

Rácz Lajos

Magyarország éghajlattörténete a 16. századtól napjainkig*

Közel másfél évtizede foglalkozom a Kárpát-medence újkori éghajlati változásainak vizsgálatával, s kutatásaim talán legfontosabb eredményeit egy, a nemzetközi gyakorlatban is újnak számító módszer alkalmazásának köszönhettem, melynek lényege a különböző típusú források és adatbázisok összeillesztése révén létrehozott fél évezredes hosszúságú, illetve havi pontosságú hőmérséklet- és csapadék-idősorok folyamatelemzése. Kutatási eredményeim összefoglalása reményeim szerint 1999 őszén önálló kötetben megjelenik, az elkészült kézirat anyagának felhasználásával e rövid tanulmányban a klímátörténeti kutatás két kérdésére kísérek meg választ találni. Elsőként azt a problémát vizsgálom meg, miként lehet Magyarország területéről évszázados léptékű éghajlati rekonstrukciót készíteni, majd a klíma rekonstrukció eredményeire támaszkodva körvonalazni próbálom a globális éghajlati folyamatok regionális sajátosságait.

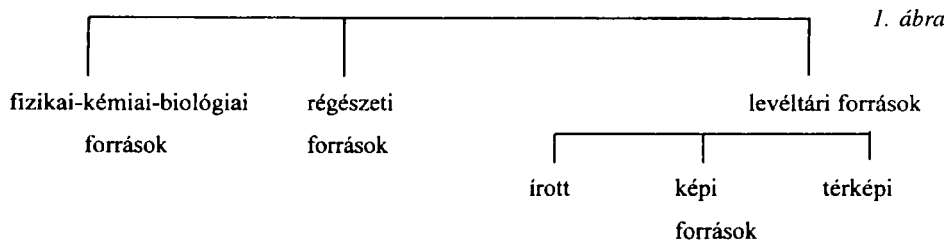
Éghajlattörténeti elemzéseim során az első világháború végéig a történeti országterületet vizsgáltam, a 20. század ezt követő évtizedeire vonatkozó kutatásaim Magyarország jelenlegi területére korlátozódtak.

A magyarországi éghajlatkutatás forrásai

A leghosszabb, műszeres észlelésekre alapozott idősorral hazánkban Budapest rendelkezik, ám az 1780-ban kezdődő hőmérsékleti idősorhoz csak 1841-től társul megfelelő csapadékadatsor. A második leghosszabb, 1853-ban induló idősora Debrecennek van, ám az ország nagyobb részén csak a 19. század utolsó harmadában szerveződött meg a meteorológiai állomáshálózat. A műszeres adatgyűjtés idősoraira alapozott országos áttekintést alig több, mint száz évre visszamenőleg készíthetünk, vagyis nagyjából csak azokat az éghajlati-környezeti folyamatokat tudjuk általuk leírni, illetve elemezni, amelyek

* A tanulmány elkészítését megalapozó kutatásokat a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium és a Magyar Tudományos Akadémia együttműködése alapján folyó Alföld II. Kutatási Program keretében végeztem, a Magyar Felsőoktatásért és Kutatásért Alapítvány Magyar Zoltán posztdoktori ösztöndíjasaként

a jelenkori felmelegedés időhatárain belül történtek. A műszeres észlelések előtti korszak éghajlati-környezeti viszonyainak rekonstruálása az éghajlat-, illetve környezettörténeti kutatás tudományterülete, forrásait pedig a szakirodalomban „proxy”, vagyis helyettesítő) adatoknak szokás nevezni. Ezek a források igen sokfélék lehetnek (1. ábra). Az első nagy csoport a fizikai-kémiai-



Az éghajlattörténeti kutatás forrásai (Ingram et al. 1981 nyomán)

biológiai források csoportja, ilyen adatbázisra alapozott hazai klímarekonstrukció volt *Kordos László* (1977) legendás pocok hőmérője, amely révén a szerző az egész holocén éghajlattörténetét kísérelte meg elemezni. A második „proxy” forráscsoport a régészeti források köre, ezen a téren *Grynaeus András* (1997) dendrológiai vizsgálatai érdemelnek kitüntetett figyelmet, ám sajnos még várunk kell a dendrokronológiai „lebegő” idősorok összekapcsolására és klimatológiai interpretációjukra. A harmadik nagy forráscsoportot a levéltári források köre alkotja, amelyek egyaránt lehetnek írott, képi vagy térképi források.

Az éghajlattörténeti források szempontjából a közép-európai régióban kiemelkedően kedvező helyzetben vagyunk, ami elsősorban *Réthly Antal*, az Országos Meteorológiai Szolgálat egykori vezetője által szervezett és irányított forrásfeltáró kutatásoknak köszönhető. A Réthly (1962, 1970) és munkatársai által hét évtizeden keresztül összegyűjtött hatalmas mennyiségű éghajlattörténeti leírásokat és utalásokat tartalmazó forrásokat három vastos kötetbe rendezte a kutatások irányítója, amelyek közül az első kettő 1962-ben és 1970-ben, a harmadik kötet kéziratának első fele pedig 1998-ban jelent meg az Országos Meteorológiai Szolgálat gondozásában. A harmadik kötet kéziratát *Mersich Iván* elnök úr hozzájárulásával *Simon Antal* bocsátotta rendelkezésemre. 1985 óta foglalkozom a gyűjteményekben megjelent források elemzésével, s a kötetek anyagával „együtt töltött” másfél évtized során sikerült néhány olyan eredményt elérnem, illetve következtetésre jutnom, amely reményeim szerint érdemes lehet a szélesebb hazai tudományos közvélemény figyelmére is (Rácz 1989, 1991, 1993, 1995).

Az éghajlattörténeti kutatás forrásai

Réthly Antal forrásgyűjteményének első kötetében az első kárpát-medencei időjárási információ a Duna i. sz. 172/173 évi befagyásáról tudósít, ám megalapozott éghajlat-rekonstrukcióhoz csak a 16. századtól, annak is inkább a második felétől elegendőek a forrásaink.

Az éghajlattörténeti információt tartalmazó források korszakonként változtak. A 16. század meghatározó forrástípusa a krónika volt, ilyen például az Istvánfi krónika, amely az 1567-es esztendő januárjáról a következőket írta: „Schwendi Szádvárról, mert a hideg északi szelek uralkodtak, s a földet mély hó borította, Kassára vonult (...) kemény hideg is volt.” (Réthly, 1962:89). A 17. század jellemző éghajlattörténeti forrása, az írásbeliség terjedésének köszönhetően, a napló. Ennek a forráscsoportnak egyik legérdekesebb példája Czegei Vass György (1644—1705) erdélyi politikus és gazdálkodó nemesember naplója, aki 1685 teléről a következőket írta: „Ez esztendőnek első része, úgy-mint az tél, igen igen keményen viselte magát, úgy annyira, hogy Januarius, Februarius és Martiusnak csaknem fogytáig nem sokat lágyított, kivált (a) két első hólnapban harmad vagy negyed napig való lágy üdő nem volt, igen igen hidegek jártak, hó is igen nagy, mely miá az szénánk majd nagyobb szűki volt mint az ennekelőtte való télen.” (Réthly, 1962:341) A 18. század elején fordult a természettudományos műveltségű tanárok és orvosok érdeklődése az időjárás módszeres vizsgálata felé. Az egyik első ilyen meteorológiai naplóíró a késmárki Buchholtz György orvos, aki 1725 márciusáról a következőket jegyezte fel: „12. igen mély hó. 13. reggel borult, délben olvadás, a földekről a hó eltűnt, a sok víz és a patakok befagytak. A Poprád jegén folyt a víz. 16. csúnya fergeteges idő, több mint 1/2 rőf (kb. 40 cm) mély hó, melynek fele estig elolvadt, mert DDK felől esett. (...) 31. reggel nagy hideg. Az idén nem volt igazi jégzajlás, mert a jeget a gyakori, felülről befolyó vizek elenyésztették.” (Réthly, 1970:109) A 18. század utolsó harmadától az olyan, úgynevezett referáló újságok váltak legfontosabb forrásainkká, mint amilyenek az 1764-ben alapított Pressburger Zeitung, az 1782-ben indult Magyar Hirmondó, vagy az 1787-ben alapított Magyar Kurir voltak. Kutatásaim szempontjából ezeknek az országos tudósító, levelező hálózatot létrehozó újságoknak hallatlan előnye volt, hogy cikkeiket olvasva egyszerre szerezhettem áttekintést az ország nagy területeinek időjárási helyzetéről. Így például 1782 hideg és csapadékos márciusáról a Pressburger Zeitung és a Magyar Hirmondó tudósító hálózatának köszönhetően országos áttekintésünk lehet, amely Réthly Antal kivonatolásában a következő képet mutatja: „Szabolcs megye. A hónap elején kemény hidegek és nagy havazások. (...) A marha takarmányhiány miatt olcsó. (M.H. április 3.); Pest. Az országos vásár (március 25.) gyenge volt, nedves, esős, viharos időjárása fölülmúlta a február 17-18-án volt idei tél legnagyobb hidegét. (P.Z. április 3.); Máramaros megye. A sok tavaszi esőzés nagy árvizeket okozott már húsvét előtt (húsvét vasárnapja: március 31.) (...), hogy hozzá hasonlóra alig emlékeznek ötöbéli (emberöltöbéli) emberek (...). (M.H. június 5.)” (Réthly, 1970:292) 1780-tól pedig, mint arra az előzőekben már kitértünk, elkezdődött a rendszeres meteorológiai észlelés Budán.

Az éghajlattörténeti források feldolgozásának módszere

Ahhoz, hogy leíró történeti források esetleges éghajlattörténeti információit rendszeres klímaelemzéshez fel tudjam használni, forrásainkat tematikai, tér- és időbeli szempontok szerint rendezni kellett. Ehhez a több szempontú rendezéshez a Berni Egyetem Történeti Intézetében Christian Pfister és Hannes Schüle (1992, 1994) által létrehozott Clim-Hist számítógépes éghajlattörténeti

adatbank rendező programjait használtam fel. Első lépésben tematikai szempontból szétválasztottam a közvetlenül az időjárás alakulására vonatkozó információkat, az olyan közvetett időjárás adatokat, mint a folyó befagyása, vagy áradása, végül a harmadik nagy információcsoport a természeti környezetre és a mezőgazdasági kultúrákra vonatkozó fenológiai adatokat ölelte fel. A források időbeni rendezése során öt időkeretet használtam, a napot, a dekádöt, a hónapot, az évszakot és az év egészét. Az adatok térbeni rendezésének földrajzi szintjei a település, a megye, a négy makro-régió (Dunántúl, Felvidék, Erdély és az Alföld), végül pedig az ország egésze voltak.

A források ilyen csoportosítása után a következő lépés az éghajlattörténeti információk számszerűsítése volt. Elemzésemnek ebben a szakaszában ugyancsak a berni klimatörténeti intézet módszertani gyakorlatát követtem, amely szerint a források által leírt időjárás jelenségeket egy +/- 3-as skálán helyeztem el, ahol a +3 a szokatlanul meleg, illetve csapadékos, míg a -3 a rendkívül hideg, illetve száraz időjárásnak felelt meg. Kutatásaim során a Kárpát-medence településeiről, megyéiről, makro-régióiról, valamint az ország egészéről hoztam létre napi, dekádös, havi, évszakos és az év egészére vonatkozó idősorokat.

Vizsgálataim nem megkerülhető kérdése, hogy a „proxy” idősorok mit is érnek valójában? Mennyire torzítja el a feljegyzés készítőjének és a kutató agyának kettős, szubjektív „szűrője” az eredeti jelenséget? A munka jelenlegi állása szerint erre a kételyre véleményem szerint három válasz adható. Először is fenntartásainkat feltétlenül meg kell őriznünk, hiszen gyakran igen különös „időjárás-jelentésekre” kell támaszkodnunk, ráadásul a levéltárakban a feltárt forrásokat egészen bizonyosan többszörösen meghaladó tömegű éghajlattörténeti forrás „lappang”, amelyek feldolgozása több ponton megváltoztathatja a klímaváltozásokról eddig kialakított képet. A fellelhető, ám egyelőre feltáratlan éghajlattörténeti források mennyiségét jól példázza *Szilágyi Tibornak* a Kecskemét környékéről készített, s a Réthly-gyűjteményekhez hasonló léptékű éghajlattörténeti forrásgyűjteménye, amely reményeink szerint hamarosan nyomtatásban is megjelenik a Kecskeméti Füzetek sorozatban. A második lehetséges válasz, hogy a számszerűsítéshez felhasznált skála szándékoltan csekély felbontású, aminek folytán tévedési lehetőségünk is csekély. Végül pedig úgy vélem, idősoraim legfontosabb próbája a más módszerekkel létrehozott éghajlattörténeti idősorokkal való összevetés lehet. Ilyen klimatörténeti referencia lehet majd elkészülte után Gryneaus András dendrológiai idősora, ám a kutatások jelen állása szerint éghajlattörténeti idősorainkat csak a buda(pest)i műszeres idősorokkal tudjuk összevetni. A hőmérsékleti idősorok közötti átfedés megnyugtatóan hosszú, 1780-tól egészen 1850-ig tart. A makro-regionális idősorokat vettem össze korrelációszámítás segítségével a budai idősorokkal, s a kapcsolat minden hónap és évszak esetén erősnek mutatkozott. A hőmérsékleti idősorok tehát megbízhatónak látszanak, ám sajnos nincs semmilyen hasonló támpontunk a csapadékidősorok ellenőrzéséhez.

Éghajlattörténeti korszakok

Az éghajlati változások története gyakorlatilag egyidős a Föld légkörének történetével, a változások nagyságának és irányának megítélése azonban nagyban függ attól, milyen léptékben vizsgáljuk a Föld klímáját. Ha a Föld törté-

netének egészéhez viszonyítjuk a jelenkori állapotokat, akkor egy hideg korszakban élünk, hiszen a pólusokat jégtakaró borítja, s geológiai léptékben nézve ezek a területek nagyjából jégmentesek voltak. Amennyiben viszont az ember megjelenése és történelme határozza meg számunkra a horizontot, akkor egy meleg korszakban élünk, hiszen a 2—2.5 millió éves őstörténettel, illetve történelemmel számolva, csupán 15—12 000 éve ért véget az utolsó, a Würm jégkorszak. Ám ezt követően elképesztő sebességgel alakult át a Föld geográfiai képe, elegendő talán a jégtakaró elolvadása miatt közel 100 méterrel megemelkedő tengerszintre utalni, amely olyan, korábban gyakran használt szárazföldi utakat vágott el, mint amilyenek Ázsia és Észak-Amerika között a Bering-szoros, vagy a kialakuló Északi-tenger helyén a szigetté váló Izlandra és Britanniába vezető vándorlási útvonalak voltak.

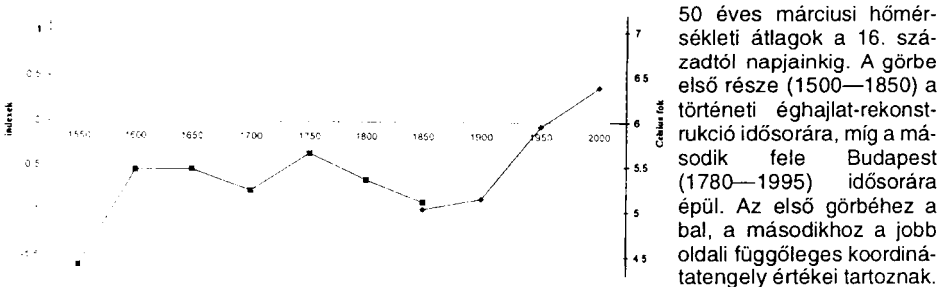
A Kárpát-medence régióját érintő éghajlati változások történeti léptékű értelmezéséhez és előrejelzéséhez azonban az évmilliók vagy az évezredes időskála eseményei kevésbé használhatóak. Ebből a nézőpontból az évszázados klímaváltozások elemzése az elsődleges jelentőségű, vizsgálatunk időbeni horizontját pedig célszerű leszűkíteni az emberi történelem utolsó két évezredére. Elemzésünk időhatárain belül az első, a Kárpát-medencében bizonyosan érezhető klimatörténeti korszak az ún. római *optimum éghajlat* időszaka volt, amely az i.e. 1. században kezdődött és az i.sz. 4. században ért véget. Grynaeus András dendrológiai rekonstrukciója szerint Pannoniában ezekben az évszázadokban igen enyhe volt az éghajlat, s ugyancsak enyhe klímáról tanúskodik a Duna vaskapui szakaszán Traianus császár által i.sz. 101—106 között építtetett római kőhid, amely 170 évig használatban volt. A 4. század végén kezdődött és a 8. század derekáig tartott a népvándorlás korának hűvös és száraz éghajlatú korszaka, amelynek történetileg legfontosabb, illetve legsúlyosabb következményekkel járó hatása a Közép-Ázsiát és az Arab-félszigetet sújtó szárazság volt. A 8. század végétől a 13—14. század fordulójáig tartott a középkori optimum éghajlat időszaka, amelynek a rekonstrukciók szerint helyenként a jelenkori felmelegedésnél is enyhébb klímája kedvező feltételeket teremtett mind az észak-atlanti viking kirajzáshoz, mind pedig az európai gazdaság növekedését elindító „középkori mezőgazdasági forradalomhoz”. A következő éghajlati korszak kezdetét illetően megoszlik a kutatók véleménye. *Christian Pfister* (1992) nézete szerint a „kis jégkorszak” a 14. század elején kezdődött, míg ugyanezt *Raymond S. Bradley* (1992) *Hubert H. Lamb* (1982) nyomán az 1560-as évekre datálja. Nincs vita azonban a kutatók között a „kis jégkorszak” lezárulásának időpontjáról, amelyet egyöntetűen az 1860-as évek közepére tesznek. A „kis jégkorszak” fogalmát *F. Matthes* (1939) nyomán kettős értelemben használják a kutatók, részint a 14—19. század közötti gleccser előnyomulások korszakát jelölik vele, részint ugyanezen időszak klímájának metaforájaként szolgál. Végül, a kis jégkorszak után, a 19. század utolsó harmadában elkezdődött a jelenkori felmelegedés folyamata.

A Kárpát-medence éghajlati változásai a kis jégkorszak és a jelenkori felmelegedés idején

A Réthly-gyűjtemények forrásainak feldolgozása, illetve az éghajlattörténeti sorok és a buda(pest)i műszeres észlelések idősorainak összeillesztése révén sikerült áttekintenem közel fél évezred, vagyis a kis jégkorszak (nagyobb részének) és a jelenkori felmelegedés korának éghajlattörténeti folyamatait. 1900-tól kezdődően *Szentimrey Tamás* (1994) homogenizált budapesti hőmérsékleti idősorát használtam fel. Az egybegyűjtött hatalmas klíma-, illetve környezet-történeti adatbázis elemzésének eredményei közül e rövid tanulmányban csupán az éghajlatváltozási prognózis körvonalazásához szükséges kutatási eredményeket emelem ki, amelyhez adatbázisomból a Kárpát-medence egészét reprezentáló havi és évszakos idősorokat használok fel, kiegészítve azt a buda(pest)i hőmérsékleti és csapadék idősorok havi átlagaival. Az éghajlattörténeti tendenciák elemzéséhez egykori professzorom, *Bernard Lepetit* által gyakran alkalmazott, illetve továbbfejlesztett „fokozatos fókuszálás” módszertani megközelítést használom.

Az éghajlattörténeti rekonstrukció havi hőmérsékleti és csapadék idősorainak tanulmányozása során a tavaszeli és a nyárelő éghajlatának változása volt a leginkább szembeütő a kis jégkorszak idején. Nézzük először a márciusot (2. ábra). A márciusok hideg időjárása különösen a kis jégkorszak leghidegebb

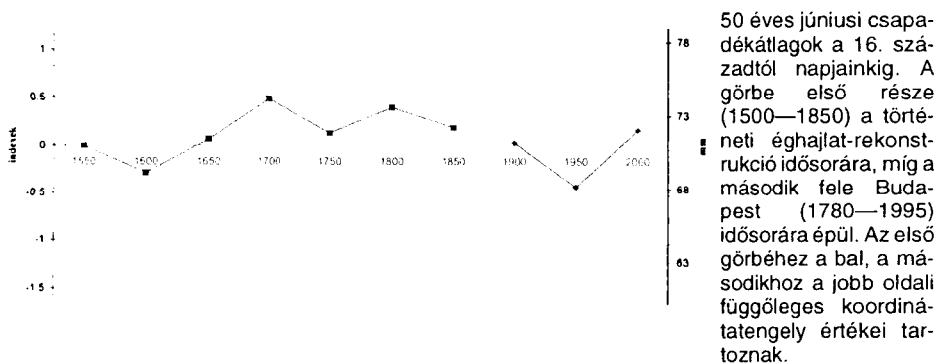
2. ábra



periódusai idején volt szembeötlő. A 17–18. század fordulóján egy alkalommal, 1697-ben márciusig megmaradt a jégtakaró a Dunán, a 18. században két alkalommal volt erre példa (1780, 1785), míg a 19. század első feléből három ilyen adatunk van (1814, 1830, 1850). A márciusi éghajlattörténeti forrásokat olvasva ugyancsak szembeütő volt, hogy sokkal gyakoribbak a hőmérsékleti, mint a csapadék anomáliák, ráadásul a kis jégkorszak időszakából csupán elvétve van adatunk enyhe márciusi időjárásról, a márciusi hőmérsékleti anomáliák döntő többsége negatív anomália volt. Az éghajlattörténeti rekonstrukció hőmérsékleti indexeinek 50 éves átlagai a klímaváltozás két sajátosságára hívják fel a figyelmet: egyfelől az idősor márciusai jobbára hűvösök-hidegek voltak, másfelől pedig a hűvös-hideg tartományon belül bizonyos ciklikus változások történtek. A 16. század első felének nagy negatív anomáliája eltűzött,

a kevés számú forrás torzító hatására vezethető vissza, s az 50 éves márciusi hőmérsékleti átlagok időszora csak a 16. század második felétől tekinthető valóban használhatónak. Az éghajlanttörténeli rekonstrukció szerint a márciusi hőmérsékleti sor egyik leghidegebb időszaka a 17. század második fele volt, amit a 18. század első felének némileg kiegyensúlyozottabb időszaka követett. A század derekán újabb lehülési hullám kezdődött, amely folytatódott és elmélyült a 19. század első felében. A budai obszervatórium 1780-ban induló időszora is mutat bizonyos lehülést a 18. század második és a 19. század első fele között, ám a műszeres mérések idősorának arculatát valójában a monoton, a 19. század derekán induló, s napjainkban is folytatódó felmelegedés határozza meg. A kis jégkorszak márciusaitól eltérő módon a júniusok időjárását leíró történeli forrásokban meglepően kevés a hőmérsékleti anomáliáról tudósító adat, s feltűnően sok a pozitív csapadék anomáliát leíró forrás (3. ábra). A

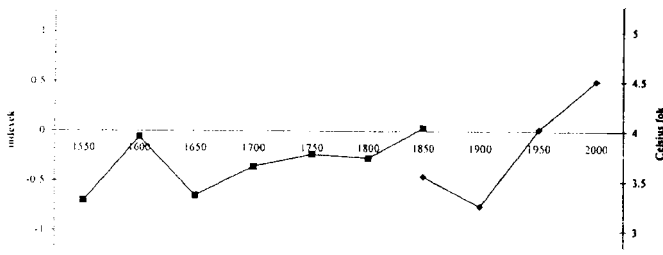
3. ábra



csapadékindexek 50 éves átlagainak időszora a 16. század második felének negatív átlagától eltekintve tartósan csapadéktöbbletet mutat. A csapadékosvá válás fordulópontja a 17. század első felében volt, csúcspontjai pedig a 17. század második felére és a 18. század második felére estek. A buda(pest)i idősor fél évszázados ritmusú hullámzást mutat, amely szerint a 19. század második felének magas értékét a 20. század első felének alacsony átlaga követte, majd századunk második felében újra csapadékosabbá váltak a júniusok.

Amennyiben kitágítjuk elemzésünk időhatárait a téli és a nyári félévre, hasonló eredményeket kapunk, mint a tavaszelő és a nyárelő vizsgálatainál: a téli félévben (októbertől márciusig) a hőmérsékleti idősor, míg a nyári félévben (áprilistól szeptemberig) a csapadékidősor mutat a klímaváltozás szempontjából értelmezhető tendenciákat. Az éghajlanttörténeli rekonstrukció téli félévi hőmérsékleti idősorának 50 éves átlagai a kis jégkorszak idején tartósan hűvös-hideg időjárást jeleznek (4. ábra), amely azonban a 17. század első felének hideg maximumát követően (a 16. század első felének alacsony értékétől a csekély számú adat miatt eltekinthetünk) rendkívül lassú, ám tartós enyhülési trend kezdődött, amely folytatódott egészen a 19. század derekáig. A buda(pest)i műszeres hőmérsékleti idősor adatai szerint a 19. század első fele újra némileg hűvösebbé vált, ám a 19—20. század fordulóján félreértelmezhetetlenül megindult a jelenkori felmelegedés folyamata. A nyári félév csapadékidőszorai a kis

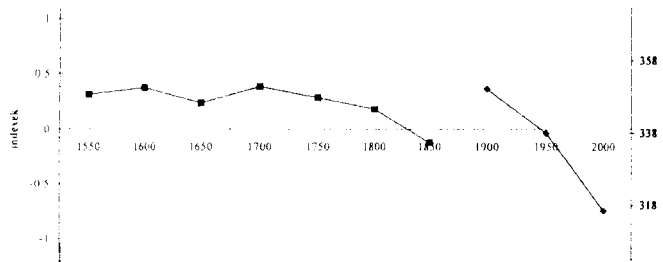
4. ábra



50 éves téli félévi hőmérsékleti átlagok a 16. századtól napjainkig. A görbe első része (1500—1850) a történeti éghajlat-rekonstrukció idősorára, míg a második fele Budapest (1780—1995) idősorára épül. Az első görbéhez a bal, a másodikhoz a jobb oldali függőleges koordinátatengely értékei tartoznak.

jégkorszak idején enyhe, ám tartós csapadéktöbbletet mutatnak, a szárazabbá válás folyamata valamikor a 18. század derekán kezdődött, s az éghajlattörténeti idősor adatai szerint a 19. század első fele már egyértelműen száraz volt (5. ábra). A fővárosi műszeres idősor adatai szerint a szárazodási trend a 19. század második felében is tartott, s folytatódott a 20. században is.

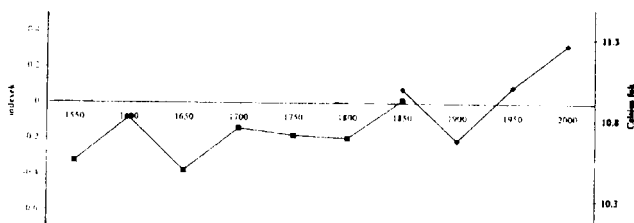
5. ábra



50 éves nyári félévi csapadék átlagok a 16. századtól napjainkig. A görbe első része (1500—1850) a történeti éghajlat-rekonstrukció idősorára, míg a második fele Budapest (1780—1995) idősorára épül. Az első görbéhez a bal, a másodikhoz a jobb oldali függőleges koordinátatengely értékei tartoznak.

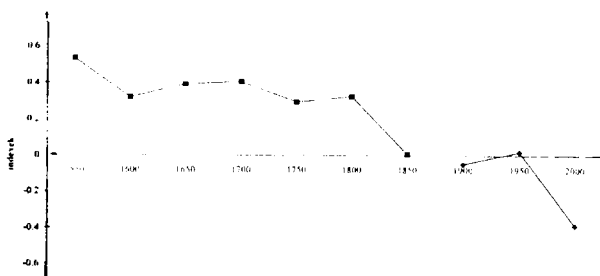
Végezetül vizsgáljuk meg, hogy az egész évre vonatkozó éghajlattörténeti idősorok és a műszeres mérések sorainak összeillesztésével milyen évszázados hőmérséklet és csapadék változási tendenciák válnak láthatóvá a Kárpát-medencében. A 16. század kezdetétől a 18. század végéig az évek mérsékeltlen hűvösek és tartósan csapadékosak voltak. A 19. század első felének éghajlata valamelyest enyhébbé és kevésbé csapadékosá vált. A budapesti idősorok tanúsága szerint a 19. század második felének éghajlatát meghatározó erőteljes lehűlés idején nem változott érdemben az éves csapadék mennyisége. A 20. század elején tartós felmelegedés kezdődött, amely alapvetően meghatározta az egész évszázad éghajlati folyamatait. A 20. századi felmelegedést az 1930-as évekig nem követte az évtizedes csapadékátlagok változása, ám az 1940-es évektől kezdődően az éves csapadék mennyisége erőteljesen csökkenni kezdett, s ez a folyamat napjainkban is folytatódik.

6. ábra



50 éves évi középhőmérsékleti átlagok a 16. századtól napjainkig. A görbe első része (1500—1850) a történeti éghajlat-rekonstrukció idősorára, míg a második fele Budapest (1780—1995) idősorára épül. Az első görbéhez a bal, a másodikhoz a jobb oldali függőleges koordinátatengely értékei tartoznak.

7. ábra



Az évi csapadékösszegek 50 éves átlagai a 16. századtól napjainkig. A görbe első része (1500—1850) a történeti éghajlat-rekonstrukció idősorára, míg a második fele Budapest (1780—1995) idősorára épül. Az első görbéhez a bal, a másodikhoz a jobb oldali függőleges koordinátatengely értékei tartoznak.

Az éghajlanttörténeti és meteorológiai havi idősorok korrelációjának vizsgálata

Az éghajlanttörténeti és a műszeres mérések havi átlagainak idősorai közül csak a hőmérsékleti idősorok korrelációvizsgálatának eredményei mutattak klimatörténeti szempontból értelmezhető kapcsolatokat. Az éghajlatkutatás tradícióit követve három időszakot választottam ki a korrelációs vizsgálatok elvégzéséhez. Az első az 1675 és 1715 közötti időszak, amelyet az európai éghajlanttörténeti kutatás a kis jégkorszak egyik típusos szakaszának tart, s amelynek klimatörténetéről már elegendő forrás állt rendelkezésemre (szemben például a 16. század utolsó harmadának időszakával). A második kiválasztott korszak a jelenkori felmelegedés jellemzőnek tartott időszaka (1961—1990). Végül pedig kontrollidőszaknak az 1901 és 1960 közötti hatvan év adatait használtam, amelynek átlagait a nemzetközi meteorológiai kutatás viszonyítási alapként, azaz egyfajta átlagos időszakként tartja számon.

A korrelációvizsgálatokhoz a havi hőmérsékleti átlagok adatait használtam fel, csak ezzel a feltétellel voltak ui. összevethetők a 17—18. század fordulójának idősorai a 20. századi meteorológiai méréseinek idősoraival.

8. ábra

1675- 1715	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.	dec.
jan.	1	0,716	0,341	-0,199	-0,264	-0,243	-0,286	-0,154	0,226	-0,086	-0,016	-0,156
febr.	0,716	1	0,294	-0,390	-0,183	-0,242	-0,061	-0,052	0,354	-0,053	0,191	-0,111
márc.	0,341	0,294	1	-0,099	0,162	0,224	0,099	0,118	0,044	-0,023	-0,060	-0,066
ápr.	-0,199	-0,390	-0,099	1	0,222	0,196	0,107	0,026	0,008	0,038	0,144	0,025
máj.	-0,264	-0,183	0,162	0,222	1	0,124	0,004	-0,225	0,219	-0,110	0,125	-0,025
jún.	-0,243	-0,242	0,224	0,196	0,124	1	0,270	0,056	0,257	0,098	0,268	0,090
júl.	-0,286	-0,061	0,099	0,107	0,004	0,270	1	0,398	0,312	0,189	0,038	0,061
aug.	-0,154	-0,052	0,118	0,026	-0,225	0,056	0,398	1	0,043	0,307	0,257	-0,076
szept.	0,226	0,354	0,044	0,008	0,219	0,257	0,312	0,043	1	0,307	0,331	-0,067
okt.	-0,086	0,055	-0,023	0,038	-0,110	0,098	-0,189	0,307	0,307	1	0,069	0,307
nov.	-0,016	0,191	-0,060	0,144	0,125	0,268	0,038	0,257	0,331	0,069	1	0,069
dec.	-0,156	-0,111	-0,066	-0,025	-0,025	0,090	0,061	-0,076	-0,067	0,307	0,069	1

Korrelációvizsgálat az 1675—1715 közötti évek hónapjainak hőmérsékleti idősorai között. A sötétebb árnyékolással kiemelt értékek 99%-os, a világosabb árnyékolással megjelölt értékek 95%-os szignifikanciaszintet jelölnek

1675—1715

A korrelációs vizsgálatok jól mutatják (8. ábra), hogy a kis jégkorszaknak ebben a hideg pediódusában a lehülés legerősebben a januári és a februári átlaghőmérsékletben mutatkozott meg, de a lehülés fontos jellemzője volt az is, hogy a március hőmérséklete együtt mozgott a két téli hónap hőmérsékletével. A tavasz valódi határa március és április között húzódott, amit a két téli hónap átlaghőmérsékleteihez való viszony különbözősége jól mutat. Éghajlattörténeti szempontból igen figyelemreméltó az áprilisi és a júniusi átlaghőmérséklet erős kapcsolata, illetve az, hogy a júniusoknak láthatóan „semmi közük” nincs a másik két nyári hónap hőmérsékleti folyamataihoz. Kimutatható kapcsolatot találtam azonban a júliusok és az augusztusok, a júliusok és a szeptemberek között, ám nincs kapcsolat az augusztusok és a szeptemberek hőmérsékleti idősorai között. Azonos tendenciákat, a hőmérsékleti átlagok együttmozgását tárta fel a három őszi hónap átlaghőmérsékleteinek korrelációs vizsgálata. Különös módon a kis jégkorszaknak ebben az időszakában a december inkább őszi hónappá vált, egyértelmű pozitív kapcsolat mutatható ki az október, illetve november hőmérséklet-változásaival, s ugyancsak erős, ám negatív kapcsolat adódott a télies márciusokkal való összevetés eredményeként.

Korrelációvizsgálataim alapján úgy látszik, hogy a kis jégkorszaknak ebben az expanzív időszakában megváltozott a természetes évszakok szerkezete. Az igen hideg tél január elején kezdődött, de gyakran eltartott március végéig is. A tavasz április hónappal kezdődött, de valójában június is tavaszi hónappá vált. A nyár időtartama júliusra és augusztusra zsugorodott. Az őszi átmeneti időjárása azonban szeptembertől egészen december végéig tartott.

1901—1960

Ebben a hatvanéves időszakban is szembetűnő volt a januárok és a februárok erős kapcsolata, ám a januári hőmérsékleti idősor és a márciusi, vagy áprilisi hőmérsékleti idősorok között nincs semmilyen kimutatható kapcsolat (9. ábra). Igen érdekes azonban a januárok és a júniusok közötti szignifikáns negatív korreláció. A februárok idősora jó indikátora a tél és a tavasz hőmérsékleti folyamatainak, mivel a januároktól az ápriliskig minden hónap idősorával szignifikáns pozitív kapcsolatban van. A nyári hónapokat vizsgálva szembetűnő a júniusok viszonylagos „elszigeteltsége”, és a július-augusztus-

9. ábra

1901-1960	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.	dec.
jan.	1		0.131	0.164	-0.664	-0.282	0.012	-0.026	-0.211	-0.116	-0.098	0.145
febr.		1		0.268	-0.005	-0.067	0.129	-0.091	-0.231	-0.160	0.064	-0.071
márc.	0.131		1	0.177	-0.953	0.034	-0.008	-0.102	-0.078	-0.274	0.021	0.114
ápr.	0.164	0.268	0.177	1	0.073	0.044	0.343	0.163	0.231	-0.160	0.558	0.040
máj.	-0.064	-0.005	-0.033	0.073	1	0.109	0.257	0.094	0.125	-0.009	-0.023	0.166
jún.	-0.282	-0.067	0.034	-0.044	0.109	1	0.777	0.097	0.015	-0.179	0.049	0.017
júl.	0.012	0.129	-0.008	0.243	0.257	0.777	1		0.150	-0.238	0.140	-0.108
aug.	-0.026	-0.091	-0.102	0.163	0.094	0.097		1		0.154	0.198	-0.014
szept.	-0.211	-0.231	-0.070	0.231	0.125	0.015	0.150		1	0.781	0.298	0.013
okt.	-0.116	-0.160	-0.274	-0.160	-0.009	-0.129	-0.238	0.154	0.281	1	0.198	0.018
nov.	-0.098	0.064	0.021	0.058	-0.023	0.049	0.140	0.198	0.298	0.198	1	0.048
dec.	-0.145	-0.071	0.114	0.040	0.166	0.017	-0.108	-0.014	0.013	0.018	0.048	1

Korrelációvizsgálat az 1901—1960 közötti évek hónapjainak hőmérsékleti idősorai között. A sötétebb árnyékolással kiemelt értékek 99%-os, a világosabb árnyékolással megjelölt értékek 95%-os szignifikanciaszintet jelölnek.

szeptemberi „nyári évszak” erőteljes együttmozgása. Figyelemre méltó ugyanakkor az is, hogy a júliusok és a júniusok, valamint a júliusok és a májusok között markáns pozitív kapcsolat volt kimutatható. Az őszi hónapok között nem túl erőteljes a kapcsolat, ugyanakkor a decemberek hőmérsékleti idősora egyetlen más hónappal sem mutat szignifikáns kapcsolatot.

A korrelációvizsgálat eredményei azt látszanak bizonyítani, hogy a vizsgált hatvan évben az évszakok közötti kontrasztok gyengültek. A telek nem határolódtak el olyan élesen a tavasztól, mint azt a kis jégkorszak idején láthattuk. A nyári éghajlati rendszer időtartama azonban meghosszabbodott, májustól eltartott egészen szeptember végéig.

1961—1990

A jelenkori felmelegedés e három évtizedében láthatóan erőteljesen gyengült a januári és a februári hőmérsékleti idősorok közötti kapcsolat, azonban mindkét téli hónap idősora erősen kapcsolódott a márciusi hőmérsékleti idősorhoz (10. ábra). A korrelációvizsgálat másik szembetűnő érdekessége a nyári hónapok „szétesése” volt. A júniusi hőmérsékleti idősornak sem a tavaszi, sem pedig a nyári hónapokkal, a júliusi hőmérsékleti idősornak pedig egyetlen más hónappal nem kimutatható kapcsolata. Az augusztusi idősor érdekes módon szignifikáns pozitív kapcsolatot mutatott a májusi idősossal, míg ugyancsak szignifikáns, ám negatív volt a kapcsolat a júniusi hőmérsékleti idősossal. Az

10. ábra

1961-1990	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.	dec.
jan.	1	0.262		0.042	0.235	-0.296	0.024	0.250	-0.137	-0.145		0.113
febr.	0.262	1		0.0004	0.068	0.049	-0.166	0.070	-0.282	0.113	-0.081	0.231
márc.			1	-0.105	0.170	0.074	-0.229	0.136	0.010	-0.024	-0.189	0.219
ápr.	0.042	0.0004	0.105	1	0.096	0.077	0.258	0.152	-0.015	0.201	0.236	-0.271
máj.	0.235	0.068	0.170	0.096	1	0.035	0.272	0.265	0.086	0.019	-0.052	0.104
jún.	-0.296	0.049	0.074	0.077	0.035	1	0.090	-0.329	0.077	-0.021		-0.169
júl.	0.024	-0.166	-0.229	0.258	0.272	0.090	1	0.014	0.162	0.051	0.046	0.048
aug.	0.250	0.070	0.136	0.152	0.305	-0.329	0.014	1	0.140	-0.210	-0.068	0.043
szept.	-0.137	-0.282	0.010	-0.015	0.086	0.077	0.167	0.140	1	0.265	-0.029	0.090
okt.	-0.145	0.113	-0.024	0.201	0.019	-0.021	-0.051	-0.210	0.265	1	0.037	-0.240
nov.		-0.081	-0.189	0.226	-0.052		0.046	-0.068	-0.029	0.037	1	
dec.	0.113	0.231	0.219	-0.271	0.104	-0.169	-0.048	0.043	0.090	-0.240		1

Korrelációvizsgálat az 1961—1990 közötti évek hónapjainak hőmérsékleti idősorai között. A sötétebb árnyékolással kiemelt értékek 99%-os, a világosabb árnyékolással megjelölt értékek 95%-os szignifikanciaszintet jelölnek.

őszi időjárás szempontjából figyelemre méltó a novemberi és a decemberi hőmérsékleti idősorok erőteljes „ellenmozgása”.

A jelenkori felmelegedés vizsgált negyven évének legfontosabb éghajlati jellemzője a téli hónapok erőteljesen „tavasziassá” válása volt. Emellett figyelmet érdemel még a nyarak önálló éghajlati karakterének gyengülése is.

Az éghajlatváltozások magyarországi sajátosságai

Éghajlattörténeti elemzésem eredményeit számba véve négy, úgy vélem alapvetően új következtetésre jutottam:

1. Az éghajlati változások egyik legfontosabb jegye a Kárpát-medencében a „természetes évszakok” időtartamának és időhatárainak megváltozása volt. A kis jégkorszak idején a március gyakorlatilag téli hónappá vált, a június pedig valójában tavaszi hónap lett, a nyár időtartama júliusra és augusztusra korlátozódott. Ezzel szemben a jelenkori felmelegedés során a téli hónapok időjárása vált tavasziassá, a nyári hónapok pedig sokat veszítettek önálló éghajlati karakterükből.

2. A kis jégkorszak okozta lehülés elsősorban a téli félév hideg időjárásában mutatkozott meg, ám lényegesen nagyobb jelentőségű volt (mindenekelőtt a vegetációs időszak szempontjából) a nyári félév csapadéktöbblete. Eredményeim alátámasztják a kontinentális Európa másik félfévezredes havi és évszakos felbontású éghajlattörténeti sorainak, a Christian Pfister (1984, 1992) által készített svájci idősorok elemzésének eredményeit. Svájc területén a kis jégkorszak klímaváltozásának legfontosabb jellemzője a téli és a tavaszi hónapok (mindenekelőtt a március) hidegebbé válása, valamint a nyári csapadék érezhető növekedése volt. A jelenkori felmelegedés idején a változások mindkét félév esetében ellenkező irányúnak mutatkoztak a Kárpát-medencében, a téli félév lényegesen enyhébbé vált, míg a nyári félévben erőteljes szárazodási trend jelentkezett.

3. Az egész évre vonatkozó hőmérsékleti és csapadékidősorok tanúsága szerint a kis jégkorszak hűvös és csapadékos időjárással jellemezhető éghajlati rendszere a 16. század második felétől a 18. század végéig határozta meg a Kárpát-medence éghajlatát. Nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy éppen ebben az időszakban a Balaton vízszintje 4 méterrel magasabb volt a jelenlegi szintnél, ami meggyőző mutatója a csapadékmérleg kora újkori kárpát-medencei megváltozásának. A 19. század első felétől a 20. század derekáig tartó másfél évszázadot átmeneti éghajlat jellemezte, amelyen belül enyhébb és hűvösebb, csapadékosabb és szárazabb évtizedek váltották egymást. A 20. század derekán azonban kibontakozni látszik a jelenkori felmelegedés meleg és száraz időjárással jellemezhető éghajlati rendszere.

4. A jelenkori felmelegedés veszélyességét növeli, előrejelezhetőségét pedig megnehezíti, hogy létrejöttében eddig mind az öntörvényű természeti-környezeti folyamatoknak, mind pedig az emberi-ipari tevékenységnek szerepe volt, ráadásul a két tényező által előidézett hatások egymást erősítik. Feltételezésem szerint az utóbbi kétezer év évszázados léptékű éghajlati változásait számba véve megköcköztatható az az állítás, hogy a jelenkori felmelegedés természeti-környezeti okokra visszavezethető folyamata várhatóan 3–600 évig tart (amiből közel 140 év már eltelt), hiszen a „római optimumtól” a „kis jégkorszakig” az

utóbbi két évezred klímaváltozásai egyaránt ilyen időhatárok között váltották egymást, s a jelenkori felmelegedés illeszkedik a hosszú távú éghajlati ciklusok sorába. Am jelenlegi ismereteink szerint nem lehet pontosan felmérni és előre jelezni a klímaváltozás forgatókönyvét meghatározó környezeti és az antropogén folyamatok kölcsönhatásait.

IRODALOM:

- 1 Bradley, R. S.—Jones, Ph. D. (1992): Climate since A.D. 1500: Introduction. In: Bradley, R. S.—Jones, Ph. D. (ed.): Climate Since A.D. 1500, London—New York, pp. 17—39.
- 2 Bradley, R. S.—Jones, Ph. D. (1992): Climatic variations over the last 500 years. In: Bradley, R. S.—Jones, Ph. D. (eds.): Climate Since A.D. 1500, London—New York, pp. 649—666.
- 3 Grynaeus A. (1997): Dendrológiai kutatások Magyarországon, kandidátusi értekezés, Budapest
- 4 Ingram, M.J.—Underhill, D.J.—Farmer, G. (1981): The use of documentary sources for the study of past climates. In: Wigley, T.M.L.—Ingram, M.J.—Farmer, G. (eds.): Climate and History, Cambridge pp. 180—213.
- 5 Kordos L. (1977): Holocén klímaváltozások kimutatása Magyarországon a pocok hőmérő segítségével. Földrajzi Közlemények 1—3. o. 222—229. o.
- 6 Lamb, H. H. (1982): Climate, History and the Modern World, London
- 7 Matthes, F. (1939): Report of Committee on Glaciers. Transactions American Geophysical Union, 21. pp. 518—523.
- 8 Mika J. (1989): A globális felmelegedés és magyarországi sajátosságai. Vízügyi Közlemények, 4. o. 543—558. o.
- 9 Mika J. (1996): Regionális éghajlati forgatókönyvek. In: Természet Világa különszáma 1996. 1. sz. ö. 69—74. o.
- 10 Mika J.—Ambrózy P.—Bartholy J.—Nemes Cs.—Pálvölgyi T. (1995): Az Alföld éghajlatának időbéli változékonysága. Halmozódó meteorológiai hatások. Vízügy Közlemények LXXVII. évf. 3—4. sz. o. 261—286. o.
- 11 Pfister, Ch. (1992): Monthly temperature and precipitation in central Europe from 1525—1979: quantifying documentary evidence on weather and its effects. In: Bradley, S.B.—Jones, Ph.D. (eds.): Climate Since A.D. 1500, London and New York
- 12 Pfister, Ch. (1994): Spatial patterns of climatic change in Europe A.D. 1675 to 1715. In: Burkhard Frenzel (ed.): Climatic trends and anomalies in Europe 1675—1715. Stuttgart 1994, pp. 287—316.
- 13 Rácz L. (1990): A történeti korok éghajlatának reprodukálása levéltári források alapján. Légkör 1990/1. o. 17—20. o.
- 14 Rácz L. (1991): A természeti környezet és a társadalom viszonyáról. Aetas, 3—4. o. 180—194. o.
- 15 Rácz L. (1993): Éghajlati változások a középkori és a kora újkori Európában. In: R. Várkonyi Á. Kósa L. (szerk.): Európa híres kertje. Történeti ökológiai tanulmányok Magyarországról, Budapest pp. 67-86.
- 16 Rácz L. (1993): A történeti ökológia másik arca: a természeti környezet hatása a társadalom változásaira. Magyar Tudomány, 11. o. 1297—303. o.
- 17 Rácz L. (1995): A Kárpát-medence éghajlattörténete a kora újkor idején. Történelmi Szemle, 4. pp. 487—508.
- 18 Réthly A. (1962. 1970. 1998): Időjárási események és elemi csapások Magyarországon. Budapest
- 19 Schüle, H.—Pister, Ch. (1992): Euro-Climhist — outlines of a Multi Proxy Data Base for investigating the climate of Europe over the last centuries. In: B. Frenzel (ed.): European climate reconstructed from documentary data: methods and results, Stuttgart pp. 211—218. (217)
- 20 Schüle, H. (1994): Data handling and process structure in the Euro-Climhist Data Bank. In: B. Frenzel (ed.): Climatic trends and anomalies in Europe 1675—1715, Stuttgart 1994, pp. 425—460.
- 21 Szentimrey T. (1994): Magyarországi hőmérsékleti adatsorok inhomogenitásának becslése. OMSZ Budapest 42. o.