

Az elmúlt évezred klimatikus ingadozásainak részletes vizsgálata a Bihar-hegységi Eszkimó-jégbarlang környezetében

Detailed analysis of climate fluctuation from the Last Millennium at the Focul Viu Ice Cave, Bihor Mts, Romania

*Kern Zoltán, Fórizs István, Nagy Balázs, Kázmér Miklós, Gál Andrea, Palcsu László, Szántó Zsuzsa**

Abstract

The thousand year-old cave ice records information about the environmental changes. Using ^3H – ^3He and radiocarbon methods few individual ice layers were dated. Furthermore, short term (2 cm/y) and long term (0.79–0.9 cm/y) growth rates were calculated. $\delta^{18}\text{O}$ values of the ice core present information about the oxygen isotope composition of cave water approximately 850±50 years long duration. The $\delta^{18}\text{O}$ values are varying between –7,1‰ and –12,3‰.

*The response function analysis revealed that main growth influencing climate factors for silver fir (*Abies alba*) are June mean temperature and early summer water supply. The sufficiently represented part of the 420 year long treering index curve suggests particular periods unfavouring annual increment. The uncomfortable decades for fir growth are 2000–1980, 1940–1920, 1890–1870, 1860–1820. Favouring periods are the complementary ones.*

We took attempt to synthesize isotope and treering data at Focul Viu Ice Cave. Corresponding growth favouring decades to muddy layer concentrations proved to be promising dating method. Previously negative intervals of Easton coefficient time series were corresponded to ice accumulating periods. The independent dating methods – Easton coefficient and fir index – for icing and melting show significant similarity back to 1730.

Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben, a negyedidőszak kutatásban egyre fontosabb szerepet kapott a holocén klíma és környezetváltozások vizsgálata. A holocén kutatás fontossága a Globális Cirkulációs Modellek (GCM) fejlődésével nyert teret, mert a GCM-ek megbízhatóságát a modellek időbeli visszaintegrálásával és a kapott eredmények műszeres és helyettesítő (proxy) adatokhoz hasonlításával ellenőrzik (CAPE 2001, BERTRAND et al. 2002, BELL et al. 2003). A részletes és megbízható proxy adatok iránti igény lendületet adott új paleoklimatológiai módszerek

* Kern Zoltán ELTE, Természetföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c, kernzoli@freemail.hu

Dr. Fórizs István tudományos főmunkatárs, MTA Geokémiai Kutatólaboratórium, 1112 Budapest Budaörsi út 45,

Dr. Kázmér Miklós egyetemi docens ELTE, Őslénytani Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c

Dr. Nagy Balázs egyetemi tanársegéd, ELTE, Természetföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c

Gál Andrea Babeş-Bolyai Egyetem, Földrajzi Kar, Természetföldrajzi Tanszék, Clinicilor 5, Cluj, Romania

Palcsu László MTA ATOMKI, 4026 Debrecen, Bem tér 18/c

Dr. Szántó Zsuzsa MTA ATOMKI, 4026 Debrecen, Bem tér 18/c

kifejlesztésének. A módszeres vizsgálatok rávilágítottak, hogy a legmegbízhatóbb eredményeket, a sok változót figyelembe vevő, együtt elemző szintézisek adhatják.

Az egyik legfontosabb szárazföldi éghajlati archívum a poláris jégtakaró. A magas szélességek jéggrétegeiből kiemelt jégmagok fizikai és kémiai jellemzőinek időszora lokális, regionális és félgömbi léptékű változások széles spektrumáról ad információt.

Egy másik meghatározó környezeti forráscsoport a faévgyűrűk elemzése. Az évgyűrűelemzés nagy előnye az éves felbontás.

LIBBY & PANDOLFINI (1977) az elsők között hasonlította össze a faévgyűrűkből származó adatokat a grönlandi jégmagok izotópos tendenciáival. Később BAILLIE (1996) vetette össze a legnagyobb grönlandi jégfúrások (Crête, Camp Century, Dye 3, GISP 2) savassági csúcsait és az északi félteke leghosszabb évgyűrűsorozatainak keskeny évgyűrűs időszakait. BAILLIE (1996) kijelentette: *”A jégmagokban és a faévgyűrűkben egymást kiegészítő információk rejlenek, és fontos, hogy ezeket együtt vizsgáljuk.”*

Jelentős jégfelhalmozódásokat nemcsak magas szélességeken, vagy nagy tengerszint feletti magasságokban találhatunk, hanem a mérsékelt öv közepes tengerszint feletti magasságokon elhelyezkedő barlangjai is sok ezer köbméter jeget tartalmazhatnak. Feltéve, hogy a jég felhalmozódásához, és megőrződéséhez szükséges kedvező morfológiai és klimatikus feltételek egyidejűleg teljesülnek (HALAŠ 1980).

A mérsékelt övi jégbarlangok számottevő része polleneket és famaradványokat is őriz, melyek azonos időszakból származnak, mint a felhalmozódott jég.

Ennek, a komplex paleoklimatológiai emlékegyüttesben rejlő sokrétű információnak a feldolgozása felé POP & CIOBANU (1949) tette meg az első lépéseket az Aranyosfői-jégbarlang (Ghețarul de Scărișoara) rétegeinek palinológiai vizsgálatával. A későbbiekben sok értékes megfigyelés történt az Aranyosfői-jégbarlangban, melyek a barlangi klíma és a külső klíma, illetve a jégképződés kapcsolatának részleteit tárták fel (ȘERBAN et al., 1967, RACoviȚA, 1972, ȘERBAN & RACoviȚA, 1987, RACoviȚA et al., 1987, RACoviȚA & ȘERBAN, 1990, RACoviȚA & ONAC 2000).

Az első, barlangi jégből készült stabilizotópos méréseket az Erdélyi-középhegységből –sőt valószínűleg az egész világon elsőként– ȘERBAN et al. (1967) készítették. Továbbá ȘERBAN & RACoviȚA (1987) hívta fel a figyelmet arra, hogy az aranyosfői jégblokk paleoklimatológiai feldolgozásában az évgyűrűelemzésekre is támaszkodni kell. Jégbarlangi $\delta^{18}\text{O}$ adatokat valódi klimatológiai vizsgálatokba YONGE & MACDONALD (1999) vontak be először, és hangsúlyozták további hasonló elemzések fontosságát. SCHLATTER et al. (2003) felismerte a lehetőségét a barlangi jéggrétegek dendrokronológiai alapú keltezésének a jégbe fagyott rönkök évgyűrűinek segítségével.

Kutatásaink során kapcsolatot találtunk az Eszkimó-jégbarlangból (Ghețarul de Focul Viu) származó jégfurat $\delta^{18}\text{O}$ adatsora és szennyeződésrétegei valamint a barlang környezetében élő fák évgyűrűszélességének váltakozása között.

A munkaterület

Az Eszkimó-jégbarlang (Ghețarul de Focul Viu) a Bihar-hegységben található $\varphi=46,27^\circ$ $\lambda=22,68^\circ$ földrajzi koordinátáknál 1120 méter tengerszint feletti magasságban (BLEAHU et al. 1976), megközelítőleg 50 km légvonalbeli távolságra DNy-i irányban Kolozsvártól. Románia második, vagy harmadik legnagyobb

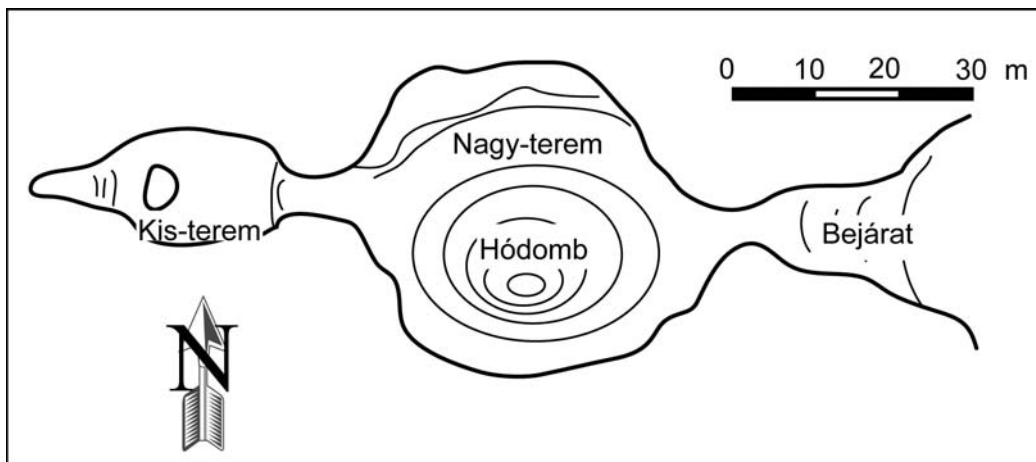
mennyiségű jeget rejtő barlangja. A jég térfogata 12000 m^3 (BLEAHU et al. 1976), illetve 25000 m^3 (ORGHIDAN et al. 1984) a különböző becslések szerint.



1. ábra. Az Eszkimó-jégbarlang elhelyezkedése

A barlang Nagy-termének felszakadt mennyezetén keresztül a hó, az eső és a tavaszi olvadékvíz a barlangba jut, és egy része ott megfagy. Morfológiai megfontolások alapján a Nagy-terem jégkitöltésének maximális vastagságát 14 méternek becslik (BLEAHU et al. 1976). A Kis-teremben egy hatalmas jégoszlop található, de nincs benne vastag padozati jég.

A barlangot túlevelű/lombhullató vegyes erdő övezi. Az állomány meghatározó fajai a luc fenyő (*Picea abies*), a jegenyefenyő (*Abies alba*) és a bükk (*Fagus sylvatica*). A Nagy-terem felszakadt mennyezete teremti azt a különleges és szerencsés helyzetet, hogy a szakadék közelében kidőlő fák a barlangba zuhanhatnak, ahol a fagyos mikroklíma hosszú időre konzerválja a faanyagot, mivel a lebontó folyamatok ebben a környezetben nagyon lassúak.



2. ábra Az Eszkimó jégbarlang horizontális hosszmetesze (Viehmann, I. & Şerban, M. után, BLEAHU et al., 1976)

Módszerek

Izotópos módszerek

Stabil izotóp

Az Eszkimó-jégbarlang 14 méter vastag padozati jegébe 2001 novemberében egy 7,6 méter mély furást mélyítettünk. A fúrómagokat 2 – 8 cm hosszú darabokra szeleteltük a helyszínen, és zárható műanyag tasakokban szállítottuk az MTA Geokémiai Kutatólaboratóriumába oxigénizotópos vizsgálatra.

A jégminták elolvadása után az oxigénizotópos összetételt az EPSTEIN & MAYEDA (1953) által közölt mérési eljárás többszörösen módosított változatát (FÓRIZS 1995) alkalmazva mértük meg. Mintánként 5 ml vizet tettünk 25 ml-es menetes nyakú edényekbe, majd az edényeket kapillárison keresztül vákuumvonalra csatlakoztattuk. Az edények vákuumra szívása után az 5 ml víz fölé analitikai tisztaságú széndioxid gázt engedtünk. A rendszert állandó hőmérsékleten tartva az edényeket 5 órán át rázattuk, a H₂O és a CO₂ molekulák oxigénjei közti izotópegyensúly elérése érdekében, majd Finnigan MAT delta S tömegspektrométeren megmértük mind a laborszterd-vízzel, mind a vízmintákkal izotópegyensúlyba került széndioxid stabil izotópos összetételét. A minta oxigénizotópos arányának a szterd oxigénizotópos arányától való eltérését ezrelékekben fejeztük ki a következő képlet segítségével:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{minta}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standard}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{standard}}} \cdot 1000 \text{ ‰}$$

A mérés hibája $\pm 0,1\text{‰}$. Az eredmények az 6.ábra és 7.ábra megfelelő részletein szemlélhetők.

Radioaktív izotópok

Kormeghatározási szándékkal radioaktív izotópos méréseket végeztünk. A fúrómagban 6,67 m mélységben megjelent famaradványon, és egy, a jégfalból 11,1 m mélységben kiálló ágdarabon radiokarbon kormeghatározás történt. 2002 februárjában a jégpadozat felszíntől számított 0,3–0,35 m, 2,95–3,05 m és 3,95–4,05 m közötti tartományából trícium izotópos vizsgálatra vettünk mintákat. A méréseket az MTA ATOMKI Környezetanalitikai Laboratóriumában végezték el. Az eredményeket a 3.ábra mutatja be.

Trícium

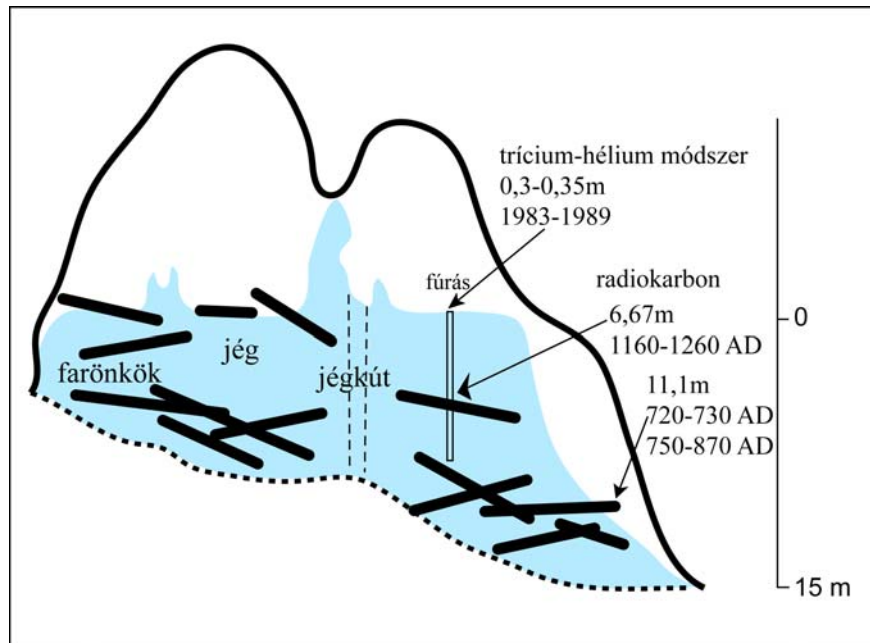
A trícium koncentrációjának mérésére a ³H–³He módszert alkalmaztuk, vagyis a vízminták trícium tartalmának meghatározását a trícium bomlásából származó hélium tömegspektrométeres mérésre vezettük vissza. A trícium koncentrációját TE (trícium egység) egységben adtuk meg. 1 TE a koncentrációja a tríciumnak, amennyiben a T/H arány 10⁻¹⁸.

A módszer alkalmazása során a vízmintát ledesztilláltuk, kigázosítottuk, majd néhány hónap elmúltával megmértük az időközben összegyűlt hélium mennyiségét. A hélium mennyiségét száraz levegőre kalibrált nemesgázizotóp-aránymérő tömegspektrométerrel (VG 5400) mértük.

Radiokarbon

A famaradványok radiokarbon kormeghatározásához a mintákat a karbonát és a szerves huminsavak kioldásával készítettük elő. A mérések alacsony háttérű mérőhelyen, passzív védelemmel, antikoincidencia védőszámlálóval ellátott gázproporcionális számláló segítségével történtek. A mért ¹⁴C koncentrációból meghatároztuk a konvencionális radiokarbon kort, majd a konvencionális korokhoz

tartozó naptári korokat a RADIOCARBON CALIBRATION PROGRAM REV 4.0 szoftverrel kalibráltuk (STUIVERT et al.1993).



3.ábra Keresztmetszeti vázlat az Eszkimó-jégbarlangról. A nyilak a radiokarbon és trícium mintavételek helyeire mutatnak.
(A koradatok részletes kiszámítását lásd: KERN et al. 2003)

Faévgűrű-elemzés

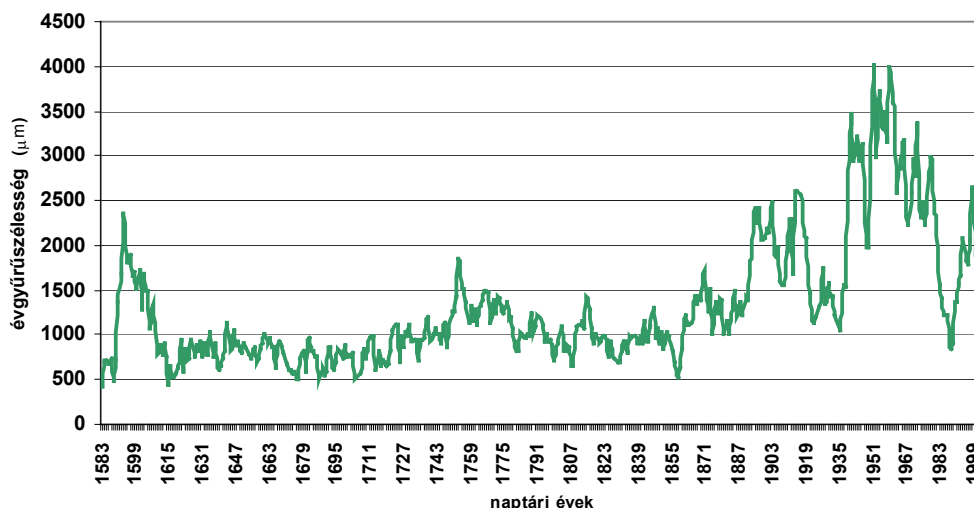
A barlang körül álló élő fákból növedékfúróval 4,35 mm átmérőjű magmintákat vettünk. Kettő illetve három mintát az egyes példányokból. 13 darab jegenyefenyőből, 8 lucfenyőből és 8 bükkből került minta. Ezen kívül 37 jégen fekvő, illetve jégből kiálló fatörzsből korongot fűrészeltünk. A fűrőmagokat hornyolt lécre ragasztottuk, majd a furatokat és a korongokat csiszoltuk és políroztuk, azért hogy az évgűrűmintázat jól vizsgálhatóvá váljon. Az egyes évgűrűk szélessége Lintab mérőasztalhoz csatlakoztatott személyi számítógépen a TSAP-DOS szoftverrel (RINN 1996) 0,01 mm pontossággal mértük le.

Az élő fák ismert korú külső évgűrűje adta meg a többi évgűrűhöz tartozó koradatot egyesével visszafelé számítva az éveket.

A szubfosszilis anyagban a túlevelűek között anatómiai jegyek alapján különítettük el a jegenye és luc példányokat (SCHWEINGRUBER 1990).

Négy túlevelű maradvány rossz megtartásuk miatt nem volt alkalmas további mérésekre. A további vizsgálatokhoz 13 jegenye, 10 luc és 8 bükk korongot lehetett felhasználni.

Jelen tanulmány csak a jegenyefenyőből épített kronológiával foglalkozik, mert ez szolgáltatta a legrégebbre visszanyúló adatsort. Mindezidáig az élő fák sorozatához 7 barlangi korong adatait sikerült hozzáilleszteni, ezzel 420 év hosszú évgűrűszélesség sorozat állt elő.



4. ábra A jegenyefenyő (*Abies alba* Mill.) kronológia

Műszeres meteorológiai adatok

A klíma múltbéli alakulásának jellemzésére törekvő vizsgálatoknál az éghajlati helyettesítő adat recens értékeivel közös időszakot lefedő, megbízható, térben releváns műszeres meteorológiai adatok alapvető fontosságúak. Ezek segítségével lehet kideríteni, hogy a proxy adat melyik klimatikus elem változását jeleníti meg. Az Eszkimó-barlang környezetéből a leghosszabb hozzáférhető műszeres meteorológiai idősor a Vlegyásza (Vigyázó, 1838m tszfm., $\varphi=46,77^\circ$, $\lambda=22,48^\circ$) állomásról származik. Az összehasonlító vizsgálatokhoz a havi középhőmérsékletek idősorát 1961-től 1999-ig, a havi csapadékösszegek idősorát 1974-től 2002-ig használtuk.

A vlegyásza havi adatok alkalmazhatóságát igazolja, hogy a környező állomások (Biharfüred, Bánffyhunad, Vaskohsziklás, Vlegyásza 1400, Bányahavas) havi adatsorai között nagyon erős a korreláció, azaz a változások trendje azonosnak tekinthető a Bánffyhunad–Biharfüred–Vaskohsziklás–Bányahavas négyszögön belül, így az Eszkimó-barlangnál is (GÁL ANDREA szem közl. 2004).

A klímára vonatkozó információk

A jég és szennyeződés rétegek

A jégblokk oldalnézetből szennyeződés rétegekkel finoman tagolt rétegsor képét mutatja, a fűrőmagban is találtunk szennyeződésrétegeket, de sokkal kevesebbet, mint azt az oldalnézeti kép alapján vártuk. Feltehetőleg csak a legmarkánsabb szennyrétegeket lehetett azonosítani a fűrőmagban, a keskenyebb szennyszalagok csak a nagyobb felületen tűnnek elő.

A megfigyelések szerint a szennyeződés rétegek meszes és sáros típusúak lehetnek. Keletkezésüknek három lehetséges módja ismert. Egyrészt a vastagabb jégrétegek elolvadásával az egyes jégrétegek kicsiny mennyiségű portartalma vastagabb sárréteggé akkumulálódik (ŠERBAN et al. 1967). Másrészt a bő csapadékú időszakokban a talajból jelentősebb mennyiségű talaj mosódik be a barlangba, és ez szintén markáns szennyréteget formál (ŠERBAN et al. 1967). Ez a két folyamat hatásaikkal erősítheti is egymást.

A szennyrétegek eredetének harmadik módozata a meszes szennyrétegekhez kapcsolódik. A legfrissebb megfigyelések megerősítik, hogy a meszes rétegek anyaga főként a kőzetanyag aprózódásából származik. Az oldott karbonát kicsapódásának szerepe a mészrétegek karbonát anyagában egyelőre nem tisztázott.

A $\delta^{18}O$ adatok

A korábbi állításokból következik, hogy az Eszkimó-barlang padozati jege nem tekinthető a csapadék múltbeli jellemzőit őrző folyamatos adathordozónak, hiszen olvadási események eltüntethettek bizonyos rétegeket, mely olvadásokat a szennyeződési rétegek jelölik. A számított hosszú és rövid távú növekedési rátákat összevetve (KERN et al. 2003), csak az átfogott időszak alig fele képviselteti magát a jeges üledéksorozatban (FÓRIZS et al. 2004). Továbbá, mivel az Eszkimó-jégbarlang jege jellemzően tavasszal keletkezik (KERN et al. 2003), a jég izotópos összetétele a barlang tavaszi vizeinek izotópos összetételét tükrözi.

A barlang tavaszi vizei alatt a tavaszi eső- és olvadékvizet, valamint a tavaszi időszak csepegő vizeit kell érteni. Ezek alkalmasint elég eltérő izotópos információt hordozhatnak, és a keveredésük becslése jelenleg még kétséges. A csepegő vizek már tíz méter vastag zónán történt átszivárgás után is az éves átlagos izotópos összetételre jellemző értéket adják (YONGE et al. 1985), míg a tavaszi esők izotópos összetétele eseményenként változó, széles tartományok között ingadozó értékeket vehet fel. Tehát adott év jégképzésében meghatározni a beszivárgó víz és a direkt behulló csapadék arányát és izotópos összetételét alapvető fontosságú az izotópos adatok értelmezéséhez.

$\delta^{18}O$ adatok maximuma $-7,1\%$, minimuma $-12,3\%$. Felhasználva az izotóparány-hőmérséklet összefüggésére az Alföldön (Abádszalók) felállított egyenletet ($\delta^{18}O=0,36*T-12,6$, DEÁK 1995), közel $14\text{ }^{\circ}C$ ingadozás adódna eredményül a jégfurat jelentette időszakokra vonatkozóan. Ez többszörösen meghaladja az elmúlt évezredre vonatkozó bármely ismert átlaghőmérsékleti ingadozás mértékét (MACKAY et al. 2003, BRADLEY et al. 2003).

A nagyon széles ingadozási intervallumból a jégben rejlő információ kétféle természetére lehet következtetni. Egyrészt bizonyos, hogy a rögzített izotópos ingadozás nem tisztán az évi középhőmérsékletek ingadozását jelenti, mert annak ilyen mértékű kilengése nem lehetett az elmúlt évezredben, másrészt nem is néhány hónap középhőmérsékletének ingadozását rögzíti a jég, mert az sem változhatott ilyen tág határok között. A nagy ingadozás magyarázata az lehet, hogy az átlagos csapadékvíz izotópos összetételével megegyező csepegő víz jelentette jelre ráhalmozódnak a hirtelen, esetleg egyszeri események zaj természetű adatai. Ezek az egy-egy bőséges csapadékhullás alkalmával a barlangba jutó vizek izotópos összetétele a területi átlagtól messze szóródhat. Az egyedi csapadékok oxigénizotópos arányának változékonysága okozza a jégből mért $\delta^{18}O$ értékek tág határok közt történő ingadozását.

Összefoglalva az Eszkimó-jégbarlangban is alapvető fontosságú, hogy a beszivárgó-csepegő és a behulló-direkt csapadékból származó vizek arányát helyesen becsüljük meg, és az izotópos adatsorból el tudjuk választani a két különböző forrást jellemző értékeket.

A faévgűrű- szélességi idősor

A növények éves növekedése szintén érzékeny a környezeti viszonyokban végbemenő változásokra. Az évente egy évgűrűt növelő fafajok esetében az adott évhez tartozó évgűrű (átlagos) szélessége és a klímaelemek között sok esetben

jellemző kapcsolatot sikerült kimutatni (FRITTS 1976). Az alapfeltevések minden esetben az, hogy mostohább körülmények között keskenyebb évgyűrűt növeszt a fa, míg kedvezőbb feltételek mellett szélesebbet. Az éves növekedést befolyásoló környezeti tényezők azonban helytől és fajtól függően különbözhetnek, ezért minden esetben meg kell vizsgálni, hogy a kutatott területen, az adott fafaj esetében, melyek a legfontosabb növekedést befolyásoló klimatikus tényezők.

A mért évgyűrűszélességi adatokból az állománydinamika és a példányok öregedéséből eredő nem-klimatikus trendet standardizálással igyekeztünk kiszűrni (FRITTS 1976, COOK & KAIRIUKSTIS 1990). Egyoldali digitális filtert használtunk 30 éves sávszélességgel, így alakítottuk a mért évgyűrűszélességi adatokat mértékegység nélküli index sorokká. Az indexekben az egész állományt érintő változások hangsúlyozódnak ki. A használt 30 éves sávszélesség alkalmas általában az évtizedes változások, ingadozások kiemelésére (JAN ESPER szem.közl., 2003) Ezek után az indexek matematikai átlagolásával számítottuk ki a jegenyefenyő állományra jellemző, növekedési dinamikát leíró, átlagos indexgörbét. Az eredmény pontossága várhatóan tovább fokozható a jel-zaj-arány maximalizálásával (COOK et al. 1990).

Az évgyűrű-indexek és a klíma paraméterek kapcsolatát a DENDROCLIM2002 szoftver segítségével vizsgáltuk (BIONDI & WAIKUL 2004), mivel a mozgó és fejlődő intervallumok segítségével végzett válaszfüggvény vizsgálat nemcsak egyszerű korrelációkat számít, hanem érzékeny arra is, ha a vizsgálati időszakon belül az egyes részperiódusokban különböző hónapok havi adataival jó a korreláció (BIONDI 1997). A DENDROCLIM2002 a korrelációk statisztikai szignifikanciáját az ún. Bootstrap módszerrel ellenőrzi (BIONDI & WAIKUL 2004).

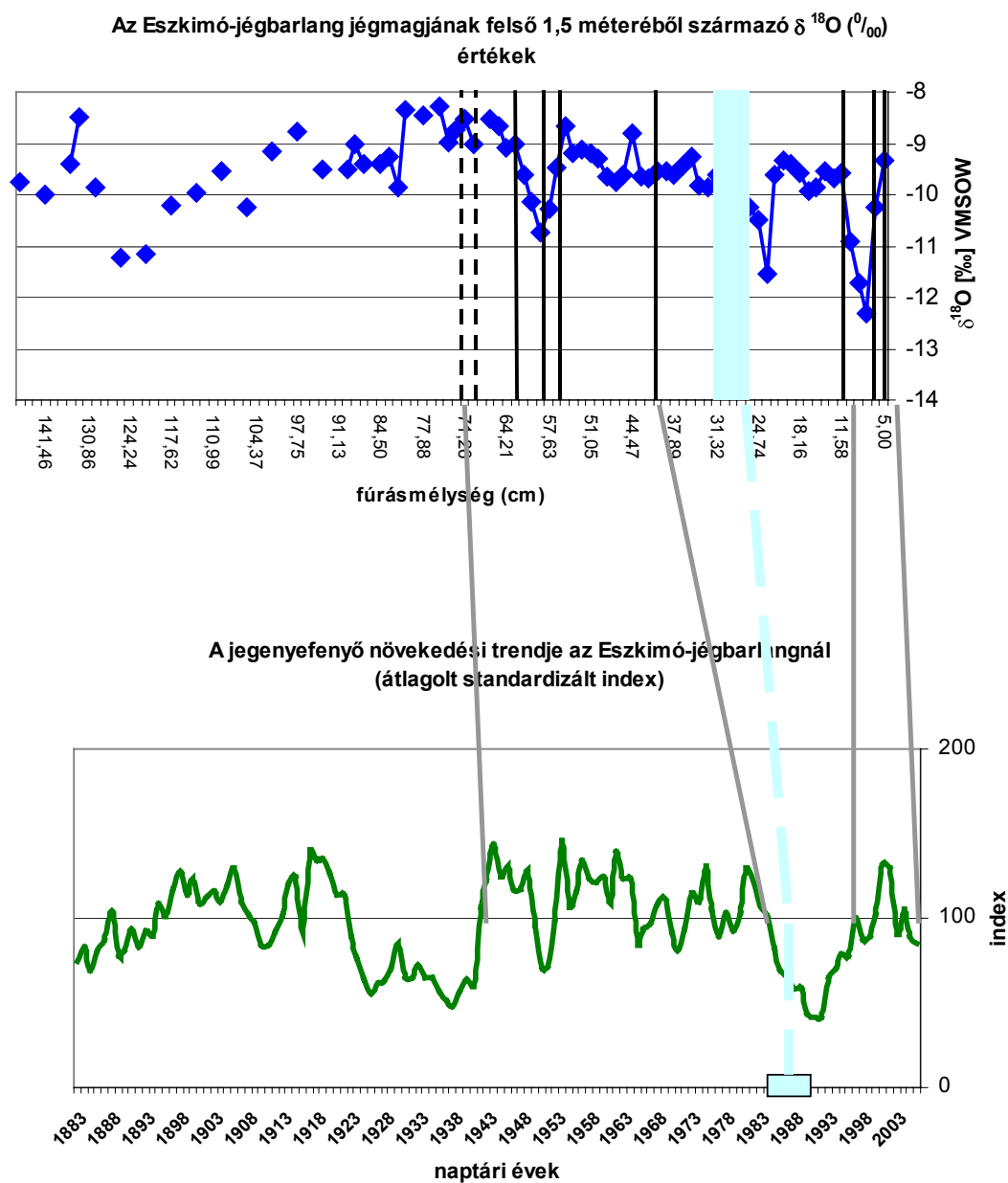
A rendelkezésre álló meteorológiai adatsor hossza a hőmérséklet-évgyűrű, és csapadék-évgyűrű kapcsolat független analízissel történt vizsgálatát tette csak lehetővé. Standardizálás után szignifikáns autokorreláció maradt az indexsorban, melyről nem szabad megfelelkezni a válaszfüggvény vizsgálat eredményeinek kiértékelésekor!

Az 5. ábra első grafikonjáról leolvasható, hogy a növekedési év június és a megelőző év szeptember hőmérséklete a meghatározó szerepű a jegenyefenyő radiális évi növekménye tekintetében az Eszkimó-jégbarlang környékén.

Az előző év szeptemberi átlaghőmérséklet negatívan korrelál a növekedéssel. Míg az azonos év júniusi átlaghőmérséklet pozitívan. Ez tökéletesen egybecseng más európai eredményekkel (SCHICHLER et al. 1997, DESPLANQUE et al. 1999, POPA 2003) bár az előző szeptemberre kapott erős válasz részben a jelentős elsőrendű autokorrelációnak tulajdonítható.

A havi csapadékösszegekkel végzett összehasonlítás eredménye kevésbé egyértelmű. A vegetációs periódus első felének szinte minden hónapja pozitívan korrelál a jegenyefenyő növekedésével (5. ábra). A június és július hónapok látszanak a legkövetkezetesebben meghatározónak, illetve a március és április hónapok csapadéka tűnik befolyásolónak bizonyos években. A jegenyefenyő növekedésének elemzésével foglalkozó korábbi tanulmányok szintén hasonló eredményre jutottak a csapadékfüggést vizsgálva (SCHICHLER et al. 1997, POPA 2003, WILSON & ELLING 2004).

Tehát a válaszfüggvény vizsgálatok eredménye szerint a széles évgyűrűkhöz meleg júniusok és a bő csapadékú vegetációs időszakok, a keskeny évgyűrűkhöz hűvös júniusok és száraz vegetációs időszakok rendelhetőek.



6.ábra Egy lehetséges megfeleltetés a jégblokk rétegei és a jegenyefenyő index között. A függőleges vonalak a saras rétegek, a szaggatott vonalak a meszes rétegek mélység szerinti helyét jelölik. A világoskék sáv 0,3–0,35 m mélységtartományt fed, melynek keletkezési ideje 1983 és 1989 közé tehető trícium tartalma alapján. A széles évgűrűk és a sárrétegek hasonló környezeti körülmények között keletkeznek (részletek a szövegben), ezért összekapcsolhatóak. Az ábrán bemutatott megfeleltetést megerősíti, hogy a 0,3–0,35 m mélységtartomány így az évgűrűkhöz tartozó korszakán pontosan a trícium tartalmából számított lerakódási intervallumhoz sorolódik.

A 0,3–0,35 cm közti mélységtartományból származó jég az index görbe 1980 és 2000 közötti szakaszához sorolódik. Az intervallum határai hiba nélkül fogják közre a jégréteg trícium alapú kormeghatározásakor számított kort (1983–1989) egy további megerősítést adva az illesztés megbízhatóságának. Feltéve, hogy a megfeleltetés más szakaszokon is megbízható, a módszer alkalmasnak ígérkezik, hogy a barlangi jég $\delta^{18}\text{O}$ értékeit keltezett periódusokhoz rendeljük. Így az egykori barlangi jégképződéshez tartozó átlagos izotópos összetételt kapjuk meg ismert évszámok közé szorított korszakokban.

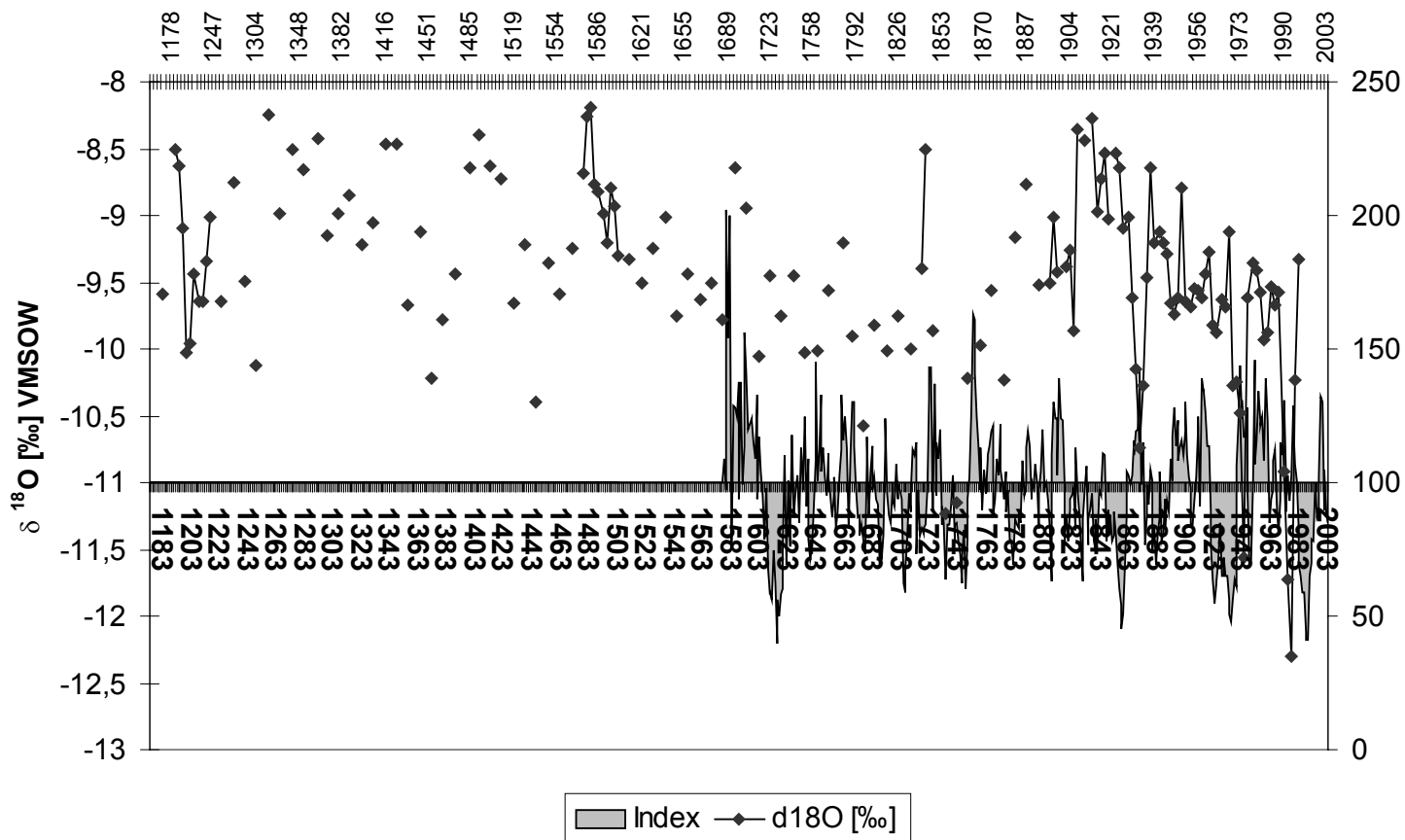
Mivel a kétféleképp számított hosszútávú növekedési ráta jelentősen nem különbözik (FÓRIZS et al. 2004), átlaguk segítségével a mélység adatokat kor adatokba váltottuk át (7. ábra). A felső vízszintes tengelyen a számított korok értékei szerepelnek, a középen lévő vízszintes tengelyen az éves felbontású, évgyűrűkhöz tartozó naptári korok, illetve azok időben visszavetített sora.

Az ábra a teljes évgyűrű–index sorozatot bemutatja. A görbe fiatalabb szakaszán a keskeny–gyűrűs és széles–gyűrűs évek jól azonosítható időszakokba tömörülnek. A görbe idősebb részén ez a jelleg romlik. Ez nehezíti a görbe idősebb részleteinek értelmezését, és ez remélhetőleg a kevés minta (5db) által reprezentált szakasz lefedettségének növelésével javítható. A görbe legidősebb szakaszán jelentkező extrém magas index értékek egyértelműen a legelső fa fiatalkori évgyűrűinek eredménye.

Az index görbe első mintegy háromszáz évében azonban megbízhatóan meg lehet állapítani az alacsony és magas indexekkel jellemezhető időszakokat. Alacsony index értékek találhatók: 2000–1980, 1940–1920, 1890–1870, 1860–1820 között. Magas index értékeket láthatók 1980–1940, 1920–1890, 1870–1860 között.

RACOVITA (1972) közölt egy megfeleltetést az Easton–koefficiens idősora és a közeli Aranyosfői–jégbarlang jég és szennyrétegei között. Ha összehasonlítjuk az Easton–koefficiens görbáját a jegenyefenyő index görbéjével jellegzetes grafikus hasonlóság fedezhető fel az 1730–tól 1970–ig terjedő időszakban. A két görbe hasonlósága leromlik az 1730 előtti időszakban. (nincs bemutatva)

Az Easton–koefficiens a telek zordságát minősíti, míg a jegenyefenyő index a vegetációs tavaszi–nyár eleji nedvességet. A különböző klimatikus jellemzőket leíró proxy–k hasonló futása azt sugallja, hogy a barlangi jég olvadására, és a jégképződésre kedvező állapotok közel egyidejűleg jelennek meg a téli és a tavaszi–nyár eleji időszakokban. Ez azt jelenti, hogy a barlangi jégblokk dinamikájának történetében a téli és tavaszi–nyár eleji éghajlati helyzetek erősíthetik egymás hatását.



7.ábra A jégfurat $\delta^{18}\text{O}$ értékeihez a hosszútávú növekedési ráta felhasználásával számítottunk korskálát. A jegenyefenyő index grafikonján a széles és keskeny évgyűrűs időszakok jól megkülönböztethetőek egészen az 1820-as évekig. A korábbi két évszázadban nem jelölhetőek ki egyértelműen hosszabb periódusok, ez az indexben szereplő csekélyebb mintaszámmal magyarázható. A XVI. század végén látható nagyon magas indexértékeket a legidősebb fa fiatalkori széles évgyűrűi okozták.

Összefoglalás

Az Eszkimó-jégbarlang padozati jegéből vett 6,67 méter hosszú jégmag a benne talált famaradvány radiokarbon kora alapján 850±50 évre visszamenően őriz információkat. A $\delta^{18}\text{O}$ értékek 9,3‰ széles tartományban tapasztalt váltakozása nem jelentheti tisztán a terület középhőmérsékletének váltakozását. Valószínűbb, hogy egyedi csapadékhullási események is jelentős mértékben részt vettek a jégképződésben, ezért a jég izotópos összetételének értékei az egyedi események változékonyságához hasonlóan az átlag változásánál lényegesen nagyobb szórást mutatnak.

A standardizált jegenyefenyő (*Abies alba* Mill.) indexsoron végzett válaszfüggvény vizsgálat kimutatta, hogy a jegenyefenyők növekedését az Eszkimó-jégbarlang környezetében a júniusi hőmérséklet és elsősorban a június és júliusi – másodsorban a március és áprilisi – vízutánpótlás irányítja.

A faévgűrűk és a szennyeződés rétegek párhuzamos vizsgálata ígéretes módszernek bizonyult az Eszkimó-jégbarlang több, mint nyolc évszázad izotópos történetéről képet adó $\delta^{18}\text{O}$ adatainak korolt periódusokba tagolásához. A módszer további kiterjesztésével fontos információt nyerhetünk barlangba került víz izotópos összetételének változásáról.

Amennyiben a klíma–fanövekedés kapcsolatot elég erősnek fogadjuk el, úgy az indexgörbéből leolvasható, hogy 2000–1980, 1940–1920, 1890–1870 és 1860–1820 között hűvös júniusi és/vagy száraz júniusi–júliusi állapotok uralkodtak. Míg az 1980–1940, 1920–1890, 1870–1860 időszakok évtizedeiben meleg júniusok és/vagy nedves június–júliusok uralkodtak, mint ami az Eszkimó-jégbarlang környezetét átlagosan jellemzi.

Eredményeink térbeli érvényessége további vizsgálatokat igényel, ugyanis a Glavoj-rét peremén mintázott két jegenyefenyő csupán gyenge hasonlóságot mutat a Focul Viu kronológiával.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket szeretnénk kifejezni az „Emil Racovita” Barlangtani Intézetnek (Kolozsvár) a támogatásukért. Barátainknak, Balogh Dánielnek és Nagy Balázsnak, akik a mintagyűjtés fārasztó munkálataiban kitartóan segédkeztek. Köszönettel tartozunk Tom Levaničnak (Ljubljana), DENDROgraph program rendelkezésünkre bocsátásáért. A csapadékadatok egy része a VITUKI (Budapest) jóvoltából állhatott rendelkezésünkre. A kutatást részben támogatta az OTKA T 43666 és M 42092.

Irodalomjegyzék:

- Baillie, M.G.L. 1996 Extreme environmental events and the linking of the tree-ring and ice core records in.: Tree Rings, Environment and Humanity eds.: J.S. Dean, D.M. Meko, T.W. Swetnam RADIOCARBON pp.703–711.
- Bell, J.L.; Sloan, L.C.; Revenaugh, J.; Duffy, P.B. 2003 Evaluation of Northern Hemisphere natural climate variability in multiple temperature reconstructions and global climate model simulations *Global and Planetary Change* 37 pp.19–32.
- Bertrand, C.; Loutre, M.; Crucifix, M.; Berger, A. 2002 Climate of last millennium: a sensitivity study *Tellus* 54A, 3 pp.221–244.
- Biondi, F. 1997 Evolutionary and moving response functions in dendroclimatology *Dendrochronologia*, 15, pp.139–150.

- Biondi, F.; Waikul, K. 2004 DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies *Computers & Geosciences* 30 pp.303-311.
- Bleahu, M.; Decu, V.; Neagra, St.; Plesa, C.; Povara, I.; Viehmann, I. 1976 Pesteri din Romania, Ed.Stiintifica si Enciclopedica, Bucuresti, pp.127-128.
- Bradley, RS; Briffa, KR.; Cole, J.; Hughes, MK.; Osborn, TJ. The climate of the Last Millennium in.:Alverson, KD.; Bradley, RS.; Pedersen, TF.; (eds.) 2003 Paleoclimate, Global Change and the Future Springer pp.105–141.
- CAPE Project Members 2001 Holocene paleoclimate data from the Arctic: testing models of global climate change *Quaternary Science Reviews* 20 pp.1275–1287.
- Cook, E.; Kairiukstis, L. (eds.) 1990: Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences Kluwer Academic Pub.
- Cook, E., Briffa, K.; Shiyatov, S.; Mazepa, V. 1990 Tree–ring standardization and growth–trend estimation In.:Cook, E.; Kairiukstis, L. (eds.): Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences Kluwer Academic Pub. pp.104–162.
- Deák J.; 1995 A felszín alatti vizek utánpótlódásának meghatározása izotópos módszerekkel az Alföldön VITUKI zárójelentés, Budapest
- Desplanque, C.; Rolland, Ch.; Schweingruber, F. H. 1999 Influence of species and abiotic factors on extreme tree ring modulation: *Picea abies* and *Abies alba* in Tarentaise and Maurienne (French Alps) *Trees* 13 pp.218-227.
- Epstein, S.; Mayeda, T. 1953 Variation of ^{18}O content of waters from natural sources. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 4 pp.89–103.
- Fórizs, I. 1995 Rétegvizek eredete és a hozzájuk keveredő friss talajvíz kimutatása stabilizotóp mérésekkel. Doktori dolgozat, KLTE, Debrecen
- Fórizs, I.; Kern, Z.; Nagy, B.; Szántó, Zs.; Palcsu, L.2004 Environmental isotope study on perennial ice in the Focul Viu Ice Cave, Bihor Mts., Romania *Theoretical and Applied Karstology* (in press.)
- Fritts, H. C. 1976 Tree rings and climate The Blackburn Press
- Halaš, J. 1980 Vplyv fyzikálnych veličin ovzdušia na genezu ľadových útvarov v Dobšinskej a Demänovskej ľadovej jaskyni, *Slovenský kras XVIII.*, pp.139-143.
- Kern, Z.; Nagy, B.; Fórizs, I.; Kázmér, M.; Szántó, Zs.; 2003 Barlangi jégképződmények korának és fejlődésének vizsgálata izotópos elemzések alapján *KARSZTFEJLŐDÉS VIII.* Szombathely, pp.321-332.
- Libby, L. M.; Pandolfi, L. J. 1977 Climate periods in tree, ice and tides *Nature* vol.266 pp.415-417.
- Mackay, A.; Battarbee, R.; Birks, J.; Oldfield, F. 2003 Global change in the Holocene Arnold p.528.
- Pop, E.; Ciobanu, I. 1950 Analize de polen in Ghiața de la Scărișoara, Analele Academiei Rom., Seria Geol., Geogr., Biol., III, (2): pp.23-52.
- Popa, I. 2003 Analiza comparativă a răspunsului dendroclimatologic al molidului (*Picea abies* (L.) Karst.) și bradului (*Abies alba* Mill.) din nordul Carpaților Orientali *Bucovina Forestieră XI*, 2 pp.3-14.
- Racovița, Gh. 1972 Sur la correlation entre l'évolution du climat et la dynamique des dépôts souterrains de glace de la Grotte de Scărișoara, Trav. Inst. Spéol. „Emil Racovitza” XI., Bucarest, pp.373-392.

- Racovița, Gheorge; Șerban, Mihai; Viehmann, Iosif 1987 Tendences de long terme dans la dynamique des formations de glace de la Grotte de Scărișoara (Monts de Bihor) *Theoretical and Applied Karstology* vol. 3 pp.143-164.
- Racovița, Gh.; Șerban, M. 1990 Interpretation en vue d'une reconstruction paleoclimatique des particularités structurales et dynamiques du dépôt de glace pérenne de la Grotte de Scărișoara *Studia universitatis Babeș-Bolyai, Geologia XXXV*, 2, pp.47-61.
- Racovița, Gh.; Onac, B. P. 2000 Scărișoara Glacier Cave Monographic study pp.112-118.
- Schichler, B.; Levanič, T.; Čufar, K.; Eckstein, D. 1997 Climate–growth relationship of fir in Dinaric Mountains in Slovenia using different standardizations and response function calculations *Dendrochronologia*, 15, pp.207-214.
- Schlatter F., Stoffel M., Monbaron M., Luetscher M., 2003. A new approach to dating firn accumulation in an ice cave in the Swiss Jura mountains 8th international conference on permafrost, extended abstracts, Haeberli & Brandova (eds.) pp.143-144.
- Schweingruber, F. H. 1990 Microscopic wood anatomy 3rd edition p.226.
- Șerban, M.; Blaga; L.; Blaga, L.; Chifu, A.; & Ciobotaru, T. 1967 Contribuții la stratigrafia depozitelor de gheață din Ghețarul de la Scărișoara *Lucr. inst. de speol. "Emil Racovita"*, VI. pp.107–140. București
- Șerban, M.; Racovița, Gh. 1987 Sur l'information paléoclimatique comprise dans le dépôt souterrains de glace de la Grotte de Scărișoara (Monts de Bihor) et sa valorisation pour une prognose de long terme *Theoretical and Applied Karstology* vol. 3 pp.133–143.
- Stuiver, M.; Reimer, PJ 1993 Extended ¹⁴C data base and revised CALIB 3.0 ¹⁴C age calibration program. In Stuiver, M., Long, A. and Kra, R. S., eds., Calibration 1993. *Radiocarbon* 35/1: pp.215–231.
- Rinn, F. 1996 TSAP Reference Manual (version 3.0), Heidelberg, Germany, p.263.
- Yonge, Ch. J.; Macdonald, W. D. 1999 The potential of perennial cave ice in isotope paleoclimatology *Boreas* pp.357–362.
- Yonge, Ch. J; Ford D. C.; Gray, J., Schwarcz, H. P. 1985 Stable isotope studies of cave seepage water. Chemical Geology (Isotope Geoscience Section) 58 pp.97-105.
- Wilson, R.; Elling, W. 2004 Temporal instability in tree-growth/climate response in the Lower Bavarian Forest region: implications for dendroclimatic reconstruction *Trees* 18 pp.19-28.

Hivatkozás:

Kern Z., Fórizs I., Kázmér M., Nagy B., Szántó Zs., Gál A., Palcsu L. (2004) Az elmúlt évezred klimatikus ingadozásainak részletes rekonstrukciója a Bihar-hegységi Eszkimó-barlang környezetében. *A magyar földrajz kurrens eredményei*, Szeged, CD, pp.854-868.