának adatait használtuk fel. A feldolgozásból kimaradt néhány, a vizsgálatba nem bevont rejtett karsztos terület aknája (pl. Porvai-medence) és a Tési-fennsík néhány olyan barlangja, amelyről nem volt megállapítható az adatbázis alapján, hogy aknának tekinthető-e.

Eredmények

Egyszerű aknáknál a vadózus zóna vastagságának a növekedésével (növelésével), valamint az aknák dőlésének a csökkenésével a potenciális aknahosszak nőnek (*II. táblázat*). Kicsi, 10° -os dőlésű aknáknál 100 m-es vastagságú vadózus zónánál a maximális potenciális aknahossz 588,23 m, 500 m-nél 2941,18 m. Azonos térbeli helyzetű aknáknál a vadózus zóna vastagságának a növekedésével a hossz növekedés mértéke ugyanakkora: ahányszorosra nő a vadózus zóna vastagsága, annyiszorosra nő a potenciális aknahossz. Így pl. 30° -os térbeli helyzetű (dőlésű) aknák potenciális hossza 200-200 m-rel nő, ahogy a vadózus zóna vastagsága 100-100 m-rel növekszik. Minél kisebb dőlésű az akna, annál nagyobb a növekedés mértéke a vadózus zóna növekedése során. Így függőleges helyzetű aknánál az aknahossz növekedés mértéke 100 m-es vadózus zóna növekedése során 100-100 m. 10° -os dőlésű aknáknál viszont a növekedés mértéke 588,24 m. Kicsi, 100 m-es vadózus zóna vastagságnál, az aknák térbeli helyzetének a változásával az aknahossz változása 294,13 m (10° és 20° dőlésváltozásnál) és 2,04 m közötti (80° és 90° dőlésváltozásnál), de a dőlés csökkenésével a hossz egyre nagyobb mértékben nő. Egyre nagyobb vadózus zóna vastagságnál az aknadőlés csökkenésével egyre nagyobb az aknahossz növekedése. Így 500 m-es vadózus zóna vastagságnál, ha az akna dőlés 30° -ról 20° -ra csökken a potenciális hossz változás 470,59 m, míg 100 m-es vadózus zónánál, ha a dőlés 30° -ról 20° -osra csökken a hossz változás, csak 94,11 m. Ugyanakkora vadózus zóna vastagságnál az akna térbeli helyzetének változásával a hossz változás mértéke valamivel nagyobb, mint ugyanakkora térbeli helyzetű aknáknál, de változó vastagságú vadózus zónánál. Így ugyanakkora vastagságú vadózus zónánál a legkisebb dőlésű és legnagyobb

dőlésű aknahossz hányadosa 5,88 (100 m-es vastagságú vadózus zónánál a 10°-os és 90°-os dőlésű hosszak hányadosa), míg ugyanakkora dőlésű aknánál, de eltérő vadózus zóna vastagságnál (100 m, ill. 500 m) a hossz hányadosok értéke 5,00.

II. táblázat
Table II.

Potenciális aknahosszak egyszerű aknáknál eltérő vastagságú vadózus zóna esetén
Potential shaft lengths of simple shafts in case of a vadose zone with various thickness

α_1	α_2	h(m)	f.a.h.	h(m)	f.a.h.	h(m)	f.a.h.	h(m)	f.a.h.	h(m)	f.a.h.
		100		200		300		400		500	
-	0°	-		-		-		-		-	
-	10°	588,23	5,88	1176,47	5,88	1764,70	5,88	2352,94	5,88	2941,18	5,88
-	20°	294,11	2,94	588,23	2,94	882,35	2,94	1176,47	2,94	1470,59	2,94
30°(60°)	30°	200,00	2,00	400,00	2,00	600,00	2,00	800,00	2,00	1000,00	2,00
40°(50°)	40°	156,25	1,56	312,5	1,56	468,75	1,56	625,00	1,56	781,25	1,56
50°(60°)		129,87	1,30	259,74	1,30	389,61	1,30	519,48	1,30	649,35	1,30
60°(30°)		114,94	1,15	229,89	1,15	344,83	1,15	459,77	1,15	574,71	1,15
70°(20°)		106,38	1,06	212,77	1,06	319,15	1,06	425,53	1,06	531,91	1,06
80°(10°)		102,04	1,02	204,08	1,02	306,12	1,02	408,16	1,02	510,20	1,02
90°(0°)		100,0	1,00	200,00	1,00	300,00	1,00	400,00	1,00	500,00	1,00

Megjegyzés

h: a vadózus zóna vastagsága

α_1 : törés, vető dőlése

α_2 : réteg dőlése

f.a.h.: fajlagos aknahossz

Zárójelben lévő szám a függőlegestől való eltérés nagyságát jelöli

Notice:

h: thickness of the vadose zone

α_1 : inclination of the fracture and fault

α_2 : bed inclination

f.a.h.: specific shaft length

The number in brackets refers to the degree of the deviation from vertical.

A 10°-os dőlésű egyszerű aknák kivételével az összetett aknák hossza nagyobb, mint az egyszerű aknáké, 100 m-es vadózus zóna vastagságnál. Egyszerű, 20°-os dőlésű aknánál a potenciális aknahossz 294,11 m, míg összetett aknánál, ha a réteglapos szakasz dőlése 10°-os, a törésmenteni akna szakasz 30°-os dőlésű, akkor a potenciális aknahossz már 394,00 m (II, III. táblázatok). 500 m-es vadózus zóna vastagságnál azonban az összetett akna hossza, 40°-os dőlésű rétegmenti szakaszoknál csak akkor hosszabb, mint az egyszerű akna hossza, amikor az összetett akna törésmenteni akna-részeinek a dőlése nagyobb, mint 50° (Egyszerű aknánál 50°-os dőlésnél a hossz 649,35 m, összetettnél 715,30 m). Tehát, ha az egyszerű aknák dőlése kicsi, akkor az összetett aknák hosszát és fajlagos hosszát is meghaladja az egyszerű aknák hossza és fajlagos hossza. Az összetett aknáknál ugyanakkora dőlésű törésmenti szakaszoknál ahogy nő a réteglap menteni szakasz

meredeksége, úgy csökken az összhosszuk. Így 100 m-es vadózus zóna vastagságnál, ahogy a réteglap mentén kialakult aknaszakasz meredeksége 10°-ról 40°-ra nő, ha a törés menténi szakaszok 30°-os dőlésűek a potenciális összhossz 394,00 m-ről 178,12 m-re csökken (III. táblázat). Hasonlóképpen csökken az össz aknahossz, ha a törés mentén kialakult aknarészek meredeksége nő. Ekkor azonban a csökkenés mértéke kisebb. Amikor a törés menti szakaszok lesznek egyre meredekebbek (30°-tól 90°-ig) és a réteglap menti szakaszok meredeksége 10°, a potenciális aknahossz csökkenése 100 m-es vadózus zónánál csak 50 m.

III. táblázat
Table III.

Potenciális aknahosszak összetett aknáknál 100 m-es vastagságú vadózus zónánál, ha a réteglap és törés menténi aknaszakaszok 50-50 m-es vastagságú zónában alakultak ki
Potential shaft lengths of complex shafts in case of a vadose zone thickness of 100 m if the shaft sections along bedding plane and fracture developed in a zone with a thickness of 50-50 m

α_1	α_2	f.a.h.	α_2	f.a.h.	α_2	f.a.h.	α_2	f.a.h.
	10°		20°		30°		40°	
30°	394,00	3,94	247,06	2,47	200	2,00	178,12	1,78
40°	372,12	3,72	225,18	2,25	178,12	1,78	156,24	1,56
50°	358,94	3,59	212,00	2,12	164,94	1,65	143,06	1,43
60°	351,47	3,51	204,00	2,04	157,47	1,57	135,59	1,36
70°	345,55	3,46	200,25	2,00	151,55	1,52	129,67	1,30
80°	345	3,45	198,08	1,98	151,02	1,51	129,14	1,29
90°	344	3,44	197,06	1,97	150,00	1,50	128,12	1,28

Megjegyzés:

α_1 : törés, vető dőlése

α_2 : réteg dőlése

f.a.h.: fajlagos aknahossz

Notice:

α_1 : inclination of fracture and fault

α_2 : bed inclination

f.a.h.: specific shaft length

A vadózus zóna vastagság növekedése határozza meg ugyanolyan helyzetű aknarészeknél az összetett aknáknál is az akna összhossz növekedését. Ahányszorosra nő a vadózus zóna vastagsága, annyiszorosra nő az összhossz. Így 10°-os réteglap menténi és 30°-os törés menténi aknaszakaszoknál 394,00 m az összhossz, míg 500 m-es vadózus zónánál 1970,59 m (III, IV. táblázatok).

A fajlagos potenciális aknahossz értékek változnak, ahogy a törés-, ill. dőlés menti aknaszakaszok meredeksége változik, de értékük a vadózus zóna vastagságának változásától nem függ (II, III, IV. táblázatok).

IV. táblázat.

Table IV.

Potenciális aknahosszak összetett aknáknál 100 m-es vastagságú vadózus zónánál, ha a réteglap és törés menténi aknaszakaszok 50-50 m-es vastagságú zónában alakultak ki

Potential shaft lengths of complex shafts in case of a vadose zone thickness of 500 m if the shaft sections along bedding plane and fracture developed in a zone with a thickness of 50-50 m

α_1	α_2		α_2		α_2		α_2	
	10°	f.a.h.	20°	f.a.h.	30°	f.a.h.	40°	f.a.h.
30°	1970,59	3,94	1235,29	2,47	1000,00	2,00	890,62	1,78
40°	1861,21	3,72	1125,91	2,25	890,62	1,78	781,24	1,56
50°	1795,27	3,59	1059,97	2,12	824,68	1,65	715,30	1,43
60°	1757,95	3,51	1022,65	2,04	787,36	1,57	677,98	1,36
70°	1736,55	3,46	1001,25	2,00	765,56	1,52	656,58	1,30
80°	1725,69	3,45	990,35	1,98	755,10	1,51	645,72	1,29
90°	1720,59	3,44	985,29	1,97	750,00	1,50	640,62	1,28

Megjegyzés:

α_1 : törés, vető dőlése

α_2 : réteg dőlése

f.a.h.: fajlagos aknahossz

Notice:

α_1 : inclination of fracture and fault

α_2 : bed inclination

f.a.h.: specific shaft length

Adott dőlésszögeknel az összetett aknák potenciális hossza, amikor az egyes aknarészek egyenlő hosszúak, ha a lépcsőzottség mértéke nő (ekkor az aknarészek hosszát változtatjuk, de hasonló mértékben) nem változik (V. táblázat). Akkor azonban, ha a különböző aknaszakaszok hossza egymáshoz képest változik, az aknák potenciális hossza és a fajlagos potenciális aknahossza is változik (VI. táblázat). Az össz aknahossz akkor nő, ha a kisebb dőlésű aknarész hossza nő, a nagyobb dőlésű aknarészhez képest.

V. táblázat.

Table V.

Potenciális aknahosszak összetett aknáknál 100 m-es vadózus zónánál törés- és réteglapok mentén kialakult egyenlő és eltérő aknaszakaszok esetén, ha a törés 80°-os, a réteg 10°-os dőlésű

Potential shaft lengths of complex shafts in case of a vadose zone thickness of 100 m in case of equal and different shaft sections that developed along fractures and bedding planes, if the fracture has an inclination of 80° and the dip of the bed is 10°

törés mentén kialakult aknaszakasz hossza	réteglap mentén kialakult akna hossza	teljes aknahossz	fajlagos aknahossz	vadózus zóna eltérése a megadott (100 m-es) szélességtől
5,0	5,0	180,0	1,73	4,22
10,0	10,0	180,0	1,73	4,31
20,0	10,0	150,0	1,40	7,65
10,0	20,0	240,0	2,25	6,56

VI. táblázat

Table VI.

A hegyvidék aknacsoportjai karszterület szerinti bontásban és képződési környezetük néhány jellemzője
The shaft groups of the mountains according to karst areas and some characteristics of their development environment

Karszterület	karszt típusa jelenleg	felszín tengerszint feletti magassága (m)	karsztvíz-szint tengerszint feletti magassága (m)	lokális vadózus zóna vastagsága (m)	karsztos depressziók száma	feltárt aknák átlagos mélysége ¹	feltárt aknák átlagos fajlagos aknahossza	aknák genetikája
Kab-hegy	rejtett és allogén karszt	400-450	350	50-100	40 ²	23,53(11)	3,89	karsztvíz- és felszíni elöntéses aknafejlődés
Tési-fennsík	rejtett karszt	420-480	200	220-280	137	30,13(46)	2,73	
Hárskúti-medence	rejtett karszt	460-500	250	210-250	60	12,07(7)	2,04	gyenge felszíni elöntéses és karsztvízes aknafejlődés
Eleven-Förtési dolinacsoport	rejtett karszt	675	230	445	9	10,25(4)	1,00	felszíni elöntéses aknafejlődés
Márvány-árok környéke	rejtett karszt	410-620	180	230-440	120	7,17(3)	1,20	
Som-hegy és Száraz-Gerence völgy között	rejtett karszt	500-600	250	250-350	76	14,00(5)	1,43	
Keszthelyi-hegység	csupasz-, vagy rejtett karszt	400-420	115	285-305	20 ²	62,7(7)	42,64	kis mértékű felszíni vízbepótlásnál tektonikus aknáknál

Megjegyzés:

¹ zárójelben a figyelembevett aknák darabszáma, a Tési-fennsík kivételével ez adott terület összes aknája

² becült adat

Notice: ¹ In brackets the number of the shafts taken into consideration, with the exception of the Tési plateau this is the total number of the shafts in a given area

² estimated data

A hegyvidék különböző karsztos területeire megadtuk a h₂ (lokális vadózus zóna vastagságokat) értékeket (VI. táblázat). Látható, hogy ez az Eleven-Förtési dolinacsoportnál nagyobb, mint 400 m. Valószínű azonban itt is kisebb az értéke, miután itt a mészkő vastagságot a közeli dolomit előbukkanás rétegdőlésének felhasználásával 339 m-nek számítottuk. Ugyanis a mészkő fekvését képező dolomit üregesedése kisebb és így e közetben az

aknaképződés esélye is kisebb. Ezért a h_2 érték megadásánál csak a mészkő vastagságát vettük figyelembe.

Ezért a Bakonyvidék különböző karsztos területei alatt a lokális vadózus zóna vastagsága 200-400 m közöttire tehető. Ennél kisebb a Középső Kréta mészkő rögökön (pl. Mester-Hajag, Égett-hegy) és a Kab-hegyen.

Így a Mester-Hajagon (felszínének magassága 450-503 m közötti) a rög peremi források (a legmagasabb helyzetű 482 m tengerszint feletti magasságú) magasságának a figyelembevételével a karsztvízszint magassága elérheti a 482 m-t, míg a Kab-hegyen *KÁLMÁN, PETHŐ* (1950) szerint 350 m körüli. (Ezért előző esetben a vadózus zóna vastagsága kb. 21-68 m, utóbbi esetben 50-100 m.) Mindkét esetben a helyi vízzáró betelepülések miatt karsztvízemeletek jöttek létre.

Egyszerű aknákat feltételezve 20°-os dőlésű preformáló szerkezet esetén és 200 m-es vadózus zónánál 588,23 m 400 m-nél 1176,47 m közötti a potenciális aknahosszak értéke. Kab-hegy esetén ugyanilyen helyzetű preformáló szerkezet esetén viszont 100 méteres vadózus zónával számolva 294,11 m. 70°-os dőlésű preformáló szerkezetnél 200-400 m közötti vadózus zónáknál a potenciális aknahosszak 212,77– 425,53 m közöttiek (Kab-hegyen 100 m-es vadózus zónával számolva ez 106,38 m). Összetett aknák kialakulása esetén 200 m-es vastagságú vadózus zónánál 70°-os törés és 20°-os réteglap mentén kialakult egyenlő hosszúságú aknarészek esetén 400,5 m, 400 m-es vadózus zónánál 801,00 m a potenciális aknahossz. 100 m-es vadózus zónánál (Kab-hegy) ugyanilyen helyzetű aknarészeknél ez 200,25 m.

A potenciális aknahosszakat korlátozza a hegyvidék rögeinek kicsi laterális kiterjedése is. Ahhoz pl., hogy egy 1000 m-es hosszúságú, 30°-os dőlésű egyszerű akna létrejöjjön valamely rögben, utóbbinak az akna irányában legalább 866 m kiterjedésűnek kell lennie. A hegyvidék rögeinek a többsége néhány 100 m és 1-2 km közötti kiterjedésű. A rögök közül nagyobb kiterjedésű csak a Tési-fennsík (É-D-i irányban 8 km, K-Ny-i irányban 16 km) és a Kőrös-hegy (É-D-i és K-Ny-i kiterjedése kb. 6-6 km). A Kab-hegy területe viszonylag jelentős kiterjedésű, de zömét bazalt fedi.

Ha a Bakonyvidék különböző karsztterületeinek feltárt aknahosszait tekintjük, akkor átlagos mélységük, az aknatalpaknak a karsztvízszinthez képesti helyzete, számuk és az átlagos feltárt fajlagos hosszuk szerint az alábbi csoportokba sorolhatók (*VI. táblázat*).

- Ahol az aknák átlagos mélysége, átlagos fajlagos hossza nagy és a hordozó területen az aknák gyakorisága viszonylag ugyancsak nagy. E területeken a vadózus zóna vastagsága, és az aknák aknatalpainak (vagy azok egy részé-

nek) és a karsztvíznek a magasságkülönbsége kicsi. Ide sorolható a Kab-hegy és a Tési-fennsík. E két karsztterület átlagos, feltárt fajlagos akna hossza 3,31. A vertikális méret és a fajlagos hossz között kapcsolat van. Így, ha a Tési-fennsík 50 m-nél mélyebb aknáit tekintjük azok átlagos fajlagos hossza 5,32, míg a fennsík összes vizsgált aknájánál ez 2,73.

- Ahol az aknák átlagos mélysége, átlagos fajlagos hossza kicsi és a hordozó területen az akna gyakoriság is kicsi. E területeken a vadózus zóna vastagsága és az aknatalpaknak (vagy azok egy részének) és a karsztvízszintnek a magasságkülönbsége viszonylag nagy. Ide sorolható a Kőrös-hegy (Márvány-árok környéke, Eleven Förtési dolina-csoport), valamint a Kőrös-hegy környéke (Som-hegy és Száraz-Gerence közti terület). E karsztterületeken az aknák átlagos fajlagos hossza 1,21. E csoportba sorolható még több rejtett karsztos terület, amelyek vadózus zónájában egyáltalán nem tártak fel aknákat (pl. a középső kréta mészköves Égett-hegy), valamint az olyanok, ahol előfordul, de az csekély mélységű (Középső-Hajag), vagy azok már nem aktívak és csak néhány méter mélységűek (Mester-Hajag ugyancsak középső kréta röge).

Átmenetet képeznek a Hárskúti-medence aknái a két csoport között. Itt az aknák átlagos fajlagos hossza viszonylag nagy, a mélységük kicsi, de a vadózus zóna vastagsága is kicsi. Extrém fajlagos hosszak és vertikális értékek vannak a Keszthelyi-hegységben. Itt viszont a vadózus zóna vastagsága nagy.

Megvitatás

A potenciális aknahossz akkor nagy, ha vastag és vízzáróval nem megszakított a vadózus zóna és, ha nagy az esélye az összetett aknák létrejöttének. Utóbbinak kedvez, ha a töréssűrűség nagy és a kőzet jól rétegzett. Hosszú, vagy egyre hosszabb összetett aknák létrejöttének az esélyét növeli, ha a törés (vető) és a rétegdőlés kicsi. A nagy aknahosszúság további feltétele a hordozó rögök nagy oldalirányú kiterjedése. A vertikális méret akkor nagy, ha az aknák hosszú időn keresztül, gyakran kapnak nem túlzottan sok vizet (vízfilm kialakulás a falakon) és az aknafejlődés hosszú ideje tart. A kicsi, de tartós vízbepótlásnak kedvez a dolina részleges feltöltöttsége, miután ilyenkor a víz elvezetése fékezett, valamint a depresszió fedőüledékének időszakos forrásai (VERESS 2016), és az akna felső részének a kitöltöttsége bemosott fedővel vagy omladékkal.

A feltárt aknaszakaszok akár elérhetik, vagy meghaladhatják a potenciális aknahosszt. Ez emeletes-, szétágazó aknáknál, valamint aknarendszereknél várható. Erre jó példa az Alba Regia-barlang, amelynek a hossza

3600 m (3. ábra). A barlangnál a potenciális aknahossz 400 m, 200 m-es vastagságú vadózus zónával és 30°-os réteg dőléssel (KÁRPÁT 1982) számolva (ez megfelel a feltárt hosszának, miután a Fő-ág kiterjedése 406,25 m).

Potenciális aknahosszt meghaladó feltárt (vagy tényleges aknahossz) kifejlődésére akkor lehet számítani, ha az akna paragenetikusan fejlődik. Paragenetikus aknafejlődés, miután az aknák a karsztvízszint felett vannak, akkor történik, ha az akna rendszeresen kitöltődik (elárasztódik) vízzel (VERESS 2016). A paragenetikus hatás annál intenzívebb, ha az aknák vízzel való elöntése minél hosszabb idejű és minél gyakoribb.

A paragenezis felfele irányuló üregképződés (BRETZ 1942, RENAULT 1968), amelyet számos kutató vizsgált (FORD, EWERS 1978, LAURITZEN, LAURITSEN 1995, FORD 2000, FARRANT 2004, FORD, WILLIAMS 2007, SKOGLUND, LAURITZEN 2010, FARRANT, SIMMS 2011, FARRANT, SMART 2011). A folyamat során a már meglévő üreg felett, vagy üregben oldódás történik, mivel a felhalmozódó üledék a vizet felfelé nyomja (PASINI 2009, FARRANT 2004). A paragenezis végbemehet a freatikus zónában (RENAULT 1968, SLABE 1995, FORD, WILLIAMS 2007), az epifreatikus zónában (SLABE 1995) és a vadózus zónában (FARRANT 2004). Utóbbi esetben úgy is, hogy a feltöltött járat a karsztvízszint süllyedése miatt freatikus környezetből vadózusba kerül (Bočič et al. 2012). A paragenezis során kialakuló formák között említik a freatikus kanyonokat (FARRANT 2004, PASINI 2009), a mennyezeti csatornákat (BRETZ 1956, RENAULT 1968, PASINI 2009), az anasztomózisokat (BÖGLI 1978, FARRANT 2004), a féltubusokat (FARRANT 2004), a mennyezeti pendantokat (BRETZ 1956, RENAULT 1968, SLABE 1995), a színlöket (FARRANT 2004).

Az aknák időszakos vízzel kitöltöttségét jelzik a depressziók időszakos tavai (VERESS 1987, 2000), amikor azok olyan depressziókban alakulnak ki, amelyekben az akna bejárata nincs üledékkel elfedve. De a vízzel kitöltöttséget bizonyítják az akna falak üledék- és növény hulladék bevonatai is (VERESS 1982), mivel a nem, vagy nagyon lassan mozgó vízből a lebegtetett üledék és növény hulladék a különböző felületekre (és így az aknafalakra) tapad.

Az akna vízzel kitöltöttsége visszavezethető az akna sajátosságaira (az akna szűk, dőlése kicsi, alsóbb részei részben kitöltöttek), felszíni, valamint felszín alatti okokra. Felszíni kiváltó ok az intenzív csapadék esemény, a felszín megfelelő morfológiája (a depresszió völgytalpi helyzetű, vagy hozzá víz összegyűjtő és vízvezető forma, pl. völgy kapcsolódik, vagy viszonylag nagy a vízgyűjtője).

Felszín alatti ok a megemelkedő karsztvízszint, amely megközelítheti, elérheti az aknatalpat, sőt meghaladhatja a talp magasságát, részben kitöltve az aknát. Különösen az utóbbi esetben a felszínről befolyó víz nem, vagy csak kismértékben (oldalirányban) képes elvezetődni. Így a karsztvízszint elősegítheti, hogy a felszíni vizek kitöltsék az aknarészeket. A karsztvíz jelentős 100 m-t meghaladó megemelkedéséről már korábban szoltunk. A mérési helyen (Hárskút közelében) a karsztvízszint süllyedése igen lassú. Amíg az emelkedése fentebb említett helyen 1,87 m/nap volt, addig a süllyedése 0,28 m/napnak adódott (BÖCKER 1972). A lassú süllyedés az aknában a karsztvízzel kitöltöttséget tartósan fenntarthatja. Az akna karsztvízzel elöntése és annak időtartama számos tényezőtől függ. Az elöntés esélye akkor nagy, ha a karsztvízszint és az akna bejárat magasságkülönbsége kicsi (tehát a vadózus zóna vastagsága kicsi), a karsztvízszint emelkedésének mértéke nagy (ezt a közet üregesedtségének mértéke szabályozza), az aknatalpak mélyen lenyúlnak a vadózus zónába. (Ez utóbbi akkor következik be, ha az aknafejlődés már hosszú ideje végbemegy, továbbá ha intenzív.)

Kisebb üregesedtség kedvez a karsztvízszint nagyobb mértékű megemelkedésének. Ennek a hegyvidéken ott nagyobb az esélye, ahol a mészkő fekjét földolomit képezi.

Az aknák vízzel kitöltöttsége főképpen aknarendszerek kialakulásához járulhat hozzá. A hegyvidék aknáiban gyakoriak a vakaknák (VERESS 2016), amelyek az aknákból ágaznak ki. Változatos helyzetűek, hosszúságúak, egyenesek, vagy ívesek. Nem érik el a felszín, hanem a bezáró közetben végződnek el (4, 5, 6. ábrák). A vakaknák alulról felfelé fejlődését, tehát paragenetikus genetikáját bizonyítja, hogy a hordozó aknákhöz kapcsolódó, függőleges helyzetű, felfelé elkeskenyedő, felül zártan végződő formák.

Aknarendszerek kialakulása akkor lehetséges, ha az aknának paragenetikus vakaknái vannak, amelyek felfelé növekedve, elérve a felszín mellékaknává fejlődhetnek. A vízzel elárasztás szintje, és így a paragenetikus üregképződés szintje, ha azt részben (vagy teljesen) felszíni vízbefolyások okozzák, elérheti annak a karsztos depresszióknak a magasságát, ahonnan a vízbepótlás történik. Így a paragenetikus vakaknák megközelíthetik, vagy elérhetik a felszín, ha a vakaknák felett a felszín magassága kisebb, mint a vízbevezető depresszióknál (VERESS 2016). A paragenetikus vakaknák felfelé a felszín irányába növekedve mellékaknákká fejlődnek a mennyezetüknek szorított oldóképes víz hatására. Aknarendszer jön létre az egyszerű-, vagy összetett aknából. Gyakran tapasztalható, hogy a paragenetikus vakakna felett a felszínen nincs utánsüllyedéssel dolina (3. ábra, Bertalan-ág felett, 4A. ábra). Ekkor a felfelé fejlődő vakakna mellék-

aknává fejlődése során valószínűleg hozzájárulhat újabb dolina kialakulásához. Utóbbi létrejötte tovább növeli az aknarendszer vízzel kitöltöttségének mértékét és időtartamát.

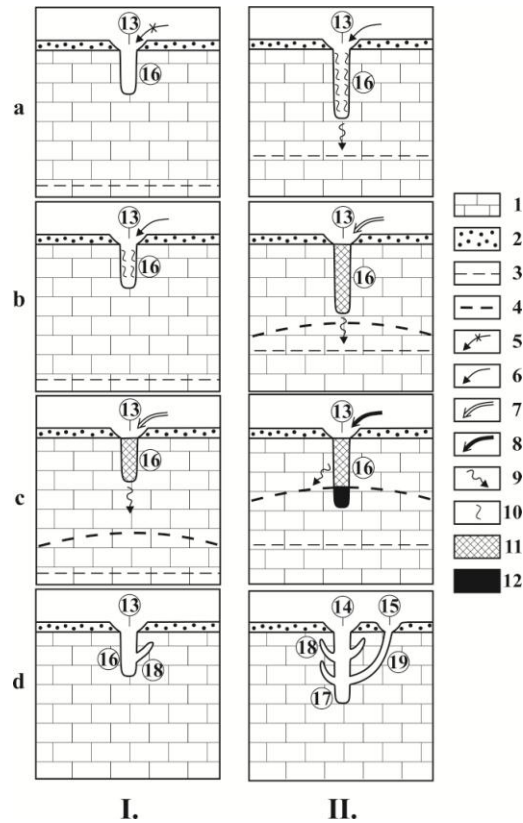
Alább elemezzük, hogy a hegyvidék különböző karszterületein az aknák vízzel kitöltődésének az esélyei miért eltérőek. Kisebb felszíni vízbefolyás esélyére utal, ha az utánsüllyedéses dolinához nem kapcsolódik vízvezető forma (völgy, vízmosás, eróziós árok). Utal a vízbefolyás mennyiségére az utánsüllyedéses dolinák vízgyűjtőjének a mérete is. Minél nagyobb valahol a dolinasűrűség, annál kisebb dolina vízgyűjtőre lehet ott számítani.

A Mester-Hajag és a Márvány-árok környékén egyetlen utánsüllyedéses dolinához sem kapcsolódik vízvezető forma. Ezzel szemben a Hárskúti medence mintegy 60 db utánsüllyedéses dolinájából 5 db-hoz igen és 4 db völgytalpi helyzetű. A Kab-hegyen az összes aknával rendelkező depresszióhoz vízvezető forma kapcsolódik. A Tési-fennsík K-i részén egy jól körülhatárolható területen mintegy 20 db depresszió van. Közülük 16 db van völgytalpon (többhöz eróziós meder is kapcsolódik), 1 db-hoz eróziós árok vezet és mindössze 4 db van sík felszínen, amelyekhez vízvezető forma sem kapcsolódik. Tehát a felszín morfológia szerint a Kab-hegyen, a Tési – fennsíkon és a Hárskúti- medence területén nagyobb a vízbefolyás esélye a karsztos depresszióba, mint a Mester-Hajagon, vagy a Márvány-árok környéki területen.

A Mester-Hajag egy $0,076 \text{ km}^2$ kiterjedésű területén a dolina sűrűség $1,12 \text{ db}/100 \text{ m}^2$, a Márvány-árok környéki egy $1,28 \text{ km}^2$ kiterjedésű területén $0,5 \text{ db}/100 \text{ m}^2$, míg a Hárskúti-medence egy $3,00 \text{ km}^2$ kiterjedésű területén $0,2 \text{ db}/100 \text{ m}^2$. Tehát a Hárskúti-medence területén nagyobb a vízbefolyás esélye a karsztos depressziókba, mint a másik kettő esetében.

A karsztvízzel elöntés esélye függ (egyéb, fentebb már említettek mellett) a vadózus zóna vastagságától is. Hasonló mélységű 4-4 db aknát kiválasztva, eltérő vastagságú vadózus zónánál megállapítható, hogy a Tési-fennsík esetében az átlagos fajlagos aknahossz $2,39$, míg az Eleven-Förtési dolinacsoport aknáinál $1,0$. Bár az Eleven-Förtési dolinacsoport aknáit függőleges helyzetűek, míg a Tési-fennsík 4 db aknája közül csak 1 db, amely már önmagában kicsi fajlagos hosszt eredményez. Eltérő mélységű aknákat kiválasztva, a Tési-fennsík 50 m -nél mélyebb aknáinál (6 db) az átlagos fajlagos aknahossz $5,32$, míg az Eleven-Förtési dolinacsoport aknáinál $1,0$. Előző területen az aknatalpak és a karsztvízszint átlagos magasságkülönbsége $124,9 \text{ m}$, utóbbinál $434,75 \text{ m}$ (VII. táblázat). A Tési-fennsík aknáinál azonban a fajlagos aknahosszak akkor is nagyobb, ha a hasonló térbeli helyzetű aknákat hasonlítjuk össze. A Tési-fennsík függőleges törések mentén kialakult aknáit tekintve (a 6 db-ból 4 db) az átlagos fajlagos hossz $2,37$ (a

nagyobb fajlagos a hosszt a réteglap mentén kialakult szakaszok okozzák), nagyobb, mint az Eleven-Förtési dolinacsoport aknáinak átlagos fajlagos hossza.



9. ábra: Az akna elárasztást befolyásoló tényezők és az elárasztások hatása az aknafejlődésre
 Jelmagyarázat: 1. mészkő, 2. fedő, 3. alacsony (nyugalmi) karsztvízszint, 4. magas karsztvízszint, 5. nincs vízbepótlás, 6. kis hozamú vízbepótlás, 7. közepes hozamú vízbepótlás, 8. nagy hozamú vízbepótlás, 9. vízelzivárgás az aknából, 10. vízfilm az aknafalon, 11. vízkitöltés az aknában, felszínről származó vízből, 12. vízkitöltés karsztvízből, 13. utánsüllyedékes dolina, 14. utánsüllyedékes fődolina, 15. utánsüllyedékes mellékdolina, 16. akna, 17. főakna, 18. paragenetikus vakakna, 19. mellékakna, I. a felszín morfológiája nem kedvez a jelentős vízbepótlásnak az aknába, az aknatalp és a karsztvízszint magasságkülönbsége nagy II. a felszín morfológiája kedvez a jelentős vízbepótlásnak, az aknatalp és a karsztvízszint magasságkülönbsége kicsi, a. kevés csapadék van, nincs vízbefolyás (Ia.) vagy az kis vízhozamú (IIa.), b. több csapadék van a vízbefolyás kevés (Ib.), vagy közepes (IIb), c. sok csapadék van hosszú időn keresztül a vízbefolyás közepes (Ic), vagy nagy (IIc), d. aknamintázatok

Fig. 9: Factors influencing shaft flood and the effect of floods on shaft development
 Legend: 1. limestone, 2. cover, 3. low (standstill) karst water level, 4. high karst water level, 5. no water input, 6. water input of low yield, 7. water input of medium yield, 8. water input of high yield, 9. seepage from the shaft, 10. water film on the shaft wall, 11. water fill in the shaft, originating from surface water, 12. water fill originating from karst water, 13. subsidence doline, 14. subsidence main doline, 15. subsidence tributary doline, 16. shaft, 17. main shaft, 18. paragenetic blind shaft, 19. tributary shaft, I. the morphology of the surface does not favour significant water input into the shaft, the elevation difference of the shaft floor and the karst water level is great II. the morphology of the surface favours significant water input, the elevation difference of the shaft floor and the karst water level is small, a. there is little precipitation and no water inflow (Ia.) or it is of low yield (IIa.), b. there is more precipitation, water inflow is little (Ib.), or medium (IIb), c. there is a lot of precipitation for a long period, water inflow is medium (Ic), or large (IIc), d. shaft patterns

Nagyon kicsi vadózus zóna vastagságok vannak, tehát a karsztvizes előntés esélye nagyobb a középső kréta mészkőrögökön (Mester-Hajag). Viszonylag kicsi vadózus zóna vastagságok fordulnak elő a Kab-hegyen, a Tési-fennsíkon és a Hárskúti-medencében. Nagy vadózus zóna vastagságok (ill. tág határok között változik a vastagságuk) vannak, vagyis a karsztvizes előntés esélye kisebb a Som-hegy és Száraz-Gerence közötti, a Márvány-árok környéki karsztos területen, az Eleven-Förtési dolinacsoportnál, valamint a Keszthelyi-hegységben.

Ugyancsak nagy az előntés esélye ott, ahol az aknák mélysége nagy. Nagy átlagos aknamélység jellemzi a Tési-fennsík, a Kab-hegy, valamint a Keszthelyi-hegység aknáit (Utóbbi területen azonban a vadózus zóna vastagsága viszonylag nagy és ez nem kedvez a karsztvizes előntésnek).

A fentiek figyelembevételével a hegyvidék aknafejlődési típusai az alábbiak (9. ábra):

- Felszíni előntéses aknafejlődési típus: az aknák mélyülése kis intenzitású és/vagy az akna kialakulás fiatal, ezért az aknák mélysége kicsi. Különösen akkor, ha a vadózus zóna vastagsága viszonylag nagy és a karsztvízszint ingadozásának a mértéke kicsi az aknákat nem vagy ritkán, de ez esetben is kismértékben önti el a karsztvíz. Ezért az aknák vízzel kitöltöttsége kevésbé következik be (ritka és rövid idejű). Az aknák nem fejlődnek aknarendszerekké, szétágazó, vagy emeletes aknákká. Ilyen aknafejlődés jellemzi a Márvány-árok környéke, az Eleven Förtési dolinacsoport, a Som-hegy és a Száraz-Gerence közti terület rejtett karsztjainak aknáit. A feltárt, vagy tényleges aknahosszak a potenciális aknahosszak által meghatározottak és azoknál kisebbek. Még kisebb felszíni bepótlás az egyszerű- és összetett aknák fejlődésének sem kedvez. De a vadózus zóna nagyon kicsi (néhányszor 10 m-es) vastagsága sem. Kis mélységű, néhány m-es aknák fejlődhetnek ki (vagy egyáltalán nincsenek aknák) a középső kréta mészkőrögökön. Ennek oka, hogy az utánsüllyedéssel nem kapnak elegendő vizet (vízgyűjtőjük nagyon kicsi, nincsenek hozzájuk kapcsolódó vízmosások), de az is, hogy a fedő lepusztulása miatt (mivel a rög kiemelt helyzetű, kis területű és völgyekkel határolt) vízgyűjtőjüket gyorsan elveszítik. Valószínűleg az akna fejlődést az is gátolja, hogy a karsztvízemeletek vize megközelíti a felszínt csapadékos időben, ami gátolja a felszíni vízbevezetést a karsztba. A karsztvízszint ilyen mértékű megemelkedésére utal, hogy a Mester-Hajag egyik exhumált mészkő kúpjának a felszínéhez közel, egy vízszintes helyzetű (tehát freatikus) járat van.

VII. táblázat
Table VII

Aknatalpak és karsztvízszint magasságkülönbségei a hegyvidék két karszterületén
Elevation differences between shaft floors and karst water level in two karst areas of the mountains

Akna neve	akna mélysége (m)	aknatalp és karsztvízszint magasságkülönbsége (m)	feltárt fajlagos hossz	aknatípusa	helyzete (α)
Eleven-Förtési dolinacsoport 1 jelű depressziójának aknája ¹	5,0(675,0)	440,0	1,0	egyszerű	90 ^{o3}
Eleven-Förtési dolinacsoport 2 jelű depressziójának aknája ¹	13,0(675,0)	432,0	1,0	egyszerű	90 ^{o3}
Eleven-Förtési dolinacsoport 7 jelű depressziójának aknája ¹	19,0(675,0)	426,0	1,0	egyszerű	90 ^{o3}
Dózeros depresszió aknája ¹	4,0(675,0)	441,0	1,0	egyszerű	90 ^{o3}
átlag	10,25(675,0)	434,75	1,0	---	---
Alba Regia barlang ²	200,2(453,0)	52,8	17,98	emeletes	20°-30° között ⁴
Csengő-akna ²	133,9(480,0)	146,1	1,72	összetett	90 ^{o3}
Csipkés-akna ²	72,5(413,0)	140,5	2,48	összetett	90 ^{o3}
Háromkürtő-akna ²	105,0(442,0)	137,0	3,43	aknarendszer	90 ^{o3} (mind a fő- mind a mellék akna)
Jubileumi-akna ²	121,0(410,0)	89,0	1,84	összetett	90 ^{o3}
Tábla-völgyi-akna ²	78,0(462,0)	184,0	4,49	szétágazó	30°-50° ⁴ közötti, 70 ^{o3}
átlag	118,43(433,3)	124,9	5,32	---	---

Megjegyzés:

- A Tési-fennsík aknái közül az 50 m-nél mélyebb aknák kerültek be a feldolgozásba,
- karsztvízszint magassága a VI. táblázatban látható
- A zárójelben szerepel az aknabéjárat tengerszint feletti magassága
- ¹Eleven-Förtési dolinacsoport aknája,
- ²Tési-fennsík aknája,
- ³akna törésmenti része,
- ⁴akna réteglap menti része,
- α : akna vízszintessel bezárt szöge
- az aknák méretbeli adatait a www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm-ből nyertük

Notice:

- The shafts deeper than 50 m on Tési Plateau were taken into consideration
- the elevation of karst water level can be seen in Table VI
- The numbers in brackets refer to the altitude of the shaft entrance
- ¹the shaft of the Eleven-Förtés doline group
- ²the shaft of Tési Plateau,
- ³shaft section along fracture,
- ⁴shaft section along bedding plane,
- α : shaft angle to the horizontal
- we got the data of shafts from www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm

- Karsztvíz- és felszíni elöntéses aknafejlődési típus: az aknamélyülés intenzív, vagy hosszabb ideje tart, az egyszerű- és az összetett aknák mélyebbek.

Viszonylag kisebb vastagságú a vadózus zóna és/vagy nagyobb mértékű a karsztvízszint ingadozás. A fentiek miatt az aknákat nagyobb eséllyel, gyakrabban és tartósabban önti el a karsztvíz, továbbá azokat gyakrabban és több felszíni vizet kapnak. Nő az elöntés hossza és így az aknafejlődés hatékonysága, amikor a felszínről származó vízkitöltés karsztvíz elárasztással párosul. Az egyszerű- és összetett aknák nagyobb eséllyel fejlődnek aknarendszerré, emeletes- és szétágazó aknákká. A feltárt- vagy tényleges aknahosszak a potenciális aknahosszak által kevésbé meghatározottak. Ilyen aknafejlődés jellemzi a Tési-fennsík és a Kab-hegy aknáit, vagy azok egy részét. Különösen a Tési-fennsíkon kedvezőek a feltételek hosszú aknák és változatos aknamintázatok létrejöttének. A kedvező feltételek közt említhető a fennsík viszonylag nagy laterális kiterjedése, a lefolyástalansága és a hegység többi részéhez képest viszonylag hosszú idejű karsztosodása, a bőséges felszíni vízbefolyások (erre utalnak, hogy sok depresszióhoz vízmosások vezetnek, ill. mások völgytalpi helyzetűek). A Kab-hegyen az ilyen típusú aknafejlődésnek kedvezett a vadózus zóna kicsi vastagsága, valamint a kedvező morfológiai sajátosságok. Ugyanis a bazalttakaró vizei vakvölgyeken keresztül a karsztperemi víznyelőkbe jutnak (VERESS, UNGER 2015, MÓGA, NÉMETH 2005).

- Tektonikus aknafejlődési típus: az aknamélyülés csak részben függ a felszíni víz beáramlástól, az aknák részben, vagy teljes mértékben tektonikus (egyreszeik karsztvízszint alattiak) eredetűek. Mivel az aknák kismennyiségű felszíni vizet kaptak még a tektonikus eredetre utaló formaelemek is megmaradhatnak. A tektonikus eredet és a freatikus járatok kedveznek a nagy fajlagos aknahosszak létrejöttének. Azonban a vadózus zóna vastag (a karsztvízszint mélyen van), ezért mély aknák alakulhatnak ki. Emiatt a feltárt aknahosszak nagyok, meghaladják a potenciális aknahosszakat. Ilyen aknák jellemzik a Keszthelyi-hegységet.

Következtetések

Az aknák potenciális hossza függ a vadózus zóna vastagságától, a kialakuló aknák, ill. aknarészek térbeli helyzetétől, a kialakuló aknarészek egymáshoz képesti hosszától, de nem függ az összetetté fejlődőknél a lépcsőzottság mértékétől. A vadózus zóna adott vastagságánál a preformáló földtani szerkezet gyakorisága és térbeli helyzete van hatással a potenciális hossza.

A feltárt aknahossz elérheti, sőt meghaladhatja a potenciális hosszt az aknarendszereknél, a szétágazó aknáknál és az emeletes aknáknál. Tehát a feltárt aknahossz függ az akna mintázatától. A tényleges aknahosszra (és így a feltártra is) a fentebb említettek mellett hatással van a karsztvízszint

ingadozásának a mértéke (amely függ a kőzet üregesedettségtől), az aknatalp és a karsztvízszint magasságkülönbségtől, a felszíni vízbepótlás mértékétől és időtartamától.

A Bakonyvidéken a karszterületek feltárt aknáinak gyakorisága, átlagos mélysége, feltárt átlagos fajlagos hossza eltér. Előfordulnak nagy aknagyakoriságú, nagy átlagos mélységű, nagy átlagos fajlagos hosszúságú aknákkal rendelkező, viszonylag kicsi vadózus zónájú karszterületek és olyanok, ahol az átlagos aknamélység, az átlagos fajlagos hossz kicsi, a vadózus zóna vastagsága viszonylag nagy. Az előző csoport aknáinak fejlődésében (vagy egy részükben) az elárasztások nagyobb szerepet játszanak, mint az utóbbiakéban. Az elárasztások gyakorisága, időtartama ott nagyobb (Kab-hegy, Tési-fennsík), ahol a felszíni vízbepótlások jelentősebbek, az aknatalpak és a karsztvízszint magasságkülönbsége viszonylag kicsi, a karsztvízszint ingadozások jelentősek. Az aknafejlődést így sok tényező befolyásolja. Ezért az aknák fejlődése egyedi és még egy karszterületen belül is az aknák méretének, mintázatának és fajlagos hosszának a változatlansága nagy.

A Bakonyvidék karszterületeinek aknái különböző fejlődési típusokba tartoznak (felszíni elöntéses fejlődési-, karsztvízes-felszíni elöntéses fejlődési- és a tektonikus fejlődési típus). Egy karszterület aknáinak genetikai típusa a hordozó rög tulajdonságaitól függ. Így a rögben a karsztvízszint magasságától és a rög felszínének a morfológiájától.

Bár a Bakonyvidék akna mélységei és aknahosszai felszínének karsztosodásához képest számottevő, a potenciális – és a feltárt aknahosszak más, főleg magashegységi karszterületekhez (Alpok, Dinári-hegység, Pireneusok, Kaukázus, stb.) viszonyítva azonban nem jelentősek. Ebben szerepe van a vadózus zóna viszonylag kicsi vastagságának és a hegyvidék erőteljes tektonikai feldaraboltságának (kicsi a rögök mérete).

IRODALOM

BOČIČ N, FAIVRE S, KOVACIC M, HORVATINCIC N (2012): Cave development under the influence of Pleistocene glaciation in the Dinarides – an example from Štirovača Ice Cave (Velebit Mt., Croatia). *Zeitschrift für Geomorphologie* Vol. 56(4) pp. 409–433.

BÖGLI A. (1978): Die wichtigsten Karrenformen der Kalkalpen – Karst processes and relevant landforms. International Speleological Union, Commission on Karst denudation. Department of Geography, Philosophical Faculty, University of Ljubljana, Ljubljana, pp. 141–149

BÖCKER T. (1972): A karsztvizek mozgásviszonyai természetes körülmé-

- nyek között. In: Szádeczky-Kardoss E. (szerk.), II. Anyag- és energiaáramlási anket, Akadémia Kiadó, Budapest, pp. 107-121.
- BÖCKER T., LIEBE P., LORBERER A., MAUCHA L., MIKE K., RÁDAI Ö., SZÉKELY F.* (1983): A Dunántúli középhegység karsztvízszint térképe – Vízgazdálkodási Tudományos Központ, Budapest
- BRETZ J.H.* (1942): Vadose and Phreatic features of limestone caverns – *Journal of Geology*, 50(6): pp. 675-811.
- BRETZ J.H.* (1956): Caves of Missouri – *Geological Survey and Water Resources*, 2(39): Rolla, Missouri, 491 p.
- CSEPREGI A.* (2007): A karsztvíz kiemelés hatása a Dunántúli-középhegység vízháztartására – In: Alföldi A.-Kapolyi L. (szerk.): Bányászati karsztvízszint süllyesztés a Dunántúli-középhegységben, MTA, Földrajztudományi Kutatóintézete pp. 77-112.
- ESZTERHÁS I.* (1983): Az Alba Regia barlang a Bakony legnagyobb ismert barlangja – *A Bakonyi Természettudományi Múzeum Közleményei* 2. pp. 7-28.
- FARRANT A.* (2004): Paragenesis – In: Gunn J. (szerk.), *Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Fitzroy Dearborn, New York – London: pp. 569 - 571.
- FARRANT A.R., SIMMS M.J.* (2011): Ogof Draenen: speleogenesis of a hydrological see – saw from the karst of South Wales – *Cave and Karst Science* 38, (1) pp. 31-52.
- FARRANT, A.R., SMART, P.L.* (2011): Role of sediment in speleogenesis: sedimentation and paragenesis – *Geomorphology* 134. pp. 79-93.
- FORD D.C.* (1984): Karst groundwater activity and landform genesis in modern permafrost regions of Canada – In: LaFleur RG (szerk.): *Groundwater as a Geomorphic Agent*, Allen&Unwin, London, pp. 340-350.
- FORD D.C.* (2000): Speleogenesis Under Unconfined Setting – In : Klimchouk A.B., Ford D.C., Palmer A.N. & Dreybrodt W. (szerk.), *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama pp. 319-324.
- FORD D. C., EWERS R.O.* (1978) The development of limestone cave systems in the dimensions of length and depth – *International Journal of Speleology*,10(3-4) pp. 213-244.
- FORD D.C., WILLIAMS P.W.* (2007): *Karst Hydrogeology and Geomorphology* – John Wiley & Sons, Chichester, 561 p.
- KÁLMÁN GY., PETHŐ J.* (1950): Úrkút és Ajka környékének részletes karsztvíz térképe – *Hidrológiai Közlöny*, XXX (1-2) pp. 175-178.
- KÁRPÁT J.* (1981): Újabb feltárások a Bakonyban – *Karszt és Barlang* I-II. pp. 56-57.

- KÁRPÁT J.* (1982): Alba Regia barlang – Magyarország barlangtérképei 22, Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulat, Budapest
- LAURITZEN S.-E., LAURITZEN A.* (1995) Differential diagnosis of paragenetic and vadose canyons – *Cave and Karst Science*, 21(2) pp. 55–59.
- LÁNG S.* (1962): A Bakony geomorfológiai vázlata – *Karszt és Barlangkutató Tájékoztató* 7. pp. 86-91.
- MÓGA J., NÉMETH R.* (2005): The morphological research of the basalt and loess covered plateaus in the Bakony Mts. (Transdanubian middle mts.-Hungary) – *Acta carsologica* 34(2) pp. 397-414.
- PAPP F.* (1941): Dunántúl karsztvizei és a feltárás lehetőségei Budapesten – *Hidrológiai Közlöny* 21 (7-12) pp. 146-196.
- PASINI G.* (2009): Terminology matter: paragenesis, antigravitátive erosion or antigravitational erosion? – *International Journal of Speleology* 38(2) pp. 129-138.
- RENAULT Ph.* (1968): Contribution à l'étude des action mécanique et sédimentologiques dans la spéléogénèse – *Annales de spéléologie* 23(3) pp. 529-596.
- SÁRVÁRY I.* (1970): A zombolygenetika kérdéseiről – *Karszt és Barlang* I. pp. 5-12.
- SLABE T.* (1995): Cave Rocky Relief – *Znanstvenaraziskovalni Center Sazu, Ljubljana*. 128
- SKOGLUND, R.O., LAURITZEN, S.E.* (2010): Morphology and speleogenesis of Okshola, Fauske, northern Norway: example of a multi-stage network cave in a glacial landscape – *Norwegian Journal of Geology*, 90. pp. 123-139.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E.* (1941): A Dunántúli középhegység karsztvizeinek néhány problémájáról – *Hidrológiai Közlöny* 21 (7-12) pp. 67-92.
- SZÁDECZKY-KARRDOS E.* (1948): A Dunántúli-középhegység karsztvíz térképe – *Hidrológiai Közlöny* 28 (1-4) pp. 2-3.
- SZILAJ R.* (2014): Kessler Hubert-barlang – In: Sliz Gy (szerk.): *Felfedezések a föld alatt. Magyarország új barlangjai 2003-2013*, Szent Özséb Barlangkutató Egyesület, Budapest pp. 16-19.
- VERESS M.* (1982): Adatok a Hárskúti-fennsík morfogenetikájához – *Karszt Barlang* I pp. 71–82.
- VERESS M.* (1987): Karsztos mélyedések működése bakonyi fedett karszton – *Földrajzi Értesítő* 36(1–2) pp. 91–114.
- VERESS M.* (2000): Covered karst evolution Northern Bakony mountains, W-Hungary – *A Bakony Természettud. Kut. Eredményei*, 23, Bakonyi Természettudományi Múzeum, Zirc, 167 p.
- VERESS M.* (2016): *Covered Karst* – Springer, Berlin, Heidelberg, New

York 536 p. DOI 10.1007/978-94-017-7518-2

VERESS M., HORVÁTH E.T., ZENTAI Z. (1996): Egy magashegységi karszterület vertikális karsztformáinak vizsgálata (Totes Gebirge, Ausztria) – A BDTF Tud. Közl. X. Természettudományok 5. pp. 141-157.

VERESS M., PUSKÁS J. (2007): Adalékok az Eleven-Förtési töbör csoport (Bakony-hegység) karsztosodásához – Karsztfejlődés XII pp. 171-192.

VERESS M., UNGER Z. (2015): Kab Mountain: Karst Under a Basalt Cap – In: Lóczy D (szerk.): Landscapes and Landforms of Hungary – Springer, Heidelberg, New York, Dordrent, London, pp. 55-62.

WHITE W.B. (1988): Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains. Oxford University Press, New York – Oxford, 464 p.

WILLIAMS P.W. (2008): The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review International Journal of Speleology 37(1) pp. 1-10.

www.fsz.bme.hu/mtsz/barlang/4tinfo/mol/bakony/tes.htm