KARSZTFEJLŐDÉS XII.
Szombathely, 2007. pp. 315-330.

A PORCIKA-JÉGBARLANG PADOZATI JEGÉNEK KÉPZŐDÉSÉVEL KAPCSOLATOS KÖVETKEZTETÉSEK GLACIOLÓGIAI MEGFIGYELÉSEK ÉS GEOKÉMIAI JELLEMZŐK VIZSGÁLATA ALAPJÁN

KERN ZOLTÁN [1,2]-MOLNÁR MIHÁLY [3]-FÓRIZS ISTVÁN [4]-PERŞOIU AUREL [5]-NAGY BALÁZS [1]

[1]Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, Budapest, 1017, Márvány utca 1/c, zoltan.kern@gmail.com
[2]ELTE, Dendrokronológiai Laboratórium, Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c, 1117
[3]MTA ATOMKI, Debrecen, Bem tér 18/c, 4026
[4]MTA GKKI, Budapest, Budaörsi út 45, 1112
[5]"Emil Racoviță" Institute of Speleology, 5 Clinicilor Str, PO Box 58, 400006, Cluj (Kolozsvár), Románia

Abstract: Rock-hosted caves containing perennial ice and snow deposit are peculiar phenomena of mid-latitude, mid-altitude mountainous terrains. They are generally situated in regions where surface mean annual air temperature exceeds 0ºC. So ice caves can be regarded as sporadic members of cryosphere in fragile mass and energetic balance with their environment which is highly sensitive to changes in the ambient climate. Borțig Ice Cave (46.56 N 22.69 E; 1236 m asl.) contains 25000 m^3 stratified ice. To see evolution dynamics of the ice block, to gain information about the potential sources of ice formation and to evaluate the potential of cave ice of Borțig Ice Cave in future paleoclimate study a research project has been carried out since 2005. Two wood samples were carved from the ice deposit. One from the base part of the central ice body and the other one from a well-stratified ice mound attached to the main ice block. Radiocarbon dates from the two samples yielded 170±50 ^{14}C BP and 1150±60 ^{14}C BP ages (Tab. 1). The monitoring program of waters entering into the cave has been launched on 17 September, 2005. Two drill cores (BA and BB) were extracted from the floor ice on 11-12 December, 2005. BA core was divided into 10 cm long while BB into 2 cm long subsamples. On the basis of monthly observations we can conclude that dripping water does not seem to be important source for ice accumulation in the Borțig Ice Cave. Inflowing spring meltwater and the meltwater from autochthonous snowmound mixing with entering rain act as primary supply material. Results from tritium concentration measurements on BB core suggest that the complete 20th century history of atmospheric tritium is preserved in the ice cores at an exceptionally good resolution. Not only the Northern Hemispheric vertex of 1963 emissions but also minor peaks recognisable giving absolutely dated horizons into the sequence. Dated points highlight a roughly constant 5 cm/yr ice accumulation rate for the 1953-1975 period and a significantly lower rate (1.5 cm/yr) for the recent times (Fig. 8). The drastic decrease of snow-season (December-March) precipitation starting from the mid-70's at the high elevation sites could partially explain the ascertained decline in ice formation (Fig. 9).

Bevezetés

A mérsékelt éghajlati öv középhegységi térszínen található állandó jégkitöltéses barlangjai olyan területeken helyezkednek el, ahol az átlagos éves felszínközeli léghőmérséklet jóval meghaladja a 0°C-ot. Ez azt jelenti, hogy

a jég felhalmozódásának nem kedveznek a környezeti feltételek. A hó és jég állandó jelenléte csakis különleges egyedi feltételek teljesülésének köszönhető, és maguk a jégbarlangok, a felszíni jégtömegek és a fagyott talaj klímazónáitól távol eső, a krioszféra elszórt képviselőiként kezelendők (*URDEA* 2004). Kialakulásukban az éghajlati feltételek szerepe megkérdőjelezhetetlen, de a kedvező klimatikus tényezők csak alkalmas járatmorfológia és hirdrológiai rendszer esetén képesek kialakítani az állandó jégfelhalmozódást (*MAVLYUDOV* 1989, *SILVESTRU* 1998-99, *KERN* 2001).

A fenti megállapításokból következik, hogy a mérséklet övi jégbarlangok, a hóhatár közeli gleccserekhez hasonlóan, érzékeny anyag- és energia-egyensúlyban vannak környezetükkel. Az anyag- és energia-egyensúlyban bekövetkező változásokra (klimatikus, antropogén stb.) a barlangi jég igen érzékenyen reagál (*KERN* et al. 2007a).

Azért, hogy megismerjük a Porcika-jégbarlangban fellelhető jégblokk fejlődésének törvényszerűségeit, megállapítsuk a vízutánpótlás eredetét és értékeljük a barlangi jégblokk éghajlat-rekonstrukciós vizsgálatokra való alkalmazhatóságának a lehetőségét 2005 szeptemberétől kutatási programba kezdtünk.

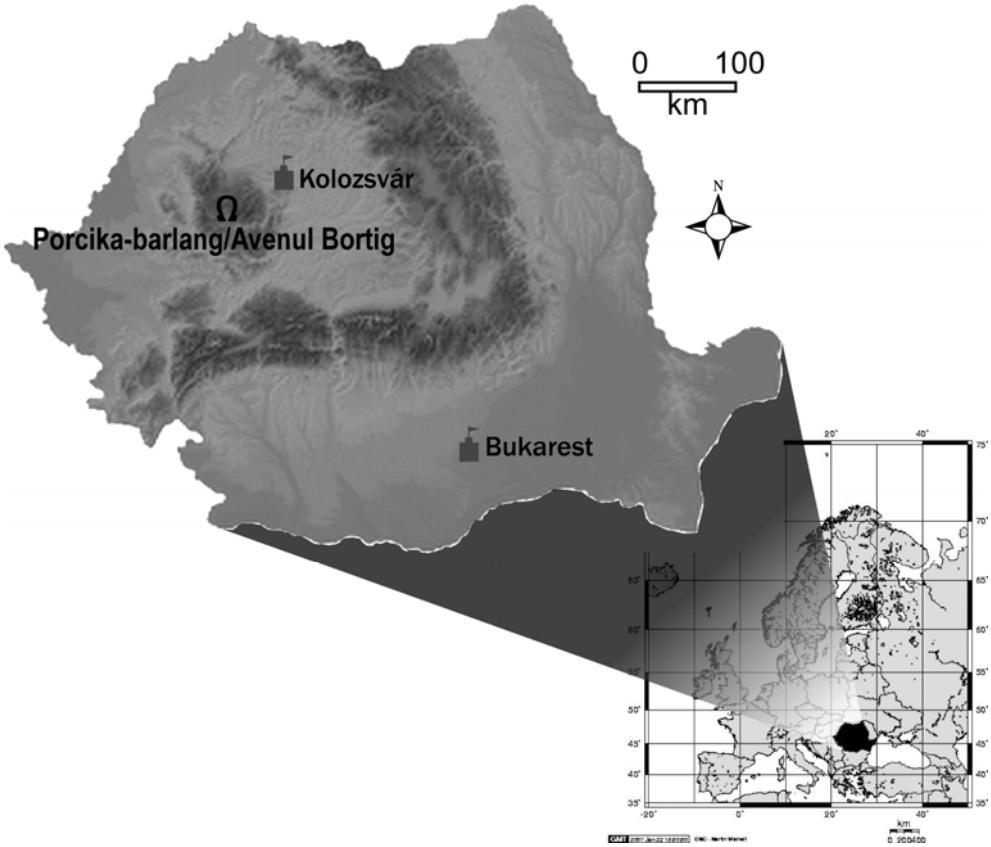
A barlang bemutatása

A Porcika-jégbarlang (Avenul Borțig; É 46,56^{o}, K 22,69^{o}; 1236m tszfm.) Románia Ny-i részén a Bihar-hegység területén helyezkedik el (*1. ábra*). A jobban ismert Csodavár közelében, az Eszkimó-jégbarlangtól (Ghețarul Focul Viu) 2 km-re DK-i irányban. A barlang környékén a becsült átlagos éves felszínközeli léghőmérséklet 4,01^{o}C, az éves csapadékösszeg 958 mm (*GÁL* 2004).

A Porcika-jégbarlang a légmozgás megfigyelt alakulása alapján a statikus, jégüledék szempontjából a firnesedő havat és ráfolyásból táplálkozó jeget tartalmazó jégbarlangok osztályába sorolható (*LUETSCHER, JEANNIN* 2004).

A barlangban felhalmozódott jég térfogata kb. 25000 m^3 (*ORGHIDAN* et al. 1984). A barlang térképezett részének legmélyebb pontja 68 m-rel van a bejárat szintje alatt (*2. ábra*). A mélység nagy része a bejárati aknára esik, ami a jégfelszínig kb. 44 m mélységet képvisel. A jégblokk vastagságát az északi terem felé 11, a déli terem felé 23 méterre becsülhetjük. A pontos érték meghatározását akadályozza, hogy a barlangi aljzat jég alatti morfológiáját nem ismerjük. A jégblokk oldalán morfológiai alapon három rész határolható le. Két függőleges jégfalakkal jellemezhető rész kö-

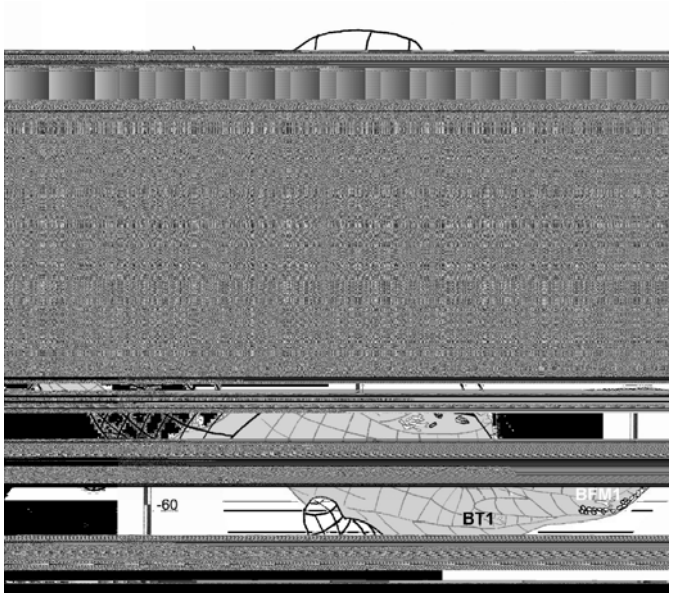
zött egy a főblokkhoz oldalról támaszkodó jégnyelvszerű forma helyezkedik el.



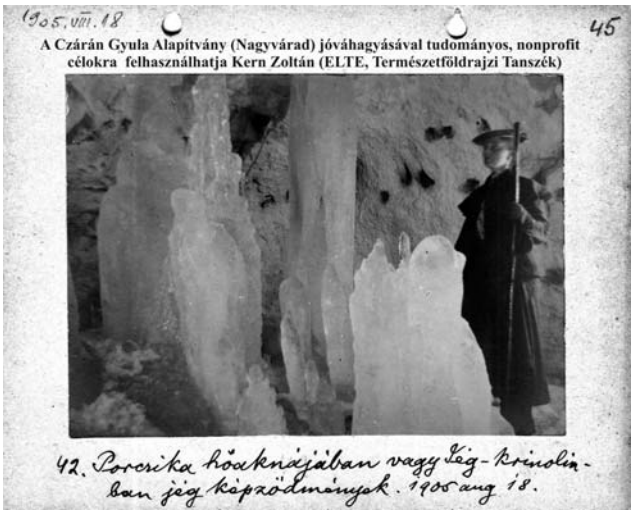
1. ábra: A Porcika-jégbarlang (Avenul Borţig) elhelyezkedése.
Fig. 1: Location of Borţig Ice Cave.

Mindegyik egység esetében rétegzett jéganyagot láthatunk, de a nyelvszerű formát vastagabb saras rétegek tagolják, és a légmozgás eredményeként elszublimált jégből visszamaradó saras üledék kéregszerűen burkolja a jégnyelvet.

A barlangot Czárán Gyula tárta fel a XIX. sz. utolsó évtizedében, a jégalakzatok megtekintésének elősegítése érdekében a bejárati aknába falétrát ácsoltatott, a jégbe pedig lépcsőfokokat vésetett. A jéglépcsőket minden évben újravágták, és a falétrát is rendszeresen renoválták. Czárán halála után a jéglépcsőket és a létrát már nem tartották karban (*EGRI* 2002). Az első fényképekkel is dokumentált barlangtúra épp száz évvel kutatásaink megkezdése előtt, 1905. augusztus 18-án történt (*3. ábra*).



2. ábra: A Porcika-jégbarlang térmodellje. A jégkitöltést szürke szín jelzi. A nyilak a BA és BB jégfúrások helyére mutatnak. A radiokarbon minták helyét a mintakódokkal (BT1, BFM1) jelöltük (A barlangot feltérképezte és a térmodellt készítette Szabó Lénárd).
Fig. 2: Model of Borţig Ice Cave. Perennial ice deposit is indicated by grey colour. Tip of arrows indicate the places where BA and BB cores were extracted. We have marked the location of radiocarbon samples by their sample codes (BT1, BFM1). (The cave is mapped by Mr Lénárd Szabó)



3. ábra: A Porcika-jégbarlangban készített első fényképek egyike.(Ruzitska 1905, augusztus 18)
Fig. 3: Centennial photo taken in the Borţig Ice Cave (Ruzitska, August 18, 1905)

Vizsgálati anyag és módszerek

Megfigyelés, mintagyűjtés

2005. szeptember 17-én két helyen állítottunk fel vízgyűjtő eszközöket. Az esőt, és a csepegő vizet műanyagkannába illesztett és szilikonpasztával szigetelt tölcsér segítségével gyűjtjük (*ANONYMUS* 2002), a hó mintázására pedig ládát helyeztünk el. Havi egy alkalommal igyekszünk begyűjteni a felfogott vízmintákat, melyeknek a stabil oxigén-, és hidrogén-izotópos összetételét meghatározzuk.

2005. december 11-12-én két fúrómagot emeltünk ki a jégblokkból. A BA furat 205 cm mélységig hatolt, anyagát 10 cm-es szakaszokra vágtuk. BB furat 195 cm mélységet ért el a jégmagot 2 cm-es szakaszokra daraboltuk. A szeletelést egy erre a célra tervezett műanyag mintatartóban végeztük. A jég jól rétegzett, bár bizonyos szakaszokon a rétegzettség nehezen látható. A részmintákra bontásnál ezért a jól rétegzett részen sem igazodtunk a réteghatárokhoz, hanem a fúrómagok teljes hosszában azonos szakaszolást alkalmaztunk.

A fúrólyukakba vonalzót állítottunk, és ettől kezdve a vonalzón leolvasott jégállásokkal követjük a jégfelszín változásait.

A központi jégblokk és a hozzá oldalról támaszkodó nyelvszerű forma korának becslésére famintákat gyűjtöttünk a jégből, melyeken radiokarbon kormeghatározást végeztünk. A jégfelszín alatt 10 méterrel közel vízszintesen, a rétegzettséghez jól igazodóan helyezkedik el egy 11 cm átmérőjű bükk törzs. A jégfalból kilógó végéből vettük a BFM-1 kóddal jelölt mintát.

A nyelvszerű jégtömeg egyik vastagabb sárrétegéből sikerült kifaragni egy 4-5 évgyűrűt tartalmazó, a faanyag szerkezete alapján lucnak meghatározott mintát (BT-1). Megjegyezzük, hogy BT-1 nagyobb mélységből származik, mint BFM-1, de a felette lévő jégréteg vastagsága számottevően kisebb, kb. 2 méter.

Stabilizotópos mérések

Mintánként 1 ml vizet pipettáztunk 10 ml-es menetes nyakú, szeptummal lezárt üvegedényekbe.

Oxigén:

Az edényekben a víz fölötti térfogatot 0,3 v/v% CO_2-ot tartalmazó hélium gázzal öblítettük át 6 percen keresztül, majd állandó 32 ºC-on tartva az edényeket, a víz és a széndioxid közti izotópegyensúly elérése (18 óra) után

Finnigan delta plus XP vivőgázas tömegspektrométerrel meghatároztuk a vízzel egyensúlyba került széndioxid $\delta^{18}O$ értékét. (Az eredeti elv leírása: *EPSTEIN, MAYEDA*, 1953).

- *Hidrogén*:

Az edényekben a víz fölötti térfogatot 2,1 v/v% H_2-t tartalmazó hélium gázzal öblítettük át 6 percen keresztül, majd állandó 32 ºC-on tartva az edényeket, a víz és a hidrogén gáz közti izotópegyensúly elérése (Pt katalizátorral 40 perc) után *Finnigan delta plus XP* vivőgázas tömegspektrométerrel meghatároztuk a vízzel egyensúlyba került hidrogén gáz δD értékét (az alkalmazott módszer részletes leírása: *PROSSER, SCRIMGEOUR* 1995).

A mérésekhez a BTW XIII laborsztenderdet használtuk. Az eredményeket a nemzetközi VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) etalonhoz viszonyítva ezrelékben adjuk meg a szokásos delta (δ) jelöléssel:

$$\delta D \text{ vagy } \delta^{18}O = \frac{R_{minta} - R_{sztenderd}}{R_{sztenderd}} * 1000\ [‰]$$

ahol R_{minta} és $R_{sztenderd}$ a minta és a sztenderd $^{18}O/^{16}O$, ill. $^{2}H/^{1}H$ (D/H) aránya. A mérések bizonytalansága (mintaelőkészítés+mérés) oxigénre ±0,2 $[‰]_{VSMOW}$, hidrogénre ±0,2 $[‰]_{VSMOW}$.

- *Radiokarbon*

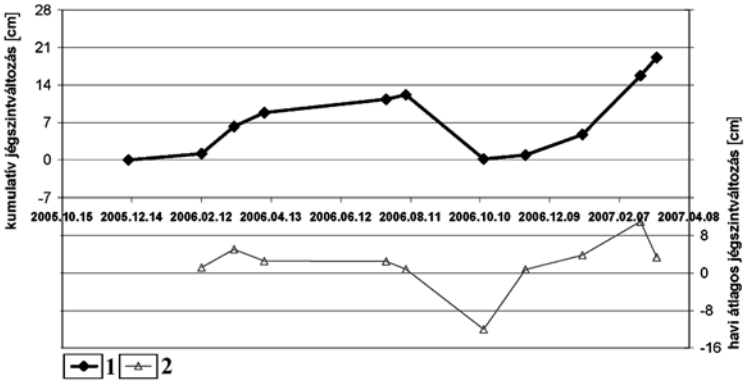
A famintákból kipreparált α-cellulóz radiokarbon kormeghatározását az MTA ATOMKI Környezetanalitikai Laboratóriumában végeztük gáztöltésű proporcionális béta-számlálásos technikával (*HERTELENDI* 1990). A ^{14}C korokat az OxCal v3.10 szoftver segítségével kalibráltuk (*BRONK RAMSEY* 2001).

- *Trícium*

A BB furatból kinyert 94 db olvadék vízminta trícium aktivitását folyadék szcintillációs méréstechnikával (LSC) határoztuk meg. A quench csökkentése érdekében az LSC mérések előtt minden mintát desztilláltunk. 10-10 ml vízmintát alacsony diffúziójú PE küvettában 10-10 ml Ultima Gold LLT szcintillációs koktéllal elkeverve mértük Quantulus 1220 típusú (Perkin Elmer) folyadékszcintillációs spektrométerrel az MTA ATOMKI laboratóriumában. Mintánként 1000 perc mérési idő mellett a kimutatási határ 7,2 TE volt (*trícium egység*, 1 TE = 0.1183 Bq/L) (*CURIE* 1995). A trícium eredmények egységesen a mintavétel időpontjára (2005.12.11.) lettek normálva.

Eredmények, következtetések

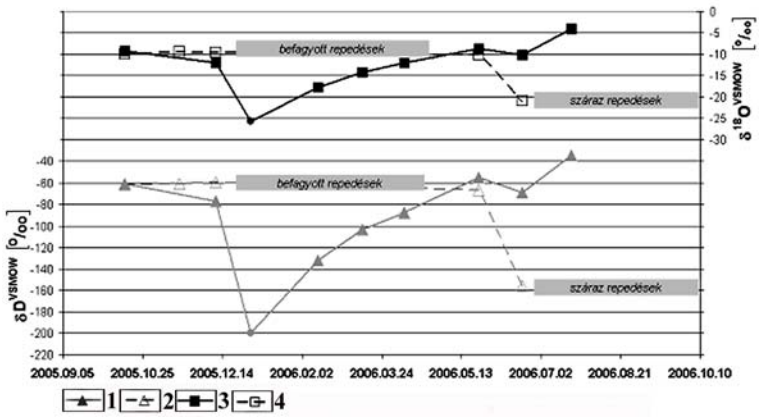
A havonként leolvasott jégszintváltozások és az ezekből származtatott halmozottösszeg görbéről (*4. ábra*) leolvasható, hogy a január-áprilisi időszakban tapasztaltuk a legerősebb jégképződést. Feldolgozott adataink tanúsága szerint a nyár folyamán csekély mértékű gyarapodás történt, bár a hiányzó adatok pótlása még módosíthatja a képet. Nyár végén elindult, ősszel erőteljesebbé vált a visszaolvadás, amelynek szinte a teljes 2006-os növekmény áldozatául esett.



4. ábra: Jégszintváltozás a Porcika-barlangban 2005.12.11 és 2007.03.11 között
Jelmagyarázat: 1. jégszint változás, 2. havi jégfogyás/jéggyarapodás
Fig. 4: Changes in level of the ice block in the Borţig Ice Cave between December 11, 2005 and March 11, 2007.
Legend: 1. changes in level of the ice, 2. the increase of the ice

A megfigyelési időszakban a csepegés nem volt folyamatos. Decembertől áprilisig a repedésrendszer befagyása, míg július-augusztusban a feltételezhető kiszáradása miatt szünetelt a csepegés. A felfogott vizek stabilizotópos adatai (*5. ábra*) szépen kirajzolják a léghőmérséklet esetében jól ismert (indirekt módon ahhoz kapcsolódó) évi menetet, a téli minimumot és nyári maximumot. A csepegő víz stabilizotópos összetételével kb. fél éves lemaradással követi a csapadék stabilizotópos menetét. Ősszel a csepegő víz stabil izotópos összetétele kevésbé negatív, mint a csapadéké. Tavasszal és kora nyáron a téli beszivárgás miatt lényegesen negatívabb, mint az adott időszak csapadékának stabilizotópos összetétele. Azt is megállapíthatjuk, hogy a fő jégképződési időszakban nincs csepegés, azaz a jéggyarapodás anyagutánpótlásában a csepegő víz elhanyagolható. A kannák ürítésekor azt is megfigyeltük, hogy amikor volt csepegés, mennyisége akkor is igen szerény volt a csapadékhoz képest. A fentiekből következik, és a terepi megfigyelésekkel teljes mértékben összhangban van, hogy a jéggyarapodás fő

forrása a hóhalom olvadása, illetve a hóra hulló, azon átszivárgó és az olvadékvízzel keveredő vizek.



5. ábra: A csapadék és csepegővíz stabil hidrogén- és oxigénizotópos összetétele 2005 szeptember 17. és 2006 június 26. között. A csepegés szünetelését szürke téglalappal jelöltük. A 2006 januári csapadékadatot teli körrel különböztettük meg, mert szervezési nehézségek miatt ebben a hónapban nem tudtunk a mintákért menni, és a kimaradó mintát az Aranyosfőn (Scărişoara) 2006. január 1-31. között gyűjtött csapadék adatával pótoltuk. Jelmagyarázat: 1. csapadék dD, 2. csepegő dD, 3. csapadék d180, 4. csepegő d180

Fig. 5: Stable hydrogen and oxygen isotopic composition of precipitation (filled symbols) and dripping water (empty symbols) between September 17, 2005 and June 26, 2006. Grey rectangles mark pause in dripping. Precipitation data at January, 2006 is marked by filled circle symbols because data of these missing samples has been substituted by the isotopic ratios of precipitation at Scărişoara from January 1-31, 2006. Legend: 1. rainfall dD, 2. dripping dD, 3. rainfall d180, 4. dripping d180

A radiokarbonos mérés eredményeként a famaradványokra kapott koradatok felhasználásával (*1. táblázat*), és a kiválasztott minták rétegtani helyzete miatt a befoglaló jég korára következtethetünk. A jégréteg idősebb nem lehet mint a famaradvány. Feltételezhetjük, hogy a famaradvány, a behordódásához szükséges idő miatt, 5-15 évvel idősebb lehet mint a befoglaló jég, viszont 30 évnél többet nem tartózkodhatott elhalt faanyagként a felszínen, mert a jellemző felszíni viszonyok között ennyi idő alatt elkorhad. Ezért azt mondhatjuk, hogy a BT1 mintát befoglaló jégréteg legfeljebb 975-1285 éves BP és legalább 955-1265 éves. Megállapíthatjuk, hogy BFM1 esetében a befoglaló jégréteg lényegesen fiatalabb, de az 1σ tartományok szóródása és a széles 2σ tartomány miatt ennél messzebbmenő következtetést nem kívánunk tenni. Ugyancsak alaposabb terepi vizsgálatok szükségesek annak eldöntésére, hogy a főblokkhoz támaszkodó, a radiokarbon adat alapján, idősebbnek tekinthető, nyelvszerű forma a főblokk alól nyúlik-e ki, avagy mellette fejlődött. Első esetben a blokkban 10 m-es szint alatt jelentős réteghiányt kell feltételeznünk.

1. táblázat
Table I.

A Porcika-jégbarlangból származó famaradványok radiometrikus kormeghatározásának eredményei. A konvencionális radiokarbon korok kalibrálását az OxCal v3.10 szoftverrel (BRONK RAMSEY 2001), az IntCal04 (REIMER et al. 2004) referenciaadatok alkalmazásával végeztük.
Results of radiocarbon age determinations from the Borţig Ice Cave. Calibration of ^{14}C ages were performed using the OxCal v3.10. software (BRONK RAMSEY 2001) on IntCal04 (REIMER et al. 2004) dataset.

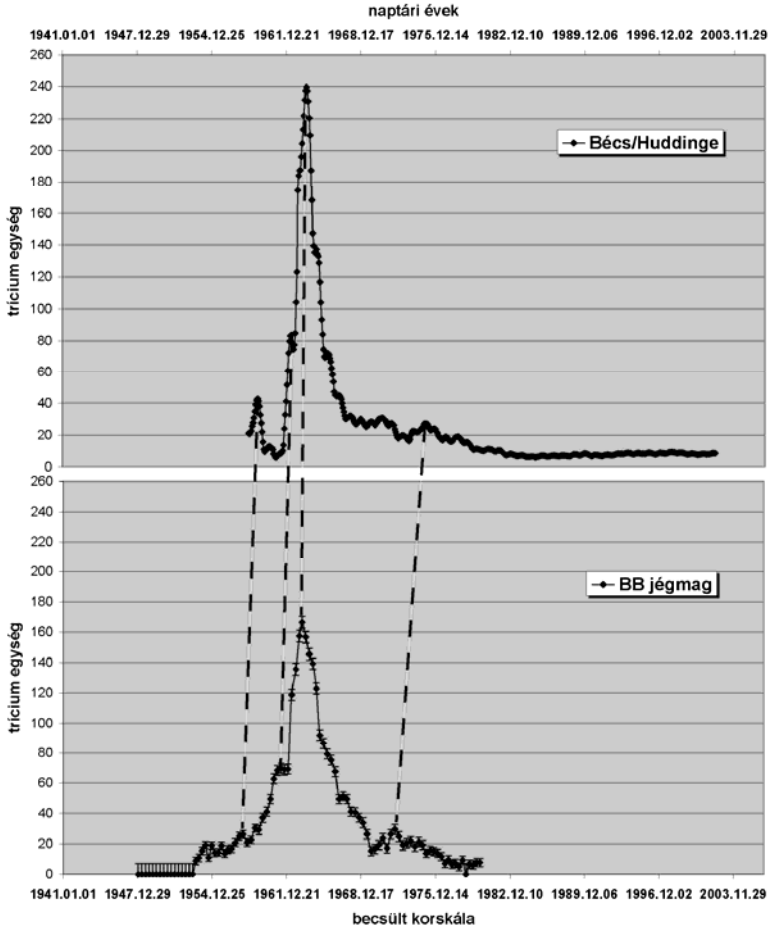
Labor kód	*Minta kód*	*Konvencionális ^{14}C kor (BP) (±1σ)*	*Kalibrált kor*	
			1σ (68,2%)	2σ (95,4%)
Deb-13203	BT1	1150±60	780-970 AD	710-1020 AD
Deb-13204	BFM1	170±50	1660-1820 AD 1910-1960 AD	1650-1960 AD

A BB jégmag 94 mintájának trícium tartalma alapján már első pillantásra is azonosítani lehet a 20. századi légkör trícium történetének két markáns, jellegzetes eseményét (*6. ábra*). A szabadlégköri termonukleáris robbantásokból származó antropogén trícium-többlet megjelenését 1953, és a szabadlégköri termonukleáris robbantások 1963-as betiltását követő mérsékeltebb kibocsátás, valamint a trícium radioaktív bomlása miatt bekövetkező koncentráció csökkenés miatt kirajzolódó csúcsot. Ez utóbbit a durvább felbontással mintázott BA fúrómagban korábban már szintén azonosítottuk *(KERN* et al. 2007b).

6. ábra: A BB jégmag 94 mintájának 2005 december 11-ére számított trícium tartalma.
Fig. 6: Tritium content of 94 samples of BB core calculated for December 11, 2005.

Ezért a BB48-as kóddal jelölt legmagasabb trícium koncentrációjú mintához az 1963-as, a BB78-as kóddal jelölt mintához, mivel minden mélyebb minta trícium tartalma kimutatási határ alatt volt, az 1953-as dátumot rendeltük. Feltéve, hogy a barlangba hulló csapadék az elmúlt 60 esztendő-

ben nagyjából állandó időeltolással jutott a jégfelszínre, és a jégfelszín olvadása majd újrafagyása csupán kismértékű keveredésre adhatott lehetőséget a fenti két ismert dátumú ponttal korolást kíséreltünk meg.

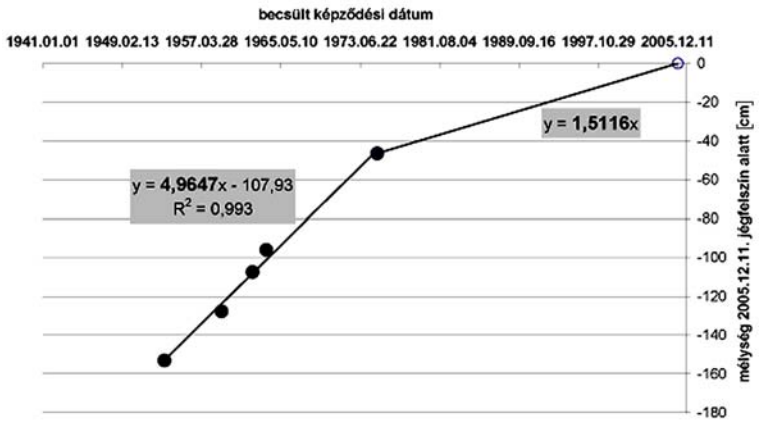


7. ábra: Bécs és Huddinge állomások havi csapadékában meghatározott trícium tartalom (GNIP/ISOHIS 2005) 2005. 12. 11-ére kalkulált értékei. 1963 előtt 9 hónapos, azután 15 hónapos mozgóátlaggal simítva (felső ábra). A Porcika-jégbarlang BB jelű jégmagban észlelt hasonló tríciumtartalom változások (alsó ábra).
Fig. 7: Tritium in the monthly precipitation in Vienna and Huddinge (GNIP/ISOHIS 2005) calculated for December 11, 2005 smoothed by 9-month average before and 15-month average after 1963 (upper panel) and the ascertained similar pattern in the BB ice core from Borţig Ice Cave (lower panel).

A BB48 és BB78 jelű minták kor és mélységkülönbségét (10 év, 57 cm) figyelembe véve egy durva korskálát számítottunk a többi mintára is. Majd ezt összevetettük Bécs havi csapadékában mért átlagos tríciumtartalom (*GNIP/ISOHIS* 2005) alapján a 2005. december 11-ére számított értékek idősorával. A bécsi csapadék trícium tartalmának változásai

érvényesek a Kárpát-medence belsőbb területeire is (*DEÁK* 2006). A bécsi (1961. január-2002. december) adatokat kiegészítettük a jól illeszkedő Huddinge (1958. február-1961. december) adataival.

A két görbén közeli időpontokra nagyon hasonló mintázatokat találtunk (*7. ábra*). Az 1963-as legnagyobb csúcs előtt a két kisebb csúcs szinte pontosan egybeesik a BB fúrómag adatsorában jelentkező csúcsokkal. 1963 után mindkét görbén a trícium tartalom gyors csökkenését láthatjuk. A trícium értékek a bécsi csapadékban és a BB mintákban is 20 TE alá csökkenek, majd ismét emelkednek az értékek. Az itt kirajzolódó csúcsot a jelentősebb koreltérés ellenére ugyancsak megfeleltethetőnek tartjuk.



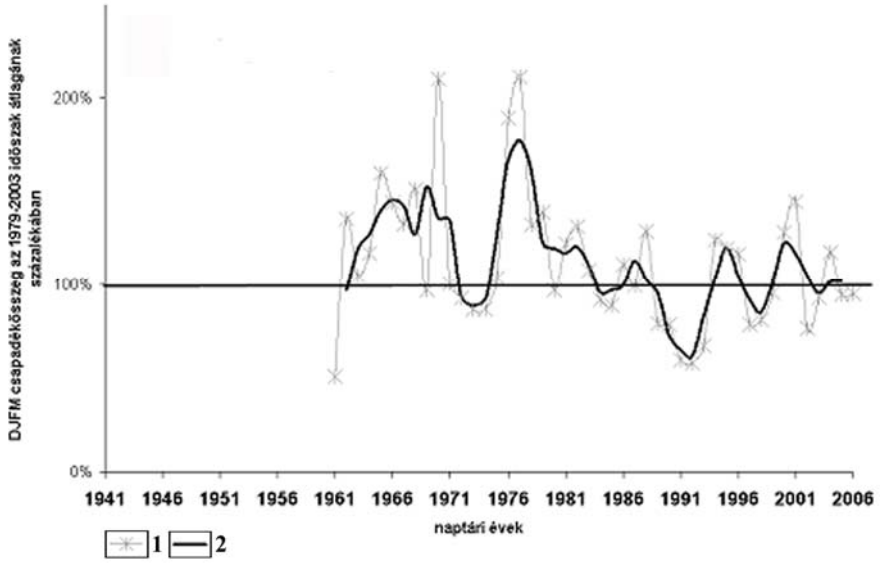
8 ábra: Kor-mélység összefüggés és a jégképződési trend becslései a BB jégmag adatai alapján.
Fig. 8: Age-depth relationship and regressed ice growth trends for the BB ice core.

Barlangi jégfelhalmozódások esetében vizsgálták már a jégrétegek trícium tartalmát (pl. *PAVUZA-MAIS* 1999, *FÓRIZS* et al. 2004). Azonban a korábbi közlésekben csupán a horvátországi Velebitben, a Ledenica Jama jégkitöltésében feltételezték az 1963-as trícium csúcs megőrződését, bár magát a csúcsot nem sikerült kimutatni (*HORVATINČIĆ* 1996). Több esetben pedig épp jelentős üledékhézagra kellett következtetni a jégbarlangi tríciumadatok vizsgálata alapján (*LUETSCHER* 2005, *KERN* et al. 2007c). Ezért hangsúlyozandó eredménynek tartjuk, hogy a Porcika-jégbarlang padozati jegéből vett mintákban a légköri csapadék trícium-tartalmának ismert változásait nagy részletességgel felismertük. A jégben őrzött radiokémiai információ több mint fél évszázadon keresztül megőrződött. Kisebb mértékű keveredésnek látjuk jeleit (a maximum értéke kisebb, a csúcs tartománya szélesebb, mint keveredés nélkül az várható lenne) de a mintázat lényegében nem mosódott el.

A megfeleltetett csúcsokhoz a Bécs/Huddinge csapadékvíz trícium-idősor alapján pontosabb dátumot rendeltünk. A pontosított korokat és a hozzájuk tartozó mélységadatokat koordináta rendszerben ábrázoltuk (*8. ábra*). Figyelembe vettük továbbá, hogy megfigyeléseink szerint a jégfelszínen jelenleg is zajlik a jégképződés, ezért a 0 szinthez (jégfelszín) a fúrás dátumát rendeltük. A trícium-görbék illesztésével datált pontok jól illeszkednek a regressziós egyeneshez. A regressziós egyenlet az 1953 és 1975 közötti időszakra 5 cm/év jégképződési rátát határoz meg a BB jégmag érintett szakaszára. De a BB mag legfiatalabb szakaszán jóval kisebb, mindösszse 1,5 cm/év átlagos jéggyarapodási sebessége adódik.

Igyekeztünk megállapítani, hogy az észlelt jelentős csökkenésnek lehet-e meteorológiai okokra visszavezethető magyarázata. Több tényezőt is elemeztünk, de itt csupán a december-március havi csapadékösszegek változásához kapcsolódó eredményeket kívánjuk tárgyalni.

A barlangi jégképződés szempontjából kitüntetett fontosságú a hóutánpótlás. Ugyanis a hóval anyagutánpótlás érkezik a jégképződéshez, és ez olyan formában történik, ami energiát tud elvonni a környezetétől, így a rendszer fagyponti hőmérsékleten tartásához is hozzájárul. A barlangi jég anyagmérlegében észlelt hosszú távú változások és a hócsapadék alakulása között a svájci Jura-hegységben is szignifikáns pozitív kapcsolatot találtak (*LUETSCHER* et al. 2005).



9 ábra: Havas hónapok (DJFM) átlagos csapadékösszege a szomszédos meteorológiai állomások (Vlegyásza 1800 m tszfm, Biharfüred 1102 m tszfm) adatai alapján.
Jelmagyarázat: 1. éves DJFM csapadékösszeg, 2. 3 éves mozgóátlag
Fig. 9: Mean snow season (DJFM) precipitation of neighbouring high elevation meteorological stations (Vladeasa 1800 m asl, Stîna de Vale 1102 m asl)
Legend: 1 years old DJFM rainfall amount, 2. consecutive average

Vizsgálati területünkhöz a legközelebb Biharfüred (Stîna de Vale) állomása esik, de itt csak 1979-től kezdték meg az észlelést. Az ugyancsak közel található Vlegyásza (Vladeasa) meteorológiai állomásán 1961-től gyűjtik az adatokat. Mivel a Porcika-jégbarlang környezetében a szilárd halmazállapotú csapadék jellemzően a december-március (DJFM) közti időszakban hullik, ezért ezeknek a hónapoknak a csapadékösszegével a hócsapadék mennyiségét jellemezhetjük. Azért, hogy a két állomásra kapott értékeket összevethessük, átlagolhassuk, az egyaránt észlelt időszak (1979-2003) átlagának százalékaként határoztuk meg az egyes évekre a havas időszak csapadékösszegeit. A csapadékösszegek idősorai meglehetősen jó hasonlóságot mutattak (r=0,76) az átlagolásukkal előállított DJFM csapadékösszeget a pádisi területre reprezentatívnak tekinthetjük az 1961-2006 időszakra (*9. ábra*). Az adatokat elemezve jól elválik egymástól két eltérő csapadékviszonyokkal jellemezhető periódus. Az ábrázolt időszak első felében jellemzően átlag feletti, míg a második felében átlagos illetve átlag alatti DJFM csapadékösszegeket láthatunk. A téli csapadék csökkenése az 1970-es évek második felében kezdődött, és a 90-es évek első felében több éven keresztül csupán a referenciaidőszak átlagos DJFM-csapadékösszegének 60%-át regisztrálták. A téli csapadék mennyiségében tapasztalt csökkenés időben igen közel esik a jégképződés trendjében észlelt töréspontoz. Véleményük szerint a jégképződés ütemében mutatkozó jelentős csökkenés egyik valószínű magyarázata a téli csapadék mennyiségének a 70-es évek második felétől észlelt csökkenése.

A későbbiekben vizsgálni kívánjuk az évszakonkénti hőmérsékleti viszonyok, alakulását is, hisz az Aranyosfői-jégbarlangban (Ghețarul Scărişoara) a téli hőmérséklet emelkedését gyanítják a megfigyelt jégfogyás okozójának (*RACOVIȚA-ONAC* 2000). A lengyelországi Jaskinia Lodowa w Cemniaku jégbarlangjában ugyancsak a felszíni léghőmérséklet emelkedésével hozták kapcsolatba a barlangi jég gyorsuló tömegvesztését (*RACHLEWICZ-SZCZUCINSKI* 2004). Továbbá a hőmérsékleti hatás téli csapadékcsökkenéssel összeadódó jellegére is lehet számítani (*LUETSCHER* et al. 2005).

Összegzés

Megfigyeléseink alapján a Porcika-jégbarlangban a jég utánpótlásában a csepegő vizek szerepe elhanyagolható. A jéggyarapodás fő forrása a többéves hódomb olvadásával keletkező olvadékvizek és a hódombra hulló, azon átszivárgó, és annak olvadékvizeivel keveredő, barlangba jutó vizek (eső, befolyó tavaszi olvadékvíz).

A barlangi jégtömeg legidősebb rétegeinek a kora eléri az 1000-1300 évet.

A barlangi jégben kivételes részletességgel őrződött meg a XX.sz-i csapadékvíz „*trícium-története*". A havi csapadék átlagos trícium-tartalmának Bécsben és Huddinge-ben mért adatainak segítségével a jégmagok az 1953-1975 időszakra nagy pontossággal datálhatók.

A trícium-tartalom segítségével számolt átlagos jégképződési ráta az 1953-75 időszakban 5 cm/év, 1975-2005 időszakban 1,5 cm/év.

A jégképződés ütemében mutatkozó jelentős csökkenés egyik valószínű magyarázata a téli csapadék mennyiségének a 70-es évek második felétől észlelt csökkenése.

IRODALOM

ANONYMUS (2002): A new device for monthly rainfall sampling for GNIP. Water & Environment News 16, p.5.

BRONK RAMSEY C. (2001): Development of the Radiocarbon Program OxCal. - *Radiocarbon* 43 (2A), p.355-363.

CURIE, L. A. (1995): Nomenclature in Evaluation of Analytical Methods Including Detection and Quantification Capabilities. (IUPAC Recommendation 1995) - Pure & Appl. Chem. 67, p.1699-1723.

DEÁK J. (2006): A Duna-Tisza köze rétegvíz áramlási rendszerének izotóphidrológiai vizsgálata. - PhD értekezés, ELTE TTK, Kézirat, Budapest, 112.p.

EGRI, F. (2002): Czárán Gyula és a "Rézbányai vízijátékok" (Kataraktália). - „Zöldike" könyvsorozat 14, Szarvas, 171.p.

EPSTEIN, S.-MAYEDA, T. (1953): Variation of ^{18}O content of waters from natural sources. - Geochimica et Cosmochimica Acta 4, p.89-103.

FÓRIZS I.-KERN Z.-NAGY B.-SZÁNTÓ Zs.-PALCSU L.-MOLNÁR M. (2004): Environmental isotope study on perennial ice in the Focul Viu Ice Cave, Bihor Mts., Romania. - Theoretical and Applied Karstology 17, p.61-69.

GÁL, A. (2004): Barlangi jégfelhalmozódás éghajlati és morfológiai feltételeinek vizsgálata az Erdélyi-szigethegység területén. - Diplomamunka, Kézirat, Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár/Cluj, Románia, 38p.

GNIP/ISOHIS (2005): International Atomic Energy Agency, Isotope Hydrology Section, GNIP/ISOHIS database 2005 http://isohis.iaea.org/Projects.asp

HERTELENDI, E. (1990): Izotópanalitikai célú műszer és módszerfejlesztések és azok alkalmazásainak eredményei - Kandidátusi disszertáció, Kézirat, MTA ATOMKI, Debrecen

HORVATINČIĆ, N. (1996): Isotopic measurement in ice, Ledenica Cave, Velebit, Croatia. (In Croatian with English summary) – In: KUBELKA, D. - KOVAČ, J. (szerk.) Proceedings of the third symposium of the Croatian Radiation Protection Association, Zagreb, p.297–302.

PAVUZA, R.-MAIS, K. (1999): Aktuelle höhlenklimatische Aspekte der Dachstein-Reiseneishöhle. - Die Höhle 50/3, p.126-140.

KERN Z. (2001): A Kárpátok jeget rejtő barlangjai - Szakdolgozat, ELTE TTK, Budapest, Kézirat, 58p.

KERN Z.-MOLNÁR M.-FÓRIZS I.-PERŞOIU, A.-NAGY B. (2007a): Geochemical and stratigraphic analysis of ice from Borțig Ice Cave, Romania. - *Geophysical Research Abstracts*, Vol. **9**, 08243, 2007 SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2007-A-08243

KERN Z.-MOLNÁR M.-PERŞOIU, A.-NAGY B. (2007b): Radiochemical and stratigraphic analysis of two ice cores from Borțig Ice Cave, Apuseni Mts, Romania. - In: Zelinka, J. (szerk.): Proceedings of the 2nd International Workshop on Ice Caves, Liptovský Mikuláš, p.65-69.

KERN Z.-SURÁNYI G.-MOLNÁR M.-NAGY B.-BALOGH D. (2007c): Investigation of natural perennial ice deposits of Durmitor Mts, Montenegro. - In: Zelinka, J. (szerk.): Proceedings of the 2nd International Workshop on Ice Caves, Liptovský Mikuláš, p.70-73.

LUETSCHER, M.-JEANNIN, P. (2004): A process-based classification of alpine ice caves. - Theoretical and Applied Karstology 17**,** p.5-10.

LUETSCHER, M. (2005): Processes in ice caves and their significance for paleoenvironmental reconstructions. - Part I. SISKA, p.1-51.

LUETSCHER, M.-JEANNIN, P.-HEABERLI, W. (2005): Ice caves as an indicator of winter climate evolution: a case study from the Jura Mountains. - The Holocene 15/7, p. 982-993.

MAVLYUDOV, B. (1989): Cave glaciations. - Proc. 10th Intern. Congr. Speleol., Budapest 1, p.298-300.

ORGHIDAN, T.-NEAGRA, S.-RACOVIȚA, G.-LASCU, C. (1984): Pesteri din Romania: ghidturistic. - Sport-Turism Bucuresti, p.85-87.

PROSSER S. J.-SCRIMGEOUR C. M. (1995): High-precision determination of $^2H/^1H$ in H_2 and H_2O by continuous-flow isotope ratio mass spectrometry. - Analytical Chemistry 67, p.1992-1997.

RACOVIȚA, G.-ONAC, B.P. (2000): Scărişoara Glacier Cave – Monographic study p.112-118.

RACHLEWICZ, G.-SZCZUCINSKI, W. (2004): Seasonal, annual and decadal ice mass balance in the ice cave Jaskinia Lodowa w Cemniaku, the Tatra Mountains, Poland. - Theoretical and Applied Karstology 17, p.11-18.
REIMER PJ - BAILLIE, MGL - BARD, E - BAYLISS, A - BECK, JW - BERTRAND, C - BLACKWELL, PG - BUCK, CE - BURR, G - CUTLER, KB - DAMON, PE - EDWARDS, RL - FAIRBANKS, RG - FRIEDRICH, M - GUILDERSON, TP - HUGHEN, KA - KROMER, B - MCCORMAC, FG - MANNING, S - BRONK RAMSEY, C - REIMER, RW - REMMELE, S - SOUTHON, JR - STUIVER, M - TALAMO, S - TAYLOR, FW - VAN DER PLICHT, J - WEYHENMEYER. CE (2004): IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. - Radiocarbon 46, p.1029-1058.
SILVESTRU, E. (1998-1999): Perennial ice in caves in temperate climate and its significance. - Theoretical and Applied Karstology, 11-12, p.83-94.
URDEA, P. (2004): Ice caves and permafrost.- 1st International Workshop on Ice Caves, Volume of Abstracts, p.30.