

**ÉGHAJLATI ÉS KÖRNYEZETI VÁLTOZÁSOK  
REKONSTRUKCIÓJA FAÉVGYŰRŰK ÉS BARLANGI  
JÉG VIZSGÁLATA ALAPJÁN**

**DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**KERN ZOLTÁN**

**FÖLDTUDOMÁNYI DOKTORI ISKOLA**

**VEZETŐ: DR. GÁBRIS GYULA, D.SC. EGYETEMI TANÁR**

**FÖLDRAJZ-METEOROLÓGIA PROGRAM**

**VEZETŐ: DR. NEMES-NAGY JÓZSEF, D.SC. EGYETEMI TANÁR**

**TÉMAVEZETŐK**

**DR. GÁBRIS GYULA, D.SC. EGYETEMI TANÁR**

**(TERMÉSZETFÖLDRAJZI TANSZÉK)**

**DR. KÁZMÉR MIKLÓS, D.SC. TANSZÉKVEZETŐ EGYETEMI DOCENS**

**(ŐSLÉNYTANI TANSZÉK)**

**KONZULENS**

**DR. FÓRIZS ISTVÁN, PH.D. (MTA, GEOKÉMIAI KUTATÓINTÉZET)**

**ELTE TTK, FFI; MTA, GKKI**

**2010**



## **1. Bevezetés, célkitűzések**

Az éghajlat hosszútávú ingadozásainak tanulmányozását megnehezíti, hogy műszeres meteorológiai észlelésekből származó adatok viszonylag rövid időre állnak rendelkezésünkre. Ha képet akarunk nyerni arról, hogy a műszeres méréseket megelőző időszakban milyen átlagértékek és ingadozások jellemezték az éghajlati rendszert, akkor olyan adatokat, forrásokat kell keresnünk, amelyek szoros és stabil fizikai, logikai kapcsolatban vannak valamely éghajlati elem váltakozásával. Ezeket, a műszeres méréseket helyettesítő, közelítő adatokat éghajlati proxy-nak nevezzük. A proxy-k alkalmazásával a méréseket megelőző időszakra is lehetséges bizonyos éghajlati karakterisztikák elfogadható pontosságú jellemzése, rekonstrukciója.

Hazánkban az írott források feldolgozása (KISS 1999, 2009, RÁCZ 1999, 2001, BARTHOLY et al. 2004, VADAS 2008) mellett a növény fenológiai adatokból (PÉCZELY 1982, STREŠTIK & VERŐ 2000) is született már rekonstrukció. A természettudományos módszerek közül a fúróluk hőmérsékletek (BODRI & DÖVÉNYI 2004, BODRI et al. 2009) és a barlangi karbonátos üledékek stabilizotópos és nyomelem vizsgálata (SIKLÓSY et al. 2009a, b) alapján a közelmúltban jelentek meg az első tanulmányok.

Doktori kutatásaimban azt a célt tűztem magam elé, hogy hazánkban, vagy akár a világon is, kevésbé ismert természettudományos források vizsgálata alapján rekonstrukciót készítsék múltbéli éghajlati és egyéb környezeti változásokról. A kutatás gyújtópontjába a rétegzett anyagok kerültek, mert esetükben a rétegzett jelleg már önmagában kínálja a rétegszámlálás alapján nyert kormeghatározás lehetőségét is. A dolgozatban a számtalan rétegzett természeti adatforrás közül a faévgyűrűk és a barlangi jegek vizsgálata során elért néhány fontosabb eredményt foglalom össze. A faévgyűrűk már világszerte, régóta alkalmazott források, de szisztematikus dendroklimatológiai vizsgálatok idehaza korábban nem történtek. A barlangi jégben őrzött környezeti információ felderítése, értelmezése viszont világviszonylatban is úttörő munkának számít.

## **2. Vizsgált anyagok**

### **2.1. Faévgyűrűkből származó adatok**

A Kelemen-havasokból cirbolyafenyők évgyűrűszélességi adatait vizsgáltam. Az élő fákból növedékfúróval 4 mm átmérőjű növedékcsapot vettem, követve a szabványos és egyezményes módszertani elveket (COOK & KAIRIUKSTIS 1990, POPA 2004). A holt fákból 8-10 cm vastagságú korongot fűrészeltünk. A mintaterületen belül csekély mértékű volt a környezeti tényezők változékonysága, ez biztosítja, hogy a növekedésre vonatkozó információ

ökológiailag homogén halmazból származik.

A minták felszínét szalagcsiszolóval és fokozatosan finomodó csiszolópapírt alkalmazva munkáltam meg, majd políroztam, ezáltal az évgyűrűhatárok fénymikroszkóp alatt tanulmányozhatóvá váltak. Az évgyűrűszélességeket Lintab mérőasztalhoz csatlakoztatott TSAP 0.53 mérőprogram (RINNTECH 2005) segítségével mértem. Az évgyűrűszélesség idősorok grafikus összehasonlításához, és a keresztdataáláshoz ugyancsak a TSAP programot használtam. Az eredmények ellenőrzésére, az esetleges korolási hibák és a hiányzó évgyűrűk kiszűrésére a COFECHA programot (HOLMES 1983) alkalmaztam.

Dendrokémiai vizsgálatokra három egészséges cirbolya példányt választottam ki a Rekettyés-csúcs alatti területen, s példányonként egy furatot vettem egy speciális 1 cm-es átmérőjű növedékfúróval. A mintagyűjtés és mintakezelés során kiemelt figyelmet fordítva a dendrokémiai vizsgálatok speciális igényeinek.

Az archív luc sűrűség adatok az ITRDB (International Tree Ring Data Bank) adatbázisából származtak (NOAA 2009). A déli-kárpáti, Pareng-hegységben található Novaci környékéről (45,30N, 23,67E, 1650 m tszf.) gyűjtött anyag leírása szerint a felső erdőhatárról származik.

## 2.2. Barlangi jégből származó adatok

Fúrás az Eszkimó-jégbarlangban és a Porcika-hóakna padozati jegén.

A barlangi jégfúrások Ejkelkamp talajfúróhoz csatlakoztatható, saját tervezésű fúrófejek alkalmazásával történtek. Az Eszkimó-jégbarlang 14 méter vastag padozati jegébe 2001 novemberében egy 7,6 méter mély furást (ESK) sikerült mélyíteni. A részminták 2 – 8 cm hosszúságú darabokra lettek szeletelve. Összesen 299 darab részminta keletkezett. A Porcika-hóaknában két jégmagot sikerült kiemelni a jégblokkból 2005. december 11-12-én. A BA furat 205 cm mélységig hatolt, anyaga 10 cm-es szakaszokra lett vágva (20 minta). A BB furat 195 cm mélységet ért el a jégmagot 2 cm-es szakaszokra daraboltuk (98 minta).

## 2.3. Analitikai módszerek

### 3.1. Dendrokémiai vizsgálatok

Az elemanalitikai elemzés lézerablációs mintabeviteli egységgel (UP-213, New Wave Inc.) kapcsolt induktív csatolású plazma tömegspektrométer (ICP-MS, Element2, Thermo Electron Corp.) alkalmazásával történt az MTA Izotópkutató Intézetben. A mért intenzitás értékeket a gázhátér beütésszámaival korrigáltam. A háttér meghatározása a lézer indítását megelőző ~30 sec mérés alapján történt. Minden mért értéket az ugyanazon a ponthoz tartozó

$^{13}\text{C}$  intenzitással normáltam, azért, hogy az eltérő ablációs hatékonyság és a fa sűrűségbeli különbségeiből adódó zavarást kiküszöböljem (BARRELET et al. 2006).

### 3.2. Stabilizotópos mérések

A stabil vízigotópos elemzések az MTA Geokémiai Kutatóintézetben készültek. Az eredményeket a nemzetközi VSMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) etalonhoz viszonyítva ezrelékben adjuk meg a szokásos delta ( $\delta$ ) jelöléssel:

$$\delta D \text{ vagy } \delta^{18}\text{O} = (R_{\text{minta}} - R_{\text{std}}) / R_{\text{std}} * 1000 \text{ [‰]}_{\text{VSMOW}},$$

ahol  $R_{\text{minta}}$  és  $R_{\text{std}}$  a minta és a sztenderd  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ , ill.  $^2\text{H}/^1\text{H}$  (D/H) aránya. A mérési eredmények kiértékelése két-pontos kalibrációval történt (PAUL et al. 2007).

### 3.3. Trícium koncentráció meghatározása a BA és BB furatok mintáiban

Az olvadék vízminták trícium aktivitását Wallac 1220 Quantulus 1220 típusú (Perkin Elmer) folyadékszcintillációs spektrométerrel határoztuk meg az MTA ATOMKI laboratóriumában.

## 4. Standardizálás

### 4.1. A cirbolya évgyűrűszélesség adatok standardizálása

Annak érdekében, hogy a kis frekvenciás változékonyság is megőrződhessen a kelemeni cirbolyák adatainak standardizálása során, egy biológiai szemléleten nyugvó eljárást, az ún. regionális görbe-standardizációt (RCS-Regional Curve Standardization) (ESPER et al. 2003) alkalmaztam. A nyers mérési adatokból az egyedi évgyűrűsorok és az RC hányadosaként indexeket számítottam. Ezután az adatokat naptári dátum szerint rendeztem, és a növekedési trendtől megtisztított indexekből kétsúlyú robusztus átlagolással (COOK 1985) határoztam meg az átlagos indexet, a kelemeni cirbolyák átlagos éves növekedési menetét leíró adatsort. Az időben változó mintaszám okán bekövetkező amplitúdó torzulás kiküszöbölésére ajánlott korrekció megtörtént (OSBORN et al. 1997, FRANK et al. 2007). A standardizálás az ARSTAN szoftver megfelelő eszközeinek alkalmazásával valósult meg (COOK & KRUSIC 2006).

### 4.2. A dendrokémiai adatok standardizálása

A három cirbolyamintából nyert relatív kén intenzitás adatokra kétlépéses standardizálási eljárást dolgoztam ki. Első lépésben a geszthez, második lépésben a szijácshoz tartozó évgyűrűk adatainak a standardizálására került sor. Végezetül a külön standardizált szakaszokra nyert indexeket mindhárom fánál egyesítettem.

### 4.3. A sűrűségadatok standardizálása

A sűrűség adatokat terhelő biológiai trend leginkább lineáris modellel közelíthető

(BRÄKER 1981). A nyers sűrűségadat és a lineáris modell által meghatározott adat hányadosaként állt elő az index érték minden sorozat minden egyes évében. Az egyedi indexekből robusztus átlagolás (COOK 1985) határozta meg az állományra jellemző maximum (MXD) és minimum (MND) sűrűségindexeket. Az így nyert MXD és MND kronológiák változékonyságát korrigálni kellett a változó mintaszámmal (OSBORN et al. 1997, FRANK et al. 2007b). A standardizálást és indexszámítást ez esetben is az ARSTAN programmal (COOK & KRUSIC 2006) végeztem.

## **5. Rekonstrukciós módszerek**

### **5.1. Cirbolyafenyő évgyűrűszélesség index**

A hőmérsékleti adatok és a cirbolyaindexek összehasonlító vizsgálatának eredményei nyomán a július-augusztusi középhőmérséklet múltbéli váltakozásának rekonstruálására tettem kísérletet. A regresszió nyomán fellépő amplitúdó veszteség elkerülésének érdekében a rekonstrukciót az ún. „átskálzás” módszerével (ESPER et al. 2005) kíséreltem meg.

### **5.2. Lucfenyő sűrűségindexek**

A hőmérséklet éves röntgenes sűrűség paraméterre gyakorolt hatását a havi középhőmérséklet adatok, és az MXD és MND indexek között számított Pearson-féle korrelációs együttható segítségével értékeltem. A novaci-i lucok röntgenes sűrűségadatai alapján kétféle rekonstrukció elkészítésére tettem kísérletet. Egyrészt az MXD indexek alapján a május-szeptember (MJJAS) öthavi középhőmérséklet megfelelő kalibrációjának lehetőségét vizsgáltam. Másrészt az MXD és MND adatok kombinációjával (további jelölés MX+MN) az egyedi sűrűség paraméterek optimális kéthavi hőmérsékleti tükörképeit egyesítő, négyhavi (JJAS) középhőmérséklet kalibrációs lehetőségeit is vizsgálatba vontam. A két sűrűségindex kombinálásához bilineáris regressziót alkalmaztam.

### **5.3. Barlangi jég stabil oxigénizotópos összetétele**

A helyi csapadék és a felszíni léghőmérséklet 2005. szeptember 17-től 2008. január 17-ig folytatott monitorozásának eredményeképpen felállítottam a csapadék vízigotópos összetétele és a felszíni léghőmérséklet közti regressziós összefüggést (ún.  $\delta$ -T egyenlet). A teljes évre és a téli félévre vonatkozó  $\delta$ -T egyenleteket használtam a jégből nyert stabilizotópos adatok alapján készített hőmérsékleti rekonstrukcióhoz.

## **6. Tézisek**

1. A kelemen-i cirbolya évgyűrűszélesség kronológia a 994 és 2005 közötti, 1011 év hosszú, időszakot fogja át, ezzel a mindezidáig létrehozott leghosszabb kárpáti évgyűrű-

kronológia. Szerzőtársammal kimutattuk, hogy a kelemenai cirbolyafenyők átlagos évgyűrűszélesség-változása alapján szerkesztett adatsor a július-augusztusi középhőmérséklet megbízható közelítésének tekinthető. Az éghajlati kapcsolatban az évgyűrű növekedési évének július-augusztusi középhőmérséklete mellett az előző év hasonló időszaka ugyancsak fontos tényező. Az cirbolyaindexek és a július-augusztusi középhőmérséklet közti kapcsolat igen szoros az alacsony frekvencia tartományban, azaz az évtizedes-évszázados ingadozások rekonstruálására nagyon kedvező lehetőséget kínál.

2. A hőmérsékleti jel a vizsgált időszak nagy részén stabil, kivétel az intenzív kénkitermelés két évtizede (1965-1986). A cirbolyák évgyűrűszélesség indexei jól követik a nyári középhőmérséklet változásait, de a fenyők egyértelműen szélesebb évgyűrűket növesztettek 1965-től 1986-ig, mint amekkorát a vonatkozó hőmérsékletek indokoltak volna. Adatokkal támasztottam alá a korábbi feltételezést, hogy a robbanóanyag összetevőjeként alkalmazott nitrogén műtrágya maradéka a szétrobbantott kőzetből származó porral együtt, amit az évgyűrűk anyagában a kéntartalom növekedése jelez, ugyancsak a környező erdőterületre jutott.
3. A kelemenai július-augusztusi középhőmérséklet ingadozásainak 846 éves történetét rögzítő adatsor úgy állt elő, hogy az 1163-tól 1964-ig ívelő átskálázott cirbolya adatokat 1965-től 2008-ig a HadCRUT3v adatbázisból a területet fedő cellához tartozó júliusi és augusztusi havi adatok átlag értékei egészítették ki. Az ezeréves faévgyűrű alapú, európai, nyári középhőmérsékleti hőmérsékleti rekonstrukciók érvényességi tartományával összevetve azt is megmutattam, hogy a kelemenai cirbolyafenyő-adatok segítségével olyan területre sikerül a nyári időszak hőmérsékleti viszonyainak több évszázadra visszatekintő éves felbontású rekonstrukcióját adni, melyre a létező rekonstrukciók eredményei alig szolgáltatnak információt. Ezáltal ez az új rekonstrukció nem csak érdekes újdonság a hazai éghajlat-történeti kutatásokban, hanem nemzetközi szinten is jelentős eredménynek tekinthető.
4. Az MXD esetében a havi középhőmérsékletek közül augusztus ( $r=0,46$ ) és szeptember ( $r=0,38$ ) mutatta a legnagyobb korrelációs együtthatót, az MND indexek esetében jellemzően negatív korrelációs együtthatókat adott eredményül az összehasonlítás. A legerősebb kapcsolat június ( $r=-0,30$ ) és július ( $r=-0,44$ ) adataival mutatkozott.
5. A kalibrációs kísérletek összehasonlításával kimutattam, hogy a kombinált sűrűség-paraméterek használatával pontosabb rekonstrukció készíthető, mint csupán a maximum sűrűség felhasználásával készített rekonstrukció, noha ez az elmúlt 30 évben a rutinszerűen alkalmazott eljárás.

6. A Porcika-hóaknából származó jégmintákban a radioaktív hidrogén izotóp (trícium) koncentrációinak elemzése során gyakorlatilag a múltbéli csapadék váltakozó trícium koncentrációjának tökéletes lenyomatát ismerhettük fel. Az Eszkimó-barlang jégének stabil oxigénizotópos összetétele alapján pedig a téli félévi hőmérsékleti váltakozás rekonstrukcióját készítettem el 50 éves felbontással az elmúlt kétezer évre, és 20 éves felbontással az elmúlt évezredre vonatkozóan.

## **7. Következtetések**

### **7.1. Módszertani perspektívák**

A sűrűség adatok vizsgálata során a minimum sűrűség esetében felismert éghajlati kapcsolat új eredménynek számít. A kombinált sűrűségadatok alkalmazása a sűrűségadatok alapján végzett dendroklimatológiai rekonstrukció hagyományos módszertanát érdemben fejlesztő módszertani újítás lehetőségét vetíti előre.

A barlangi jég vizsgálata során nyert eredmények legfontosabb módszertani üzenetének azt tartom, hogy szilárd tapasztalati ellenérveket szolgáltatnak, a barlangi jégből kinyerhető információk értékét kétségbe vonó, vagy elvi bizonytalanságokat hangoztatva kétkedő véleményekkel szemben. Ez azt jelenti, hogy a barlangi jégüledékeknek a múltbéli csapadékhöz kapcsolódó fizikai, kémiai környezeti információi a sarkvidéki jégfelhalmozódásokhoz hasonló hiteles adatforrások lehetnek, sőt hitelesebbek, mint az alacsony szélességek felszíni jégösszletei (pl. HE et al. 2001, HOU & QIN 2002, THOMPSON 1980), amelyeknél a vízpára diffúziója vagy az olvadékvíz beszivárgása sok esetben elsimítja, kiátlagolja az értékes környezeti, éghajlati információt.

7.2. A Kárpát-medence elmúlt ezer évének éghajlattörténetéhez kapcsolódó legfontosabb új eredmények:

- A 20. sz. harmadik negyedétől a Kelemen-havasokban a nyári hőmérsékleti viszonyokban erős melegedés indult meg. A nyári középhőmérsékletek éves, évtizedes összehasonlításban az elmúlt ~850 évben páratlan szintet értek el. Azonban a hőmérséklet emelkedés dinamikája, illetve az évtizedes változások amplitúdója, legalábbis a július-augusztusi középhőmérséklet esetében, nem tekinthető szélsőségesnek az évezredes összehasonlítás szerint.

- Ezzel szemben a téli középhőmérséklet viszonylag egyenletes ütemben emelkedik 1900-tól. A korábbi évszázadokra rekonstruált adatokat és a 20. sz. végi – 21. sz. eleji mért



értékeket a 19. sz. végi értékekhez viszonyítva az állapítható meg, hogy a téli hőmérsékleti viszonyok esetében is az elmúlt évezred legmelegebb évtizedeit éljük a Kárpát-medencében.

- A régióban a leghűvösebb nyarak 1810-20 között uralkodtak, míg a leghidegebb telek 1680-1700 között.

- A kisjégkorszak globálisan ~1300-1850 közé helyezett éghajlattörténeti időszaka a Kárpát-medencében határozottan szakaszokra tagolható. A fokozatosan hidegebbé váló tél, ingadozó, de döntően hűvös nyarú szakasz kb.1370-től a 17. sz. végéig tartott. A hideg időszakot a 18. sz-ban, mind a tél, mind a nyár vonatkozásában egy kevésbé hideg, tulajdonképpen a 20. sz-i viszonyoknak megfelelő évszázad szakította meg. Ezt a 19. sz-ban ismét egy rövidebb hideg periódus követte.

- A kisjégkorszak előtt a téli félév esetében bizonyosan kimutatható a középkori meleg időszak, melyet 800-1260 közé tudunk helyezni. Az utolsó kiemelkedően enyhe telek 1220-40 között uralkodhattak, ám valószínűleg ennél is enyhébb évtizedek lehettek a 9. sz. első felében.

### **Köszönetnyilvánítás**

Kiemelt köszönettel tartozom dr. IONEL POPA-nak (ICAS), hogy a kelemen-i cirbolya adatbázis általa gyűjtött részének adatait a 2. fejezetben közölt elemzések elkészítéséhez rendelkezésemre bocsátotta. Ugyancsak köszönet illeti dr. MOLNÁR MIHÁLYT (MTA-ATOMKI) a porcikai jégminták trícium aktivitásának méréséért, dr. PALCSU LÁSZLÓT (MTA-ATOMKI) a debreceni csapadékra vonatkozó stabilizotópos adatokért és az ezzel kapcsolatos konzultációkért, AUREL PERSOIU-t (USF) az aranyosfői csapadékra vonatkozó stabilizotópos adatokért, valamint a hőmérsékleti adatokért és a barlangi jégadatokkal kapcsolatos szerteágazó konzultációkért. Köszönöm konzulensemnek, dr. FÓRIZS ISTVÁNNAK (MTA-GKKI), a stabilizotópos adatok értelmezésében nyújtott sok segítséget. Köszönöm Témavezetőimnek a disszertáció elkészítésében nyújtott segítséget. Külön köszönöm dr. KÁZMÉR MIKLÓSNAK, hogy a konferenciákon és a nemzetközi kurzusokon való részvételemet segítette. A kutatásokat a „Dendrokronológia geológiai és paleoklimatológiai alkalmazásokkal” (OTKA T43666) és a „Környezettörténet éves felbontással” (OTKA K67583) projektek támogatták. A határon átnyúló kapcsolattartást az „Az elmúlt öt évszázad környezetváltozásának tér- és időbeli változatossága a Kárpát-Pannon Térségben” RO-37/05 bilaterális projekt támogatta.

## Irodalomjegyzék

- BARRELET, T. – ULRICH, A. – RENNINGER, H. – KRÄHENBÜHL, U. 2006: Seasonal profiles of sulphur, phosphorus and potassium in Norway spruce wood. – *Plant Biology* 8, 462-469. doi:10.1055/s-2006-924044
- BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – MOLNÁR Zs. 2004: A Kárpát-medence múltbeli éghajlati eseményeinek kódolt feldolgozása a Réthly-gyűjtemény alapján. – *Erdő és Klíma* IV. pp.45-56.
- BODRI, L – DÖVÉNYI, P. 2004: Climate change of the last 2000 years inferred from borehole temperatures: data from Hungary. – *Global and Planetary Change* 41: 121-133.
- BODRI, L – DÖVÉNYI, P. – HORVÁTH, F. 2009: Két évezred éghajlatváltozásai Magyarországon fűrőlyuk-hőmérsékletek alapján. – In.: Kázmér M. (szerk.): *Környezettörténet-Az elmúlt 500 év környezeti eseményei történeti és természettudományi források tükrében*, Hantken Kiadó, pp.471-436.
- BRÄKER, O.U. 1981: Der Alterstrend bei Jahrringdichten und Jahrringbreiten von Nadelhölzern und sein Ausgleich. – *Mitteilungen der forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien*, 142: 75-102.
- COOK ER. 1985: A time series analysis approach to tree ring standardization. – Ph.D. Dissertation, University of Arizona, Tucson.
- COOK, E.R. – KAIRIUKSTIS, L. (eds.) 1990: *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences* – Kluwer Academic Pub.
- COOK ER – KRUSIC PJ 2006: ARSTAN4.1b\_XP. <http://www.ldeo.columbia.edu>.
- ESPER, J. - COOK, E.R. - KRUSIC, P.J. - PETERS, K. - SCHWEINGRUBER, F.H. 2003: Tests of the RCS method for preserving low-frequency variability in long tree-ring chronologies. – *Tree-Ring Research* 59 (2) pp.81–98.
- ESPER, J. - FRANK, D. - WILSON, R.J.S. - BRIFFA, K.R. 2005: Effect of scaling and regression on reconstructed temperature amplitude for the past millennium. – *Geophysical Research Letters* 32, L07711, doi: 10.1029/2004GL021236
- FRANK, D. - ESPER, J. - COOK, E.R. 2007: Adjustment for proxy number and coherence in a large-scale temperature reconstruction. – *Geophysical Research Letters* 34, L16709 doi:10.1029/2007GL030571
- HE., Y. - TANDONG, Y. – GUODONG, C. – MEIXUE, Y. 2001: Climatic records in a firn core from an Alpine temperate glacier on Mt. Yulong, southeastern part of the Tibetan Plateau. – *Episodes* 24: 13-18.

- HOLMES R.L. 1983: Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements. – *Tree-Ring Bulletin* 43: 69-75
- HOU, S. – QIN, D. 2002: The effect of postdepositional process on the chemical profiles of snow pits in the percolation zone. – *Cold Region Science and Technology* 34: 111-116.
- KISS A. 1999: Some weather events in the fourteenth century II. (Angevin Period: 1301-1387). – *Acta climatologica, Universitas Szegediensis*, tom. 32-33. pp51-64.
- KISS, A. 2009: Historical climatology in Hungary: Role of documentary evidence in the study of past climates and hydrometeorological extremes. - *Időjárás* 113/4: 315-339.
- NOAA Paleoclimatology 2009: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/treering.html>
- OSBORN, T. J. - K. R. BRIFFA - P. D. JONES 1997: Adjusting variance for sample-size in tree-ring chronologies and other regional-mean time-series. – *Dendrochronologia*, 15, 89–99.
- PAUL D. – SKRZYPEK G. – FÓRIZS I 2007: Normalization of measured stable isotopic compositions to isotope reference scales - a review. – *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 21 (18): 3006–14. doi:10.1002/rcm.3185.
- PÉCZELY, GY. 1982: A kőszegi “Szőlő Jövésének Könyve”. – *Légekör* 27/3 pp.24-27.
- POPA I. 2004: Fundamente metodologice și aplicații de dendrochronologie. – Editura Tehnică Silvică, p 200
- RÁCZ L. 1999: Climate history of Hungary since 16<sup>th</sup> century: past, present and future. – Centre for regional studies of Hungarian academy of Sciences discussion papers No.28 160p.
- RÁCZ L. 2001: Magyarország éghajlattörténete az újkor idején. – JGYF Kiadó, Szeged, 303.p.
- RINNTECH 2005: TSAP User reference. 110 p
- SIKLÓSY, Z. - DEMÉNY, A. - VENNEMANN, T.W. - PILET, S. - KRAMERS, J. - LEEL-OSSY, SZ. - BONDÁR, M. - SHEN, C.C. - HEGNER, E. 2009a: Bronze Age volcanic event recorded in stalagmites by combined isotope and trace element studies. – *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 26, 801-808.
- SIKLÓSY, Z. - DEMÉNY, A. - SZENTHE, I. - LIN, Y. - SHEN, C.C. 2009b: Reconstruction of climate variation for the last millennium in the Bükk Mts (NE Hungary) from a stalagmite record. – *Időjárás* 113: 245-263.
- STREŠTIK, J. - VERÓ, J. 2000: Reconstruction of the spring temperatures in the 18th century based on the measured length of grapevine sprouts. – *Időjárás*, 104 pp.123-136.
- THOMPSON, L.G. 1980: Ice core studies from Mt Kenya, Africa, and their relationship to other tropical ice core studies. – *IAHS* 131: 55-62.

VADAS, A. 2008: Documentary evidence on weather conditions and an environmental crisis in 1315-1317: Case study from the Carpathian Basin. – *Journal of Environmental Geography* 1: 67-76.

**A jelöltnek a dolgozat témájában megjelent publikációi:**

1. KERN, Z. - GRYNÆUS, A. - MORGÓS, A. 2009: Reconstructed precipitation for Southern Bakony Mountains (Transdanubia, Hungary) back to AD 1746 based on ring widths of oak trees. - *Időjárás* 113/4: 299-314.
2. KERN Z. - POPA I. - VARGA, ZS. - SZÉLES, É. 2009: Degraded temperature sensitivity of a stone pine chronology explained by dendrochemical evidences. - *Dendrochronologia* 27: pp.121-128. doi:10.1016/j.dendro.2009.06.005
3. KERN Z. - FÓRIZS I. - PERȘOIU, A. - NAGY B. 2009: Stable isotope study of water sources and of an ice core from the Borțig Ice Cave, Romania. - *Data of Glaciological Studies (Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy)* 107: pp.175-182.
4. KERN Z. - MOLNÁR M. - SVINGOR, É. - PERȘOIU, A. - NAGY B. 2009: High resolution, well preserved tritium record in the ice of Borțig Ice Cave, Bihor Mountains, Romania. - *The Holocene* 19 pp. 729–736. doi:10.1177/0959683609105296
5. POPA, I - KERN, Z. 2009: Long-term summer temperature reconstruction inferred from tree-ring records from the Eastern Carpathians. - *Climate Dynamics* 32. pp.1107-1117 doi:10.1007/s00382-008-0439-x
6. KERN, Z. 2009: Balaton-felvidéki tölgyek évgyűrűszélességének kapcsolata a Balaton vízszintingadozásával. - In: KÁZMÉR M. (szerk.): *Környezettörténet*, Hantken kiadó, Budapest, pp.357-366.
7. KERN Z. - NAGY B. - POPA, I. 2009: A periglaciális környezet változásai a Kelemen-havasokban meteorológiai, geomorfológiai és dendrokronológiai adatok tükrében. - In: KÁZMÉR M. (szerk.): *Környezettörténet*, Hantken kiadó, Budapest, pp.315-336.
8. KERN, Z. 2008: Medical papyri and the date of the Minoan eruption of Santorini. - *Medical Hypotheses* 71/2 pp.325 doi:10.1016/j.mehy.2008.03.008
9. KERN Z. - POPA, I. 2008: Changes of frost damage and treeline advance for Swiss stone pine in the Calimani Mts. (Eastern Carpathians, Romania). - *Acta Silvatica & Lignaria Hungarica* 4. pp. 39-48.
10. KERN, Z. - BOČIĆ, N. - HORVATINČIĆ, N. - FÓRIZS, I. - NAGY, B. - LÁSZLÓ, P. 2008: Palaeoenvironmental records from ice caves of Velebit Mountains - Ledena Pit and

- Vukušić Ice Cave, Croatia. - In: KADEBSKAYA, O.; MAVLYUDOV, B.R.; PYATUNIN, M. (szerk.) 3rd International Workshop on Ice Caves Proceedings, Kungur, pp. 108-113.
11. KERN, Z. - BOČIĆ, N. - HORVATINČIĆ, N. - FÓRIZS, I. - NAGY, B. - LÁSZLÓ, P. 2008: Őskörnyezeti adatok a Velebit-hegység jegesbarlangjaiból (Ledena-zsomboly, Vukušić-jegesbarlang). - In: SZABÓ, V.; OROSZ, Z.; NAGY R.; FAZEKAS, I. (szerk) 4. Magyar Földrajzi Konferencia, Debrecen, pp.126-133.
  12. KERN Z. - MOLNÁR M. - FÓRIZS I. - PERȘOIU, A. - NAGY B. 2007: A Porcika-jégbarlang padozati jegének képződésével kapcsolatos következtetések glaciológiai megfigyelések és geokémiai jellemzők vizsgálata alapján. - KARSZTFEJLŐDÉS 12. pp.315-330.
  13. KERN Z. - POPA, I. 2007: Kései fagyok nyomai cirbolyafenyők évgyűrűiben a Kelemen-havasok erdőhatár övezetében, 1750 és 2004 között. - Erdő és Klíma V. pp.323-334.
  14. KERN, Z. - POPA, I. 2007: Climate-growth relationship of tree species from a mixed stand of Apuseni Mts, Romania. - Dendrochronologia 24/2-3 pp.109-115. doi:10.1016/j.dendro.2006.10.006
  15. POPA, I. - KERN, Z. 2007: Efectul extremelor climatice asupra proceselor de creștere în pădurea de limită din Munții Călimani. - Revista Padurilor 122/2 pp.23-27.
  16. KERN, Z. - MOLNÁR, M. - PERȘOIU, A. - NAGY, B. 2007: Radiochemical and stratigraphic analysis of two ice cores from Bortig Ice Cave, Apuseni Mts, Romania. - In: ZELINKA, J. (ed.) Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Ice Caves, Liptovský Mikuláš, pp.65-69.
  17. KERN, Z. - SURÁNYI, G. - MOLNÁR, M. - NAGY, B. - BALOGH, D. 2007: Investigation of natural perennial ice deposits of Durmitor Mts, Montenegro. - In. ZELINKA, J. (ed.) Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Workshop on Ice Caves, Liptovský Mikuláš, pp.70-73.
  18. KERN Z. 2007: Évgyűrűvizsgálatok a Balaton-felvidéken és a Déli-Bakonyban. - In: GÖMÖRI J. (szerk.): Az erdő és a fa régészete és néprajza, Sopron, pp.89-102.
  19. DÁVID SZ. - KERN Z. 2007: Keleti-bakonyi és geressei tölgyek dendrokronológiai és dendroökológiai vizsgálata. - In: GÖMÖRI J. (szerk.): Az erdő és a fa régészete és néprajza, Sopron, pp.103-122.
  20. POPA, I. - KERN, Z. - NAGY, B. 2006: Frost ring: a biological indicator of widespread freezing days, and 1876 AD as a case study from the Eastern Carpathians. -Proceeding of the Romanian Academy seriesB 8/1 pp.55-61.

21. NAGY B.; KERN Z.; POPA, I. (2006) A periglaciális környezet változásainak elemzése a Kelemen-havasokban, geomorfológiai és dendrokronológiai módszerek alkalmazásával. Földrajzi közlemények 130/3-4 pp.155-169.
22. KERN, Z. - FÓRIZS, I. - KÁZMÉR, M. - NAGY, B. - SZÁNTÓ, ZS. - GÁL, A. - PALCSU, L. - MOLNÁR, M. 2004: Late Holocene environmental changes recorded at Ghețarul de la Focul Viu, Bihor Mts, Romania. - Theoretical and Applied Karstology 17 pp.51-60.
23. 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 pp.61-69.
24. KERN Z. - NAGY B. - FÓRIZS I. - KÁZMÉR M. - SZÁNTÓ ZS. 2003: Barlangi jégképződmények korának és fejlődésének vizsgálata izotópos elemzések alapján. - KARSZTFEJLŐDÉS 8. Szombathely, pp.321-332.

Ezen kívül 3 elfogadott, 53 megjelent konferencia összefoglaló, 6 ismeretterjesztő cikk és 1 könyvismertetés.