

**NÉHÁNY GLACIOKARSZTOS TERÜLET ÉS A BAKONYVIDÉK
AKNAFEJLŐDÉSÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA**

**A COMPARISON OF THE SHAFT DEVELOPMENT OF SOME
GLACIOKARST AREAS AND OF THE BAKONY REGION**

VERESS MÁRTON¹ – HEGEDŰS ANDRÁS² – CIKOVEC, PAVLE³ –
RUBAN DMITRY A.⁴ – PÉNTEK KÁLMÁN⁵

¹ELTE, SEK, Földrajz Tanszék, 9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

²Duna-Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, 1025 Budapest, Pusztaszeri u. 35.

³Department of Geography, University of Munich (LMU), Luisenstrasse 37
80333 Munich Pavle.Cikovac@campus.lmu.de

Southern Federal University 23-ja linija Street 43 Rostov-na-Donu 344019
Russia

⁵ELTE-SEK Matematika Tanszék, 9700 Szombathely, Károlyi
Gáspár tér 4.

veress.marton@elte.sek.hu

Abstract: In glaciokarst areas and in the Bakony Mountains we can make a conclusion from specific shaft lengths and shaft patterns to shaft development. We calculated the specific length of shafts in some karst areas, the average specific shaft length of the shafts of some areas and of their part areas and we investigated the relation between the altitude of shaft floors and the specific length values of the shafts. Taking the specific shaft lengths and shaft patterns into consideration it can be stated that the shafts (or some of them and some parts of the shafts) developed paragenetically in the studied karst areas. This was caused by surface water inflow, the rise of karst water level and their simultaneous effect. As a result, shaft systems, bifurcating and storeyed shafts develop. On glaciokarsts the shafts may constitute a system with phreatic passages: either because a phreatic environment developed in the vadose zone due to the permanent impoundment of karst water or because the phreatic passage got into the vadose zone since the karst became elevated. On glaciokarsts the following shaft development types were differentiated: glacial-high mountain surface flood development type (1), glacial-high mountain karst water and surface flood development type (2), glacial karst water and surface flood later phreatic development type (3), shaft with a passage that got into the vadose zone (4).

Keywords: shaft, specific shaft length, shaft development, vadose zone, phreatic zone, glaciokarst

Bevezetés

E tanulmányban a fajlagos aknahosszak és az aknamintázatok felhasználásával néhány glaciokarsztos terület (magashegységi) és a Bakonyvidék aknáinak a genetikai osztályozását és összehasonlítását mutatjuk be.

Az aknák a karszt vadózus zónájának képződményi. Kialakulhatnak oldódással, vagy eróziósan (*FORD, WILLIAMS* 2007). Az oldódásos erede-

tüeket nevezik elsődleges vadózus aknáknak (*FORD, WILLIAMS 2007*). Az oldódásos aknák a kőzet folytonosságát megszakító felületek mentén leszivárgó vizek által képződnek, miután a falak vizei oldóképességüket nagy mélységig lejutva is megőrzik (*WHITE 1988*). Az eróziós eredetű aknák freatikus járatok továbbfejlődésével képződnek (*FORD, WILLIAMS 2007*).

Az aknahossz lehet potenciális-, tényleges- és feltárt aknahossz (*VERESS 2018, 2019*). A potenciális aknahossz az a hossz, amelyet egy akna elérhet fejlődése során, adott vadózus zóna vastagságnál és a preformáló felületek adott térbeli helyzeténél. A tényleges hossz adott időpontban az akna hossza, a feltárt hossz az ismert hossza az aknának. Az aknák lehetnek egyszerű aknák, összetett aknák, aknarendszerek, szétágazó aknák, emeletes aknák és aknák freatikus járatrészsel (*VERESS 2018, 2019*). Az egyszerű aknák kivételével a tényleges aknahossz meghaladhatja a potenciális aknahosszt, az egyszerűéknél legfeljebb elérheti.

Az akna mintázatára hatással van, hogy milyen mértékű és intenzitású felszíni vízbefolyások és karsztvizes hatások érték. Ezek ugyanis a már meglévő aknában elárasztásokat okoznak, miáltal paragenetikus aknafejlődés történik. A paragenezis során a már meglévő vízzel kitöltött üregben vagy annak felső részén felfelé irányuló oldódás történik (*PALMER 1991, FARRANT 2004, PASINI 2009*). A paragenetikus aknafejlődés során újabb aknaszakaszok képződhetnek (*VERESS 2018, 2019*). A paragenezis végbe-mehet a vadózus zónában (*PASINI 2009*), a freatikus zónában (*FORD, WILLIAMS 2007*), az epifreatikus zónában (*SLABE 1995*).

Vizsgáltuk a Bakonyvidéken az elárasztásokhoz kapcsolódó aknafejlődést fajlagos aknahosszaik elemzésével, valamint a felszíni eredetű és karsztvizes potenciális elöntés figyelembevételével (*VERESS 2018, 2019*). Elkülönítettünk felszíni elöntéses-, karsztvizes-felszíni elöntéses fejlődési típust. (A Keszthelyi-hegység aknáinak elöntéstől függetlenül létrejött, főleg tektonikus eredetű hasadék aknák.)

Módszerek

- Kiszámítottuk a mintaterületek (Bakonyvidék, Lovčen-Njegusi-polje, Kaukázus, Orjen hegységek) 138 aknájának fajlagos aknahosszát. A fajlagos aknahosszt az akna összhossz és mélység hányadosa adja (*VERESS 2018, 2019*).
- A fajlagos aknahosszak átlagait képeztük mintaterületenként, ill. részterületenként.
- A Lovčen-Njegusi polje területén a fajlagos aknahosszak és az aknatalpak magassága közti kapcsolatot vizsgáltuk.

A mintaterületek



1. ábra: Mintaterületek

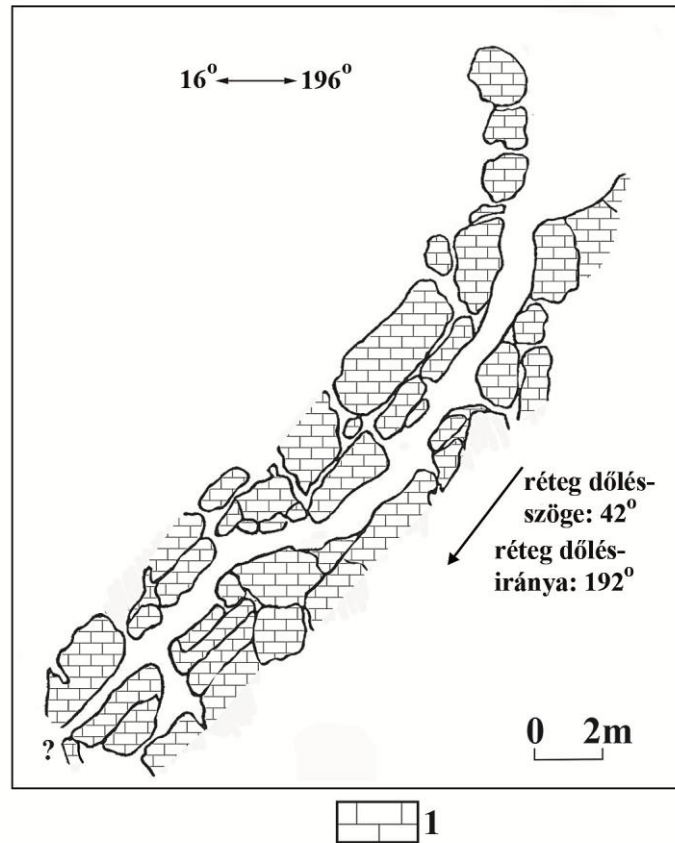
Jelmagyarázat: 1. Bakonyvidék, 2. Lovćen-Njegusi-polje, 3. Kaukázus, 4. Orjen

Figure 1: Sample areas

Legend: 1. Bakony Region, 2. Lovćen-Njegusi-polje, 3. Caucasus, 4. Orjen Mountains

A mintaterületeket az 1. ábrán mutatjuk be. A Bakonyvidék területe különböző fejlődéstörténetű rögökre (PÉCSI 1980, 1991) különül. Ezek főleg triász karbonátokból, kisebb részben jura-, kréta- és eocén mészkövekből épülnek fel (BUDAI, KONRÁD 2011), de egyes rögök karbonátos kőzeteire (Kab-hegy) bazalttakaró települt. Felszínének magassága 150-700 m közötti, területe 4300 km² (ebből a Bakony hegység területe 2200 km²), az évi csapadék mennyisége 650-800 mm közötti. Középhegységi karszt, ahol 83 db akna fajlagos hosszát számítottuk a következő rész mintaterületekről (zárójelben tüntettük fel a vizsgált aknák számát): Tési-fennsík (46 db), Hárskúti-medence (7 db), Kab-hegy (11 db), Som-hegy és Száraz-Gerence közti terület, Eleven-Förtési töbör csoport, Márvány-árok környéke (összesen 12 db) (ez utóbbi hármat együttesen alább Kőrös-hegy környékeként említjük) és a Keszthelyi-hegység (7 db). A Bakonyvidék aknái között előfordulnak egyszerűek-, aknarendszerek-, összetettek-, szétágazók-, és emeletes aknák (VERESS 2018). Az egyszerű aknák egy törés, vagy réteglap mentén alakultak ki (2. ábra). Az összetett aknák különböző helyzetű töré-

sek és réteglapok mentén (3. ábra) képződtek. Az aknarendszereknek a fő-aknái mellett a felszín elérő mellékaknái vannak (4. ábra). A szétágazó aknák bejáratuktól lefelé több részre (5. ábra), míg az emeletes aknák több szintre különülnek (6. ábra).

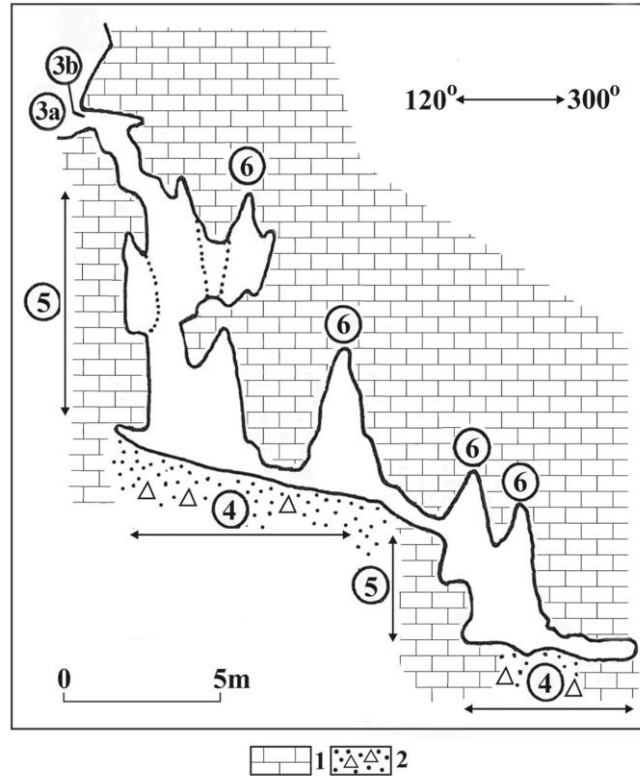


2. ábra: Réteglap mentén kialakult egyszerű akna: G-5/a jelű depresszió aknája (Hárskúti-medence, VERESS 2018)

Jelmagyarázat: 1. bezáró kőzet

Figure 2: Simple shaft that developed along bedding plane: the shaft of the depression marked G-5/a (Hárskút basin, VERESS 2018)

Legend: 1. host rock



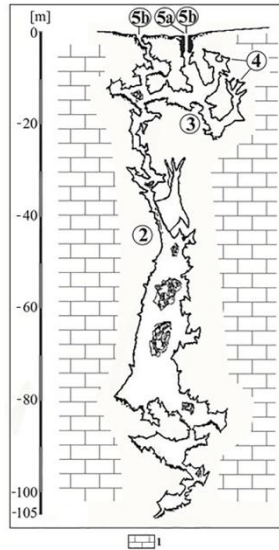
3. ábra: Törés- és réteglap mentén kialakult összetett akna: Ereszes-zsomboly hosszmettszete, Hárskúti-medence (VERESS 2018)

Jelmagyarázat: 1. bezáró kőzet, 2. bemosott talaj és törmelék, 3a. utánsüllyedékes dolina, 3b. bejárat, 4. réteglap mentén kialakult szakasz, 5. törés mentén kialakult szakasz, 6. paragenetikus vakakna

Figure 3: Complex shaft that developed along fracture and bedding plane: longitudinal profile of Ereszes shaft, Hárskút basin (VERESS 2018)

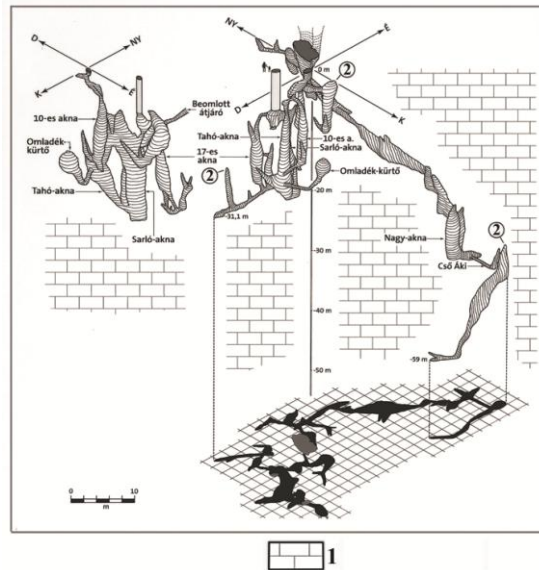
Legend: 1. host rock, 2. washed-in soil and debris, 3a. subsidence doline, 3b. entrance, 4. section that developed along bedding plane, 5. section that developed along fracture, 6. paragenetic blind shaft

A Lovčen-Njegusi polje területe a Dinári-hegység parti vonulatában a Kotori-öböl (Montenegro) mentén helyezkedik el 870-1700 m tengerszint feletti magasságban. Barlangkataszterileg négy részterületre különíthető: a Njegusi-poljére, a Lovčenre, az Északi-zónára és a Középső zónára. Karsztvízszintje az Adria szintjének közelében helyezkedik el. A csapadék mennyisége a Lovčen egyes részein a 4000 mm-t is elérheti. Aknáinak feltáráásával a feltárt szakaszok dokumentálásával több, mint egy évtizede magyar barlangkutatók foglalkoznak (KISS, TAKÁCSNÉ BOLNER 2006, TAKÁCSNÉ BOLNER 2006). E mintaterületről 21 aknát vontunk be a vizsgálatba.

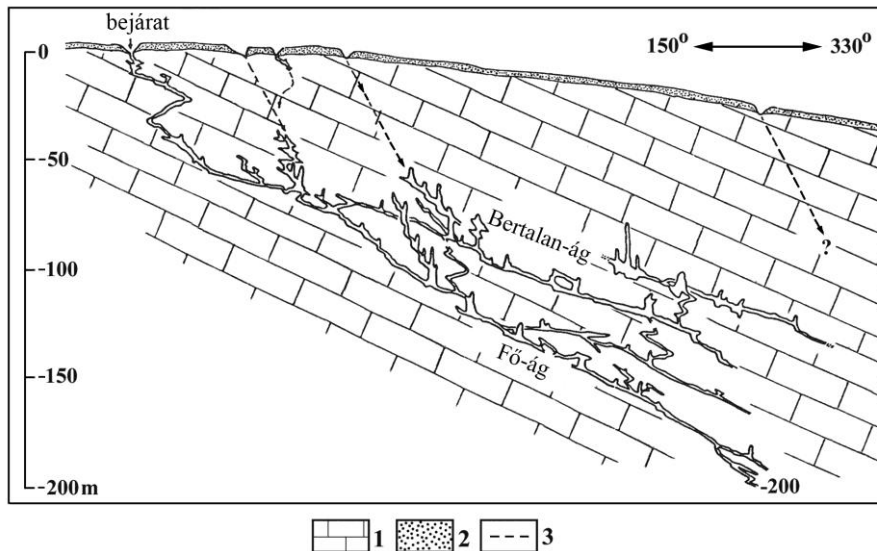


4. ábra: Aknarendszer: Háromkürtő akna hosszmetsete (Tési-fennsík, VERESS 2018)
 Jelmagyarázat: 1. bezáró kőzet, 2. főakna, 3. mellékakna, 4. paragenetikus vakakna, 5a. utánsüllyedéses dolina, 5b. bejárat

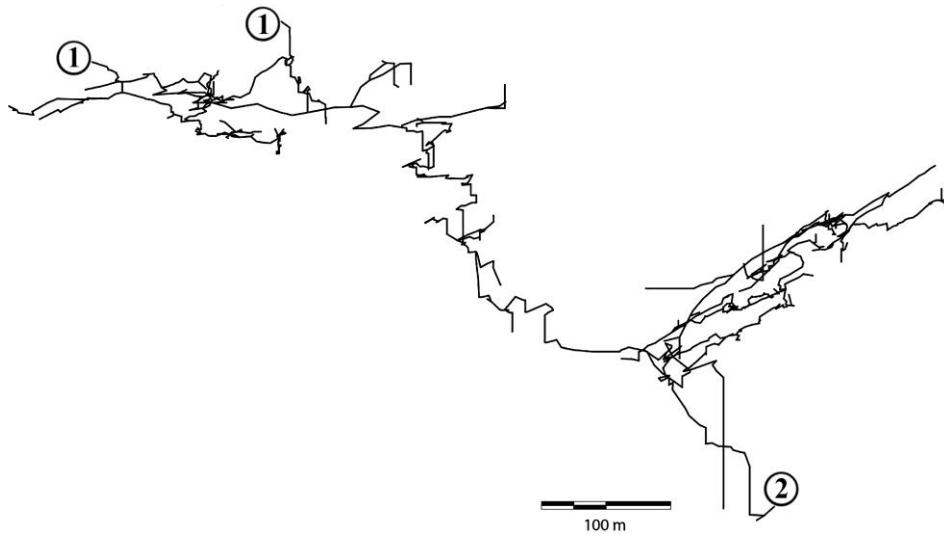
Figure 4: Shaft system: the longitudinal profile of Háromkürtő shaft (Tési Plateau, VERESS 2018)
 Legend: 1. host rock, 2. main shaft, 3. tributary shaft, 4. paragenetic blind shaft, 5a. subsidence doline, 5b. entrance



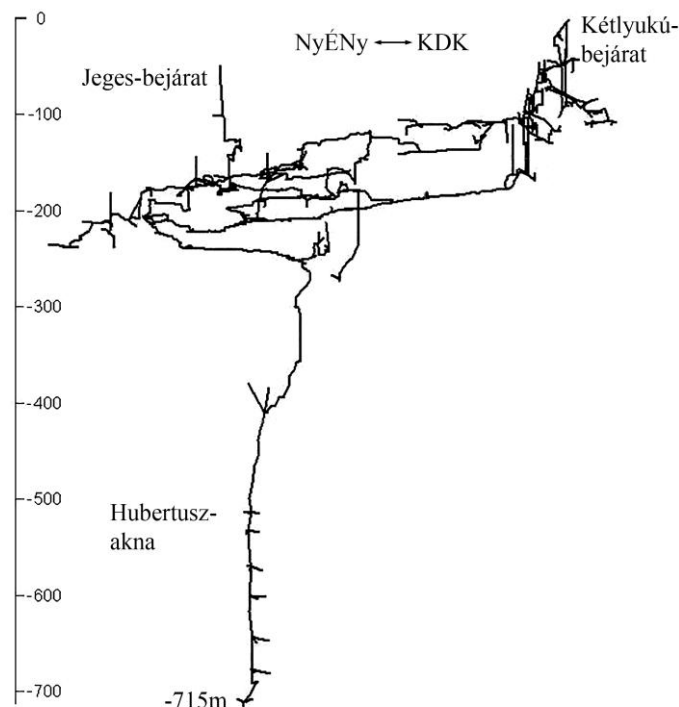
5. ábra: Szétágzó akna: Öreg-Köves víznyelő aknája (Kab-hegy, VERESS 2018)
 Jelmagyarázat: 1. bezáró kőzet, 2. paragenetikus vakakna
 Figure 5: Bifurcating shaft: the shaft of Öreg-Köves ponor (Kab Mountain, VERESS 2018)
 Legend: 1. host rock, 2. paragenetic blind shaft



6. ábra: Emeletes akna: Alba Regia-barlang (Tési-fennsík, VERESS 2018)
 Jelmagyarázat: 1. bezáró kőzet, 2. fedő, 3. törés
 Figure 6: Storeyed shaft: Alba Regia Cave (Tési Plateau, VERESS 2018)
 Legend: 1. host rock, 2. cover, 3. fracture



7. ábra: Njegusi-barlang hosszmetsete (Njegusi-polje felmérte: Börcsök, Hegedűs, Polacsek, Takácsné Bolner, Kunisch, Szabó, 2008-2019 között)
 Jelmagyarázat: 1. bejárat, 2. szifon
 Figure 7: The longitudinal profile of Njegusi Cave (Njegusi-polje)
 Legend: 1. entrance, 2. siphon

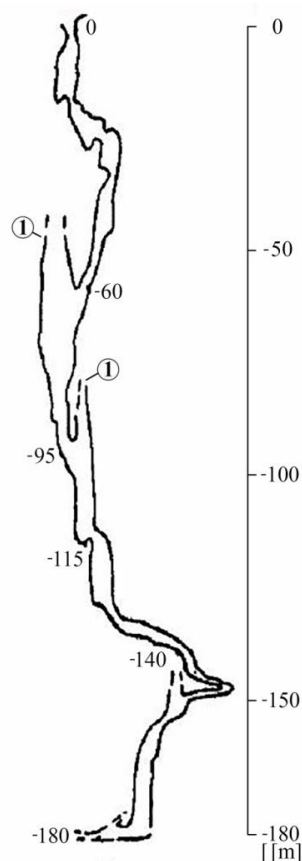


8. ábra: Kétlyukú-Jeges barlangrendszer hosszmetsete (Lovčen felmérte: Nagy, Hegedűs, Kunisch, Nyerges 2009-2019 között)

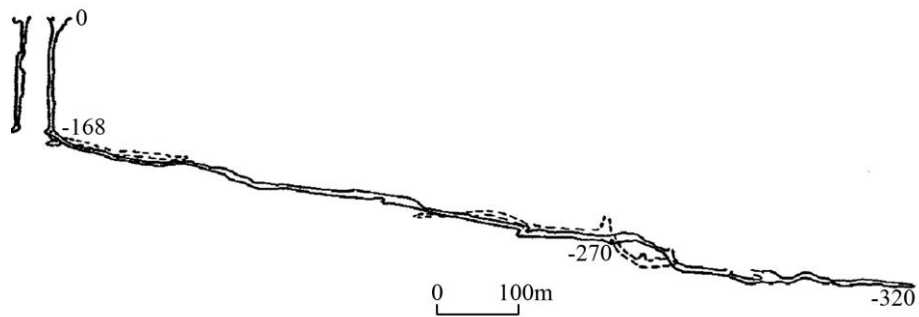
Figure 8: The longitudinal profile of the Kétlyukú-Jeges cave system (Lovčen)

A Njegusi-polje területe $6,2 \text{ km}^2$, magassága $870\text{-}1200 \text{ m}$ közötti. A polje aljzat kőzetei felső triász alsó-jura tűzköves és középső-jura oolitos mészkövek (DIMITRISEVIČ 1997). A Lovčen gleccserei a poljében végződtek el, fluvioglaciális üledékeket hátrahagyva, tehát kialakulása szerint piedmont típusú polje. 6 db barlangjának (számozásuk 1-től 6-ig) számítottuk a fajlagos hosszát. Közülük a Njegusi-barlang (fajlagos aknahossza $16,32$) összetett rendszer. Függőleges (vagy közel függőleges) aknák váltakoznak vízszintes, freatikus (TAKÁCSNÉ BOLNER 2006) járatrészekkel (7. ábra), akár csak a lovčeni Kétlyukú-Jeges barlangrendszer esetében is (8. ábra). A függőleges (vadózus) aknák a freatikus járatokat mind felülről, mind alulról is közrefoghatják. A Njegusi-barlangnál tapasztalható az is, hogy vadózus aknák freatikus járatokat harántolnak, ill. levágnek továbbá, hogy freatikus járatok vadózus módon fejlődtek tovább (TAKÁCSNÉ BOLNER 2006). A Duboki do barlang viszont áramlásos (de nem freatikus) formakincessel rendelkezik (TAKÁCSNÉ BOLNER 2006), amely a barlang vízkitöltés melletti áramlásos eredetére utal. A Njegusi-polje és a Kotori öböl között van a Lovčen, amely az eocén flisre tolódott mezozoikumi kar-

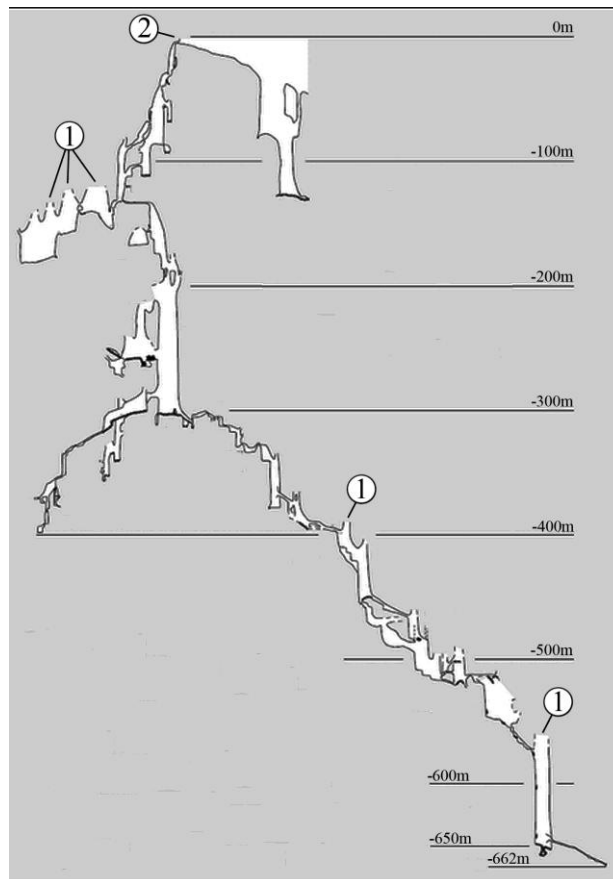
bonátokból épül fel (de hasonló a felépítés a többi részterületen is), területe 21,8 km². Glaciálisan átalakított, két ÉNy-DK-i irányú gerincre különül (ŽEBRE, STEPISNIK 2015). Magassága 1300-1400 m közötti. E területen 6 db akna (számozásuk 7-től 12-ig) került be a feldolgozásba. Közülük a Kétlyukú-Jeges barlangrendszer összetett rendszer (8. ábra). Az Északi zóna a Njegusi-poljéjtól É-ra elhelyezkedő terület, amelyet Ny-ról a Kotori-öböl határol. Kiterjedése 30 km², magassága 900-1400 m közötti. Ezen részen nem volt jégelborítás (STEPISNIK, ŽEBRE 2011). Az egység területéről 5 akna (számozásuk: 13-tól 17-ig) fajlagos hosszát számítottuk. A középső zóna kiterjedése 25 km², magassága 1300-1400 m közötti. Az egység területén volt jégelborítás, ahonnan 4 akna fajlagos hosszát (számozásuk: 18-tól 21-ig) számítottuk.



9. ábra: A Kuntsev-barlang (Lagonaki-magasföld, Kaukázus) hosszmetsete (DUBLJANSZKIJ et al. 1987)
 Jelmagyarázat: 1. paragenetikus vakakna
 Figure 9: The longitudinal profile of Kuntsev Cave (Lagonaki Highlands, the Caucasus) (DUBLJANSZKIJ et al. 1987)
 Legend: 1. paragenetic blind shaft



10. ábra: Az Abszolute-barlang (Lagonaki-magasföld, Kaukázus) hosszszelvénye (DUBLJANSZKIJ et al. 1987)
 Figure 10: The longitudinal profile of Absolute Cave (Lagonaki Highlands, the Caucasus) (DUBLJANSZKIJ et al 1987)



11. ábra: A Jeskyně Kozi dira-barlang (Orjen-hegység) hosszszelvénye (<https://www.suchy-zleb.cz/cs/cerna-hora-2010/kd-mapa/>)

Jelmagyarázat: 1. vakkürtő

Figure 11: The longitudinal profile of Jeskyně Kozi dira Cave (Orjen Mountains)

Legend: 1. blind shaft

A Kaukázus nagy kiterjedésű, változatos felépítésű hegység. Geológiáját, tektonikáját számos munkában lehet megtalálni (*RUBAN* 2007a, 2007b, *TRIKHUNKOVA* et al. 2019 stb.). Alább csak a vizsgált aknák hordozó területeinek bemutatására szorítkozunk. A területek és aknáik bemutatásához az adatokat *DUBLJANSKIJ* et al. (1987), *LOZOVAJ* (1984), *RUBAN* (2018) munkáiból nyertük. Innen 22 aknát vizsgáltunk. A vizsgálatba bevont aknák rész mintaterületei a Lagonaki magasföld, a Sary-Tala masszívum, a Dzehntu vonulat, az Abishira-Akhuba vonulat, a Sochi terület, az Arabika masszívum.

A Lagonaki magasföld a Nyugat-Kaukázus legmagasabb (1500-2800 m között van felszínének magassága) része. Felső júra mészkövekből épül fel. A magasföld területe eljegesedett, a csapadék mennyisége elérheti a 3000 mm-t. 9 akna fajlagos aknahosszát vizsgáltuk, közülük kettő hosszmetrát mutatjuk be (*9, 10. ábrák*).

A Sary-Tala masszívum a Középső-Kaukázusban helyezkedik el. Felszínének magassága 1500 m feletti. Felépítő kőzetei alsó kréta mészkövek. Felszíne kuszta szerű vonulatokkal tagolt, a csapadék mennyisége 1000 mm feletti. Jégelborítás a masszívum területén nem volt. Innen 2 aknát vontunk be a feldolgozásba.

A Dzehntu vonulat a Középső –Kaukázusban van, felszínének magassága 2000 feletti. Felépítő kőzetei felső devon és alsó karbon márványos mészkövek pala betelepülésekkel. A csapadék mennyisége 1500 m feletti. Területén az egykori jégelborítás megléte bizonytalan. 1 akna került be a feldolgozásba.

Az Abishira-Akhuba vonulat a Középső-Kaukázus része, felszínének magassága 2400-2700 m közötti. Alsó karbon mészkövek építik fel. Itt egykori jégelborítás feltételezhető. Csapadék mennyisége 1500 mm-nél több. Innen 2 akna fajlagos hosszát számítottuk.

A Sochi terület a Középső-Kaukázus része, felszínének magassága 300-1000 m közötti. Felépítő kőzetei felső júra és felső kréta mészkövek. A csapadék mennyisége 1500-2000 mm közötti. Jégelborítás ezen területen nem volt. Innen 3 barlang fajlagos hosszát számítottuk.

Az Arabika-masszívum a Középső-Kaukázus déli részén van, felszínének magassága 1900-2300 m közötti. Felépítő kőzetei felső júra mészkövek. A csapadék mennyisége 1500 mm-nél több. Egykori jégelborítás feltételezhető. Innen 5 akna fajlagos hosszát számítottuk.

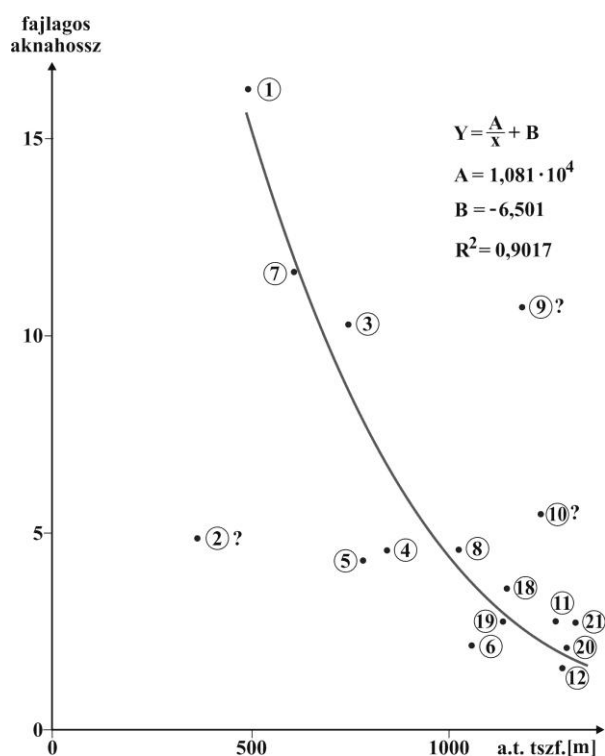
Az Orjen-hegység a Dinári-hegység parti vonulatában van Montenegró, Horvátország és Bosznia-Hercegovina határán. 400 km² területű, felszínének magassága 1300-1800 m közötti. Felépítő kőzetei júra, kréta és eocén mészkövek (*RIDANOVIĆ* 1966). Magasabb részei gerinceszerű vo-

nulatokból állnak, amelyek fennsíkokat és völgyeket különítenek el (ŽEBRE, STEPIŠNIK 2015). A csapadék mennyisége 5000 mm-t is eléri (MAGAŠ 2002). Az Orjenből 12 akna fajlagos hosszát számítottuk. Az akna egyikének hosszmetsetét a 11. ábrán mutatjuk be.

Eredmények

Függvénykapcsolat mutatható ki (12. ábra) a Lovčen-Njegusi-polje területén az aknatalpak tengerszint feletti magassága és az akna fajlagos hossza között, ha eltekintünk az Északi zóna aknáitól (ahol nem volt jég), valamint a Pipás-barlang, a Miloseva-barlang és a Duboki do barlangoktól. Előzőek kihagyását omlásokkal átalakult jellegük, a Duboki do barlangét különleges, intenzív vízbeáramlásra utaló formakincse (TAKÁCSNÉ BOLNER 2006) indokolja. E barlangra alább még visszatérünk. A függvénykapcsolat mutatja, hogy minél alacsonyabb tengerszint feletti magasságú az akna talpa, annál nagyobb a fajlagos hossza (tehát annál nagyobb a hossza a mélységéhez képest). Azért, mert az egyre alacsonyabb talpmagasságú barlangok fajlagos hossza (pl. Njegusi-barlang és a Kétlyukú-Jeges-barlang) egyre nagyobb, mert egyre hosszabb freatikus szakaszokkal rendelkeznek, annak ellenére, hogy vadózus környezetben vannak. A freatikus szakaszok a karsztvíz egykori megemelkedése során az alacsonyabb talpú aknáknál nagyobb eséllyel alakulhattak ki, mint a magasabb talpmagasságú barlangoknál (pl. az Ötóraittea barlang). Emiatt ezen barlangoknál vadózus és inaktív freatikus szakaszok váltakoznak, vagy akár vadózus szakaszok lehetnek a freatikusok alatt. Ugyanakkor függvénykapcsolatot az aknatalpak és a fajlagos hosszak között a többi glaciokarsztos mintaterületeken nem lehetett kimutatni.

Minden mintaterületen előfordulnak nagy- és kicsi fajlagos hosszúságú aknák. Nagy fajlagos aknahosszú akna az Alba-barlang (Tési-fennsík), a Njegusi-barlang (Njegusi-polje), a Vilina-barlang (Orjen), az Abszolute-barlang (Kaukázus, Lagonaki-magasföld). A fenti sorrendben a fajlagos aknahosszak: 17,96, 16,32, 11,00, 7,56. Kicsi fajlagos aknahossz jellemzi a Bezimena-barlangot (Orjen), a Csengő-zsombolyt (Tési-fennsík), az Ötóraittea-barlangot (Lovčen), és a Kuntsev-barlangot (Kaukázus). Fajlagos aknahosszaik a fenti sorrendben: 1,79, 1,75, 1,70, 1,53. Az eltérések ugyanazon területen belül, az akna eltérő meredekségével és összetettségével magyarázható.



12. ábra: A Lovčen-Njegusi-polje területén az aknatalpak tengerszint feletti magassága és fajlagos aknahosszuk közti kapcsolat

Jelmagyarázat: 1. Njegusi-barlang, 2. Duboki do, 3. Dögös-barlang (Zestoka pečina), 4. Szamaras-barlang (Bojanovica), 5. Meander-barlang, 6. Sólyom-barlang, 7. Kétlyukú-Jeges barlangrendszer (Dvorupa-Ledena jama), 8. Lahner-barlang (jama Lahner), 9. Pipás-barlang (jama Koje pusi lulu), 10. Miloševa pečina, 11. Anna-barlang (pečina Ana), 12. Őtóriai-tea-barlang (jama JN-1), 18. Jama Golubišnica, 19. Panoráma-barlang, 20. Bence-lika (jama Du-2), 21. Szamócás-barlang (Durdevacka jama)

Megjegyzés: a ? azon barlangoknál szerepel, amelyeknek a fajlagos aknahosszát nem vettük figyelembe a függvény előállításánál

Figure 12: The relation between the altitude of shaft floors and their specific shaft length in the area of the Lovčen-Njegusi-polje

Legend: 1. Njegusi cave, 2. Duboki do, 3. Dögös cave (Zestoka pečina), 4. Szamaras cave (Bojanovica), 5. Meander cave, 6. Sólyom cave, 7. Kétlyukú-Jeges cave system (Dvorupa-Ledena jama), 8. Lahner cave (jama Lahner), 9. Pipás cave (jama Koje pusi lulu), 10. Miloševa pečina, 11. Anna cave (pečina Ana), 12. Őtóriai-tea cave (jama JN-1), 18. Jama Golubišnica, 19. Panoráma cave, 20. Bence-lika (jama Du-2), 21. Szamócás cave (Durdevacka jama)

Notice: question mark can be find at caves, the specific shaft length of which was not taken into consideration when making the function

Ha a fajlagos aknahossz és a vadózus zóna jelenlegi vastagságának viszonyát tekintjük (glaciokarsztokon ennek vastagsága nagy) megállapítható, nagy fajlagos aknahosszú aknák, de kicsi fajlagos hosszúak is lehetnek vastag vadózus zónánál. Vastag vadózus zóna és nagy fajlagos aknahosszra példa lehet a már említett az Abszolute-barlang (vadózus zóna jelenlegi vastagsága kb. 2000 m) és a Njegusi-barlang (vadózus zóna jelenlegi vastagsága 870 m). De glaciokarsztokon előfordulnak kicsi fajlagos hosszú barlangok

is. Így a Hippopotamus-barlang fajlagos aknahossza 1,14, a hordozó vadózus zóna vastagsága 1700-2000 m. Alacsony hegységben, mint a Bakonyvidék, a vadózus zóna vastagsága a glaciokarsztok vadózus zónáikhoz képest kicsi, bár mint alább láthatjuk, ezek számottevően különbözhetnek a hegységen belül. Így a Bujó-lik (Kab-hegy) fajlagos aknahossza 5,27 a hordozó vadózus zóna vastagsága 50-100 m. A Bakonyvidéken egyre nagyobb vadózus zóna vastagságoknál tapasztalható a fajlagos aknahossz csökkenése. Így a Kőrös-hegy környékén a vadózus zóna vastagsága nagyobb (230-445 m), míg az aknák átlagos fajlagos aknahossza kisebb (1,23), mint a Kab-hegy (3,89) esetében (VERESS 2018).

I. táblázat:
Table I.

Különböző területek szerinti csoportosításban az átlagos fajlagos aknahosszak
Average specific shaft lengths according to different areas

terület	aknaszám	átlagos fajlagos aknahossz	részterület	aknaszám	átlagos fajlagos aknahossz
Lovčen-Njegusi-polje	21	5,71	1	16	5,71
			2	13	5,36
Orjen	12	2,85			
Kaukázus	22	3,47	3	4	5,00
			4	5	1,48
			5	2	11,85
			6	1	6,22
			7	2	2,31
			8	3	2,11
			9	5	1,62
Bakonyvidék	83	2,05 ¹	10	11	3,89
			11	46	2,73
			12	7	2,04
			13	12	1,23
			14	7	42,64

¹Keszthelyi-hegységgel az átlagos fajlagos aknahossz: 7,85

1. Északi zóna nélkül, 2. Északi zóna, a Duboki do a Pipás-barlang és a Miloseva-Pecina-barlang nélkül, 3. Lagonaki-magasföld területéről: Absolute-barlang, Canyon-barlang, Turista-barlang, C55-75-55-barlang, 4. Lagonaki-magasföld területéről: Soaring Bird-barlang, Dnieps-barlang, Golden Key-barlang, Kuntsev-barlang, Hippopotamus-barlang, 5. Sary-Tala masszívum, 6. Dzehntu vonulat, 7. Abishira-Akhuba-vonulat, 8. Sochi terület, 9. Arabika masszívum, 10. Kab-hegy, 11. Tési-fennsík, 12. Hárskúti-medence, 13. Kőrös-hegy és környéke, 14. Keszthelyi-hegység

¹With the Keszthely Mountains the average specific shaft length is 7,85

1. without the Northern zone, 2. without Northern zone, Duboki do, Pipás cave and the Miloseva-Pecina cave, 3. from the area of Lagonaki Massif: Absolute cave, Canyon cave, Tourist cave, CSS-75-55 cave, 4. from the area of Lagonaki Massif: Soaring Bird cave, Dniens cave, Golden Key cave, Kuntsev cave, Hippopotamus cave, 5. Sari-Tala Massif, 6. Dzehntu range, 7. Abishira-Akhuba range, 8. Sochi area, 9. Arabica Massif, 10. Kab Mountain, 11. Tési Plateau, 12. Hárskút basin, 13. Kőrös Mountain and its environs, 14. Keszthely Mountains

A fajlagos aknahossz és a hordozó vadózus zóna vastagságának viszonyából megállapítható:

- A vastagabb vadózus zónák esetén nagyobb eséllyel alakulnak ki mélyebb (és így akár hosszabb) aknák, de a vastagabb vadózus zóna vastagság növekedése közvetlenül nem idézi elő a fajlagos aknahossz növekedését.
- Nagyon kicsi vadózus zóna esetében a fajlagos aknahossz értéke érzékenyen reagál a vadózus zóna vastagság változására.
- De kimutatható (ld. fentebb) az is, hogy a Lovčen-Njegusi-polje területén, az aknátalpak egyre közelebbi helyzete a karsztvízszinthez az aknák fajlagos hosszának a trendszerű változását (növekedését) okozza.

Összehasonlítottuk területenként és alterületenként számbavett aknák az átlagos fajlagos aknahosszait is (*I. táblázat*). Látható, hogy a Bakonyvidéken ezek az értékek kisebbek, mint a glaciokarsztos területeken. Eltérnek egymástól a különböző glaciokarsztos területek aknáinak átlagos fajlagos aknahosszai is (Orjen 2,85, Kaukázus 3,47, Lovčen-Njegusi-polje 5,13). A Kaukázus részterületeit illetően megállapítható, hogy nagy fajlagos aknahosszak vannak (igaz az esetszám kicsi a Sary-Tala masszívum és a Dzehntu vonulat aknáinál (11,85 ill. 6,22) ill. kicsi fajlagos hosszak mutatathatók ki az Arabika-fennsíkon (1,62). Eltérő fajlagos aknahosszak vannak a Lagonaki magasföld területén. Itt az Abszolút-, a Kanyon-, a Turista-, a CSS-75-55 aknák átlagos fajlagos hossza nagy, 5,00. Ezek az aknák rendelkeznek többnyire freatikus részekkel. A freatikus részekhez azonban csak felülről kapcsolódik vadózus típusú (függőleges) akna (10. ábra). Ugyanakkor a Soaring Bird-, a Dniepr-, a Golden Key-, a Kuntsev-, a Hippopotamus-barlangok átlagos fajlagos aknahossza kicsi, 1,48. Ezek az aknák nem rendelkeznek inaktív freatikus járatrészekkel. Megállapítható, hogy a fajlagos aknahosszakra glaciokarszton nemcsak az akna mintázata hat, hanem a freatikus járatok jelenléte vagy hiánya is.

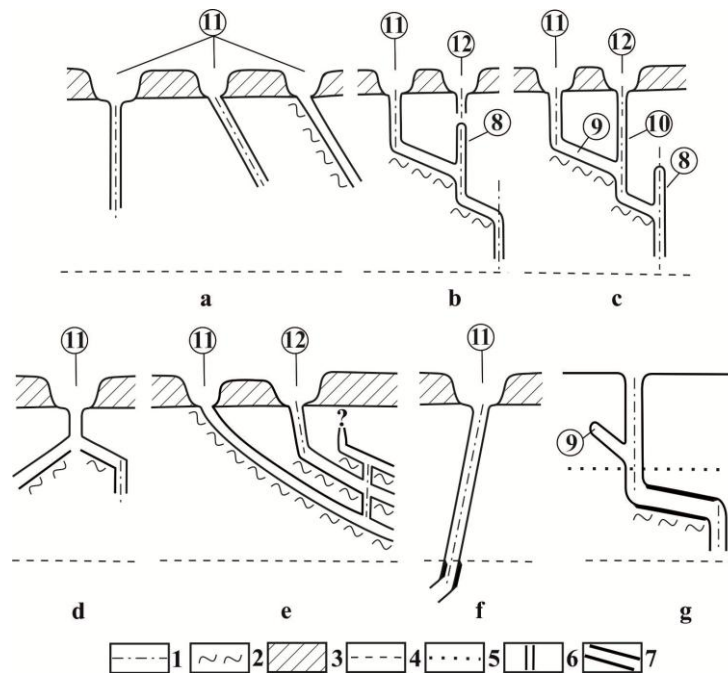
Megvitatás

Az aknamintázatok és a fajlagos aknahosszak glaciokarsztokon (de részben a Bakonyban is) az alábbiak lehetnek.

- Kicsi, vagy viszonylag kicsi fajlagos aknahosszú aknák vakkürtökkel, vagy vakkürtök nélkül. Vakkürtős aknák előfordulnak a Bakonyban, mint az Ereszes-zsomboly (*3. ábra*), de a glaciokarsztokon is, mint a Kuntsev-barlang (*9. ábra*), Ezen aknáknál paragenetikus aknafejlődés történhet, miáltal vakkürtök alakulnak ki. Az elárasztás felszíni vízbeáramlás során történik. Az akna elárasztás, vízzel kitöltés, bizonyítékai a Bakonyvidéken az aknák depresszióiban csapadékos időszakban kialakult árvízi tavak az akna-falak üledék és növényhulladék bevonatai (*VERESS 1987*). A felszíni eredetű elárasztás miatt a kitöltés valószínűleg rövid idejű. Ezért a vakkürtök nem

fejlődnek ki (vagy kisebb eséllyel), vagy ha igen, nem fejlődnek a felszínig. Így aknarendszerek nem alakulnak ki. A megfigyelések szerint azonban előfordulnak olyan aknák is (G-5/a jelű depresszió aknája, Hárskúti-medence), ahol közvetlenül is megfigyelhető volt előntés, vakkürtök mégsem alakultak ki (2. ábra). Felszíni elárasztással (vagy elárasztás nélkül) alakulnak ki az egyszerű aknák (2, 13a. ábrák) és az összetett aknák (3, 13b. ábrák). Az átlagos fajlagos hosszak szerint a Kaukázusban az Arabika-fennsík, a Lagonaki-magasföld egy része (vagy egyes aknái) és a Kőrishegy környéki területen mehet végbe kiterjedten ilyen típusú aknafejlődés. A glaciális-magashegységi felszíni előntéses típusú (glaciokarszton), valamint felszíni előntéses típusú (középhegységben) nevezzük az ilyen aknafejlődést.

- Nagy, de változatos fajlagos aknahosszú (pl. a Tési-fennsík két aknáját tekintve a Háromkürtő-zsombolynak a fajlagos aknahossza 3,43, míg az Alba-Regia-barlangnak 17,98) és változatos mintázatú aknák jönnek létre, akkor, ha az elárasztás felszíni vízbeáramláshoz és a megemelkedő karsztvízszinthez is köthető. A karsztvízes elárasztás hosszabb idejű, mint a felszíni eredetű, ami kedvez a vakaknák mellékaknává fejlődésének. Különösen akkor, ha a vakakna felett felszíni vízbevezetés is van (6. ábra). Az aknák lehetnek összetett aknák (4, 13c. ábra), szétágazók (5, 11, 13d. ábrák) és emeletes aknák (6, 13e. ábrák). Az aknák mintázatára a helyi morfológia és a földtani viszonyok is hatással vannak (pl. aknajáratok képződnek egymás felett az újabb és újabb helyeken létrejövő vízbevezetések hatására). Az átlagos fajlagos hosszak szerint az Orjen-hegység, a Lovčen-Njegusi-polje Északi zónája, a Kaukázus Sochi terület, valamint a Bakonyvidék területéről a Kab-hegy, a Tési-fennsík és a Hárskúti-medence terület aknái tartoznak ezen aknafejlődési típusba. Ide sorolható a nagy fajlagos hosszú (4,9) Duboki do is, amely extrém, tartós felszíni elárasztás során jött létre. *TAKÁCSNÉ BOLNER* (2006) szerint a balrangnak nincsenek freatikus eredetű járatai. Viszont formakincse intenzíven áramló vízkitöltés során alakult ki. Ez jól értelmezhető a Njegusi-poljébe belépő gleccser olvadékvizei által kiváltott tartós vízkitöltéssel. Az ilyen genetikájú aknákat a glaciális-magashegységi karsztvíz- és felszíni előntéses, valamint a karsztvíz- és felszíni előntéses típusú (Bakonyvidék középhegységi karszt) akna fejlődési típusba soroljuk.



13. ábra: Aknatípusok mintázatuk szerint

Jelmagyarázat: 1. törés, 2. réteglap, 3. fedő, 4. karsztvízszint, 5. egykori karsztvízszint, 6. vadózus környezetben kialakult aknarész, 7. freatikus környezetben kialakult aknarész, 8. paragenetikus vakakna, 9. főakna, 10. mellékakna, 11. fődepresszió, 12. mellékdepresszió, a. egyszerű akna, b. aknarendszer, c. összetett akna, d. szétágazó akna, e. emeletes akna, f. akna aktív freatikus járatrészsel, g. akna inaktív freatikus járatrészsel, a-e: vadózus környezetű akna, f. részben vadózus részben freatikus környezetű akna, g. az inaktív freatikus járatrész létrejöhet a karsztvízszint egykori megemelkedésével, vagy a terület egykori megemelkedése során

Figure 13: Shaft types according to their pattern

Legend: 1. fracture, 2. bedding plane, 3. cover, 4. karst water level, 5. former karst water level, 6. shaft section that developed in vadose environment, 7. shaft section that developed in phreatic environment, 8. paragenetic blind shaft, 9. main shaft, 10. tributary shaft, 11. main depression, 12. tributary depression, a. simple shaft, b. shaft system, c. complex shaft, d. bifurcating shaft, e. storeyed shaft, f. shaft with active phreatic passage section, g. shaft with inactive phreatic passage section, a-e: shaft with vadose environment, f. shaft with partly vadose and partly phreatic environment, g. the inactive phreatic passage section may develop by the former rise of karst water level or by the former rise of the area

- Nagy fajlagos akna hosszú akna jelentős freatikus résszel (13g. ábra) jöhet létre, amelynek két változata különböztethető meg. Az egyiknél inaktív freatikus és vadózus szakaszok váltakoznak, ill. a freatikus szakaszok alatt és felett vadózus típusú aknák vannak (7, 8. ábrák). A másik változat, amikor a freatikus szakaszra a felszín felől rákapcsolódik a vadózus eredetű aknarész (10. ábra). Az előző akna fejlődési típusát a glaciális karsztvíz- és felszíni elöntéses, majd freatikus fejlődésű típusnak nevezzük. Ekkor a vadózus zónát elfoglalja a karsztvíz. Ez akkor következik be, ha a jég a karsztforrásokat elfedi és emiatt a karsztvíz visszaduzzad (FORD 1979). Ekkor a vadózus zónában freatikus üregesedés történik (VERESS et al.

2019). Ezt az aknafejlődést reprezentálják a Lovčen-Njegusi-polje terület aknáit (12. ábra), ahol az egyre alacsonyabb talpú aknák fajlagos hosszai egyre nagyobbak, mert az egyre alacsonyabb talpú aknákat egyre nagyobb eséllyel öntötte el a visszaduzzadó karsztvíz a glaciálisokban. Kétségtelen azonban, hogy az Északi zóna aknáinál, bár nem volt jégelborítás, mégis nagy fajlagos aknahosszak vannak. Ennek lehetséges magyarázata, hogy a Lovčentől az Északi zóna távolsága kicsi, miáltal a karsztvíz visszaduzzadása a jégelborítás területétől ide is áterjedhetett. Karsztvíz visszaduzzadásra alacsonyabb karsztokon is van esély, mint a Bakonyban a Kab-hegy, vagy a Tési-fennsík aknáinál (VERESS 2018, 2019). Ez azonban csapadékos időben következnek be és így rövid idejű. A rövid idejű visszaduzzadás a vadózus zónában nem képes létrehozni önálló freatikus járatokat, hanem a már meglévő vadózus akna részekén, mint említettük mellékaknák kialakulásához járul hozzá.

A másik esetben, amikor a vadózus zóna freatikus járatra kapcsolódik rá, jön létre akna, vadózus zónába kerülő freatikus járattal fejlődési típus. Freatikus környezetből vadózus környezetbe került, pl. a Stirovača-barlang (Horvátország, BOČIČ et al. 2012). Ez a jelenség azért lehetséges, mert a glaciokarszt nagymértékben megemelkedik, és így a freatikus járat környezete vadózussá alakul. A kiemelkedés során képződő akna ezt követően rákapcsolódik a vadózus környezetű freatikus járatra. Ilyen aknák vannak a Kaukázusban (Lagonaki-magasföld már említett aknáinak egy része (pl. az Absolute-barlang) a Sary-Tala masszívum területének aknáit, ahol az NSS-53 akna fajlagos aknahossza 12,63 míg a Su-Akan barlangnál ez az érték 11,09. A Kaukázus 1-3 mm/év emelkedése (VINCENT et al. 2016) során ahhoz, hogy az aknák, ill. freatikus járataik jelenlegi magasságaikba kerüljenek legalább 1-2 millió évnél kellett eltelnie. Ezen aknák freatikus járatainak a kialakulása a visszaduzzadó karsztvízszint alatt nem történhetett meg, miután kizárható, hogy a gleccserek (ha léteztek is) a hegység karsztforrásaikat, amelyek a Fekete-tenger szintjéhez simulnak, elfedték volna. Tehát a freatikus járatok a hordozó terület megemelkedésének eredményeként kerültek vadózus környezetbe.

Következtetések

A fajlagos aknahosszt meghatározó tényezők a preformáló felület térbeli helyzete, a vízbefolyás intenzitása, mértéke, időtartama, az aknatalp közelsége a karsztvízszinthez, a karsztvízszint visszaduzzadása, annak mértéke és időtartama a paleofreatikus járatokkal összekapcsolódás lehetősége.

A fajlagos aknahosszak eltérőek aknánként és karszterületenként. Általában nagyobbak glaciokarsztokon, mint középhegységi (Bakonyvidék) karsztokon. A glaciokarsztok nagyobb fajlagos aknahossza magyarázható, az intenzívebb felszíni vízbepótlások nagyobb esélyével (sok csapadék, glaciális eredetű és hó eredetű olvadékvizek) freatikus járat részek esetleges meglétével. A fajlagos aknahossz értéke utal az akna fejlődési módjára és a terület karsztos fejlődésére. Az aknák mintázata (és fejlődése) gyökeresen megváltozik, amikor elárasztódnak. Felszíni eredetű elárasztódás, vagy rövid idejű, szakaszos karsztvizes elárasztódás esetén az aknák egyre összetettebbek lesznek. Hosszú idejű folyamatos elárasztódásnál (az akna freatikus környezetbe kerül) a vadózus eredetű részek freatikus eredetű szakasszal, vagy szakaszokkal egészülnek ki.

Glaciokarszt (magashegység) aknafejlődési típusai a glaciális-magashegységi felszíni elöntéses típus (1), a glaciális-magashegységi karsztvíz- és felszíni elöntéses típus (2), amelynek elkülöníthető egy extrém elöntési változata (ld. Duboki do), a glaciális karsztvíz- és felszíni elöntései majd freatikus fejlődési típus (3) és az akna, vadózus zónába kerülő freatikus járattal (4).

Középhegységi karszton elkülöníthető típusok: felszíni elöntéses (Kőris-hegy és környéke), karsztvíz és felszíni elöntéses (Kab-hegy, Tési-fennsík, Hárskúti-medence) és tektonikus (Keszthelyi-hegység) akna fejlődési típus.

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 (Veles Mt., Croatia). – Zeitschrift für Geomorphologie Vol. 56(4) pp. 409–433.

BUDAI T., KONRÁD GY. (2011): Magyarország földtana – Pécsi Tudományegyetem, Pécs 102 p

DIMITRIJEVIČ, M.D. (1997): Geology of Yugoslavia – Geol. Inst. „GEMINI” Spec. Publ., Belgrád 187 p.

DUBLJANSKIJ, V.N., KLIMCHUK, A.B., KISELEV, V.E., VAKHRUSHEV, B.A., KOVALEV, YU.N., MEL'NIKOV, V.P., RYZHKOV, A.F., TINTILOZOV, Z.K., CHUJKOV, V.D., CHURUBROVA, M.L. (1987): Krupnye karskovye polosti SSSR. III. Speleologicheskie provintsii Bol'shogo i Malogo Kavkaza (Big karst caves of the USSR. III. Speleological provinces of the Greater and Lesser Caucasus). VINITI, Kiyv, 257 p. (in Russian)

FARRANT A. (2004): Paragenesis – In: Gunn J. (szerk.), Encyclopedia of Caves and Karst Science. Fitzroy Dearborn, New York – London: pp. 569 - 571.

- FORD DC* (1979) A review of alpine karst in the Southern Rocky Mountains of Canada. *Bulletin of the National Speleological Society*, 41 pp. 53-65.
- FORD DC, WILLIAMS PW* (2007) *Karst Geomorphology and Hydrology*. – Unwin Hyman, London, 561 p.
- KISS A., TAKÁCSNÉ BOLNER K.* (2006): Montenegro-Njegusi 2003 – Karszt és Barlang 2002-2003 évfolyam, pp. 80-83.
- LOZOVOJ, S.P.* (1984): *Lagonakskoe nagor'e (Lagonaki Highlands)*. Krasnodarskoe knizhnoe izdatel'stvo, Krasnodar, 160 p. (in Russian)
- MAGAŠ D.* (2002): Natural-geographic characteristics of the Boka Kotorska area as the basis of development. *Geoadria* 7(1) pp. 51–81.
- PALMER A.* (1991): Origin and morphology of limestone caves – *Geological Society of America Bulletin* 103 pp. 1-21.
- PASINI G.* (2009): Terminology matter: paragenesis, antigravitátive erosion or antigravitational erosion? – *International Journal of Speleology* 38(2) pp. 129-138.
- PÉCSI M.* (1980): A Pannóniái-medence morfogenetikája - *Földrajzi Értesítő* 29 pp. 105-127.
- PÉCSI M.* (1991): *Geomorfológia és domborzatminőség - Földrajz Tudományos Kutató Intézet*, Budapest 296 p.
- RIDANOVIĆ J.* (1966): Orjen – La montagne Dinarique. *Radovi geografskog instituta sveučilišta u Zagrebu*, vol. 5. Geografski institut, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet: Zagreb.
- RUBAN DMITRY A.* (2007a): Jurassic transgressions and regressions in the Caucasus (northern Neotethys Ocean) and their influences on the marine biodiversity - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 251 pp. 422–436
- RUBAN DMITRY A.* (2007b): Major Paleozoic-Mesozoic unconformities in the Greater Caucasus and their tectonic reinterpretation: a synthesis – *GeoActa*, 6, pp. 91-102, Bologna
- RUBAN, D.A.* (2018): Aesthetic properties of geological heritage landscapes: Evidence from the Lagonaki Highland (Western Caucasus, Russia). - *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijić" SASA* 68, pp. 289-296.
- SLABE T.* (1995): *Cave Rocky Relief – Znanstvenaraziskovalni Center Sazu*, Ljubljana. 128 p.
- STEPIŠNIK U., ŽEBRE M.* (2011): *Glaciokras Lovcena – E – Geograf Z. Ljubljana* 82
- TAKÁCSNÉ BOLNER K.* (2006): Morfogenetikai megfigyelések a Njegusi-polje (Montenegro) nagy barlangjaiban – *Karsztfejlődés XI* pp. 289-300.
- TRIKHUNKOVA, YA.I. ZELENINA, E.A., SHALAEVAA, E.A., MARININB, A.V., NOVENKOC, E. YU., FROLOVD, P.D. REVUNOVAE, A.O., NOVIKOVAC, A.V. KOLESNICHENKOA, A.A.* (2019): Quaternary river

terraces as indicators of the Northwestern Caucasus active tectonics – Quaternary International 509 pp. 62–72

VERESS M (1987) Karsztos mélyedések működése bakonyi fedett karszton – Földrajzi Értesítő 36(1-2) pp. 91–114.

VERESS M. (2018): A Bakonyvidék genetikai aknatípusai – Karsztfejlődés XXIII. pp. 55-84.

VERESS M. (2019): Shaft Lengths and Shaft Development Types in the Vadose Zone of the Bakony Region (Transdanubian Mountains, Hungary) – Journal of Soil and Water Science, 3(1) pp. 54-74.

VINCENT, S.J., BRAHAM, W., LAVRISHCHEV, V.A., MAYNARD, J.R., HARLAND, M. (2016): The formation and inversion of the western Greater Caucasus Basin and the uplift of the western Greater Caucasus: Implications for the wider Black Sea region Tectonics 35(12), pp. 2948-2962

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

ZEBRE M, STEPIŠNIK U (2015a) Glaciokarst landforms and processes of the southern Dinaric Alps. – Earth Surface Processes and Landforms DOI: 10.1002/esp. 3731

ŽEBRE M, STEPIŠNIK U (2015b) Glaciokarst geomorphology of the Northern Dinaric Alps: Snežnik (Slovenia) and Gorski Kotar (Croatia), – Journal of Maps, DOI: 10.1080/17445647.2015.1095133 pp. 873-881.