

MELEGEDETT-E MAGYARORSZÁG ÉGHAJLATA A XX. SZÁZADBAN?*

SZALAI SÁNDOR – SZENTIMREY TAMÁS

Az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület harmadik beszámolójában az elmúlt század éghajlatának globális összefoglalója nagy érdeklődést váltott ki. A globális szinten $0,6 \pm 0,2$ °C-os melegedés több következménye nagymértékben érinti a Föld egyes területeinek lakosságát. Ezzel kapcsolatban két alapkérdés merülhet fel: mennyire megalapozottak ezek az eredmények, illetve mi a helyzet Magyarországon? A jelen dolgozat megkísérli a válaszadást mindkét kérdésre. Egyrészt bemutatjuk, hogy az adatsorok minősége a hosszú távú, éghajlati kutatásokban való felhasználhatóságuknak elsőrendű, elengedhetetlen követelménye, melynek nem kellő szintű biztosítása akár ellenkező jellegű tendencia kimutatására is vezethet. Másrészt a homogenizált adatsorok elemzésével megmutatjuk, hogy a hazai XX. századi hőmérsékleti sorok is melegedő tendenciát jeleznek. Ez a tendencia – részben az utóbbi meleg évek hatására – helyenként már túl is szárnyalja a globális $0,4-0,8$ °C-os intervallumot, főként, ha a $0,9$ megbízhatósági szintű konfidenciaintervallumokat is figyelembe vesszük. A nagyobb melegedés hazánk nyugati, a kisebb a keleti részén valószínűsíthető.

TÁRGYSZÓ: Meteorológia. Homogenizálás.

Az IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) harmadik beszámolója (*Houghton et al.* [2002]), amely több helyen jelentősen eltér az 1995-ben elfogadott második jelentéstől 2001 januárjában készült el. Nagy valószínűséggel sikerült megmagyarázni az évszázad első és második felében lezajlott két melegedési szakasz közti lehűlés okát, illetve pontosítani több, eddig kétes adatot.

A globális felszínhőmérséklet $0,6 \pm 0,2$ °C-kal melegedett a XX. században. Ez a melegedés két részletben következett be: 1910 és 1945, valamint 1976 és 2000 között. Az első szakaszban természetes okok (naptevékenység, vulkanizmus) játszották a fő szerepet a változásokban, míg a második szakaszban az emberi tevékenység. Az eddigi vizsgálati eredmények azt valószínűsítik, hogy az északi félgömbön az elmúlt ezer év legmelegebb éve (1998), a legmelegebb évtizede (az 1990-es évek), illetve az egy évszázad (XX. század) alatti melegedés mértéke mind az időszak végén következtek be. (A déli félgömről az adathiányok miatt nem tudunk hasonló értékeket adni.) A legmelegebb évek 1861-től kezdve, csökkenő sorrendben: 1998, 2002, 2003, 2004 és 2001. Az éjszakai napi mini-

* A tanulmány a „Dr. sen. Berényi Dénes születésének 100 éves jubileumi ünnepe” című kiadványban megjelent írás (szerk.: Dr. Szász Gábor, DE–MTA–OMSZ. Debrecen. 2001. 203–214. old.) kissé átdolgozott változata.

mumhőmérsékletek 1950 óta $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ év}$, a nappali maximumhőmérsékletek $0,1^{\circ}\text{C}/10\text{ év}$ sebességgel nőttek.

Ha külön-külön vizsgáljuk a változások idő- és térbeli viszonyait, akkor azt tapasztaljuk, hogy ezek egyenetlenül oszlanak el. Az időbeli alakulást figyelve a legmelegebb 1998 után, a 144 éves adatsor szerinti nyolcadik legmelegebb 1999-ben, majd a tizedik legmelegebb 2000-ben következett. Ennek az oka egyéb természeti jelenségben keresendő. Bár ebben az időszakban nem volt éghajlatilag jelentős vulkánkitörés, de az 1997-1998-as meleg periódusban uralkodó El Niño helyét a hideg La Niña vette át. Ennek következtében a trópusokon csak $0,17$ és $0,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os anomáliák alakultak ki az elmúlt két évben. Így az északi félteke trópusokon kívüli területeinek $0,74$, illetve $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os anomáliái voltak azok, amelyek az 1961–1990-es periódustól való $0,33$ és $0,29\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os globális hőmérsékleti eltérést döntően befolyásolták. Főként ezzel magyarázható az 1999 és 2000-es évek relatíve hűvös volta. Vannak azonban olyan területek is a Földünkön, amelyek hőmérséklete az elmúlt évtizedekben nem emelkedett. Ilyen például a déli félteke néhány óceáni területe, az Antarktisz egyes részei.

Úgy tűnhet számunkra, hogy ezek a változások esetleg nem is olyan nagyok, hiszen a mindennapi életben néhány tized fokos eltérést észre sem veszünk. Ez a melegedés azonban mintegy 2 héttel csökkentette az északi hemiszféra mérsékelt és magas szélességein a tavi és folyami jégtakaró fennmaradását (a XX. század folyamán), 10-15 százalékkal a tavaszi és nyári tengerjég területét (1950 óta) és globálisan 10 százalékkal a hóval borított területeket (az 1960-as évek vége óta). Ezek együttes hatásaként (hóolvadás és a meleg okozta térfogatnövekedés) a tengervíz szintje mintegy $0,1$ - $0,2$ métert emelkedett az elmúlt században.

Mivel a legnagyobb hőmérséklet emelkedés pontosan azon a területen van, ahol a legtöbb meteorológiai állomás helyezkedik el (trópusokon kívüli északi félgömb), ezért könnyen juthatunk arra a következtetésre, hogy a jelenség egyértelmű és bizonyított. Azonban a végső következtetés levonása előtt még azt is meg kell vizsgálnunk, hogy mennyire megbízhatók az adatsoraink.

Az adatokat befolyásoló tényezők

A mérési adatokat az észlelő személye, a mérési körülmények és a mérési eszközök befolyásolják. Az észlelő esetében a leggyakoribb hiba a skála rossz leolvasása volt. A tapasztalat szerint egy-egy észlelőnél egyes speciális hibák gyakorisága megnőhetett. Ezért fontos az észlelő nevén kívül a metaadat- (a méréshez kapcsolódó adatok) fájlban tárolni az észlelő címét (azonos nevű észlelők megkülönböztetésére), korát (egy családon belüli megkülönböztetésre) stb. Az észlelő tévedései túlnyomórészt nem szisztematikus hibák, ezért javításuk egyedileg történik. A legújabb típusú, az éghajlati adatbázison alapuló adatminőség ellenőrző rendszerek a paraméterek többségére automatikusan detektálják a gyanús adatokat, amelyek javítására is általában javaslatot adnak.

A mérési körülményekben bekövetkező változások a legszélesebb körűek lehetnek. Így ide tartozik az állomás áthelyezése. Az állomás elhelyezésére pontos ajánlásokat dolgozott ki a Meteorológiai Világszervezet (WMO). Az üzemeltetők törekszenek ezen ajánlások teljesítésére, de teljes mértékben csak nagyon ritkán sikerül ezeket betartani. Sokszor lehetőség sincsen az ajánlásoknak megfelelő környezet kiválasztására. (Gondol-

junk például a városi környezetre.) A WMO több éve próbálkozik városi meteorológiai állomások számára ajánlások létrehozásával, de eddig ilyenek még nem születtek meg. Hasonló a helyzet a magasabban fekvő állomásoknál. Még hazánkban is, ahol az erdőszűlség alacsony szintű, a magasabb tengerszint feletti részeket erdő borítja. Ennek ellenére nyilvánvaló, hogy ezekről a területekről is szükséges meteorológiai adatok gyűjtése. Ez az egyik oka egyébként annak is, hogy a nagyobb tengerszint feletti magasságokról származó meteorológiai adatok mennyiségével világszerte problémák vannak.

Minél nagyobb hatása van a mikroklimának a mérési eredményekre, annál nagyobb változást, inhomogenitást okoz az állomás áthelyezése. Az állomás mozgatása általában kényszer hatására történik. Oka lehet az, hogy a hely gazdája felmondja a szerződést, a környezetben olyan változások mennek végbe, amelyek lehetetlenné teszik az észlelések folytatását (építkezések), gazdasági szükségességek. Ezen utóbbira példa az állomások mozgatása a repülőterekre és a repülőterekről. Amíg volt hazánkban belföldi légi személyszállítás, célszerű volt a meteorológiai állomásokat a repülőterekre telepíteni, ami a WMO-előírásoknak is jobban megfelelt. A belföldi rendszeres személyszállítás megszűntével ezen állomások ellátása nehézségekbe ütközött, így jó részük elköltözött a repülőterekről. Jelenleg ismét van egy tendencia a városokból való kitelepülésre, elsősorban a repülőterekre, illetve a környékekre.

A mérés körülményeinek változásaihoz soroljuk a mérés idejének megváltozását. Ez elsősorban azokat a meteorológiai elemeket érinti, amelyeket napjában többször mérnek. (Megjegyezzük, hogy még az ugyanazon időben, naponta egyszer mért paraméternél, például a napi csapadékösszegeknél is keletkezhetnek problémák: Svédország és Norvégia ugyanabban az időben méri a csapadékösszeget, de míg az egyik ország az előző naphoz, a másik az aktuális naphoz rendeli hozzá az ugyanazon időben mért mennyiséget.) A leggyakrabban említett példa a léghőmérséklet mérése és napi átlagának számítása.

Ha matematikai szempontból néznénk a problémát, akkor a hőmérséklet napi járásának megfelelő görbe alatti terület átlagmagasságáról van szó. Ennek megoldása integrálásra, közelítő módszerekkel trapézok területének összegzésére vezethető vissza. Ez megfelelő közelítés, ha sok mérési időpontunk van. De az éghajlati állomásokon a napi háromszori mérés a kötelező. A mérések kezdetén a 06, 14 és 22 órás időpontban mérték (ez ma már pragmatikus, kényelmi okok miatt sem lenne tartható), aztán rátértek a 07, 14, 21 órás mérésekre. Egy ideig a két mérés párhuzamosan folyt (egyik állomás az egyik, a másik a másik időrend szerint), sőt voltak olyan észlelők, akik egyik összeállítást sem fogadták el. Az 1950-es években elkezdtek a szinoptikus állomások működni, ahol főállású észlelők 24 órás szolgálatban, óránként mérték. Az általános gyakorlatnak megfelelően ezeknek az állomásoknak a napi átlagértékei 8 adatból (3 óránkénti mérések) kerültek számításra. Mivel itt éjszakai mérések is szerepelnek, ezért ez a napi átlag nyilvánvalóan hűvösebb a három értékből számított napi átlagnál. Ezen a WMO úgy próbált segíteni, hogy a trapézmódszerhez jobban illeszkedően a napi átlag számításához, a 21 órás adatot kétszer véve, négy adat számtani közepének számítását javasolta (ez a kevés mérésekből jól közelíti a valódi napi átlagot). Tovább bonyolítja a képet, hogy az 1960-as évek első felében, a hazai gyakorlatban újabb változás következett be. Kétféle éghajlati állomás került kialakításra: az egyik (ún. éghajlati kisállomás) kétszer mérték naponta (07 és 19 órákor), míg a másikon (ún. éghajlati nagyállomás) háromszor észleltek és egyszer regisztráltak (01 órás regisztrátumok leolvasása, illetve mérés 07, 13 és 19 órákor). Ez a

változás is folyamatosan, 1-2 év alatt került bevezetésre, így a különböző rendszerű állomások párhuzamosan működtek. Még egyszer történt nagyobb változás az észlelések rendjében, az automatizálás folytán. 1996-tól 1999-2000-ig, egyre nagyobb teret hódítottak az automaták, míg az észlelők száma egyre csökkent. Így gyakorlatilag 10 perces adatok állnak rendelkezésünkre, amiből már nagyon jól lehet napi átlagot számítani, de értéke jelentősen eltérhet az eddigi napi átlagoktól.

A mérőműszerek helye is jelentősen megváltozott a század elején. Addig egy lehetőleg mindig árnyékban levő bádogházikóban történt a mérés, azután az ún. angol rendszerű hőmérő házikóban (Stevenson-féle házikó), ami lényegében ma is minden meteorológiai állomáson megtalálható. Az áttérés az angol hőmérő házikóra nagyon lassú volt, míg 1901-ben a klímaállomások 1, addig 1937-ben 97 százaléka rendelkezett vele. A bádogházikó beállítása volt nagyon nehéz, mivel ha nem volt északi fal, akkor valamilyen más megoldást kellett találni az árnyékolásra. Az árnyékoló házikó anyagára és felállítására különösen a maximum és a minimum hőmérséklet volt érzékeny. A faházban a nyári átlagos napi hőingás akár 1 °C-ot is csökkenhetett a bádogházhoz viszonyítva.

A műszerek változása kevésbé a mértékegységet (az első időszakban a párizsi láb, hüvelyk, Réaumur-fok stb., és a mértékegységek átváltását SI-rendszerbe egyszerű elvégezni), inkább az individuális mérőműszert, illetve a mérési elvben történő változást jelenti. Az egyes műszerek cseréjét azért fontos megjegyezni, mert más műszerhez más korrekció tartozik, míg az eltérő elven működő műszerek összehasonlítása csak statisztikailag ajánlott. A legnagyobb változások itt is az automatizálással következtek be, hiszen az addig főként vizuális műszerek helyett elektromos érzékelők kerültek alkalmazásra. Ezeknek részben a fizikai tulajdonságai is eltérők (például kisebb a tehetetlenségük), de gyakran elvileg is pontosabb mérést tesznek lehetővé. Így például míg a higanyos talajhőmérséklet mérésére (20 centiméterig) nemcsak az adott szinten levő, hanem az afeletti rétegek is hatást gyakoroltak, addig elektronikus műszer esetében pontosan az adott réteg hőmérséklete mérhető. Nehézséget okoz az ún. vizuális mérések (látástávolság, felhőalap stb.) kiváltása, de vannak paraméterek, amelyek mérése az automaták bevezetésével megszűnik. Ilyen a napfénytartam, a radiációs minimum stb. Természetesen valamilyen hozzájuk közeli paraméter megjelenik, de a két paraméter értelmezése eltérő lesz.

Röviden, a teljesség igénye nélkül ismertettünk olyan problémákat, amelyek az adatsorokba, főként a hosszú adatsorokba mesterséges változásokat, inhomogenitásokat visznek bele. Ha nem ezeket az éghajlattól idegen, antropogén jeleket akarjuk az éghajlatváltozási kutatások során detektálni, akkor ezeket az adatsorokból ki kell szűrni.

Az éghajlati adatsorok homogenitásvizsgálata, homogenizálása

A homogenizálás témaköre a mérési körülmények változásából következő hatások, inhomogenitások kimutatásával, és ezek lehetőség szerinti kiszűrésével foglalkozik. Tehát az adatsorok minőségének fogalmát a mérési körülmények változatlanságának elvárása alapján értelmezzük, és célunk, hogy ilyen szempontból lehetőleg minél jobb minőségű adatsorokkal rendelkezünk. A hazai és külföldi tapasztalatok szerint a helyzet nem túl kedvező, ugyanis a mérési körülmények változásának következtében fellépő inhomogenitások számos esetben jóval meghaladják az esetleges éghajlatváltozás feltételezhető mértékét. Az ilyen adatsorok természetesen nem alkalmasak az éghajlat jellemzésére,

vizsgálatára. Ugyan az adatsorok minősége különböző, azonban homogenitásuk vizsgálata nélkül az értékelésük sem lehetséges. Csupán az állomástörténetekre nem hagyatkozhatunk, mivel egyrészt hiányosak, másrészt ezek alapján az adatsorok többségét nem használhatnánk, hiszen szinte mindenütt történt valami változás. Tehát először is el kell fogadnunk a homogenitásvizsgálat szükségességét, bármilyen kellemetlen is ez. Kellemetlen, ugyanis ez például olyan következménnyel jár, hogy homogenitásvizsgálat hiányában, az adatsorok alapján levont következtetések, kutatási eredmények nem fogadhatók el hitelesnek, legalábbis megkérdőjelezhetők a tapasztalatok szerint. Egy további probléma a homogenitásvizsgálat módszertana, különös tekintettel a lehetséges ismeretlen éghajlatváltozásra. Ezenfelül felvetődik az inhomogénnek bizonyuló adatsorok sorsának kérdése is, ugyanis ha ezeket nem használnánk fel valamilyen módon, akkor szélsőséges esetben éghajlati régiók adatsorok nélkül maradnának. Tehát annak érdekében, hogy elkerüljük a hamis információk esetleges felhasználását, rengeteg értékes információt veszítenénk. A cél természetesen az összes rendelkezésre álló hiteles információ optimális felhasználása, melynek lehetséges és reális útja: az adatsorok homogenitásvizsgálata; inhomogén adatsorok esetén pedig azok homogenizálása, azaz korrigálása.

És éppen ez utóbbi a homogenizálás témakörének problematikája. A homogenizált adatsorok ugyanis bizonyos értelemben mesterséges adatsorok, szemben a megszokott természetes – „hiteles” méréseken alapuló – adatsorokkal. A végeredmény tehát nem túl szimpatikus, az ellenérzés érthető, és főleg ezzel magyarázható a téma ellentmondásos megítélése is. Alapvető kérdésről van szó ugyan, de mivel a megoldás riasztó, tehát dugjuk a fejünket homokba? Azonban választanunk kell, hogy vagy hamis információkat is felhasználunk, vagy értékes információkat elveszítünk, avagy megpróbáljuk a hamis információkat kiszűrni, azaz homogenizálunk. Úgy gondoljuk, hogy egyértelműen az utóbbi mellett kell döntenünk, vállalva a homogenizálás eredményével kapcsolatos bizonytalanságot, ami abból adódik, hogy az adatsorokon nemcsak javíthatunk, hanem ronthatunk is. Sőt fordítva, ha netalántán eredményül „tökéletes” adatsort is kapnánk, még erről sem bizonyosodhatunk meg soha. Tehát, ha elfogadjuk ezt a megközelítést, akkor egy illúzióval szegényebbek leszünk, cserébe viszont, valószínűleg, közelebb kerülünk az „igazsághoz”.

Az eddigiekből is következően, a témával kapcsolatos alapvető problémák, hogy milyen módszerekkel homogenizáljunk, továbbá, hogy milyen verifikációs módszerekkel csökkenthetjük a bizonytalanságot, és végül az úgynevezett homogenizált adatbázisok létrehozásának mikéntje. A problémakörök megoldásának alapvető eszközei: a matematika, a számítástechnika, valamint az éghajlati adattörténeti információk (metaadatok). Ahhoz, hogy adatsorainkból tömegével jó minőségű, homogenizált adatsort nyerjünk, ezen eszközök együttes alkalmazása szükséges. Közülük elsősorban a matematika szerepét emelnénk ki, ugyanis ez teszi lehetővé a probléma egzakt megfogalmazását, illetve megfelelő matematikai módszertan hiányában még csak esélyünk sincs a megoldásra. A számítástechnika szintén alapvető és nélkülözhetetlen eszköz, hiszen a világon meglévő hatalmas mennyiségű adatsor feldolgozása lehetetlen interaktív félautomatikus, automatikus számítógépes eljárások nélkül. Ami az éghajlati adattörténeti információk (például állomástörténetek) szerepét illeti, ezek felhasználásával egyrészt a homogenizáló eljárások minősége javítható, másrészt az ilyen jellegű információk elősegíthetik az eredmények verifikálását is, azaz a bizonytalanság csökkentését.

A vizsgált adatsorok és homogenizáló eljárásunk

Vizsgálatainknál tíz magyarországi főállomás évi középhőmérsékleti adatsorának (1901 és 2000 között) eredeti és homogenizált változatát hasonlítjuk össze. A vizsgált állomások: Budapest, Debrecen, Kecskemét, Miskolc, Mosonmagyaróvár, Nyíregyháza, Pécs, Sopron, Szeged, Szombathely. Kiválasztásuk oka az, hogy olyan kevés hiánnyal rendelkező adatsorok, amelyek az ország területét is elfogadhatóan reprezentálják, a hegyvidéki területeket kivéve. Megjegyezzük, hogy a hőmérsékleti közepek számítása – különös tekintettel a három terminusos mérésekre – az általánosan elfogadott szakmai ajánlásoknak megfelelően történt. Az eredeti adatsorok minőségének értékelésével már egy korábbi tanulmányunkban is foglalkoztunk (*Szentimrey* [2000]), melyben egyrészt a homogenizálás főbb kérdéseit taglaltuk, másrészt pedig pontosan az említett adatsorok bizonyos markáns inhomogenitásait mutattuk be. Ez utóbbinak pusztán illusztratív szerepe volt, ugyanis elemzésünk elsődleges célja magának a problémának az ismertetése, illetve a figyelem felhívása volt. Mindazonáltal az adatsorok homogenizálását is elvégeztük, így megvan a lehetőségünk az eredeti és a homogenizált adatsorok összehasonlító elemzésére.

Az adatsorok homogenizálását az utóbbi években kidolgozott programozott statisztikai eljárásunk (Multiple Analysis of Series for Homogenization – MASH) felhasználásával hajtottuk végre. Eljárásunk lényege (*Szentimrey* [1999], *Peterson et al.* [1998]), hogy az adatsorok homogenizálása nagy mennyiségű statisztikai, hipotézisvizsgálati eredmény félautomatikus, automatikus kiértékelése alapján történik. Mindez természetesen feltételezi a statisztikai információk megszerzéséhez szükséges matematikai módszertant, továbbá az ezen információk automatikus kiértékelését lehetővé tevő számítógépes algoritmusokat. Mára már a MASH-programrendszer a gyorsaság és az egyszerű alkalmazhatóság szempontjából is versenyképes, pedig matematikai eszköztára bonyolultabb az egyéb módszerekénél. Ami módszerünk nemzetközi fogadtatását illeti, már több országban alkalmazták, illetve alkalmazzák, és egyre több ország részéről tapasztalható érdeklődés. A homogenizálás témájában betöltött szerepünkkel kapcsolatban még megemlítenénk, hogy 2000-ben harmadszor rendeztünk nemzetközi homogenizálási szemináriumot, a Meteorológiai Világszervezet támogatásával.

Visszatérve az adatsorok homogenizálásának konkrét kérdéséhez, felsorolnánk néhány olyan módszertani elvet, melyeket a MASH-eljárás kidolgozásánál is figyelembe vettünk, következésképpen a vizsgált középhőmérsékleti adatsorok homogenizálása is ezen elvek alapján történt. Az egyik általánosan elfogadott elv szerint a havi adatsorokat homogenizáljuk, és az évszakos, éves sorokat a homogenizált havi sorokból származtatjuk. Módszertani szempontból a relatív homogenitásvizsgálati elv a leginkább elfogadott, illetve a módszerek döntő többségének ez az alapja. Ennek lényege, hogy egy adott éghajlati elem, különböző megfigyelési állomásokhoz tartozó, azonos időszakra vonatkozó, ugyanazon havi – vagy ugyanazon évszakos, esetleg éves – adatsorait hasonlítjuk össze, és az adatsorok viselkedésében levő esetleges ellentmondásokat keressük, vizsgáljuk. Az ezen elv alapján történő homogenizálás célja pedig pontosan a felfedezett ellentmondások megszüntetése, vagyis az ezeket okozó inhomogenitások kiszűrése az adatsorokból. Ilyen szempontból, (azaz tekintettel a detektált ellentmondásokra, meggyőződésünk szerint) a vizsgált tíz állomás adatsorának homogenizált változata sokkal jobb minőségű az

eredeti soroknál, amiből az is következik, hogy hitelesebben tükrözik az éghajlat esetleges változását. Ennek ellenére ezen adatsorok összességét még nem tekintjük egy a hazai középhőmérsékletre vonatkozó homogenizált adatbázisnak, ugyanis véleményünk szerint ennek létrehozása reprezentatívabb, sűrűbb állomáshálózatot igényelne, továbbá a magyarországi adatsorok esetleges szisztematikus hibáinak kimutatásához szükséges lenne a szomszédos országok adatsoraival való összehasonlítás is.

Eredmények

Célunk tehát az említett tíz főállomás, utóbbi száz évre vonatkozó (1901–2000), eredeti és homogenizált középhőmérsékleti adatsorainak összehasonlító vizsgálata, különös tekintettel az esetleges melegeedésre. Ilyen szempontból az egyik legegyszerűbb és legközkedveltebb módszer a lineáris trendvizsgálat. Mi magunk is csupán erre szorítunk, egyrészt a módszer szemléletessége miatt, másrészt első közelítésben nem tartunk szükségesnek komplikáltabb matematikai eljárásokat. A matematikáé volt amúgy is a főszerep a homogenizáló eljárás létrehozásánál. Jelen tanulmányunkban főleg arra kívánjuk felhívni a figyelmet, hogy milyen eltérő következtetésekre juthatunk homogenizálatlan, illetve homogenizált adatsorok alapján, és ilyen szempontból természetesen meghatározó szerepe van az alkalmazott homogenizáló eljárások minőségének. A trendvizsgálati eredmények értékeléséhez azonban előljáróban szükségesnek tartunk néhány megjegyzést. A lineáris trendvizsgálat a szokásosnál általánosabban is értelmezhető, azaz nem szükséges annak feltételezése, hogy a trendfüggvény lineáris függvénye az időnek. Általánosan a legkisebb négyzetek módszerével illesztett lineáris trendvonal annak a lineáris trendfüggvénynek a becslése, amelyik a legjobban „illeszkedik” az adott adatsor időbeli változásának alaptendenciáját jellemző nem feltétlenül lineáris trendfüggvényre. Ilyen értelemben az esetleges növekedési vagy csökkenési tendencia az említett lineáris trendfüggvény iránytangensével (trendmeredekség) jellemezhető, melynek jó becslése a lineáris trendvonal iránytangense, továbbá ennek felhasználásával konfidenciaintervallum (intervallumbecslés) is adható a kérdéses meredekségre.

Az eredeti és a homogenizált évi középhőmérsékleti adatsorokhoz (1901–2000) tartozó trendmeredekségek becslései, valamint a 0,9 megbízhatósági szintű konfidenciaintervallumok

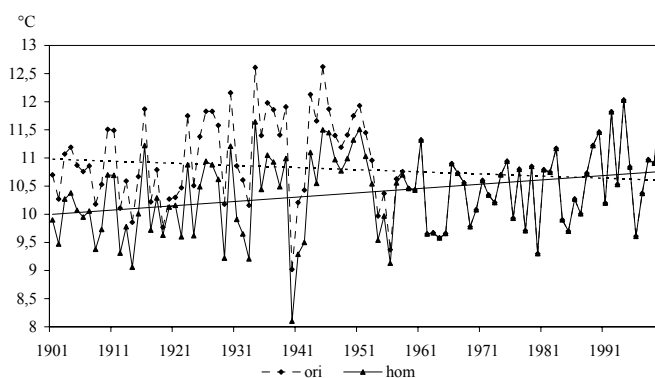
Állomáshely	Trendmeredekség (°C/100 év)			
	Becslés		0,9 szintű konfidenciaintervallum	
	Eredeti	Homogenizált	Eredeti	Homogenizált
Budapest	1,02	0,72	(0,65 ; 1,40)	(0,35 ; 1,10)
Debrecen	0,94	0,57	(0,54 ; 1,34)	(0,17 ; 0,96)
Kecskemét	0,37	0,62	(−0,05 ; 0,79)	(0,22 ; 1,02)
Miskolc	0,39	0,59	(−0,15 ; 0,92)	(0,18 ; 1,00)
Mosonmagyaróvár	0,33	0,85	(−0,08 ; 0,73)	(0,45 ; 1,25)
Nyíregyháza	0,34	0,49	(−0,08 ; 0,77)	(0,07 ; 0,92)
Pécs	−0,38	0,76	(−0,83 ; 0,07)	(0,36 ; 1,17)
Sopron	0,85	0,82	(0,45 ; 1,25)	(0,43 ; 1,22)
Szeged	−0,61	0,60	(−1,07 ; −0,15)	(0,19 ; 1,01)
Szombathely	0,33	0,72	(−0,06 ; 0,73)	(0,33 ; 1,11)
Átlagsor	0,36	0,68	(−0,03 ; 0,75)	(0,29 ; 1,07)

A táblában a száz évre vonatkoztatott trendmeredekségek (az iránytangensek százszorosainak) becsléseit, illetve a rájuk vonatkozó 0,9 megbízhatósági szintű konfidenciaintervallumokat tüntettük fel.

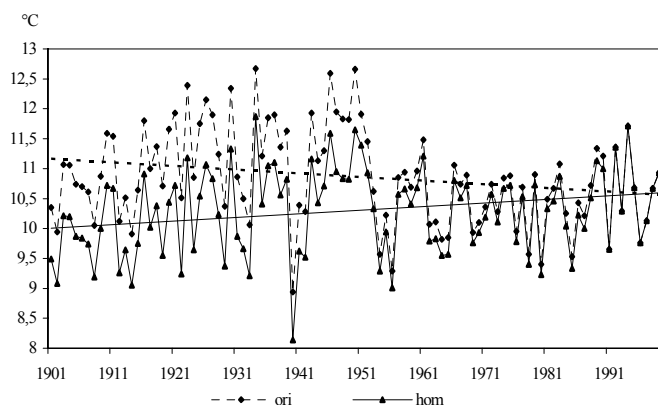
A tábla első két oszlopában az eredeti – homogenizálatlan –, illetve a homogenizált adatsorokhoz tartozó trendmeredekségek becslései, míg a további két oszlopban a trendmeredekségeket 0,9 valószínűséggel tartalmazó konfidenciaintervallumok találhatók. A XX. század folyamán bekövetkezett melegedés – avagy hűlés – mértéke a trendek becsült meredekségeivel, valamint a konfidenciaintervallumokkal jellemezhető. Az ábrákon hat állomás homogenizálatlan, illetve homogenizált adatsora látható, az illesztett lineáris trendvonalakkal.

A táblát tekintve, két olyan állomást is találunk – Pécs (1. ábra), Szeged (2. ábra) –, ahol az eredeti adatsorok negatív tendenciát mutatnak, tehát ha eltekintünk a mérési körülmények megváltozásától, akkor arra a következtetésre juthatnánk, hogy a hőmérséklet csökkent.

1. ábra. Pécs eredeti (ori) és homogenizált (hom) évi középhőmérsékleti adatsora (1901–2000), az illesztett lineáris trendvonalakkal



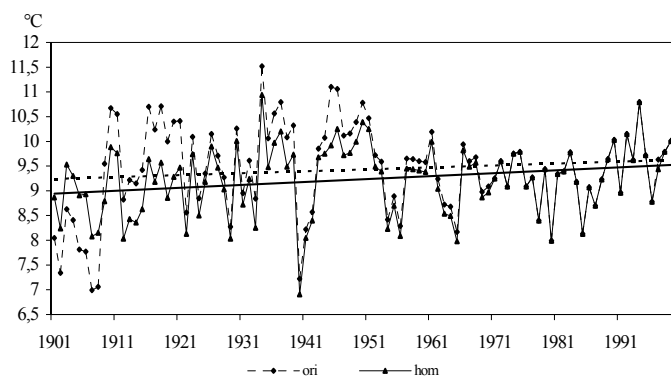
2. ábra. Szeged eredeti (ori) és homogenizált (hom) évi középhőmérsékleti adatsora (1901–2000), az illesztett lineáris trendvonalakkal



Ezek a helyeken azonban a városi állomás a környékbeli repülőtérre költözött, ami sokkal hidegebb a városi területnél, ezért egy-egy időszakon belül hiába van melegedés – ami jól látható Pécsnél és Szegednél is, különösen az évszázad vége felé –, a költözés okozta törést ez nem tudta kiegyenlíteni. Ugyanakkor viszont mindkét esetben a homogenizált idősor becsült trendje pozitív, azaz melegedés tapasztalható ezeken a helyeken is. A homogenizálás igen nagy (+1,14, illetve +1,21-es) értékkel növelte meg a becsült trendmeredekségeket, ami a XX. századra vonatkozóan a 0,38 °C-os, 0,61 °C-os lehűléseket, 0,76 °C-os, illetve 0,60 °C-os melegedésre változtatta. Különösen jelentős ez, ha a statisztikai szempontból informatívabb 0,9 megbízhatósági szintű konfidenciaintervallumokat is megnézzük. Szegeden például nagyon valószínűnek látszott a hűlő tendencia, mivel még a felső konfidenciahatár is negatív tartományban volt, és akár 1 °C-os hőmérsékletcsökkenés is befért a 0,9 megbízhatósági szintű intervallumba. A homogenizálás után a negatív határok pozitív előjelűek lettek, azaz ezeken a helyeken is nagyon valószínűvé vált, hogy a hőmérséklet melegszik. A konfidenciaintervallumok alapján, a homogenizálatlan sorokat tekintve a 10 állomás közül 7 esetben (Kecskemét, Miskolc, Mosonmagyaróvár, Nyíregyháza, Pécs, Szeged, Szombathely) nem lehetett kizárni a negatív trend lehetőségét, míg homogenizált esetben valamennyi állomásnál valószínűsíthető a melegedés.

Azonban nem csak előjelváltások fordulhatnak elő. Miskolcon (3. ábra) és Kecskeméten például a melegedő tendencia változatlan maradt ugyan, de mértéke növekedett. Ennek oka is az állomások mozgásában keresendő, hiszen Miskolcon például az állomás a repülőtérrel költözött az Avasra.

3. ábra. Miskolc eredeti (ori) és homogenizált (hom) évi középhőmérsékleti adatai (1901–2000), az illesztett lineáris trendvonalakkal

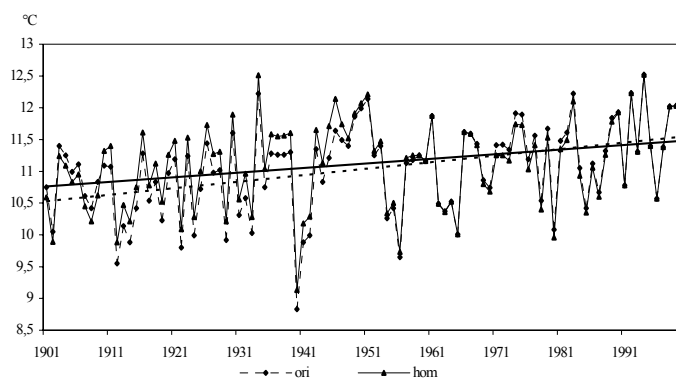


Megjegyezzük, hogy ezek a pozitív irányú módosulások azért is jelentősek, mert egyfelől nagy biztonsággal kizárhatjuk a hűlő tendenciát – az alsó konfidenciahatárok kikerültek a negatív tartományból –, másfelől a melegedés mértéke összhangba került a globálisan megállapított határokkal.

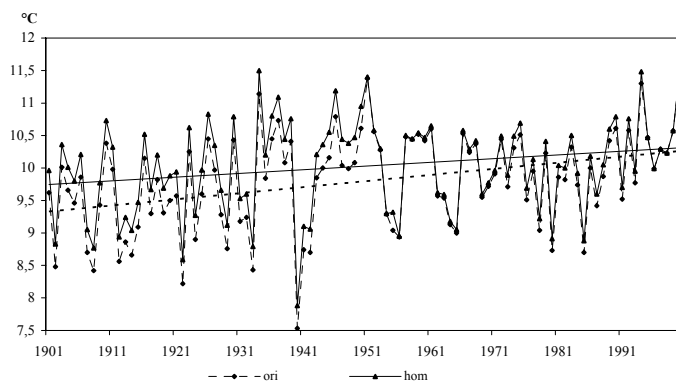
A homogenizálás által azonban nemcsak melegedőbb tendenciájúvá váltak idősorok, hanem vannak esetek, amikor a homogenizálás a melegedés mértékét csökkentette. Például Budapest és Debrecen esetében (lásd a 4., és az 5. ábrát) 0,3, illetve 0,37 °C-kal

csökkent a becsült trendmeredekség az inhomogén viszonyokhoz képest. Ennek okát Budapest esetében abban kereshetjük, hogy a homogenizálás valószínűleg kiszűrte a város-hatást, míg Debrecenben inkább az állomás költözése lehet a változás oka. A budapesti adatsor esetében a feltevés azért is valószínű, mert a homogenizálás során alkalmazott egyik eljárással már sikerült kimutatni a fővárosi városi hőszigetet.

4. ábra. Budapest eredeti (ori) és homogenizált (hom) évi középhőmérsékleti adatsora (1901–2000), az illesztett lineáris trendvonalakkal



5. ábra. Debrecen eredeti (ori) és homogenizált (hom) évi középhőmérsékleti adatsora (1901–2000), az illesztett lineáris trendvonalakkal

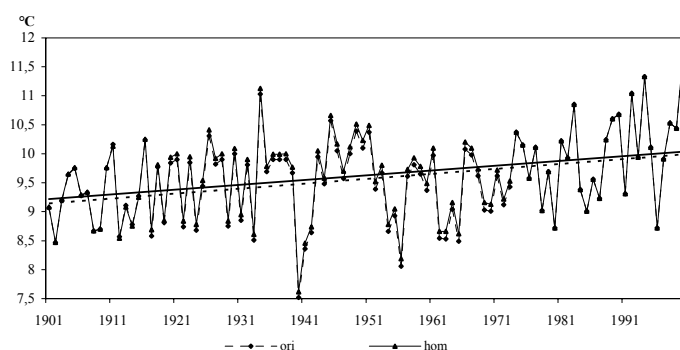


Végül bemutatunk olyan esetet is, amikor a homogenizálás gyakorlatilag nem változtat a melegedés mértékén, mint például Sopronnál (lásd a 6. ábrát), ahol homogenizálás előtt 0,85, utána pedig 0,82 volt a becsült trend értéke. Ennek oka nyilvánvalóan az, hogy a mérés körülményeiben nem volt nagyobb hőmérsékletre ható változás, avagy az ilyen hatások kiegyenlítették egymást.

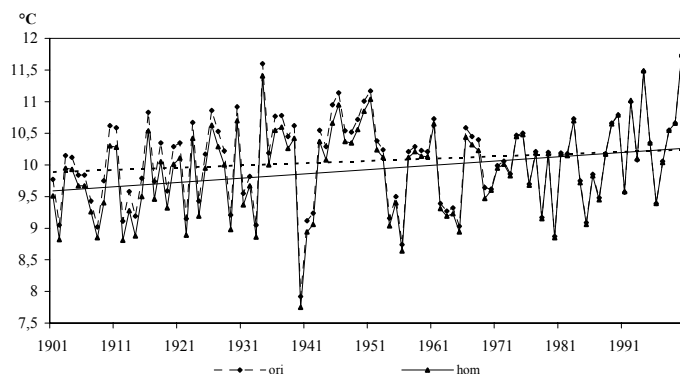
Végeredményben láthatjuk, hogy a homogenizált adatsoroknál a melegedés mértéke a globális tendenciákkal összhangban van, de azoknál valamivel nagyobb. A tíz állomás becsült trendmeredekségeinek számtani közepe 0,67, amitől lefelé és felfelé egyaránt legfeljebb 0,18 °C-os eltérés tapasztalható. Így azt mondhatjuk, hogy a hazai adatok alátámasztják a globális eredményeket, bár azoknak inkább a felső tartományában helyezked-

nek el. A globális 0,4-0,8 °C-os intervallumot csak két állomás, Sopron és Mosonmagyaróvár lépi túl egy kicsivel, a többi érték az intervallumon belül marad. A homogenizálás során csak magyarországi adatokat használtunk fel, azaz külső adat nélkül homogenizáltunk. Ebből következően a kapott eredmények a hazai éghajlat jellegzetességeit tükrözik, és nem valamely regionális vagy globális hatás következményei. A homogenizált adatokhoz tartozó eredmények érdekes földrajzi elhelyezkedést mutatnak. Egyrészt ugyan valamennyi állomás konfidenciaintervalluma tartalmazza az összes többi állomás becsült trendjét, tehát az azonos mértékű melegedés nem zárható ki, azonban a legnagyobb becsült trendmeredekségek az ország nyugati részén találhatók (Sopron 0,82; Mosonmagyaróvár 0,85; Szombathely 0,72; Pécs 0,76), míg az alacsonyabbak az ország keleti végein fordulnak elő (Miskolc 0,59; Debrecen 0,57; Nyíregyháza 0,49; Szeged 0,60). Ennek a jelenségnek a vizsgálata további kutatást igényel, amihez a homogenizált adatbázis további fejlesztése is szükséges.

6. ábra. Sopron eredeti (ori) és homogenizált (hom) évi középhőmérsékleti adata (1901–2000), az illesztett lineáris trendvonalakkal



7. ábra. Tíz állomás adataiból számított eredeti (ori) és homogenizált (hom) évi középhőmérsékleti átlagsor (1901–2000), az illesztett lineáris trendvonalakkal



Az országos átlagot bemutató 7. ábra jól szemlélteti az 1. tábla adatait, azaz, hogy a homogenizált adatsorok esetében a száz évre kivetített melegedés mértéke majdnem kétszerese a homogenizálatlan adatsorok segítségével készített becslésnek. Ezzel egyértel-

műen bizonyítottuk, hogy nagy időtávot átfogó éghajlati vizsgálatok esetében a homogenitás vizsgálata, illetve a homogenizálás elvi jelentőségű lehet, hiánya alapján rossz következtetések levonására vezethet.

IRODALOM

- HOUGHTON, J. T. ET AL. (SZERK.) [2002]: *IPCC WGI. Third Assessment Report*. Cambridge University Press.
- PETERSON, T. C. ET AL. [1998]: Homogeneity adjustments of *in situ* atmospheric climate data: a review. *International Journal of Climatology*. 18. sz. 1493–1517. old.
- SZENTIMREY, T. [1999]: *Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH)*. *Proceedings of the second seminar for homogenization of surface climatological data*. WMO, WCDMP. 41. sz. 27–46. old.
- SZENTIMREY, T. [2000]: Az éghajlati idősorok homogenizálásának alapvető kérdései. In: *OMSZ-Beszámolókötet 1999*. 127–145. old.

SUMMARY

The Third Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change raised large interest in the global summary of the last century's climate. The global warming by $0,6 \pm 0,2$ °C has serious consequences for most of the Earth population. We meet two questions in connection with this: how deeply are these results established and what is the situation in Hungary? This paper makes an attempt to answer both of these questions. Firstly, we make an evidence, that the quality of time series is the basic requirement of their use in the climatological research for long periods. Neglecting this condition, the research can have as a result even a diametrically opposed consequence. Secondly, we prove by the use of homogenized time series, that the Hungarian time series on temperature show warming. This tendency is somewhat steeper than the global $0,4\text{--}0,8$ °C interval, especially, when we consider the 0,9 confidence interval. We have a larger warming on the western, and a smaller one on the eastern part of the country.