

Topál Dániel

Töréspontok észak-grönlandi jégfuratokból származó évesített $\delta^{18}\text{O}$ idősorokban

Szakmailag ellenőrizte: Hatvani István Gábor

Absztrakt

A környezeti jelenségeket leíró idősorok természetükből adódóan tartalmazhatnak különböző eredetű és fokú töréspontokat (TP), melyeket sokszor csak felületesen, vagy egyáltalán nem vesznek figyelembe. Vizsgálatukhoz a töréspont által kettéosztott idősor két oldalán elhelyezkedő adatcsoportok statisztikáinak összehasonlításával közelíthetünk.

A tanulmány során nullad- és elsőrendű autoregresszív idősorokon általam korábban tesztelt, kettő szabadon hozzáférhető töréspont analízáló módszerrel egy valós „hőmérsékleti proxy”, jégfuratokból származó jég/firn $\delta^{18}\text{O}$ idősorok töréspont vizsgálatát végeztem el, mely során a módszerek által talált töréspontokat sikerrel kapcsoltam szakirodalomból ismert klimatológiai eseményekhez.

1. Bevezetés

A természeti jelenségeket leíró idősorok nem ritkán rögzítenek olyan folyamatokat, melyeket leíró alapstatisztikák az idő előrehaladtával megváltoznak. Ezen változások háttere és mikéntje az idősoros adatelemzés alapvető problémái közé tartozik [Hamilton, 1994]. Az említett struktúraváltások felderíthetők az idősorok töréspont analízisével, mely eljárás az idősorok sokféleségéből adódóan matematikailag nem egyértelmű. Az idősorokban előforduló törések figyelmen kívül hagyása könnyen vezethet a konvencionális idősor analízis eredményeinek félreértelmezéséhez [Tsay, 1988].

Az idősor analízissel foglalkozó szakirodalom bővelkedik olyan tanulmányokban, melyek célja azok egy-egy komponensének (pl. trend [Hamed és Rao, 1998; Meehl et al., 2000]) vizsgálata. A komponensekben található irregularitások (töréspontok) tanulmányozása is kiemelkedő jelentőségű, hiszen egy-egy idősor által leírt jelenség változásait nem lehet egyetlen lineáris trendvonalal jellemezni, a potenciálisan előforduló diszkontinuitások miatt [Karl et al., 2000; Tomé és Miranda, 2004].

Töréspontok bármely tudományterületről származó idősorban előfordulhatnak. Ezek határpontoknak tekinthetők az idősor két szomszédos része között, melyeket egymástól egy lépcsőszerű, kvázi állandónak tekinthető különbségi tényező (shift), vagy az adatok trendjében, illetve szórásában bekövetkező szignifikáns változás választhat el. Természetesen ezek tetszőleges kombinációja is előfordulhat, nem korlátozva ezzel a töréspont jellegét egyetlen típusra. Tanulmányomban három fajta töréspontot (TP) különböztetek meg: shift-, trendváltozás és szórásváltozás típusokat [Topál et al., 2016].

A TP analízis megfelelő eszköz lehet például a meteorológiai adatok homogenizálása során [Lindau és Venema, 2013]. Számos módszer áll a kutatók rendelkezésére, melyek nagy része specifikusan adott töréspont-típusra lett kifejlesztve a legkülönbözőbb tudományterületeken. Ezek alkalmazási területei a gazdaságtudomány [Jinwen és Jie, 2005; Ross, 2012] vagy az orvostudományok, ahol konkrét példaként említhető a DNS szekvenciában bekövetkező változások vizsgálata, mely a rákkutatás számára nyújt jelentős segítséget [Bakhshi et al., 1985; Jong et al., 2003].

A téma földtudományokban alkalmazott fontos célterülete a klimatológiai idősorok kiértékelése. Számátalan tanulmányt publikáltak, melyek a különböző időskálájú éghajlatváltozásokat az idősorokban található töréspontok szempontjából közelítik – függetlenül az idősorok mérési [Shirvani, 2015], vagy proxy jellegétől [He et al., 2008; Matyasovszky, 2011; Matyasovszky és Ljungqvist, 2012; Haidu, 2014].

Az utóbbi néhány évtizedben az Arktisz területén jelentős felmelegedést tapasztaltunk, melynek üteme meghaladja az északi félgömb melegedésének mértékét [Alexeev et al., 2005; Bekryaev et al., 2010; Cohen et al., 2014]. Annak érdekében, hogy a jelenleg zajló változásokat történelmi kontextusba emelhessük, illetve, hogy az éghajlat természetes változékonyságáról tisztább képet kaphassunk, a hosszútávú éghajlati idősorok elemzése elengedhetetlen [Steffensen et al., 2008]. Miután az arktiszi műszeres hőmérsékleti mérések csak viszonylag rövid idő óta állnak rendelkezésre [Cappelen et al., 2011], a műszeres mérések által lefedett időszak kibővítésére ún. proxy idősorok segítségével kell nyúlnunk. Az egyik legelterjedtebb hőmérsékleti proxy az oxigén stabilizotópos összetételének vizsgálata [Dansgaard, 1964]. A jégfuratok vitathatatlan előnye a többi paleohőmérsékletet közelítő módszerrel szemben, hogy a csapadék (számos fizikai-kémiai jellemzőjével egyetemben) közvetlenül őrződik meg a jégretegekben. A firnképződés, hómetamorfózis során buborékok alakulnak ki a jégben, amelyekben a légkör „egy darabja” is fagyos csapdába záródik.

A szakirodalom bővelkedik olyan tanulmányokban melyekben Grönland múltbeli hőmérsékleti értékeinek rekonstrukciójához jégfuratokat használnak (pl. [Crowley et al., 1993; Dansgaard et al., 1985; Lean et al., 1995]), azonban különböző területekről származó jégfuratokból számított $\delta^{18}\text{O}$ idősorok összehasonlításával már kevesebb kutatás foglalkozik (pl. [Weissbach et al., 2016]). Egy nemrégiben publikált tanulmány nyomán [Weissbach et al., 2016] kilenc különböző, Észak-Grönland körülbelül 1000 km² területéről származó – a *North Greenland Traverse* (NGT) kampány keretében fúrt – jégfuratból származtatott jég/firn $\delta^{18}\text{O}$ (‰) idősor töréspont analízisét végeztem el. Az adatok „különlegessége”, hogy egységesen lettek újrakorolva, így egy kiemelten megbízható és egységes adathalmazzal dolgozhattam a régióból. Kutatásom során a 9 jég/firn furatban közös töréspont horizontokat – olyan töréspontokat, melyek bizonyos elfogadási tartományon belül ugyanott kerültek megállapításra – kerestem, melyeket aztán ismert klimatológiai eseményekhez kapcsoltam.

2. Anyag és módszer

Alapfeltételezésem szerint a különböző töréspont detektáló módszerek érzékenyebbek azokra a töréspont típusokra, mely típusú változások felderítésére tervezve lettek. A módszerek kiválasztásánál az alábbi három tényező játszott kulcsszerepet: (i) a két módszer lefedi a különböző módszertanok lényegi elemeit, (ii) mindkettő az utóbbi öt évben lett publikálva és (iii) szabadon elérhetőek.

Ezért kettő olyan módszert választottam, melyek különböző szempontból közelítik meg a töréspont keresés problémakörét. Az első módszer egy módosított kereszt-entrópiás módszeren alapszik, a második pedig az idősor két szakasza között keresi a paraméterek eloszlásának egy vagy több hirtelen megváltozását.

2.1. A kiválasztott TP detektáló módszerek

2.1.1. Többszörös töréspont detektálás kereszt-entrópiás (CE) módszerrel

A többszörös töréspont detektáló modell (Multiple Breakpoint Detection) – R-be épített „breakpoint” elnevezésű csomag [Priyadarshana és Sofronov, 2012a; Priyadarshana és Sofronov, 2012b] – alapjául egy módosított kereszt-entrópiás megközelítés szolgál [Evans et al., 2011], ami egy iteratív optimalizálási eljárás. A módszer az adatok átlagában bekövetkező változások érzékelésére éppúgy alkalmas, mint a variancia típusú törések felismerésére [Priyadarshana és Sofronov, 2015]. Minden egyes iteráció során egy meghatározott elit mintát (ρ által definiálva) használ, a mintaeloszlás paramétereinek frissítésére. Az iteráció mindaddig folytatódik, amíg eléri a stop kritérium (ϵ) küszöbindexét (a részletekért ld. [Priyadarshana és Sofronov, 2015]). A töréspontok helyei és száma módosított Bayesian Információs Kritérium [Zhang és Siegmund, 2007] segítségével kerül megállapításra. A tanulmányban a CE.Normal.MeanVar programfunkciót használtam $\text{distyp}=2$ normál eloszlással, alkalmazkodva a létrehozott idősoraim eloszlásához. A próbafuttatások után a töréspontok számát 5 db-ban maximalizáltam ($N_{\max}=5$), a mintanagyság (M) alapbeállításként 200, illetve az elit minta nagysága 50, azaz $\rho=0,25$. Az összes egyéb paramétert az alapbeállításon hagytam. Megjegyzem, hogy megfigyelésem szerint a módszer nem tudja végrehajtani a számítási folyamatot, ha $N_{\max} > 13,3\%$ -a az összes adatpontnak.

2.1.2. Szekvenciális töréspont detektálás a CPM módszerrel

A CPM csomag fejlesztését Hawkins et al. (2003) kezdték meg, majd Hawkins és Zamba (2005) fejlesztette a módszert olyan szintre, hogy az a normál eloszlású idősorok változóinak átlag és/vagy varianciában bekövetkező változásait is képes legyen felismerni, és hatékonyan jelezni. Számos CPM lett már kifejlesztve különböző eloszlású változók töréspontjainak felismerésére; paraméteres tesztekkel, shift vagy variancia típusú törésekre (Hawkins és Zamba, 2005), vagy nem paraméteres tesztekkel (Ross et al., 2011) egyéb töréspontok detektálására.

A számítások lényege, hogy pl. ha (X_1, \dots, X_n) független valószínűségi változók véges sora, ahol x_t, X_t -nek egy $t=i$ időpillanatbeli realizációja, akkor az adatok eloszlása eltérő a TP ($T=k$) előtt $\{X_1, \dots, X_k\}$ és után $\{X_{k+1}, \dots, X_n\}$. Ezt az eltérést lehet végül kimutatni egy kétmintás hipotézisvizsgálat során [Shirvani, 2015]. Kutatásom során az alábbi CPM-be beépített paraméteres tesztek használtam: Student-t tesztet az átlag típusú TP felismerésére [Hawkins et al., 2003]; Bartlett-et a variancia típusú töréspontra [Ross, 2015] és az Általánosított Likelihood Arányt (GLR), melyet mindkét előbb említett TP detektálására fejlesztettek ki. (Ezen kívül a Mann-Whitney nem-paraméteres CPM teszt is előkerült, ahol az idősorok eloszlása nem volt normális.)

Az átlagos futási hosszt (ARLO) – (részletekért ld. [Fu et al., 2002]) – 200-ra állítottam, ami $\alpha=0,95$ -tel egyenértékű. A startup szekvenciát (S) 2, 8, 10 és 33 százalékra állítottam (ahol 10% egyezik meg az alapbeállítással, ami 20 adatpontot jelent itt), és a processStream függvényt használtam. S értéke meghatározott, ami az idősor adatainak egy bizonyos százalékára utal. Általánosságban, $S \leq 10\%$ esetén a módszer az egymástól független többszöri futtatások során is ugyanazokat a töréspontokat találta, azonban sokkal hatékonyabban működött, amikor S értékét 33%-ra állítottam (további részletekért ld. [Hawkins és Zamba, 2005; Ross, 2015; Topál et al., 2016]).

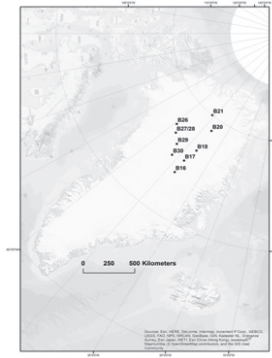
2.2. Alkalmazott szoftverek

A CE [Priyadarshana és Sofronov, 2015] és a CPM [Ross, 2015] módszereket illető számításokat – a breakpoint illetve a cpm csomagokat használva – R statisztikai programcsomag [R Core Team, 2008] segítségével végeztem.

2.3. Az észak-grönlandi (NGT) jégfuratok

Az NGT furatok évesített jég/firn $\delta^{18}\text{O}$ (‰) idősoraira a következők miatt esett a választásom: (i) Észak-Grönland a sziget legkevesbé ismert, és tanulmányozott része, (ii) az NGT furatokból nyert $\delta^{18}\text{O}$ idősorokban a késő Holocén klímaváltozásai szembevetőbbek, mint a Grönland középső vagy déli részéről származó furatok esetében [Fischer et al., 1998] és (iii) az NGT furatokat nemrégiben Weissbach et al. (2016) együttesen újra kalibrálta (korábban az idősorok külön-külön lettek évesítve), ezzel biztosítva a furatok jobb összehasonlíthatóságát (**1. ábra**).

A korábbiakban bemutatott töréspont detektáló programok futtatása szempontjából lényeges, hogy a kiválasztott idősorok azonos hosszúságúak legyenek, így az NGT furatokban leghosszabban átfedő periódust, 1471-1988 AD időszakot választottam elemzéseimhez. Ez vizsgálataim 9 jégfuratra korlátozta (B16, B17, B18, B20, B21, B23, B27/28, B29, B30). Fontos megjegyezni, hogy egyelőre a különálló idősorokon vizsgáltam, nem foglalkoztam egyesített idősorokkal. A különböző jégfuratokból származó $\delta^{18}\text{O}$ idősorokat szokás ugyanis egyesíteni („stacked data”) annak érdekében, hogy az idősorok jel-zaj aránya jobb legyen. Az egyesítés előtt azonban, kiemelten fontos az egyes különálló idősorokban előforduló struktúraváltások felderítése.

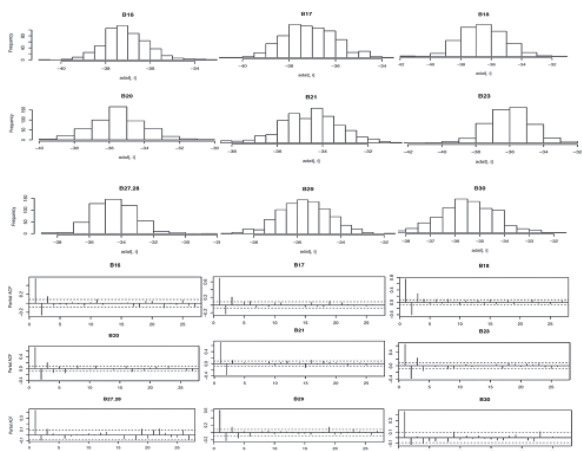


1. ábra: Grönland térképe az általam választott NGT (B16-30) jégfuratokkal

A CE módszer futtatásakor az adataim folytonos volta mellett a CE.Normal.MeanVar programfunkciót használtam a csonkolt normális eloszlású adatokra ($\text{distyp}=2$). A 2. ábrán a különböző furatokból származó $\delta^{18}\text{O}$ idősorok eloszlásai, illetve azok parciális autokorreláció függvényei láthatóak. Idősoraim szinte kivétel nélkül normális eloszlású, AR(1) folyamatnak voltak tekinthetőek. A CE módszer további beállításai a következők voltak: $N_{\text{max}}=5$, $M=200$, $\rho=0,25$ (elit mintanagyság száma: 129).

A CPM módszer alkalmazása során az átlagos futási hossz az alapbeállítás maradt ($\text{ARL0}=200$; $\alpha=0,95$), míg a startup szekvenciát (S) a 2. fejezetben részletezett okok miatt az idősorok hosszának 33%-ára állítottam, valamint szintén a processStream függvényt használtam. Az idősorok eloszlását figyelembe véve a Student, a Bartlett és a GLR paraméteres tesztek mellett a nem-paraméteres Mann-Whitney U-tesztet is alkalmaztam.

Annak érdekében, hogy a 9 furatban közös töréspont horizontokat állapíthassak meg, bevezettem egy 10 év hosszúságú elfogadási tartományt, amelyet az egyes furatok évesítése során fellépő korlási hiba [Weissbach et al., 2016] és a CE/CPM módszerek tesztelése során látott bizonytalanságok függvényében állapítottam meg. Látva, hogy a furatok kivétel nélkül AR(1)-hez közeledek (**2. ábra**), az egyes módszerek adott zajtípusra vonatkozó bizonytalanságait (ld. [Topál et al. 2016]) a furatok korlási hibáival kombináltam. Ezen tartományon (10 év) belül megtalált töréspontokat tehát ugyanazon klimatikus eseményhez kapcsolhattam.



2. ábra: A 9 $\delta^{18}\text{O}$ (‰) idősor hisztogramjai (felső panel) és parciális

3. Eredmények és diszkusszió

A jég/firn $\delta^{18}\text{O}$ idősorokban talált töréspontok közül azokat fogom bemutatni, melyek közösen jelentek meg a különböző jégfuratokban és köthetőek voltak egy-egy korábban megállapított „klimatikus eseményhez”, mint pl. a 19. század eleji lehülés, vagy a Kis-Jégkorszak [Fischer et al., 1998, Weissbach et al., 2016]. A CE módszer sztochasztikus jellegéből adódóan, jelen esettanulmány során csak azokat a TP-ket vettem figyelembe, melyeket a sorozatos futtatások alkalmával legalább az esetek 50%-ában jelzett a módszer. Nem térek ki azonban a két alkalmazott módszer közötti különbségekre a megtalált töréspontok terén, ennek diszkussziója a jövő feladata.

3.1. Az 1795–1825-ös lehülés

Az említett módszerek lefuttatásával az egyik leginkább szembetűnő egyezés a Grönland különböző területéről származó jégfuratok jég/firn $\delta^{18}\text{O}$ idősoraiban talált töréspontok között az 1795–1805 TP horizont volt. Ezen horizontot 7 furatban sikeresen azonosítottam (B16: 1796, 1810; B17: 1801; B18: 1795/97, 1802; B20: 1797; B21: 1805; B23: 1794, 1802/3; B29: 1796/98, 1805; **3. ábra**). Szintén említésre méltó, hogy az 1805-ös TP a B21-es furatban az összes alkalmazott teszt által detektálható volt. A bevezetett elfogadási tartományt szem előtt tartva feltételezhető, hogy ugyanazon 10 éves időszakon belül talált töréspontok ugyanahhoz a klímaeseményhez kapcsolhatók, így az 1795-1805 között jelzett töréspontokat mind egy, a 19. század elején kezdődő klimatikus lehüléshez kötöttem. Ezt a klímaeseményt korábbi tanulmányok szintén jelezték (pl. [Fischer et al., 1998]), azonban Észak-Grönland ilyen átfogó területéről származó idősorokban egyöntetűen még nem került kimutatásra. Fischer és munkatársainak [Fischer et al., 1998] felvetését – miszerint az 1815-ben az egész Föld klímáját meghatározó méretű vulkánkitörés (Tambora) nem okozhatott az általuk vizsgált jégfuratok (B18, B21, B29) $\delta^{18}\text{O}$ idő-

soraiban felfedezett mértékű lehűlést – jelen tanulmányom megerősíteni látszik. E szerint a lehűlés már a 19. század elején megkezdődött, melyet tovább erősített a Tambora kitörése, mely a $\delta^{18}\text{O}$ értékekben körülbelül 1‰-es visszaesést, és mintegy 1,5 °C lehűlést eredményezett Grönland területén [Fischer et al., 1998]. Mindezek ellenére, a felvetett hipotézis további vizsgálódást igényel, beleértve az idősorok periodikus komponens analízisét, illetve a furatok „stackelését”.

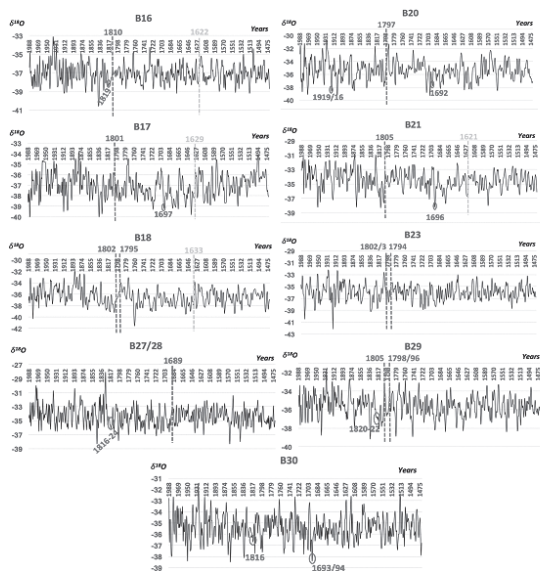
3.2. Kis-Jégkorszak (?)

További közös töréspontokat találtam az 1621–1633 közi időszakra vonatkozóan 4 db furatban (B16: 1622, B17: 1629, B18: 1633, B21: 1621; **3. ábra**). Ezen töréspontok szintén egy lehűlési periódust jeleznek, melyeket a Kis-Jégkorszakhoz kapcsolódó lehűlés felerősödéséhez kapcsoltam Fischer és munkatársainak korábbi közleménye alapján [Fischer et al., 1998]. Azonban, ennek megerősítése vagy megcáfolása további részletes vizsgálatokat tesz szükségessé.

3.3.3. Vulkánkitörésekhez köthető TP horizontok

A vulkánkitörésekből származó nyomanyagok (pl. a nem tengerisó eredetű SO_2 -/4 elsődleges szerepet töltenek be a jégfuratok szinkronizálásában. A nyomanyag profilokban fellelhető SO_2 -/4 csúcsok a vulkáni horizontok kijelölését segítik, melyek aztán mintegy kapcsolópontokként megkönnyítik a különböző jégfuratok szinkronizálását [Sigl et al., 2015]. Számos olyan töréspontot találtam a kiválasztott kilenc jégfurat jég/firn $\delta^{18}\text{O}$ idősoraiban, melyeket egyszeri, rövid, késő Holocén kori lehűlési periódusokhoz kapcsolhattam (**3. ábra**). Töréspontokat detektáltam: (i) 1816-24 időszak környékén 4 furatban egységesen (B16, B27/28, B29, B30), (ii) a B20 furatban (TP=1916/19) és (iii) az 1692-96 időszakra vonatkozóan 3 furatban (B20: 1692, B21: 1696, B30: 1693).

Érdekes módon azon vulkáni horizontok (azaz a szulfátcsúcsok alapján megállapított időpontok a $\delta^{18}\text{O}$ idősorokban) közül, melyeket Weissbach és munkatársai [Weissbach et al., 2016] a szóban forgó NGT furatok szinkronizálásához használtak, néhány esetben egybeesnek az általam megállapított töréspontokkal: (i) az 1816-24 közötti töréspontok az 1815-ös Tambora kitöréshez (szulfát csúcs: 1816), (ii) az 1916/19 töréspontok a Katmai 1912-es kitöréséhez, míg (iii) az 1692-96-os TP horizont az 1694-es Hekla kitöréshez kapcsolhatók.



3. ábra: A detektált TP horizontok a B16-B30 furatokban 1471-1988 AD. időszakán: 1795-1805 horizont (kék szaggatott vonal); 1621-33 (sárga szaggatott vonal) vulkáni horizontok (fém karikák)

4. Összefoglalás

Az észak-grönlandi jégfuratokból származó jég/firn $\delta^{18}\text{O}$ idősorokban talált töréspontokat sikeresen kötöttem a szakirodalomban ismert klimatikus eseményekhez. Ezzel a töréspont analízis egy lehetséges alkalmazási módjára mutattam példát. A jégfuratok töréspont vizsgálatával közelebb kerülhetünk a sokszor csak szemre, vagy különböző trendillesztésekkel megállapított struktúráváltások, múltbeli klíma-változások objektívebbé tételére.

Éghajlati rendszerünk múltjának mind pontosabb ismerete elengedhetetlen annak érdekében, hogy a jövőnköt illető kérdésekre releváns választ adhassunk. Különösképp gondolok itt sarki területeink intenzív változásaira, melynek történelmi kontextusának kérdése igencsak megosztja a tudományos világot.

Az idősor analízis gyorsan fejlődő és rendkívül aktív tudományterület, mely számtalan további kihívást tartogat még. Az ezekkel való megbirkózás alapja nemcsak a szisztematikus adatgyűjtés és az állapotfelmérésen alapuló kutatások, hanem az elemző módszerek folyamatos fejlesztése, melyek lehetővé teszik, hogy a jövőben új felismerésekkel gazdagíthassuk tudásunkat.

Irodalomjegyzék

ALEXEEV, V.A., LANGEN, P.L., BATES, J.R. (2005): Polar amplification of surface warming on an aquaplanet in 'ghost forcing' experiments without sea ice feedbacks, *Climate Dynamics*, 24, 7, 655-666.

BAKSHI A., JENSEN J.P., GOLDMAN P., WRIGHT J.J., MCBRIDE O.W., EPSTEIN A.L. et al., (1985): Cloning the chromosomal breakpoint of t(14;18) human lymphomas: clustering around JH on chromosome 14 and near a transcriptional unit on 18, *Cell*, Vol. 41, 899-906 doi: 10.1016/S0092-8674(85)80070-2

BEKRYAEV R.V., POLYAKOV I.V., ALEXEEV V.A. (2010): Role of Polar amplification in long-term surface air temperature variations and modern Arctic warming, *J. Clim.*, 23, 14, 3888-3906.

COHEN J., SCREEN J.A., FURTADO J.C., BARLOW M. WHITTLESTON D., COUMOU D., FRANCIS J., DETHLOFF K., ENTEKHABI D., OVERLAND J., JONES J., (2014): Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather, *Nature Geoscience*, 7, 637-637.

CROWLEY, T.J., T.A. CRISTE és NR. SMITH (1993): Reassessment of Crete (Greenland) ice core acidity/volcanism link to climate change, *Geophys. Res. Lett.*, 20, 209-212.

DANSGAARD W. (1964): Stable isotope in precipitation, *Tellus*, 16, 436-468.

DANSGAARD W., H. B. CLASUEN, N. GUNDENSTRUP, S.J. JOHANSEN és C. RYGNER, (1985): Dating and climatic interpretation of two deep Greenland ice cores, in Greenland ice core: Geophysics, Geochemistry and the Environment, edited by C.C. Langway, H. Oeschger and W. Dansgaard, American Geophysical Union

EVANS G.E., SOFRONOV G., KEITH J.M., KROESE D.P. (2011): Identifying change-points in biological sequences via the cross-entropy method, *Annals of Operation Research*, Vol. 189, 1, 155-165.

FISCHER, H. et al., (1998): Little Ice Age clearly recorded in northern Greenland ice cores, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 1749-1752.

FU J.C., SPIRING F.A., XIE H., (2002): On the average run lengths of quality control schemes using a Markov chain approach, *Statistics & Probability Letters*, 56, 369-380.

Haidu I., (2014): A stochastic vision of the paleoclimate. Modeling and predictability. In: Late Pleistocene and Holocene Climatic Variability in the Carpathian-Balkan Region, Stefan cel Mare University Press

HAMED K.H., RAO A.R. (1998): A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data, *J. Hydrology*, 204, 182-196, DOI: 0022-1694/98/\$19.00

HAMILTON, J.D., (1994): Time series analysis (Vol. 2). Princeton: Princeton University Press

HAWKINS D.M., QIU P., KANG C.W., (2003): The Changepoint Model for Statistical Process Control, *J. Quality Technology*, 35(4), 355-366.

HAWKINS D.M., ZAMBA K.D., (2005): A Change-Point Model for a Shift in Variance, *J. Quality Technology*, 37(1), 21-31.

HAWKINS D.M. ZAMBA K.D., (2005): Statistical Process Control for Shifts in Mean or Variance Using a Changepoint Formulation, *Technometrics*, 47(2), 164-173.

HE W.P., FENG G.L. WU Q., WAN S.Q., CHOU J.F., (2008): A new method for abrupt change detection in dynamic structures, *Nonlin. Processes Geophys.*, 15, 601-606.

JINWEN Z. JIE M., (2005): Measurement for the breakpoints and transition functions for monetary policy operation of China's Center Bank, *Economic Research Journal*, 12.

JONG K., MARCHIORI E., VAART A.V.D., YLSTRA B., WEISS M., MEIJER G. (2003): Chromosomal breakpoint detection in human cancer, Applications of evolutionary computing lecture notes in Computer Science, Vol. 2611, 54-65.

KARL T. R., KNIGHT R. W., és BAKER B. (2000): The record breaking global temperatures of 1997 and 1998: Evidence for an increase in the rate of global warming?, *Geophys. Res. Lett.*, 27(5), 719– 722.

LEAN, J., J. BEER R. és BRADLEY (1995): Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implications for climate change, *Geophys. Res. Let.*, 22, 3195-3198.

LINDAU R., VENEMA V. (2013): On the multiple breakpoint problem and the number of significant breaks in homogenization of climate records, *Időjárás* (Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service), 117, 1, 1-34.

MATYASOVSKY I. (2011): Detecting abrupt climate changes on different time scales, *Theor. Appl. Climatol.*, 105, 445-454.

MATYASOVSKY I., LJUNGQVIST F.C. (2012): Abrupt temperature changes during the last 1,500 years, *Theor. Appl. Climatol.*, 112, 215-225.

MEEHL G.A., KARL T., EASTERLING D.R., CHANGON S., PIELKE R. Jr., CHAGNON D., et al. (2000): An introduction to trends in extreme weather and climate events: observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections, *Bulletin of the American Meteorological Society*

PRIYADARSHANA W.J.R.M., SOFRONOV G. (2012a): A Modified Cross- Entropy Method for Detecting Multiple Change-Points in DNA Count Data, In Proc. of the IEEE Conference on Evolutionary Computation (CEC), 1020-1027, DOI: 10.1109/CEC.2012.6256470.

PRIYADARSHANA W.J.R.M. SOFRONOV G., (2012b): The Cross-Entropy Method and Multiple Change-Points Detection in Zero-Inflated DNA read count data, In: Y. T. Gu, S. C. Saha (Eds.): The 4th International Conference on Computational Methods (ICCM2012), 1-8, ISBN 978-1-921897-54-2.

PRIYADARSHANA W. J. R. M., SOFRONOV G. (2015): Multiple Breakpoints Detection in array CGH Data via the Cross-Entropy Method, *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 12(2), 487-498. doi:10.1109/TCBB.2014.2361639, ISSN: 1545-5963.

R CORE TEAM, (2008): R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>

ROSS G. J., (2012): Modelling financial volatility in the presence of abrupt changes, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(2), 350-360.

ROSS G.J. (2015): Parametric and Nonparametric Sequential Change Detection in R: The cpm Package, *Journal of Statistical Software*

ROSS, G.J. TASOULIS, D.K., ADAMS N.M., (2011): Nonparametric Monitoring of Data Streams for Changes in Location and Scale, *Technometrics*, 53(4), 379-389.

SHIRVANI A. (2015): Change point analysis of mean annual air temperature in Iran, *Atmospheric Research*, 160. 91-98.

STEFFENSEN, J.P. et al. (2008): High-resolution Greenland ice core shows abrupt climate change happens in few years, *Science*, 321, 680-684.

TOMÉ A.R. MIRANDA P.M.A., (2004): Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters, *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 31, L02207, doi: 10.1029/2003GL019100

TOPÁL D., MATYASOVSKY I., KERN Z., HATVANI I.G., (2016): Detecting breakpoints in artificially modified and real-life time series using three state-of-the-art methods, *Open Geosci.*, 8:78–98, DOI: 10.1515/geo-2016-0009

TSAY R.S., (1988): Outliers, level shifts, and variance changes in time series, *J. Forecasting*, 7, 1-20.

WEISSBACH S. WEGNER A., OPEL T., OERTER H., VINTHER B.M., and KIPFSTUHL S., (2016): Spatial and temporal oxygen isotope variability in northern Greenland – implications for a new climate record over the past millennium, *Clim. Past.*, 12, 171-188.

ZHANG N.R. SIEGMUND D.O., (2007): A modified Bayes information criterion with applications to the analysis of comparative genomic hybridization data, *Biometrics*, 63, 22-32.

Együttműködési megállapodás az ÉRME Hálózat és a SZIK között

Nagy örömmel és lelkesedéssel jelentjük be, hogy a Szent Ignác Jezsuita Szakkollégium és az ÉRME Hálózat 2018. május 26.-án hivatalossá tette a két intézmény között fennálló, mindkét fél számára előnyös, támogató barátságot és együttműködést. A megállapodást az ÉRME részéről Tóth József elnök, szakkollégiumunk részéről pedig Sárvári Balázs rektor írták alá a Keresztény Szigeten.

A megállapodás értelmében az ÉRME Hálózat többek között lehetőséget biztosít néhány általuk szervezett rendezvényen a szakkollégiumnak a bemutatkozásra, valamint saját fórumain is népszerűsíti a szakkollégium nyitott rendezvényeit. Ennél is fontosabb azonban a mentorrendszer kialakítása pályakezdő szakkollégistáink és a Hálózat tagjai között. Szakkollégiumunk cserébe meghívja az ÉRME Hálózat képviselőit a szakkollégiumi nyári táborba és az évenként megrendezett, őszi Díszvacsorára, illetve ÉRMÉ-s esetmegoldó versenyeket szervez a kollégium tagjainak, népszerűsíti az ÉRME Hálózat rendezvényeit saját köreibben, illetve, ha a Hálózat kéri, a meghirdetett ÉRMÉ-s állásokról és gyakornoki pozíciókról értesíti a szakkollégistákat.