

RÁCZ LAJOS

Létezik-e a jelenkori globális felmelegedés? Avagy kései reflexiók egy tudományos hitvitáról

Ennek a rövid tanulmánynak a megírására kutatói pályám egyik legnagyobb traumája ösztönzött. Az időpont a 2000-es évek eleje, a helyszín az akkori Roosevelt, ma Széchenyi István téri Magyar Tudományos Akadémia főépület egyik előadóterme, az alkalom pedig egy, a globális klímaváltozások magyarországi regionális sajátosságairól szóló klimatológiai akadémiai doktori értekezés vitája. Sokáig úgy tűnt, hogy a vita az ilyenkor szokásos mederben halad, beágyazva a meteorológiai szaknyelv korlátai közé, ami a dekódolásban kevésbé járatosak számára garantálja a békés érdektelenség lelkiállapotát. Valahol a vita derekán azonban felállt a bíráló bizottság egyik tekintélyes tagja, s közölte, hogy mivel nézete szerint a globális felmelegedés nem több, mint hipotézis, ezért bármi, ami erre a szerinte megalapozatlan hipotézisre épül, tudományos szempontból értelmetlen, érdektelen és értéktelen. Ha valakinek ezek után még kétségei maradtak volna, elismerésre méltó őszinteséggel elmondta, hogy a felemlített koncepcionális okból ő nulla pontot fog adni a szavazáskor. A kijelentés nem tett jót a hangulatnak, s mivel a jelölt részben az általam előállított adatsorok alapján dolgozott, a bizottsági tag állásfoglalása közletről érintett. Akkori véleményemet talán úgy összegezhetem, hogy a bizottsági tag álláspontját súlyosan megalapozatlannak, sőt rosszhiszeműnek gondoltam. Sokáig eltemettem magamban ezt a traumát, melyet aztán egy véletlen esemény hívott újra elő, méghozzá az, hogy Danka Miklós, az Ursus Libris Kiadó tulajdonosa 2010-ben felkért arra, hogy lektoráljam John Robert McNeillnek a 20. század környezettörténetéről¹ írt könyve magyar változatát, és a klímátörténeti fejezetet olvasva újra szembe kerültem a kérdéssel: a jelenkori globális felmelegedés egy tétova hipotézis, vagy létező realitás?

A GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁSOK TRENDJEI

A bizottsági tag állásfoglalásának megítélése bizonyos mértékig tudománytörténeti kérdés, ami úgy fogalmazható meg, hogy azon információk birtokában, amelyek az ezredforduló környékén rendelkezésére álltak, gondolhatta-e egy

¹ McNeill 2011.

szak kutató, hogy a jelenkori globális felmelegedés nem létezik. A szóban forgó kutató egyik információforrása bizonyosan az 1995-ös második IPCC jelentés volt,² a 2001-es harmadik jelentés ekkor még nem állt rendelkezésre, hiszen a vele folytatott beszélgetésem során hivatkozott is erre, s felhívta a figyelmemet a jelentés klímátörténeti vonatkozásaira. A másik klímátörténeti adatbázis a buda(pest)i hőmérsékleti és csapadék idősor, amelynek a 20. századra vonatkozó homogenizációját Szentimrey Tamás már ekkor elvégezte.³

Az 1995-ös IPCC jelentés, mely 1996 júniusában jelent meg, határozottan állást foglalt amellett, hogy a globális felmelegedés létezik, s ebben a folyamatban döntő szerepet játszik a szén-dioxid koncentráció növekedése, melyet elsősorban a növekvő ipari tevékenység és az energiatermelés által kiváltott környezeti hatások mozgatnak.⁴ Ezekkel a megállapításokkal közel sem értett mindenki egyet a korabeli meteorológus társadalomban. Frederick Seitz⁵ a kiadvány szerkesztőit a *Wall Street Journal*-ben megjelent írásában a jelentés manipulálásával vádolta meg.⁶ Seitz szerint a szerkesztők olyan, korábban konszenzussal elfogadott mondatokat vettek ki a jelentésből, mint például: „Bármely állítás arra vonatkozóan, hogy szignifikáns éghajlatváltozás lett volna kimutatható, valószínűleg vitatható marad mindaddig, amíg az éghajlati rendszer természetes változékonyságából eredő bizonytalanságot nem sikerül csökkenteni”.⁷ A kihagyott mondatok híján alapvetően megváltozott a jelentés konklúziója, és írásában Seitz nem habozott megnevezni a manipulációért felelős személyeket, akikkel ezt követően még évekig hadat viselt előbb a *Wall Street Journal* hasábjain, majd, miután a téma vesztett hétköznapi aktualitásából, a vitázó felek már egyre inkább csak a szaklapokban állítottak egymásról kellemetlen dolgokat.

A második IPCC jelentés klímátörténeti diagramja jelzi a 20. század melegedési trendjét, de látva a korábbi évszázadok klímátörténeti hullámzásait, Seitz kétségei nem tűnnek teljességgel megalapozatlannak (1. ábra). Különösen elbizonytalanító, ha részleteiben vizsgáljuk meg a 20. század klímátörténeti folyamatait (2. ábra).

² IPCC az *Intergovernmental Panel on Climate Change*, azaz az Éghajlat-változási Kormányközi Testülete 1988-ban alakult meg. Létrehozását az ENSZ Környezeti Programja (UNEP) és a Meteorológiai Világszervezet (WMO) kezdeményezte. Célja, hogy értékelje és összefoglalja az emberi tevékenység által kiváltott klímaváltozással kapcsolatos kutatási eredményeket. Saját kutatást nem végez, referált tudományos publikációkat dolgoz fel, és ezek tartalmát jelentéseiben foglalja össze. A jelentések megjelenésének évei: 1990, 1996, 2001, 2007, az ötödik jelentés közzétételére a tervek szerint 2014-ben kerül majd sor.

³ Szentimrey 1999.

⁴ Houghton et al. (eds.) 1996.

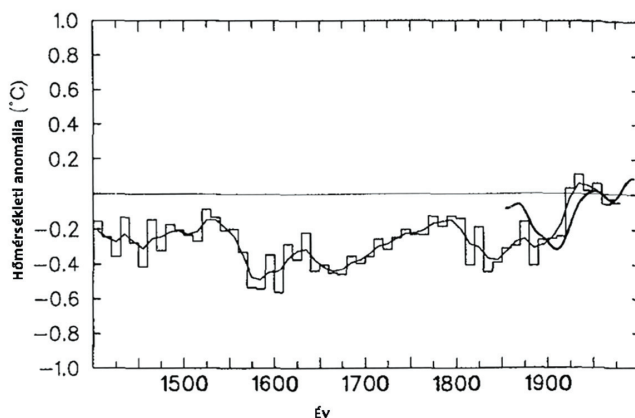
⁵ A Rockefeller Egyetem (*The Rockefeller University, New York City*) korábbi elnöke, a George C. Marshall Intézet (GMI) vezetője.

⁶ A vitáról magyar nyelven Czelnai Rudolf számolt be. Czelnai 1997.

⁷ Frederick Seitz írása a *Wall Street Journal* 1996. június 12-i számában jelent meg a szerkesztői rovatban véleménylevélként. Idézi Czelnai 1997: 532.

1. ábra

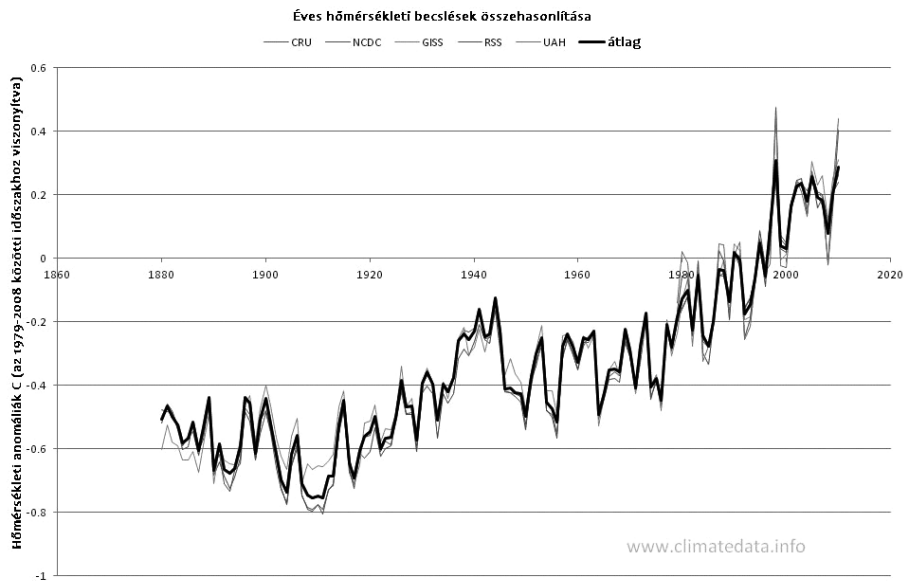
Nyári hőmérsékleti anomáliák a 14. század elejétől a 20. század végéig klímátörténeti, természettudományos és műszeres észlelések idősorai alapján



Forrás: Második IPCC jelentés 1996.

2. ábra

Az éves globális hőmérsékleti átlagértékek eltérése az 1979–2008 közötti időszak átlagától



Forrás: <http://www.climatedata.info/Temperature/reconstructions.html> (Utolsó letöltés: 2013. július 5.)

Jól nyomon követhető és adatolható, hogy a 20. század első harmadának melegedési trendje az 1940-as évek elején megtört, az 1970-es évek derekáig semmiféle szignifikáns éghajlatváltozási tendencia nem volt érzékelhető, sőt egy csekély mértékű lehűlés is mutatkozott. A későbbi fejlemények ismeretében a század második harmadát a klímátörténet huszadik század közepi lehűlésnek, vagy visszahűlésnek nevezte el. Az 1960-as években tudományos körökben az a lehetőség is felvetődött, hogy az emberiségre leselkedő legnagyobb éghajlati veszedelem a nagy, vagy a geológiai elnevezés szerint pleisztocén jégkorszak visszatérése.⁸ A glaciológusok körében jelentős tábora van annak a nézetnek, hogy a 2,5–3 millió éve elkezdődött pleisztocén jégkorszak valójában nem ért véget, ezért nevezik a geológiai jelenkort flandriai interglaciálisnak.⁹

MAGYAR IDŐSOROK

Magyarországon a rendszeres műszeres észlelés szórványos előzmények¹⁰ után 1755-ben kezdődött a nagyszombati egyetemen. Mária Terézia 1777-ben áthelyezte az egyetemet Budára, ahol 1780. január 1-től folynak meteorológiai észlelések, ám a kezdetektől folyamatos idősorral csak a hőmérséklet alakulásáról rendelkezünk, melyhez csupán 1841-től társul csapadék idősor.¹¹ A szakirodalom a budai idősor különféle verzióit használja, amelyek alapvetően az alap idősor különféle homogenizációjában különböznek egymástól. A hosszú távú klímátörténeti folyamatok elemzéséhez a *Váraljamet* elnevezésű meteorológiai honlapon¹² közzölt havi buda(pest)i hőmérsékleti és a Szentimrey Tamástól kapott csapadék idősorokat használtam fel.

A hosszú távú klímátörténeti trendvizsgálatok protokolljától két vonatkozásban tértem el. Egyfelől nem a hőmérsékleti és csapadék idősorok abszolút értékeit, illetve az azokból képzett idősorokat elemeztem, hanem a havi átlagok egy kiválasztott referencia időszaktól való eltérését. A referencia időszak kiválasztását illetően a meteorológiai szakirodalom két kritériumot fogalmaz meg:¹³ részint legalább 30 éves időszak átlagának kell lennie, részint pedig olyan időszakot szükséges választani, amelynek nincs egyértelmű és egyirányú éghajlati

⁸ McNeill 2011.

⁹ A flandriai interglaciális elnevezést geológusok és régészek használják a 12.000 éve elkezdődött földtörténeti korszak megjelölésére, ily módon a holocén szinonimájának tekinthető. A jég visszahúzódásának első jeleit a Brit-szigeteken, illetve a Németalföldön mutatták ki (ez utóbbi adta az elnevezést). A flandriai interglaciális szakkifejezést használó kutatók feltételezik, hogy a pleisztocén jégkorszak nem ért véget, s a flandriai interglaciális egy újabb eljegesedési hullám fogja követni, amit a jelenkori globális felmelegedés is csak ideig-óráig képes hátráltatni. Lásd például Tooley 1979; Stoker 2010.

¹⁰ Erről részletesebben Rác 2001.

¹¹ Ambrózy 1981; Rác 2001.

¹² http://www.varaljamet.eoldal.hu/cikkek/eghajlati-adatok/climate_budapest.html. (Utolsó letöltés: 2012. június 29.)

¹³ Péczely 1981.

trendje. Tudományos szocializációm idején, az 1980-as és az 1990-es években az 1901–1960 közötti hat évtized volt az általánosan elfogadott referencia időszak, s korábbi munkáimban ennek az időszaknak az átlagával vettem össze klímátörténeti rekonstrukcióm adatait. Ugyanakkor az ezredforduló tájától a meteorológiai szakirodalomban referencia időszakként túlsúlyba került az 1961–1990-es időszak átlaga. A vonatkoztatási átlag kiválasztására nincs nemzetközileg elfogadott egyezmény, ugyanakkor meteorológus kollégám, Petr Dobrovolný¹⁴ tanácsára hallgatva követtem a nemzetközi meteorológiai szakirodalomban felerősödő trendet.

A másik eltérés a szabványos klímátörténeti vizsgálatoktól, hogy az idősoraimat nem havi-évszakos-éves szerkezetben ábrázoltam és elemeztem, hanem „valós időben”. Ez annyit tesz, hogy az 1961–1990 közötti átlagtól való eltérést rendeztem sorba, a hőmérséklet esetében 1780 januárjától kezdődően, amit ebben a szokatlan elrendezésben 1780 februárja, márciusa, áprilisa (stb.) követett. A csapadék esetében 1841 januárjával kezdődik az idősor, s ugyancsak az egymást követő hónapokkal folytatódik. Ennek a megközelítésnek, illetve ábrázolási módnak a legfontosabb erőssége, hogy ilyen módon megjeleníthetővé válnak az akkumulálódó klimatikus eltérések. Jó példa erre az 1810-es évek derekának, illetve második felének „nyár nélküli évei”. A klímátörténeti anomáliát az indonéziai Tambora vulkán kitörése váltotta ki 1815. április 5. és 11. között. A vulkánkitörés hetes erősségű volt, ami a történeti korokban valaha tapasztalt legmagasabb érték a kitörési skálán,¹⁵ az összeomló kaldérából 80 köbkilométernyi vulkáni anyag löködött ki a légkörbe,¹⁶ s a vulkáni fátyol még évekig az atmoszférában lebegett árnyékot vetve a Föld felszínére, ily módon visszaverve a napsugárzás tetemes részét. A klímátörténeti szakirodalomban a vulkánkitörést követő esztendőkről „nyár nélküli évek”-ként emlékeznek meg.¹⁷ Szakál Veronika szakdolgozatában az 1810-es évek klímátörténetét dolgozta fel, s a budai idősor adatai alapján arra a következtetésre jutott, hogy a Kárpát-medencében nem mutatható ki a vulkánkitörés tartós éghajlat módosító hatása.¹⁸ Szakál Veronika a vizsgálat során a vegetációs időszak, de mindenekelőtt a nyarak hőmérsékleti viszonyaiban bekövetkezett változásokat elemezte, amelyekben valóban nem volt karakteres nyoma az Északnyugat-Európában és Észak-Amerikában tapasztalható lehűlésnek. Abban az esetben azonban, ha nem a havi-évszakos-éves idősorok

¹⁴ Petr Dobrovolný a brnói Masaryk Egyetem Földrajzi Intézetének tanszékvezetője, az európai klímátörténeti kutatás egyik meghatározó alakja. Igen fontos publikációja a témában: Dobrovolný et al. 2010.

¹⁵ A vulkánkitörési index (*Volcanic Explosivity Index*, VEI) relatív mérőszám a vulkáni kitörések erősségének osztályozására. A mérőszámot 1982-ben vezette be Chris Newhall és Steve Self amerikai geológus. A kutatók a skálán 0-tól 8-ig értékig súlyozzák a vulkánkitörések erősségét. A történelmi idők legnagyobb kitörése, az indonéziai Tambora 1815-ös kitörése 7-es fokozatú. Ennél nagyobb (8-as, 9-es) kitöréseket csak a földtörténetből ismerünk.

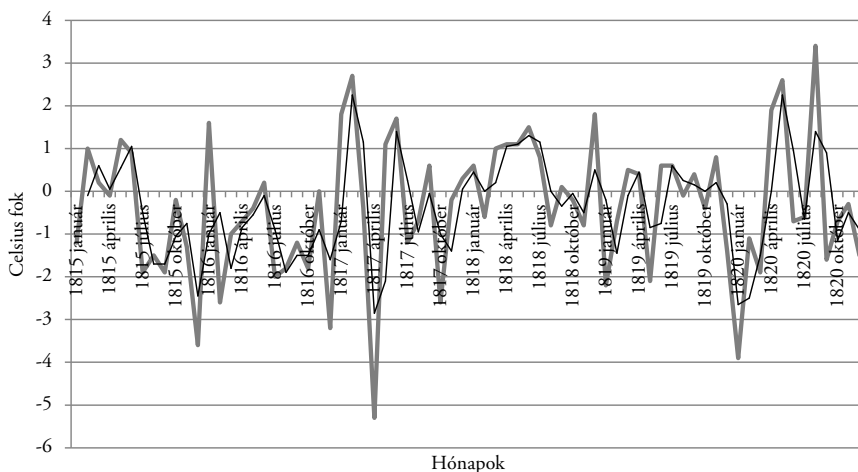
¹⁶ Stothers 1984.

¹⁷ Oppenheimer 2003.

¹⁸ Szakál 2012.

3. ábra

A budai hőmérsékleti idősor havi átlagainak eltérése az 1961–1990 közötti időszak átlagaitól 1815 januárjától és 1820 decemberéig



logikája alapján közelítünk a klímaváltozások kérdéséhez, hanem a „valós idejű” ingadozásokat vizsgáljuk, láthatóvá válik a Tambora kitörésének éghajlat módosító hatása, még a Kárpát-medencében is (3. ábra). A Tambora kitörése 1815 áprilisában történt, de érdemi lehűlés Magyarországon csak júliusban mutatkozott. Ezt követően azonban, leszámítva 1816 igen enyhe januárját, s az átlagnál valamivel melegebb júniusát, a hónapok középhőmérséklete 1816 decemberéig alatta maradt a referencia időszak átlagának. Az egymást követő hónapok hőmérsékleti deficitjét követve kimutatható, hogy a Tambora kitörése mintegy másfél évig gyakorolt befolyást a Kárpát-medence időjárására, s jelentősebb hatással volt a tavaszok, vagy az őszi hőmérsékletjására, mint a nyarakéra.

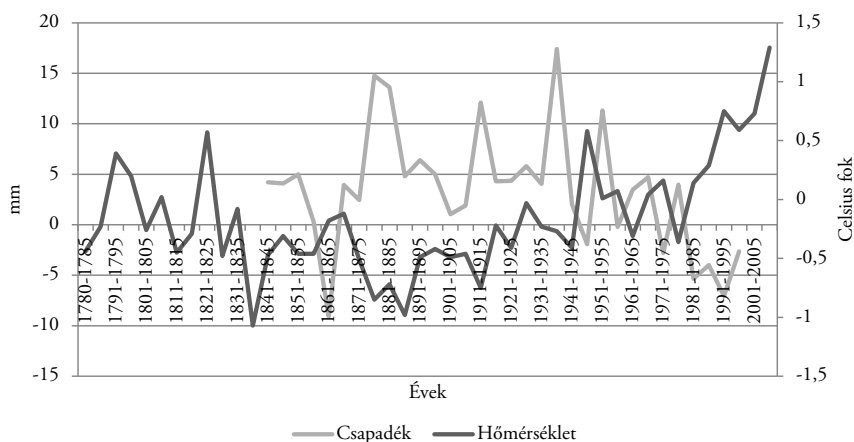
HOSSZÚ TÁVÚ TRENDEK A KÁRPÁT-MEDENCE ÉGHAJLATÁBAN A 19. ÉS A 20. SZÁZAD SORÁN

Az éghajlati trendek kutatása során az átlagtól való eltérést bemutató „valós idejű” idősorok nemcsak használhatók, de az eltérések akkumulációját ilyen módon pontosabban is ki lehet mutatni, mint a konvencionális idősoros vizsgálatokban. Nézzük, mit tud a módszer, illetve mit mutat az ily módon létrehozott idősor a Kárpát-medence hosszú távú klímaváltozásaira vonatkozóan.

A nemzetközi szakirodalom a kis jégkorszak négy nagy lehűlését különíti el: a 14. század derekát, a 16. század utolsó harmadát, a 17. század utolsó harmadát,

4. ábra

A budapesti hőmérsékleti (1780-tól) és csapadék (1841-től) idősorok öt éves átlagainak eltérése az 1961–1990-es évek átlagától



és a 19. század derekát.¹⁹ A kis jégkorszak karakteres időszakaiban a klíma hűvössé és csapadékosná vált a Kárpát-medencében.²⁰ A csapadékmérleg eltolódását jelzi, hogy a 14. századtól kezdődően folyamatosan emelkedett a Balaton vízszintje,²¹ s a déli part települései folyamatosan hátráltak, illetve számos meg is szűnt közülük.²² A hűvös-csapadékos klíma rezsim minden jel szerint a 17. században tetőzött, ekkor a Balaton szintje méterekkel magasabban volt, s az idő tájt három sziget is feküdt a tóban (Tihany, Szigliget és Fonyód). Ezt követően a 18. század tartós enyhülést hozott, az évszázad klímája a 20. századi átlagértékek közelében járt. A kis jégkorszakra jellemző hűvös-hideg és a Kárpát-medencében legfőképpen csapadékos klímarendszer utolsó alkalommal a 19. században tért vissza. A budai hőmérsékleti idősor és a Duna befagyási adatai alapján²³ az 1810-es évektől érzékelhetővé vált az éghajlat hidegebbre fordulója. A hűvös-hideg és csapadékos éghajlati rendszernek a 19. században két súlypontja mutatkozott, az első az 1830-40-es években, a második az évszázad utolsó két évtizedében, ráadásul a klíma a hőmérséklet emelkedése ellenére a referencia időszakhoz viszonyítva az 1940-es évekig jobbra hűvös és csapadékos maradt (4. ábra). A globális tendenciáknak megfelelően nincs egyértelmű klímaváltozási trend, a hőmérséklet ugyan az évtizedek átlagában enyhébbé vált, de az ingadozások az átmeneti időszakra jellemző módon rendkívül hektikusak voltak. A csapadék

¹⁹ Pfister 1992.

²⁰ Rác 2001: 269–271.

²¹ A folyamat részletesebb elemzésére: Vadas–Rác 2010.

²² Hosszú 2010.

²³ Rác 2012.

mennyiségének csökkenése ugyanakkor már az 1940-es években elkezdődött, s tartósnak is bizonyult. A jelenkori globális felmelegedés éghajlati rendszerének áttörése az 1980-as évektől kezdődően vált egyértelművé a budapesti idősor adatai alapján. Ekkortól nyílt szét a „mediterrán klímaallo”, s vált a Duna-medence klímája egyre melegebbé és szárazabbá. Amennyiben külön vizsgáljuk a hőmérséklet és a csapadék változásának 20. századi trendjét, akkor sem kapunk egyértelmű képet. A felmelegedés ugyan a 19. század utolsó évtizedétől egyértelműen nyomon követhető, ugyanakkor a jelenkori felmelegedéssel kapcsolatban szkeptikus kutatók vélekedése szerint nem használhatjuk kiindulási és viszonyítási pontnak a történeti korok egyik legnagyobb lehűlését, amely a 19. század utolsó harmadában ment végbe. A referencia időszaknál szignifikánsan csapadékosabb klímarezsime egészen az 1940-es évekig kitartott, s a klíma erőteljesen szárazabbá válásának az 1980-as éveket megelőzően nincsenek jelei.

ÉVSZAKOS HŐMÉRSÉKLETI IDŐSOROK KLÍMATÖRTÉNETI INTERPRETÁCIÓJA

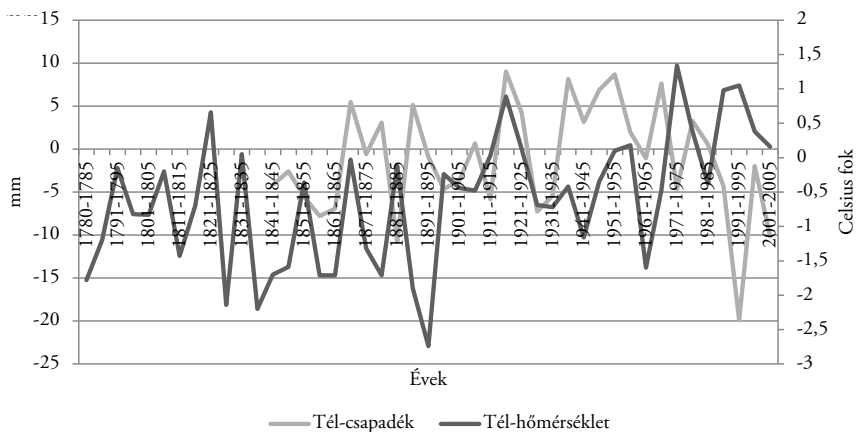
Nem érdektelen szemügyre venni a (csaknem) hagyományos klimatológiai megközelítéssel készített évszakos hőmérsékleti idősorokat sem, amelyekben csak két apró módosítást hajtottam végre: az évszakok esetében is a „valós idejű” megközelítést használtam, vagyis az idősorokban az egymást követő évek évszakainak hónapjai követik egymást, másfelől pedig ezekben az esetekben is az 1961–1990 közötti három évtized hőmérséklet és csapadék átlagértékeitől való eltérést ábrázoltam. Az éghajlattörténeti vizsgálatok azt mutatják, hogy Közép-Európában a hőmérsékleti változások erőteljesebben jelentkeznek a telek, illetve a téli félév, mint a nyarak, illetve a nyári félév hőmérsékletjárásában.²⁴

A telek hőmérséklete (5. ábra) az egész 19. században alatta maradt a referencia időszak átlagának, különösen és tartósan hidegek voltak a telek az 1840-es évektől a 20. század elejéig. A téli csapadék tekintetében változatosabb a kép, akadtak igencsak csapadékos időszakok az 1870-es és az 1880-as években, a század dereka azonban kifejezetten száraz telekkel telt. Ugyanakkor az erőteljes felmelegedés már a 20. század első évtizedében elkezdődött, ám fontos megjegyezni, hogy az 1920-as években tetőző felmelegedés erős mínusból indult, s csak az 1920-as évek átlaga haladta meg a referencia időszak átlagértékeit. A század közepi visszahűlés a telek hőmérsékletjárását illetően már az 1930-as években érezhető volt a Duna-medencében, s ez a hőmérsékleti karakter az 1960-as évek végéig megmaradt. Ráadásul az 1930-as éveket leszámítva a telek egészen a 20. század végéig jobbra igen csapadékosak voltak, a hideg-havas téli karakter különösen a 20. század derekán, a századközepi visszahűlés idején erősödött fel. Az 1970-es években azonban elkezdődött (illetve folytatódott) egy,

²⁴ Dobrovolný et al. 2010.

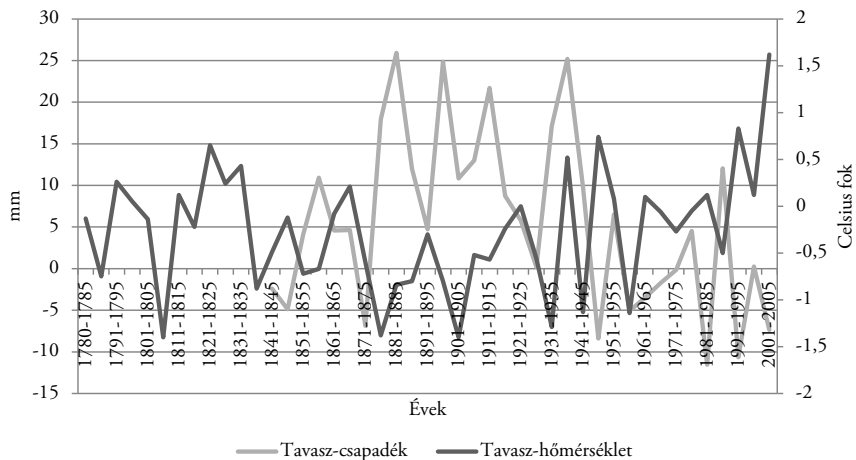
5. ábra

A budapesti idősor téli havi átlaghőmérsékleteinek és csapadék értékeinek eltérése az 1961–1990 közötti évtizedek átlagértékeitől, az idősor öt éves átlagokban ábrázolva



6. ábra

A budapesti idősor tavaszi havi átlaghőmérsékleteinek és csapadék értékeinek eltérése az 1961–1990 közötti évtizedek átlagértékeitől, az idősor öt éves átlagokban ábrázolva



a 20. század első harmadában végbement felmelegedéshez hasonló léptékű enyhülés a telek hőmérsékletében, amelyhez az 1980-as évektől a téli csapadék jelentős csökkenése is társult.

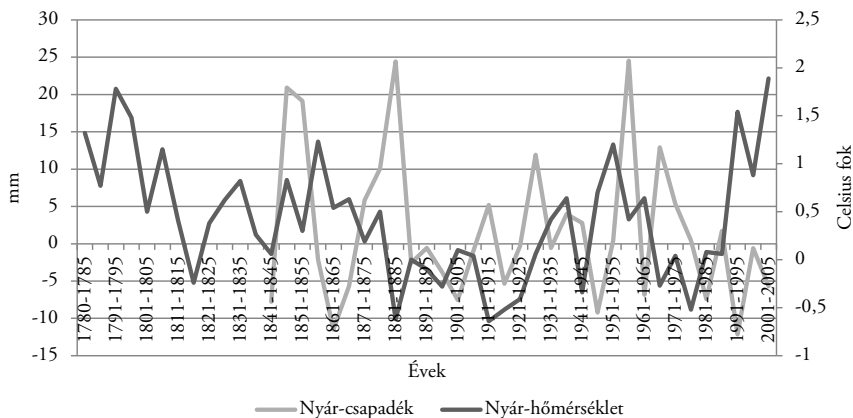
Az 1830-as évektől az 1930-as évekig tartó évszázadban a tavaszok túlnyomó többségében az átlaghőmérséklet jóval a referencia időszak átlaga alatt maradt (6. *ábra*). Különösen hideg volt a 19. század utolsó harmada, amely egyben igen csapadékosnak is bizonyult. Az 1910-es évektől a század derekáig nagy változékonyságot mutatott a tavaszok hőmérsékletjárása, a csapadék mennyisége azonban tartósan a referencia időszak átlaga felett mozgott. A tavaszok felmelegedésének trendje az 1960-as évektől vált szembeütővé, amelyet nagy ingadozásokkal ugyan, de a csapadék mennyiségének erőteljes csökkenése is követett. A meleg és száraz tavaszok az 1990-es évtizedben jutottak túlsúlyra.

A nyarak hőmérsékleti trendje alapvetően eltér mindhárom másik évszak hőmérsékletének hosszú távú alakulásától (7. *ábra*). Az idősor tanúsága szerint az észlelések kezdetétől az 1870-es évek végéig, mintegy száz éven keresztül a nyári hónapok átlaghőmérséklete jócskán az 1961–1990 közötti évtizedek átlaga fölött (!) mozgott, ami legalábbis árnyalja a „kis jégkorszak” 19. századi lehülésétől kialakult képet. Az egyetlen statisztikailag is kimutatható kivétel az 1810-es évek második fele volt, ekkor a nyarak ugyan nem maradtak el, de kétségtelenül némileg hűvösebbé vált a nyári időjárás. Ez arra enged következtetni, hogy az 1815-ös indonéziai vulkánkitörés klímamódosító hatását erőteljesen tompította a nyarak regionális felmelegedési trendje. A 19. század második felében a meleg nyarakhoz változékonny, de a referencia időszaknál jobbára csapadékosabb időjárás társult. Éles váltás történt azonban a 19. század utolsó évtizedeiben; az 1880-as évek elejétől az 1930-as évek derekáig a nyarak átlaghőmérséklete alatta maradt a referencia időszak átlagának, s a csapadék mennyisége is erőteljesen csökkent. A 20. század közepi lehülés klímaváltozása Magyarországon paradox módon a nyarak esetében erőteljes felmelegedéssel és a csapadék növekedésével járt együtt. Az évszázad derekán a nyarak hőmérsékleti trendje ellentétesen mozgott a telek és a tavaszok hőmérsékleti trendjeivel, ugyanakkor az őszi hőmérsékletjárásával mutatkozott valamilyen halvány kapcsolat. Az 1970-es és az 1980-as években a meleg nyarak trendje megtört, ám az 1990-es évektől kezdődően a nyári hónapok átlaghőmérséklete rendre 1–1,5°C-al meghaladta az 1961–1990 közötti időszak átlagértékeit, amit a csapadék mennyiségének tartós csökkenése kísért.

Az őszi hónapok átlaghőmérséklete, néhány esztendő leszámítva mintegy másfélszáz éven keresztül, a buda(pest)i észlelések kezdetétől az 1920-as évek derekáig jócskán alatta maradt a referencia időszak átlagának (8. *ábra*). Ebben az időszakban, az 1860-as évtizedet leszámítva az őszi a referencia időszaknál lényegesen csapadékosabbak voltak. Az 1930-as években egy mérsékelt felmelegedés kezdődött, ami jelentős ingadozásokkal ugyan, de az 1970-es évek elejéig kitartott, ezzel követve a nyarak erőteljesebb század közepi melegedésének trendjét. Ebben az átmeneti időszakban az őszi időjárás csapadékos maradt, de a csapadék mennyisége folyamatosan csökkent, s ez a trend mindmáig tart.

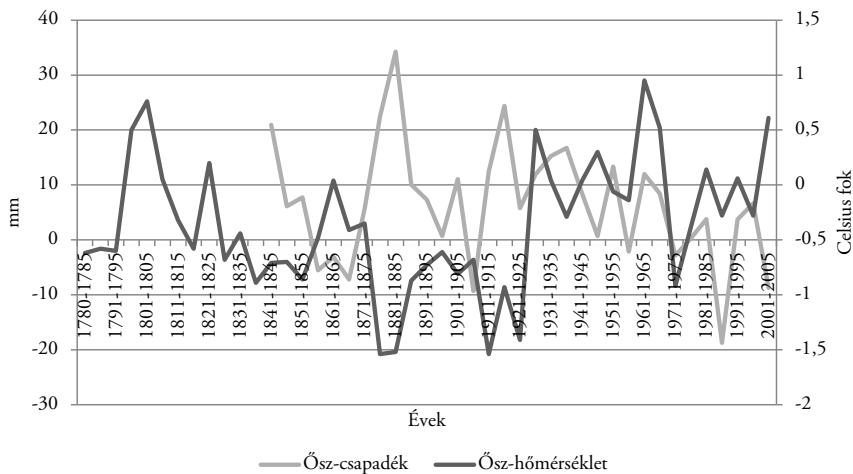
7. ábra

A budapesti idősor nyári havi átlaghőmérsékleteinek és csapadék értékeinek eltérése az 1961–1990 közötti évtizedek átlagértékeitől, az idősor öt éves átlagokban ábrázolva



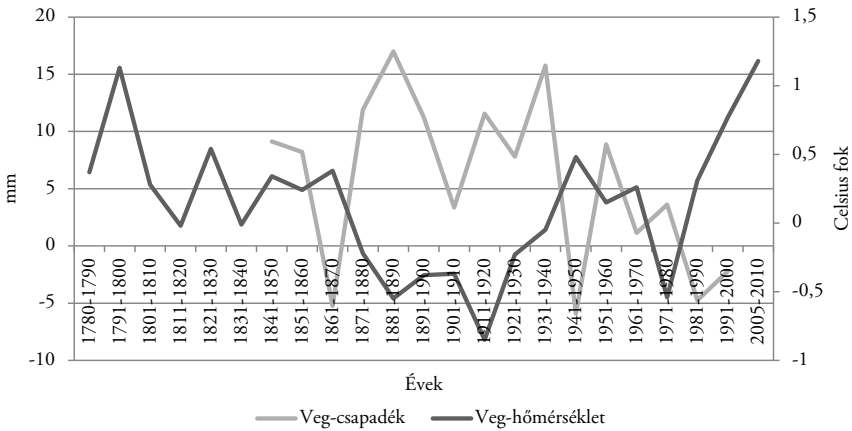
8. ábra

A budapesti idősor őszi havi átlaghőmérsékleteinek és csapadék értékeinek eltérése az 1961–1990 közötti évtizedek átlagértékeitől, az idősor öt éves átlagokban ábrázolva



9. ábra

A budapesti idősor vegetációs időszakra vonatkozó hőmérsékleti és csapadék értékeinek eltérése az 1961–1990 közötti évtizedek átlagértékeitől, az idősor öt éves átlagokban ábrázolva



A 20. század utolsó harmada jobbra a referencia időszak átlagánál hűvösebb őszi időjárással telt, s erőteljes felmelegedés csak a 21. század első évtizedében mutatkozott.

Talán nem érdektelen az évszakos klímátörténeti áttekintés után egy pillantást vetni a vegetációs időszak éghajlati változásaira is (9. ábra), hiszen ennek a hozzávetőlegesen hét hónap időjárásának kitüntetett jelentősége van az emberi társadalom működését illetően. Vegetációs időszakon a szakirodalom az évnek azt a szakaszát érti, amelyben a napi középhőmérséklet nagy valószínűség szerint eléri az +5°C-ot, ezzel Magyarországon áprilistól–októberig lehet számolni.²⁵ Szembetűnő, hogy a meteorológiai észlelések kezdetétől az 1860-as évek végéig a vegetációs időszak tartósan és egyöntetűen meleg volt. Az 1870-es évektől az 1930-as évek végéig a vegetációs időszak hűvössé és rendkívül csapadékosná vált. A 20. század második harmadának pedig nincs egyértelmű klimatikus trendje sem a hőmérséklet, sem pedig a csapadékmennyiség alakulását illetően. Az 1980-as évektől azonban már egyértelműen beazonosítható az éghajlat melegedésének és szárazabbá válásának a trendje.

²⁵ Péczely 1981: 266–275.

AKKOR LÉTEZIK-E VAGY SEM A JELENKORI GLOBÁLIS FELMELEGEDÉS?

Ami a nemzetközi tudományos közélet meghatározó szereplőinek állásfoglalását illeti, a jelenkori globális felmelegedés valóságtartalmáról szóló vitát az IPCC 2007-ben kiadott negyedik jelentése²⁶ nemcsak lezárta, de korigálta is az előző jelentés eltúlzott felmelegedési prognózisait.²⁷ Ma már egyetlen olyan mértékadó tudományos köztestület sincs, amelyik ne kezelné tényként a jelenkori globális felmelegedést. Ugyanakkor a globális felmelegedés realitására vonatkozó vita szűk másfél évtizede még nem volt lezártnak tekinthető. Tekintetbe kell venni azt is, hogy a klímaperiódusok időbeni körülhatárolása rendkívüli térbeni változatos-ságot mutat. A középkori meleg időszak lezárulását és a kis jégkorszak kezdetét skandináv kutatók a 12. századra teszik,²⁸ Svájcban a 14. század derekára datálják a váltást,²⁹ Németországban pedig csak a 15. század elejére.³⁰ Hasonló a helyzet a kis jégkorszak lezárultával is, Nyugat-Európában a kis jégkorszak végét és a jelenkori felmelegedés kezdetét a 19. század utolsó harmadára szokás datálni.³¹ A klímarezsim-váltás időpontját nem egyszerű meghatározni a Duna-medencében. Amennyiben a globális felmelegedés egyetlen indikátorának a hőmérséklet emelkedését tekintjük, akkor a felmelegedés Magyarországon is elkezdődött a 19. század utolsó évtizedeiben. Amennyiben a csapadék mennyiségének csökkenését tekintjük irányadónak, abban az esetben ez a folyamat az 1940-es években kezdődött el, ugyanakkor erős szárazodási tendencia nem mutatkozott az 1970-es éveket megelőzően. Ha a kis jégkorszakra jellemző klíma karakternek a hűvös-csapadékos éghajlati rezsimet tekintjük, akkor viszont ez tiszta formájában az 1910-es évekig, s bizonyos megszorításokkal egészen az 1940-es évekig meghatározta a Duna-medence éghajlatát. Ráadásul a 20. század középső harmadának éghajlati karakterét jó szívvel sehova sem tudnám besorolni. Amennyiben klímátörténeti vizsgálódásaimat követően újra felteszem magamnak a kérdést, hogy mit gondolok a bevezetőben felidézett értekezés vitája során hangoztatott álláspontból, akkor tárgyilagosan azt kell mondanom, hogy a bíráló bizottság tagja tévedett a jelenkori felmelegedés realitásának megítélésében.

²⁶ A jelentés magyarul is hozzáférhető: http://www.met.hu/doc/IPCC_jelentes/ipcc_jelentes_2007.pdf. (Utolsó letöltés: 2013. október 25.)

²⁷ A 2001-es IPCC prognózis radikális felmelegedést jelzett előre a 21. századra vonatkozóan, a jelentés legendássá vált hőmérsékleti diagramját csak „hokiütőként” (*hockey stick controversy*) emlegették, s a radikális prognózis széleskörű vitát váltott ki szakmai körökben. Climate Change Report 2001: 9. fejezet. Online. <https://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/index.htm> (Utolsó letöltés: 2013. október 31.)

²⁸ Behringer 2010: 121; Pfister et al 1998.

²⁹ Pfister 1999.

³⁰ Glaser 2001.

³¹ A 2007-es IPCC jelentés alapján.

HIVATKOZOTT IRODALOM

- Ambrózy Pál 1981: A hazai meteorológiai megfigyelések 200 éve. In: Lépp Ildikó (szerk.): *Meteorológiai Megfigyelések Meteorológiai Tudományos Napok '79*. Budapest, 5–14.
- Behringer, Wolfgang 2010: *A klíma kultúrtörténete. A jégkorszaktól a globális felmelegedésig*. Budapest.
- Czelnai Rudolf 1997: Kellemtelen meglepetések az üvegházban. *Természet Világa* (128.) 12. 531–533.
- Dobrovolný, Petr – Moberg, Anders – Brázdil, Rudolf – Pfister, Christian – Glaser, Rüdiger – Wilson, Rob – Engelen, Aryan van – Limanówka, Danuta – Kiss, Andrea – Halíčková, Monika – Macková, Jarmila – Riemann, Dirk) 2010: Monthly, seasonal and annual temperature reconstructions for Central Europe derived from documentary evidence and instrumental records since AD 1500. *Climatic Change* (101.) 1. 69–107.
- Glaser, Rüdiger 2001: *Klimageschichte Mitteleuropas. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*. Darmstadt.
- Hosszú Csaba 2010: A Nagyberek változó arca a települési struktúra tükrében. In: Kázmér Miklós (szerk.) 2010: *Környezeti események a honfoglalástól napjainkig történeti és természettudományos források tükrében*. Budapest, 36–37.
- Houghton, John – Meira Filho, Gylvan – Harris, Neil – Kattenberg, Arie (eds.) 1996: *Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of WGI to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge.
- McNeill, John Robert 2011: *Valami új a nap alatt. A 20. század környezettörténete*. Budapest.
- Oppenheimer, Clive 2003: Climatic, Environmental and Human Consequences of the Largest Known Historic Eruption: Tambora Volcano (Indonesia) 1815. *Progress in Physical Geography* (27.) 2. 230–259.
- Péczy György 1981: *Éghajlatlan*. Budapest.
- Pfister, Christian 1992: Five Centuries of Little Ice Age Climate in Western Europe. In: Mikami, Takehiko (ed.) 1992: *The Little Ice Age Climate*. Tokyo, 208–213.
- Pfister, Christian – Luterbacher, Jürg – Schwarz-Zanetti, Gabriela – Wegmann, Milène 1998: Winter Air Temperature Variations in Western Europe During the Early and High Middle Ages (AD 750–1300). *The Holocene* (8.) 1. 535–552.
- Pfister, Christian 1999: *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*. Wien–Stuttgart–Bern.
- Rácz Lajos 2001: *Magyarország éghajlattörténete az újkorig*. Szeged.
- Rácz Lajos 2012: A pest-budai hajóhíd, az éghajlati változások indikátora és áldozata (1767–1849). *Belvedere Meridionale* (24.) 4. 4–29.
- Stoker, Martyn S. 2010: Late Glacial Ice-Cap Dynamics in North-West Scotland. Evidence From the Fjords of the Summer Isles Region. *Quaternary Science Reviews* (28.) 3161–3184.
- Stothers, Richard B. 1984: The Great Tambora Eruption in 1815 and Its Aftermath. *Science* (224.) 4654. 1191–1198.

- Szakál Veronika 2012: „Az éghajlat hatalma nagyobb minden más hatalomnál”. Klímaváltozások Magyarországon az 1810-es években. *Belvedere Meridionale* (24.) 2. 30–39.
- Szentimrey Tamás 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). *Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data* (41.) 27–46.
- Tooley, Michael J. 1979: *Sea-level Changes. North-West England during the Flandrian Stage*. Oxford.
- Vadas András – Rácz Lajos 2010: Éghajlati változások a Kárpát-medencében a középkor idején. *Agnártörténeti Szemle* (51) 1–4. 39–62.