

Kis magyar klímátörténet

A Concise Climate History of Hungary

In my overview of climate history, I try to give a comprehensive picture of the last two thousand years of climate history in the Carpathian Basin. In preparing the climate history reconstruction, I have used research findings based on sources from both the archives of society and nature. The natural archives include sediment and pollen analyses, ice core and dendrological studies, as well as lake and river water level reconstructions. To quantify historical sources from society's archives, I used the so-called Pfister indices, a seven-step scale using weighted indices to convert descriptive information into time series. Then, from the end of the eighteenth century onwards, time series from the observatories of the expanding and densifying network of meteorological stations help to reconstruct the climate of the Carpathian Basin. The overview of climate history begins with the Roman Warm Period (third century BC – third century AD), continues with the cooling of the Migration Period (fourth–ninth centuries), the Medieval Warm Period (900–1300) and the Little Ice Age (1300–1900), and ends with the Modern Warm Period (1900–1988). An important result of the climate-historical reconstruction is that the primary indicator of global climate change in the Carpathian Basin is the variation in the amount, composition, and temporal distribution of precipitation. The secondary indicator is the temperature change, and the third is the change in seasonal structure. During the global cooling events (the Migration Cooling, the Little Ice Age), the climate became wetter and the winters became characteristically colder and longer, with March often becoming a wintery month, prolonging the reign of the winter climate regime. During times of global warming, precipitation decreases and temperatures rise, thus reducing the number of snowy days and shifting the seasonal structure towards a two-season climate. In 1988, the modern warming process passed a tipping point that accelerated global warming, the consequences of which are extremely worrying.

A klímátörténet kialakulása

A klímátörténet, illetve a magyar nyelv adta választási lehetőségekkel élve, az éghajlattörténet az 1950-es évek végén lépett színre Európában, egészen pontosan Franciaországban. Emmanuel Le Roy Ladurie (1929–2023), aki az Annales iskola harmadik generációjának talán a legmeghatározóbb alakja volt, 1959-ben jelentette meg az *Annales* folyóiratban az *Histoire et climat* című tanulmányát,¹ amelyben a történészek közül elsőként kezdett foglalkozni a történeti korokban végbement éghajlati változásokkal. A történeti klímaváltozás kutatása ugyanakkor nem volt előzmények nélküli, hiszen a paleoklimatológia kezdetei egészen a 18–19. század fordulójáig vezethetők vissza. Fontos sajátossága ugyanakkor a paleoklimatológiának, hogy művelői az éghajlati, illetve a légköri változásokat jobbra a geológiai, illetve a földrajzi idő léptékében vizsgálják. A klímátörténet megszületéséhez elengedhetetlenül szükség volt annak a bizonyítására, hogy az éghajlat a történeti idő generációs léptékében is változik, és ezek a változások érzékelhető módon hatással voltak/vannak a kortársak életére. A természettudományos források értelmezése és felhasználása szempontjából meghatározó szerepe volt Hubert H. Lambnek (1913–1997), a brit meteorológiai szolgálat munkatársának, aki komoly eredményeket ért el a középkori meleg időszak (9–13. század) és a kis jégkorszak (14–19. század) beazonosításában, valamint a jelenkori felmelegedés folyamatának a kimutatásában.² Az európai klímátörténeti kutatás harmadik meghatározó alakja Christian Pfister (1944–), aki a Berni Egyetemen hozott létre egy rendkívül sikeres klímátörténeti kutatási központot, ahol volt szerencsém hozzávetőlegesen másfél évet eltölteni.³ Az Európai Tudományos Alap (European Science Foundation) által támogatott Euro-Climhist program végrehajtása során egy egészen kivételes éghajlattörténeti adatbázist sikerült létrehozni, amelynek az adatai nagyjából online hozzáférhetőek (www.euroclimhist.unibe.ch).

A magyar klímátörténeti kutatás meghatározó személyisége Réthly Antal (1879–1975) meteorológus, aki hosszú, tevékeny és igen kalandos pályája során volt a Magyar Meteorológiai Társaság első főtitkára, Kemál Atatürk felkérésére megszervezte a török meteorológiai szolgálatot, majd pedig ellátta a Magyar Meteorológiai és Földmágneseségi Intézet igazgatói teendőit is. Szisztematikus időjárás-, illetve klímátörténeti kutatásait a nyugdíjba vonulását követően, 1948-ban, 68 évesen kezdte el. A Szent István Társulat elnökeként maga köré gyűjtötte a kommunista hatalomátvételt követően feloszlott egyházi rendek tudós tanárait, akikből egy levéltári ku-

¹ Le Roy Ladurie 1959.

² Lamb 1982.

³ Pfister 1984; 1999; 2021.

tatásokat végző és klímátörténeti forrásokat feltáró és publikáló kutatói közösséget hozott létre. Réthly Antal munkatársai közül a legfontosabb személy Holovics Flórián (1903–1988) jezsuita szerzetes és levéltáros volt, akire Réthly gyakran hivatkozott a munkáiban. A közel három évtizedes klímátörténeti kutatómunka eredményeként egy háromkötetes forráskiadvány-sorozat jelent meg *Időjárási események és elemi csapások Magyarországon* címmel (Réthly 1962, 1970, 1998).⁴ Az első kötet az 1700 előtti évszázadok forrásait gyűjtötte egybe, a második a 18. század éghajlattörténeti forrásanyagát tartalmazza, míg az utolsó kötet, amely 1998-ban, Réthly Antal halála után jelent meg Simon Antal szerkesztésében, a 19. századi történeti forrásokat tartalmazza. Réthly Antal klímátörténeti munkásságának a források egybegyűjtésén és kiadásán túl fontos érdeme volt, hogy már akkor felvetette a történeti korokban lejátszódó éghajlati változások lehetőségét, amikor a vezető magyar meteorológusok közül senki más.

A klíma fogalmának a meghatározása

Christian Pfister és Heinz Wanner *Az utóbbi ezer év* alcímű klímátörténeti monográfiájukban az induktív tudományos megközelítést követve a következőképpen közelítettek az éghajlat fogalmához.⁵ Mindenekelőtt meg kell határoznunk az „időjárás” fogalmát. Az időjárás a légkör állapotának a leírására szolgál egy adott helyen vagy egy régióban, egy- vagy néhány napos időtartamban. A meteorológusok a legalapvetőbb méréseket a légkör legsó néhány méterében végzik el. Az atmoszférán belül a legsó réteg, a troposzféra az, amelyben a legfontosabb időjárási jelenségek végbemennek, úgymint a viharok, a felhőképződés, az intenzív csapadékhullás (beleértve a hóesést is), a villámcsapások, és még sorolhatnánk a példákat. A troposzféra tartalmazza a teljes légkör tömegének a 90%-át és a vízgőz majdnem 100%-át. Ugyanakkor az időjárási folyamatok jelentős része egy igen csekély vertikális kiterjedésű tartományban megy végbe, amely a Föld felszínétől mindössze néhány száz méterre, esetleg 1 km-re terjed ki.

Az „éghajlat” egy statisztikai fogalom, amelynek az empirikus meghatározásához a napi, a havi és a szezonális éghajlati változók több évtizeden át tartó ismerete szükséges. A Meteorológiai Világszervezet (WMO) álláspontja szerint az éghajlat meghatározásához legalább harminc év időjárási adataira van szükség, és lehetőség szerint olyan időszakot célszerű kiválasztani, amelynek nincs egyértelmű klímaváltozási trendje. Az 1980-as évek végéig az 1901–1960 közötti idő-

⁴ Réthly 1962; 1970; 1998.

⁵ Pfister–Wanner 2024.

szak, ezt követően pedig az 1961–1990 közti három évtized átlagai számítottak referencia-időszaknak, azonban az utóbbi években a kutatók elkezdték használni az 1991–2020 közötti időszakot éghajlati referenciaként. Az éghajlatra egyfajta várakozási horizontként tekintünk, ahogy a német mondás tartja: „Az éghajlat az, amire számítasz, az időjárás pedig az, amit megtapasztalsz.”

A klímátörténeti kutatás forrásai

A történeti korok éghajlati változásainak a kimutatásában és azok nyomon követésében két forráscsoportnak van meghatározó szerepe: a természettudományos és a történeti forrásoknak. A nemzetközi klímátörténeti szakirodalomban az első forráscsoportot a „természet archívumai” névvel illetik, míg a másodikat a „társadalom archívumai” néven tartják számon.

A természet archívumai

A természet archívumainak forráscsoportjaiból csak azokat vesszük számba, amelyeknek a Kárpát-medence éghajlattörténeti kutatása szempontjából komolyabb jelentősége van:

- A dendrokronológia, illetve a dendroklimatológia módszere azon alapul, hogy az évszakai klímában élő fás növények törzsének, ágainak és gyökereinek keresztmetszeti képen koncentrikus gyűrűk láthatók. Ezek a gyűrűk a növény táplálékát szállító szövetrendszer elemeit létrehozó kambium szakaszos működése során jönnek létre. Az egy tenyészidőszak alatt keletkezett világos színű tavaszi és sötét színű őszi pászta alkot egy évgyűrűt. Az egyes évgyűrűk szerkezete és vastagsága tükrözi az adott év hőmérséklet- és csapadékviszonyait, ráadásul különböző faminták összeillesztésével igen hosszú évgyűrű-idősorok hozhatók létre. A kiindulópont többnyire egy élő fa, amelynek egy jellegzetes évgyűrűcsoportjához illeszthető egy korábban elpusztult fa évgyűrűsorozata (épületfa, régészeti feltárásban felszínre hozott faanyag). Ilyen módon több ezer éves folyamatos évgyűrű-idősorok hozhatók létre. A kutatási módszer magyarországi meghonosításában Grynaeus Andrásnak vannak meghatározó érdemei,⁶ de fontos eredményeket ért el ezen a területen Kern Zoltán is.⁷

⁶ Grynaeus 1997; 2022.

⁷ Kern 2010.

- A növényi pollenek elemzése segítségével meg lehet határozni egy adott terület vegetációjának az összetételét egy adott területre és időszakra vonatkozóan. A pollenanalízis a pollenszemek egyedi tulajdonságain alapul, amelyek lehetővé teszik a növények azonosítását még akkor is, ha a növények, illetve más maradványaik már nem fellelhetők az adott területen. A pollenek évezredekken át megőrződhetnek a tómedrekben és a mocsaras területeken, a pollenanalízis segítségével pedig rekonstruálható az elmúlt korok vegetációja, ezáltal pedig a terület környezeti és éghajlati viszonyai. Történeti szempontból is fontos kutatási eredményeket ért el ezen a területen Sümegi Pál.⁸
- Az oxigén 18-as izotópjának vizsgálata, illetve mérése éghajlattörténeti szempontból különösen nagy jelentőségű olyan rétegsorok vizsgálatánál, amelyekből hiányoznak az élőlények maradványai (ilyenek például a barlangi cseppkövek), illetve nem rendelkeznek geológiai jellemzőkkel (hó-, illetve jégretegek). A módszer alapja az a folyamat, amely során ^{16}O -ból a napsugárzás hatására ^{18}O stabil izotóp keletkezik a felszínen. Az ^{18}O relatív mennyisége a szoláris aktivitásnak megfelelően időben változik, és az oxigént tartalmazó anyagokba (vízbe, hóba, jégbe) a levegőben levő mindenkor $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ arányban épül be az oxigén. Mivel a szoláris aktivitás növekedése hőmérséklet-emelkedést, csökkenése pedig lehűlést eredményez, ilyen módon a hőmérséklet változása az $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ arány méréseivel követhető és kimutatható. A Kárpát-medence klímátörténetének fontos kutatási eredményei Kern Zoltán jégmagvizsgálatai.⁹

A társadalom archívumai

A társadalmak archívumai kifejezés alapvetően a történeti források körét jelöli. Az időjárás és a klíma rekonstrukcióját illetően a történeti források lehetnek dokumentumok és az épített környezetben megőrzött információhordozók egyaránt. A „dokumentum” kifejezés számos forrástípust foglal magában, ilyenek például a személyes és a hivatalos kéziratok, a nyomtatott szövegek, a műalkotások vagy éppen az elektronikus adatok. A természeti környezetben található információhordozók körébe tartoznak a régészeti feltárások anyagai és tárgyai, valamint az épületeken található rendkívüli események emlékei, mint amilyenek például a magas

⁸ Sümegi et al. 2009; 2024.

⁹ Kern 2010.

vízállások jelei. A Kárpát-medence éghajlattörténete szempontjából a következő forráscsoportoknak van kitüntetett jelentősége:¹⁰

- Krónikák. A magyarországi krónikák földrajzi szempontból három csoportra oszthatók: országos, regionális és városi krónikák. Az országos krónikák szövegében az éghajlati-környezeti viszonyok jobbára marginálisan, a hadi eseményeket segítő vagy inkább gátló külső tényezőként jelentek meg. A regionális krónikákban már fontos éghajlattörténeti részletek is szerepeltek, így a szélsőséges időjárási események, elemi csapások, s ami a legfontosabb, a mezőgazdaság eredményességének vagy éppen sikertelenségének az időjárási okai. Éghajlattörténeti szempontból a városi krónikák a legjobb forrásaink, mivel a városi lakosok életük csaknem minden napján ki voltak szolgáltatva a falaikon kívüli világnak, szimbiózisban éltek mezőgazdasági ellátó körzetükkel. Nem véletlen, hogy a városi krónikák szerzői, akik nem ritkán városuk magas rangú előljárói is voltak egyben, nagy terjedelemben írtak a mezőgazdasági munkák, illetve az időjárás alakulásáról.
- Évkönyvek. Az évkönyvek forráscsoportján belül az újkor idején a jezsuita rendházak diáriumai és a ferences rendházak historia domusai voltak a legjobban felhasználható éghajlattörténeti források. Az évkönyveket vezető szerzetesek érdeklődésüktől függően változó részletességgel ugyan, de rendszeresen beszámoltak az időjárás alakulásáról. A szerzetesek szorgalmának és alaposságának köszönhetően már a 17. század utolsó harmadában vannak olyan időszakok, amelyekről napi pontosságú éghajlattörténeti rekonstrukció készíthető.
- Uradalmi gazdasági feljegyzések. Az uradalmi gazdasági feljegyzések forráscsoportjába gazdasági tisztviselők által létrehozott kimutatások tartoznak. Ezekben a jelentések készítői mindenekelőtt a mezőgazdasági termelés eredményességével foglalkoztak, szem előtt tartva azt az általános vélekedést, hogy az „időjárás a valódi gazda mindenütt”.
- Személyes feljegyzések. Az éghajlattörténeti rekonstrukció legfontosabb forráscsoportjává, az írásbeliség terjedésének köszönhetően, a 17. század második felétől kezdve a személyes feljegyzések váltak. A klímátörténeti utalásokat is tartalmazó naplók és magánlevelek szerzői városi polgárok, egyházközségeket vezető papok, gazdálkodó nemesemberek voltak, akik nagy figyelmet szenteltek az időjárás alakulásának. Az időjárási esemé-

¹⁰ Rácz 2001.

nyek részletes leírása mellett kitértek a mezőgazdasági terméseredmények ismertetésére s a piaci árak alakulására is.

- Korai újságok. A 18. század utolsó harmadától kezdődően egyre fontosabbá váltak az éghajlattörténeti rekonstrukció szempontjából az ez idő tájt megjelenő újságok. A sort az 1764-ben Pozsonyban megjelenő német nyelvű *Pressburger Zeitung* nyitja, amely a magyarországi sajtó történetének leghosszabb életű lapja volt, egészen 1929-ig megjelent. Ezek a korai újságok az általuk közölt híreket részint a kiépített levelező-tudósító hálózat révén szerezték be, részint pedig szemlézték a korabeli európai lapokat. A hetenként általában kétszer megjelenő újságok hallatlan előnye, hogy híreiket olvasva áttekintést szerezhethünk az ország nagy területeinek időjárási-környezeti viszonyairól.
- Korai műszeres mérések. A 17–18. század fordulóján terelődött a természettudományos műveltségű tanárok és orvosok érdeklődése az időjárás rendszeres megfigyelése felé. Az általuk alkalmazott műszerek kalibrációja és pontossága gyakran hagyott kívánnivalót maga után, ugyanakkor ezeknek a megfigyeléseknek köszönhetően készültek az első napi pontosságú kvantitatív idősorok a légkör állapotáról.
- Műszeres meteorológiai mérések. Az intézményes meteorológiai észlelés 1755-ben kezdődött Magyarországon, a nagyszombati egyetemen. Az egyetemet Mária Terézia királynő 1777-ben áthelyeztette Budára az átépített királyi várpalotába. Ekkor épült a várban az a csillagászati torony, amely asztronómiai és meteorológiai obszervatóriumként is működött, ahol 1780-tól kezdődően folytattak hőmérséklet-, csapadék- és légnyomásméréseket, valamint feljegyzések készültek a felhőborítottságról is. A budapesti „észlelde” megalapítását több mint hetven évvel követte az esztergomi (1852), a debreceni, a pécsi és a pesti (1853), a szegedi (1854), a pannonhalmi (1856), a győri és a magyaróvári (1859), a veszprémi (1860), az egri (1861), a szolnoki (1864), a soproni és a szombathelyi (1865), valamint a nyíregyházi állomás megalapítása (1866), ám az országos hálózat csak a 19. század utolsó harmadában szerveződött meg. A hálózat kiépítésének a munkáját az 1870-ben alapított és 2024-ben megszüntetett Magyar Meteorológiai Szolgálat és jogelődje, a Magyar Királyi Meteorológiai és Földdelejtességi Intézet végezte el.

A tudományos elemzés szempontjából a leíró történeti források kiemelendő gyengesége, hogy információik nagyobbrészt nem homogének, nem folyamatosak és nem kvantitatívak. Ennek a problémának a megoldására Christian Pfister és

Hannes Schüle egy többlépcsős elemzési, rendezési, „információtisztítási” módszert hozott létre.¹¹ Első lépésben térben és időben kell rendezni a források által közölt információkat. Ezzel párhuzamosan szét kell válogatni tartalmi szempontból a forrásokban közölt információkat arra vonatkozóan, hogy közvetlen (például hóesés) vagy közvetett (például a folyó befagyása) időjárási-környezeti, esetleg fenológiai (a búza érése, szőlő szüretelése) adatról van-e szó. A leíró történeti forrásokból kinyert és rendezett információ számszerűsítésének számos kvantifikációs skálája létezik, ilyenek a Brooks-, az Easton- vagy a Lamb-skála, de mind között a „Pfister-indexnek” nevezett hétfokozatú skála bizonyult a leghasználhatóbbnak, amelyet Christian Pfister, a Berni Egyetem professzora fejlesztett ki.

+3	rendkívül meleg / csapadékos
+2	nagyon meleg / csapadékos
+1	meleg / csapadékos
0	átlagos
-1	hideg / száraz
-2	nagyon hideg / száraz
-3	rendkívül hideg / száraz

1. táblázat. A Christian Pfister által a leíró történeti források információinak számszerűsítésére bevezetett hétfokozatú skála, amelyet egyaránt lehet használni a hőmérséklet, a csapadék vagy éppen a terméseredmények kvantifikációjához.

A források által leírt időjárási eseményt vagy terméseredményt egy ± 3 -as skálán helyezzük el, ahol a 0 az átlagot, a +3 a rendkívül magas, míg a -3 a nagyon alacsony hőmérsékletet, csapadékot jelenti. Fontos megjegyezni, hogy az indexértékek létrehozása matematikailag nem formalizálható folyamat, hiszen a megfelelő(nek tartott) érték odaítélése során számos tényezőt kell figyelembe venni. A „súlyozás” legfontosabb szempontja természetesen a forrás megbízhatósága, ám tekintetbe kell venni a leírás értelmezhetőségét és kontextusát egyaránt.

Klímatörténeti korszakok az utóbbi kétezer évben

Klímatörténeti áttekintésünk fókuszában a magyar államfejlődés szempontjából meghatározó jelentőségű ezer év éghajlattörténeti folyamatai állnak, ugyanakkor érdemes röviden kitérni azokra a klímatörténeti előzményekre is, amelyeknek

¹¹ Schüle–Pfister 1992.

szerepe lehetett a magyar törzsek vándorlásaiban.¹² Amennyiben ilyen módon kitágítjuk az elemzés időbeni horizontját, akkor öt éghajlattörténeti periódussal kell számolnunk: (1) a Kr. e. 3. századtól a Kr. u. 4. századig tartott a római meleg időszak (*Roman Warm Period*), (2) az 5. századtól a 9. század végéig tartott a népvándorlások korának a lehülése (*Cold Period of Age of Migration*), (3) a 9–10. század fordulójától a 13. század végéig tartott a középkori meleg időszak (*Medieval Warm Period*), (4) a 13–14. század fordulójától a 19–20. század fordulójáig datáljuk a kis jégkorszakot (*Little Ice Age*), (5) a 20. században pedig elkezdődött a modern kori felmelegedés időszaka (*Modern Warm Period*). Vegyük sorra ezeket a klímátörténeti korszakokat, a vizsgálat fókuszába ugyanakkor a magyar történelem szempontjából elsődleges jelentőséggel bíró utolsó három periódust állítjuk.

A római meleg időszak éghajlati hatásai az egész északi féltekén megmutatkoztak. A Kr. e. 3. század dereka és a Kr. u. 4. század vége között a kontinentális európai területek klímája melegebbé vált. Grynaeus András dendroklimatológiai vizsgálatai alapján Pannóniában a császárkor idején kifejezetten enyhe, helyenként szubmediterrán jellegű klíma mutatható ki.¹³ A klímátörténeti szakirodalomban vitatott kérdés, hogy mikor ért véget a római meleg időszak, és mikor kezdődött a népvándorlások korának a lehülése, az időpontok a 3. és a 6. század között váltakoznak. A dendroklimatológiai kutatási eredmények az északi félgömbön egyértelmű és erőteljes lehülést mutatnak a 6. század idején, az európai tölgyek évgyűrűi 540-ben voltak a legkeskenyebbek az utóbbi kétezer évben. A grönlandi és az antarktiszi jégmagvizsgálatok eredményei szerint az 536 és 545 közötti időszak a vulkánkitörések szempontjából az utóbbi 2500 év második legextrémebb évtizedeként jellemezhető. Ekkor volt a legalacsonyabb a nyarak évtizedes hőmérsékleti átlaga az utóbbi 1500 évben. Nem véletlen, hogy a 6. századot a klímátörténeti szakirodalomban a késő antikvitás kis jégkorszakának (*Late Antique Little Ice Age*) nevezték el.¹⁴

A nagybárkányi Nádas-tó fúrásmintájának segítségével az elmúlt kétezer év éghajlati változásai évszázados pontossággal vizsgálhatók.¹⁵ Ezen adatsor szerint a térségben a 6. század volt a legcsapadékosabb az elmúlt kétezer évben, az évi és a júliusi középhőmérséklet jóval elmaradt a római kor átlagától, ugyanakkor a kis jégkorszak értékeit messze nem érte el (1. ábra). A 6. és a 9. század között folyamatosan az elmúlt kétezer év átlagát meghaladó csapadékmennyiség rekonstruálható.¹⁶ Érdekes ellentmondás, hogy a leíró történeti forrásokban szereplő késő

¹² Pfister–Wanner 2024.

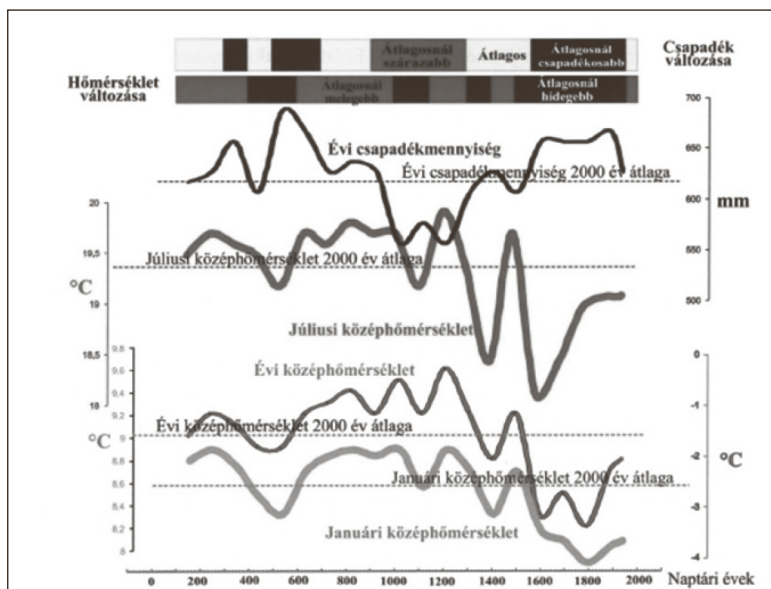
¹³ Grynaeus 1997; 2022.

¹⁴ Büntgen et al. 2016.

¹⁵ Sümegi et al. 2009; 2024.

¹⁶ Sümegi et al. 2014.

avar kori szárazság meglétét a nagybárkányi pollenvizsgálatok cáfolják, viszont a Bihar-hegységben végzett pollenvizsgálatok alátámasztják.¹⁷



1. ábra: Az elmúlt kétezer év éghajlati változásai a nagybárkányi pollenadatok alapján (Sümegei et al. 2011 nyomán Masek 2021, 114.)

A középkori meleg időszak

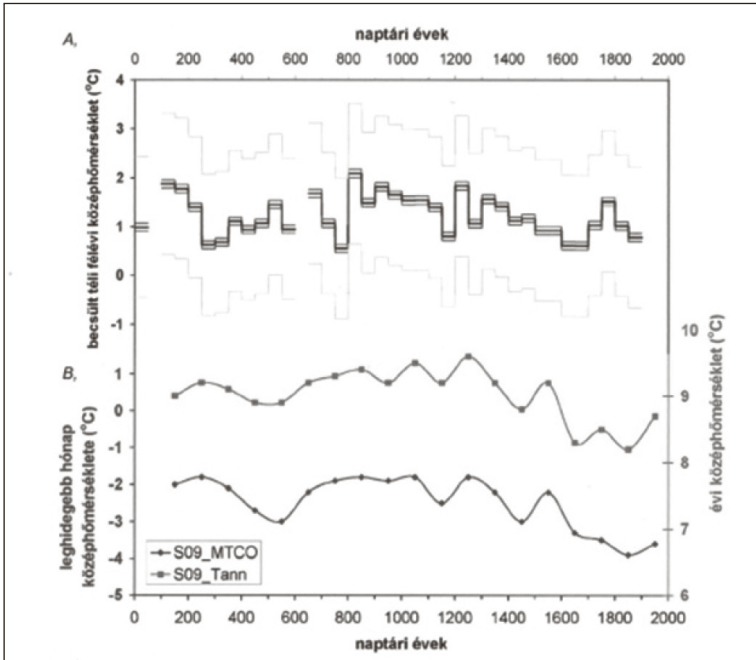
A 9. századtól a 13. és a 14. század fordulójáig tartó nagytérsegi felmelegedést az angol éghajlattörténeti kutatás megteremtője, Hubert H. Lamb mutatta ki elsőként az 1960-as években, s nevezte el „középkori meleg időszaknak” (*Medieval Warm Epoch*).¹⁸

Kern Zoltán bihari jégmagvizsgálatai szerint a 9. század első felének telei voltak a legenyhébbek az utóbbi kétezer évben, a hőmérséklet-növekedés értéke elérhette a 1,5 °C-ot a népvándorlások korának a lehűléséhez képest (2. ábra). A 12. század végén egy rövid hidegperiódus szakíthatta meg az enyhébb telek dominanciáját, a 13. század első fele az utóbbi ezer esztendő egyik legenyhébb téli hőmérsékleti átlagát produkálta, ami jól illeszkedik a Christian Pfister által beazonosított és leírt

¹⁷ Jakab et al. 2021.

¹⁸ Lamb 1982.

13. századi környezettörténeti virágkor időszakába.¹⁹ Hasonló eredményekre jutott Sümegi Pál is, aki szerint az enyhe téli időjárás az Északi-középhegység területén a 7–8. század fordulójától kitartott egészen a 13. század végéig.²⁰ Az oxigénizotópos jégmagvizsgálatok és a dendroklimatológiai rekonstrukciók eredményei alapján a középkori meleg időszak hozzávetőlegesen 800 és 1250 közé datálható. Az utolsó karakteresen enyhe telek az 1220 és 1240 közötti időszakban uralták a Kárpát-medence téli időjárását. A nagybárkányi Nádas-tó üledékeinek vizsgálata az Árpád-kor időszakában száraz klímát feltételez a középhegységi zóna térségében, amely a tó 13. századi kiszáradása idején kulminált.



2. ábra. Az Eszkimó-jégbarlang (Bihar-hegység) barlangi jégfúrásának stabilizotópos adatai alapján rekonstruált téli félévi középhőmérséklet-adatok, kiegészítve a nagybárkányi Nádas-tó üledékeiből nyert adatokkal (Kern 2010 nyomán Masek 2021: 117.)

¹⁹ Pfister–Wanner 2024.

²⁰ Sümegi et al. 2014, 2024.

Az érett középkor (11–13. század) magyarországi éghajlattörténetére vonatkozó levéltári források meglehetősen sporadikusan állnak rendelkezésre, ezek szisztematikus feldolgozását Kiss Andrea végezte el.²¹ A kortárs feljegyzésekben kevés nyoma maradt az időjárási eseményeknek, a krónikások jobbára csak valamilyen szélsőséges időjárási eseményről, illetve ritka légköri jelenségről készítettek feljegyzést. Viszonylag jól dokumentáltak a Kárpát-medence középkori Duna-befagyásai, amelyek a hideg téli időjárási rezsim meggyőző bizonyítékai voltak. A Duna 1241–1242. évi befagyásának esetében viszonylagos pontossággal datálhatjuk a befagyás kezdetét. Két uralkodói oklevél alapján az átkelés időpontját valamikor 1242. január közepe és február 2-a közé tehetjük. A Duna befagyása mindenképpen súlyosbította a tatárjárás pusztításait, különösen a dunántúli területeken, melyeket részben megkímélhetett volna egy vékonyabb, átkelésre nem alkalmas jégborítás vagy egy enyhébb, fagymentes tél.

A kis jégkorszak

A klímátörténeti szakirodalomban a kis jégkorszak vonatkozásában megkülönböztetik az északi és a déli félteke kis jégkorszakát, mivel az eltérő kontinens-óceán-arányok karakteresen különböző éghajlattörténeti folyamatokat alapoztak meg. Az északi kis jégkorszak hosszabb és hidegebb volt, a déli lényegesen később kezdődött, és az óceánfelszín dominanciája miatt a lehűlés intenzitása kevésbé volt erőteljes. A Kárpát-medence klímátörténete szempontjából értelemszerűen az északi kis jégkorszak (*Boreal Little Ice Age*) éghajlattörténeti folyamatai az irányadóak. A kis jégkorszak Európában 1300 környékén kezdődött, és a 19. és a 20. század fordulóján ért véget.²²

A természet archívumai és a kis jégkorszak

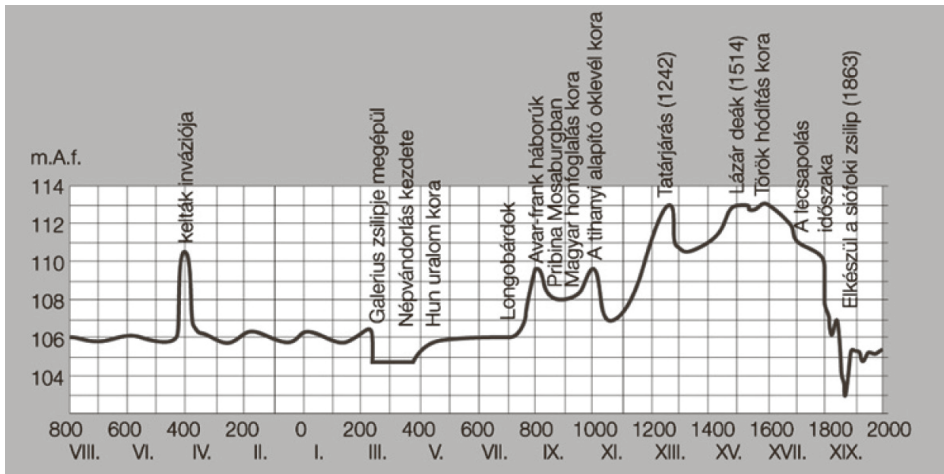
A késő középkor Kárpát-medencei klímátörténetéről elsősorban a természet archívumaiból származó kutatási eredményeink vannak. A már említett nagybárkányi kutatás a 13. század derekától mutat ki jelentős lehűlést, amely évszázados léptékben tartósnak bizonyult. A 14. század végén egy rövid, melegebb időszakot leszámítva a hideg-hűvös éghajlati rezsim állandósult egészen a 19. század második feléig, ezt követően azonban elkezdődött egy felmelegedés. A hőmérséklet csökkenésével párhuzamosan a csapadék mennyisége növekedésnek indult, és a

²¹ Kiss 2019.

²² Pfister–Wanner 2024.

14. századtól kezdve az évi csapadék mennyisége már meghaladta az elmúlt évezred átlagát. A dél-dunántúli Baláta-tó környezettörténeti vizsgálata szerint a hűvös-csapadékos éghajlati rezsim már a 13. század végén elkezdődött.²³

A Balaton vízszintje a 13. század végén több méterrel emelkedhetett, és elárasztotta a Nagyberek jelentős részét.²⁴ A vízszintemelkedés csúcspontja a 16. és a 17. századra datálható. Hasonló tendenciák rajzolódnak ki a Tisza-völgyben is. Szer (Ópusztaszer) település például egyértelműen a magasabb térszín felé terjeszkedett a késő középkor idején. Ugyanebben az időben Békés vármegye területén az alacsonyabb térszínnek az Árpád-kort követően elnéptelenednek. A Pinke Zsolt által vezetett tájtörténeti kutatócsoport eredményei szerint a települések késő középkori magasabb térszínnek irányába történő vándorlása egyaránt érintette az Alföld és a Dunántúl kiterjedt területeit.²⁵



3. ábra. A Balaton vízszintingadozásai Kr. e. 800 és Kr. u. 2000 között (Bendefy–V. Nagy 1969)

Régészeti adatok is utalnak arra, hogy a késő középkor idején a Kárpát-medence csapadékmérlege a jelenkorinál nagyobb aktívumot mutatott. A Balaton közelében található récéskúti bazilika padozatát a 14. században meg kellett emelni a tó vízszintjének, illetve a talajvíz emelkedésének következtében (3. ábra). Györffy György és Zólyomi Bálint kutatási eredményei szerint a 13–15. századi alföldi határleírások és határmegújítások során igen gyakran felmerülő probléma

²³ Sümegi et al. 2014.

²⁴ Bendefy–V. Nagy 1969; Kiss 2019.

²⁵ Pinke–Ferenczi–Gábris 2015.

volt a határjelek vizek miatti megközelíthetetlensége. Ugyancsak az éghajlat csapadékosabbra fordulását jelzi a vízimalmok széles körű elterjedése a 13. századtól, olyan patakokon is, amelyek vize a 20. században már nem volt elegendő malomhajtásra.²⁶

Kern Zoltán bihari oxigénizotópos jégmagvizsgálata szerint a 13. század derekától kezdődően, mintegy három és fél évszázadon keresztül egyenletesen csökkent a telek hőmérséklete, hozzávetőlegesen 1,2 °C-kal. A lehűlés mélypontját a 17. század jelentette, amely egyben a teleket tekintve az elmúlt évezred leghidegebb évszázada volt.²⁷

A társadalmak archívumai: a Kárpát-medence éghajlattörténete 1500-tól 2000-ig

A telek

A telek hőmérsékletjárása

A 16. század második felétől nagyobb számban rendelkezésre álló téli időjárási megfigyelések tanúsága szerint a századvég és a 16–17. század fordulójának telei változékonyak voltak (4. ábra). Az 1580-as évtized enyhébb teleit (1,2 °C)²⁸ az 1560-as (-0,1 °C) és az 1600-as (0,2 °C) évtizedek hideg telei fogták közre. A 17. század első kétharmadának telei igen hidegek voltak, a lehűlés az évszázad elején kezdődött, első mélypontját az 1620-as években (-0,5 °C), a másodikat pedig az 1680-as években érte el (-0,4 °C). A 17–18. század fordulóján és a 18. század első harmadában a telek valamelyest enyhébbé váltak, ezt a melegedési folyamatot az 1730-as évtized (1 °C) enyhe telei tetőzték be. A 18. század derekán változékony volt a telek hőmérsékletjárása, ám a hideg évtizedek mutatkoztak meg karakteresebben, különösen említésre méltóak az 1740-es (-0,2 °C) és az 1780-as (-0,5 °C) évtizedek igen hideg telei. A történeti rekonstrukció időszora szerint a 19. század első felében a telek egyre enyhébbé váltak Magyarországon, az enyhülés különösen erőteljesen mutatkozott meg az 1820-as (1,2 °C) és az 1840-es (1,7 °C) évtizedekben.

²⁶ Györffy-Zólyomi 1996.

²⁷ Kern 2010.

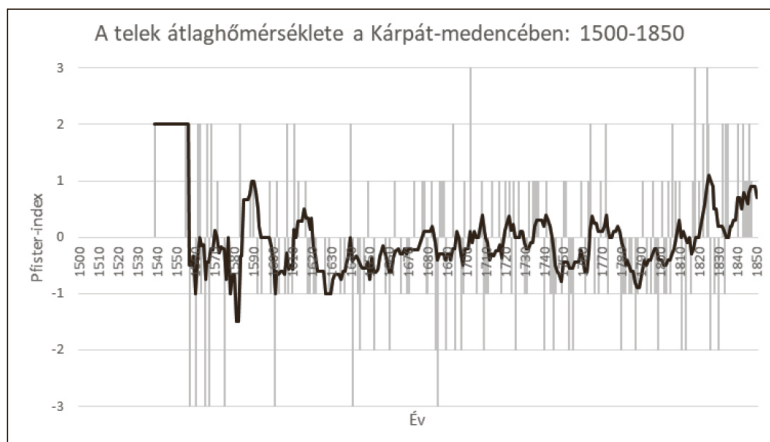
²⁸ A hőmérsékleti- és csapadékindex-értékek átváltásáról részletesen lásd: Rác 2001.

rendkívül hideg	szokatlanul hideg	hideg-hűvös	átlagos	enyhe	szokatlanul enyhe	meleg
-3,4 °C -3	-1,8 °C -2	-0,5 °C -1	0,9 °C 0	1,6 °C +1	2,6 °C +2	3,4 °C +3
45 mm	63 mm	97 mm	132 mm	158 mm	195 mm	239 mm
rendkívül száraz	szokatlanul száraz	száraz	átlagos	csapadékos	szokatlanul csapadékos	rendkívül csapadékos

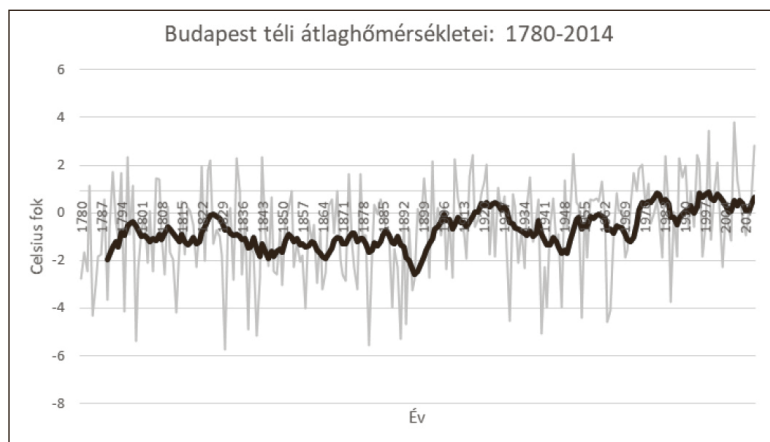
2. táblázat. A telek időjárásáról tudósító éghajlattörténeti források számszerűsítési skálája.²⁹

A budapesti téli hőmérsékleti idősor adatai szerint az 1830-as évektől egészen a 19. század végéig igen hidegek voltak és maradtak a telek, különösen hidegek voltak az 1890-es (-0,9 °C) évek telei. A 20. század elején erőteljes felmelegedés kezdődött, amelynek első hulláma az 1910-es (1,3 °C) években tetőzött. A század derekán átmenetinek bizonyult visszahűlés ment végbe, amelynek súlypontjai az 1940-es (-0,49 °C) és az 1960-as (0,08 °C) évtizedek telei voltak. Az 1970-es (1,7 °C) években minden korábbinál enyhébbé vált a telek időjárása, majd az 1990-es évek átlaga (1,73 °C) még felül is múlta a két évtizeddel korábbi hőmérsékleti rekordot. A 2000-es évek teleinek átlaghőmérsékletei erőteljes ingadozásokat mutattak, ugyanakkor az évtizedes átlagok valamelyest elmaradtak a 20. század utolsó évtizedétől.

²⁹ Kívül a történeti forrásokból kinyerhető rövid szöveges összegzések tanulmányozhatók, középen a Pfister-indexek értékei láthatók, közöttük pedig az indexértékekhez rendelhető hőmérsékleti és csapadékadatok olvashatók. Az indexértékek fizikai paraméterekre történő leskáálázása az 1901–60 közötti budapesti idősor alapján készült (erről részletesen: Rácz 2001).



4. ábra. A telek hőmérsékletének alakulása a Kárpát-medencében 1500 és 1850 között, leíró történeti források számszerűsítése alapján (erről részletesebben: Rácz 2001)

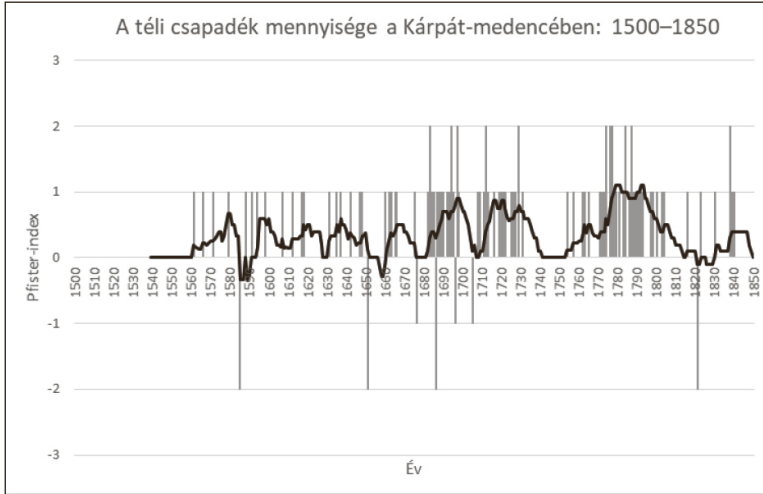


5. ábra. Budapest téli hőmérsékleti időszora 1780 és 2014 között, az évszakos átlaghőmérsékletek és a téli időszor 10 éves mozgóátlagja az 1901–1960-as időszak átlagához viszonyítva

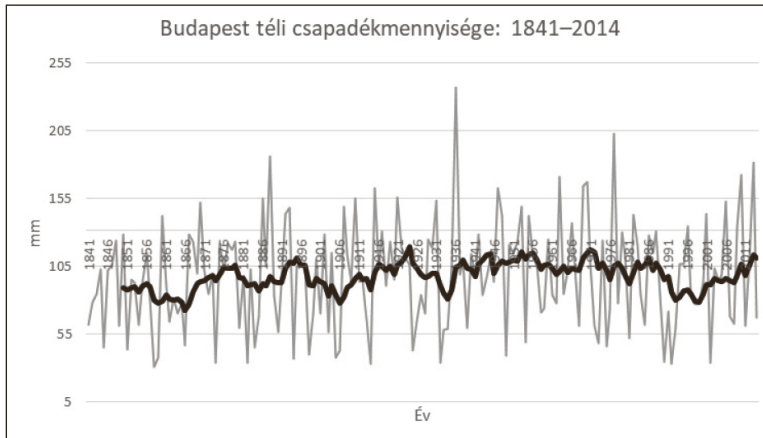
A telek csapadékviszonyai

Az éghajlattörténeti rekonstrukció téli csapadékidőszora tartós, ám némileg ingadozó csapadéktöbbletet mutat a 16. század második felétől gyakorlatilag a 18. század végéig (5. ábra). Ezen a trenden belül is különösen csapadékosak voltak az 1680-as (153 mm), az 1710-es (150 mm) és az 1720-as (151 mm), az 1770-es (160 mm), az

1780-as (167 mm) és az 1790-es (151 mm) évtizedek. A 19. század első felében a történeti rekonstrukció adatai szerint némileg csökkent a téli csapadék mennyisége, a csökkenés az 1820-as (127 mm) években volt a leginkább szembetűnő.³⁰



6. ábra. A telek csapadékának alakulása a Kárpát-medencében 1500 és 1850 között, történeti források számszerűsítése alapján (erről részletesebben: Rácz 2001)



7. ábra. Budapest téli csapadékidőszora 1841 és 2014 között, az évszakos csapadékatlagok és a téli időszor 10 éves mozgóátlaga az 1901–1960-as időszak átlagához viszonyítva

³⁰ Rácz 2001.

A budapesti téli csapadékidősr adatai szerint az 1850-es (103,9 mm) évtized telei voltak a legszárazabbak, majd az 1870-es (136 mm) évtized havas teleit a 19–20. század fordulóján újabb száraz időszak követte. A 20. század kezdetétől a telek egyre csapadékosabbá váltak, ez a folyamat az 1950-es (141,1 mm) években tetőzött, amely a budapesti hőmérsékleti idősr legcsapadékosabb évtizede volt. Az 1960-as évektől kezdődően azonban a telek egyre szárazabbá váltak, s ez a folyamat az 1990-es (88 mm) években rendkívüli módon felerősödött. A 21. század első évtizedében azonban a csapadék mennyisége szélsőséges ingadozásokkal, de mérsékelt növekedésnek indult.

A telek éghajlatváltozásainak jellemzői

A 16. század második felétől a 18. század végéig a telek nagyjából hidegek és havasak voltak Magyarországon. Ez a tartósan fennálló éghajlati rendszer a 19. század elején változott meg, amikor a telek enyhébbé és némileg szárazabbá váltak. A 19. század második felében végbement még egy újabb visszahűlés, ám ezt már nem kísérte a telek erőteljesen csapadékosává válása. A 19–20. század fordulójától kezdődően a telek időjárása egyre enyhébbé vált, amit az 1950-es évekig a téli csapadék növekedése, az 1960-as évtizedtől pedig erőteljes szárazodás kísért, ami az ezredfordulón némileg mérséklődött, ugyanakkor a szélsőséges időjárási helyzetek gyakorisága erőteljesen megnövekedett.

A tavaszok

A tavaszok hőmérsékletjárása

A fél évszázados átlagok diagramját vizsgálva szembetűnő, hogy a 16. század elejétől a 19. század derekáig, az éghajlattörténeti rekonstrukció teljes tartományában a tavaszok átlaghőmérséklete tartósan a hűvös-hideg hőmérsékleti tartományon belül maradt (6. ábra). A 16. század tavaszainak évtizedes átlaghőmérsékletei igen változékonyak voltak, aminek a legfontosabb oka talán az volt, hogy ebből a századból jószerivel csak hőmérsékleti anomáliákról szóló híradások maradtak ránk. A 16. század évtizedes átlagai közül figyelmet érdemelnek az 1540-es (11,8 °C) évek enyhe és az 1560-as (10,2 °C) évek hűvös tavaszai. A hűvös 17. századi tavaszok idősorán belül különösen hideg volt az évszázad első évtizede (10,2 °C), az 1660-as (10,2 °C) évek, valamint az 1690-es (10,5 °C) évtized. A 18. század tavaszainak átlaghőmérséklete is a hűvös-hideg tartományon belül mozgott, a hideg éghajlati rendszer az 1760-as (10,3 °C) és az 1780-as (10,3 °C) években

mutatkozott meg legerőteljesebben. A 18–19. század fordulóján mintegy két évtizedre kiegyensúlyozottabbá vált a tavaszok hőmérsékletjárása, ám az 1810-es évektől kezdődően a tavaszok időjárása évtizedről évtizedre hidegebbé vált. A tavaszok lehűlése az 1830-as (10,3 °C) és az 1840-es (10,2 °C) évtizedekben volt a legszembetűnőbb.

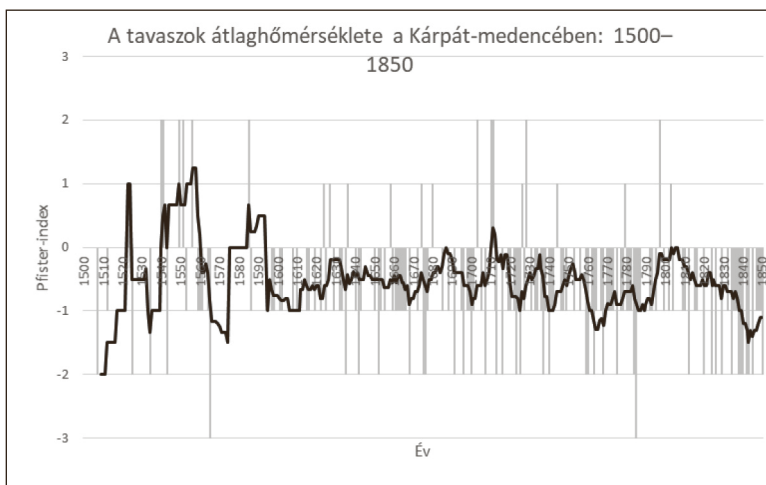
hideg	szokatlanul hűvös	hűvös	átlagos	enyhe	meleg	szokatlanul meleg
9,3 °C	9,7 °C	10,2 °C	11,1 °C	11,8 °C	12,6 °C	13,7 °C
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
84 mm	101 mm	120 mm	159 mm	193 mm	222 mm	288 mm
rendkívül száraz	szokatlanul száraz	száraz	átlagos	csapadékos	szokatlanul csapadékos	rendkívül csapadékos

3. táblázat. A tavaszok időjárásáról tudósító éghajlattörténeti források számszerűsítési skálája³¹

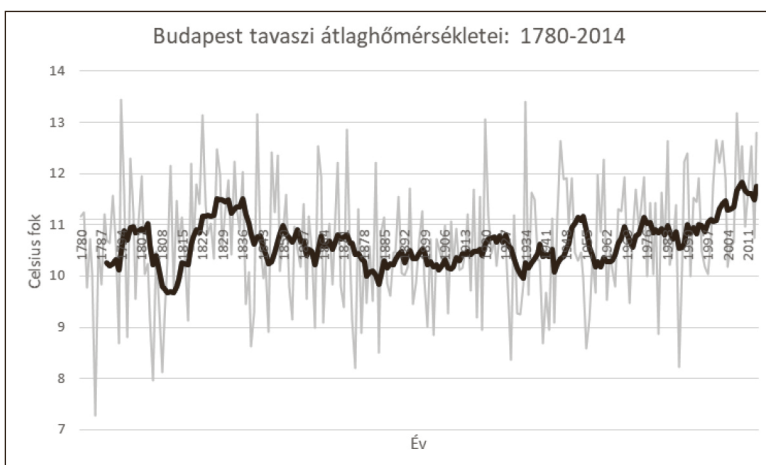
A budapesti tavaszi hőmérsékleti idősor adatai szerint az 1800-as évek utolsó harmadában és a 20. század első évtizedeiben hűvösebb-hidegebb tavaszok követték egymást, a leghidegebbek az 1850-es (11,2 °C), az 1870-es (10,7 °C) évek és a 20. század első évtizede (10,8 °C) voltak. A 20. század első harmadában elkezdődött a tavaszok időjárásának melegebbé válása. Az enyhülés első csúcspontja az 1940-es (11,47 °C) évtized volt, majd az 1950-es (11 °C) évek átmeneti lehűlését követően a század utolsó harmadában folytatódott a tavaszok enyhébbé válásának trendje, ami aztán a századfordulótól kezdődően elképesztő módon felerősödött.

³¹ Kívül a történeti forrásokból kinyerhető rövid szöveges összegzések tanulmányozhatók, középen a Pfister-indexek értékei láthatók, közöttük pedig az indexértékekhez rendelhető hőmérsékleti és csapadékadatok olvashatók. Az indexértékek fizikai paraméterekre történő leskáálázása az 1901–1960 közötti budapesti idősor alapján készült (erről részletesen: Rácz 2001).

I. KLÍMATÖRTÉNET



8. ábra. A tavaszok hőmérsékletének az alakulása a Kárpát-medencében 1500 és 1850 között történeti források számszerűsítése alapján (erről részletesebben: Rácz 2001)

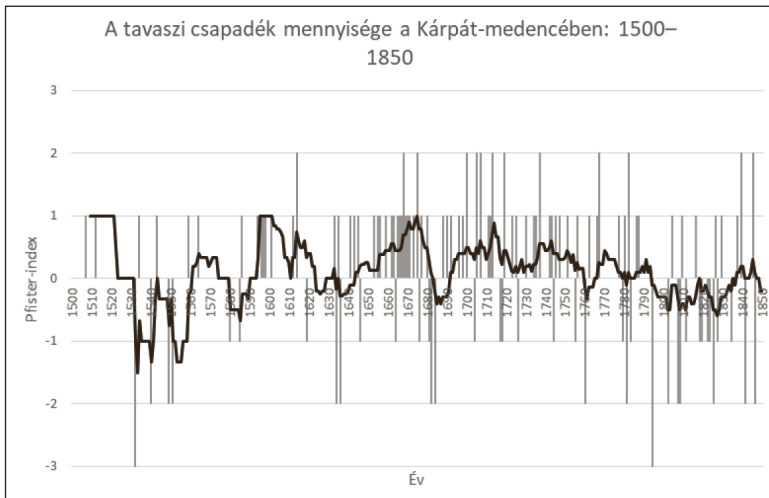


9. ábra. Budapest tavaszi hőmérsékleti időszora 1780 és 2014 között, az évszakos hőmérsékleti átlagok és a tavaszi időszor 10 éves mozgóátlaga az 1901–1960-as időszak átlagához viszonyítva

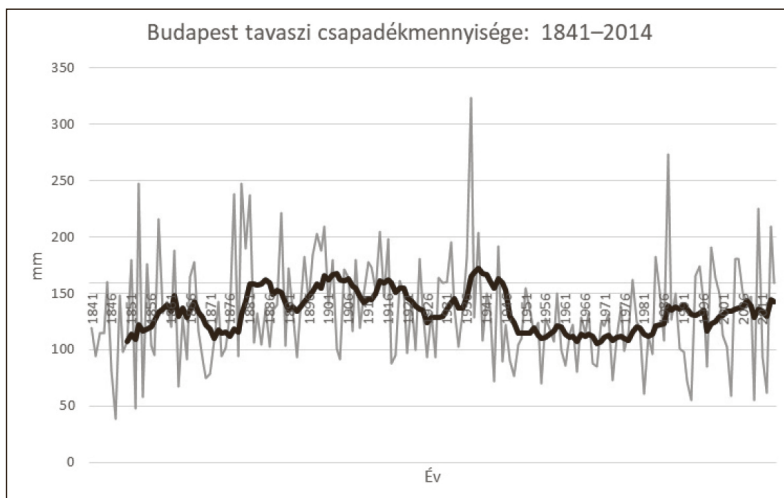
A tavaszok csapadékviszonyai

Az éghajlattörténeti rekonstrukció tavaszi csapadékidősorának első jól dokumentált klímaingadozása a 16. század második harmadának száraz időszaka volt (7. ábra). A 16. század második felétől a 18. század végéig a tavaszok jobbra csapadékosak voltak. Ennek a tartós trendnek a legcsapadékosabb időszaka a 17. század második és a 18. század első felének évszázada volt. Ezen az évszázadon belül három csapadékosná válási hullám különíthető el. Az elsőnek a csúcspontja az 1660-as évekre esett (181 mm), a második és a harmadik pedig az 1700-as évtizedben (174 mm) és az 1730-as években (177 mm) tetőzött. A 18–19. század fordulóján jól nyomon követhető a tavaszok szárazabbá válása, a 19. század első felének évtizedes tavaszi csapadékindex-átlagai – az 1830-as éveket leszámítva – negatív előjelűek voltak.

A 19. század utolsó harmadától a tavaszok az előző évtizedekhez viszonyítva valamelyest csapadékosabbá váltak, ami leginkább az 1880-as (194 mm), az 1910-es (183 mm) és az 1930-as (203 mm) évek tavaszai esetében mutatkozott meg. A jobbra csapadékos tavaszok több mint félévszázados korszaka a 20. század derekán zárult le, s ezt követően a tavaszok időjárása lényegesen szárazabbá vált, a mélypontot az 1960-as (127 mm) évek tavaszai jelentették, ez a helyzet érdemben az ezredforduló után sem változott, ugyanakkor az ingadozások erőteljesebbé váltak.



10. ábra. A tavaszok csapadékának alakulása a Kárpát-medencében 1500 és 1850 között történeti források számszerűsítése alapján (erről részletesebben: Rácz 2001)



11. ábra. Budapest tavaszi csapadékidőszora 1841 és 2014 között, az évszakos csapadék-átlagok és a tavaszi időszor 10 éves mozgóátlagja az 1901–1960-as időszak átlagához viszonyítva

A tavaszok éghajlatváltozásainak jellemzői

Az éghajlattörténeti rekonstrukció adatai szerint a kis jégkorszak hűvös és csapadékos tavaszi időjárással jellemezhető éghajlati rendszere a 16–17. század fordulójától a 18. század végéig határozta meg a tavaszok éghajlatát. A 19. század első felében, illetve a század derekán, jelentős ingadozásokkal ugyan, de a tavaszok hőmérséklete nem változott érdemben, viszont a csapadék mennyisége jelentősen csökkent. A 19. század utolsó harmadának lehűlését a csapadék mennyiségének növekedése kísérte, ám míg a hőmérsékleti időszor a 20. század elejétől tartós melegedési trendet mutat, addig az 1940-es évek végétől az 1980-as évek elejéig a tavaszok időjárása kifejezetten száraz volt, ezt követően a tavaszi csapadék mennyiségének egy igen mérsékelt növekedése kezdődött el, ami napjainkban is tart.

A nyarak

A nyarak hőmérsékletjárása

Az éghajlattörténeti rekonstrukció hőmérsékleti időszora szerint a nyarak a 16. század elejétől a 19. század közepéig kiegyenlítetten melegnek voltak (8. ábra), a vizsgált három és fél évszázadból csak négy olyan évtizedről van tudomásunk, amikor jól

dokumentált módon hűvösebbé vált a nyarak időjárása: az 1600-as (20,4 °C), az 1640-es (20,5 °C), az 1730-as (20,4 °C) és az 1760-as (20,4 °C) évtizedek voltak ilyenek. A meleg nyarak sorában három időszak érdemel külön figyelmet – a 16. század bizonytalan anomáliáitól eltekintve –, a 17. század első harmada, a 17–18. század fordulója és a 18. század utolsó harmada. A 17. század első harmadában a meleg nyarak sorából kiemelkedtek az 1610-es (20,9 °C) évtized nyarai. A 17. század utolsó harmadában induló felmelegedésnek két csúcspontja volt, az 1680-as évek (20,9 °C) és a 18. század első évtizede (21 °C). A 18. századot két igen meleg nyarat produkáló évtized zárta le, az 1780-as (21,2 °C) és az 1790-es évek (21,1 °C).

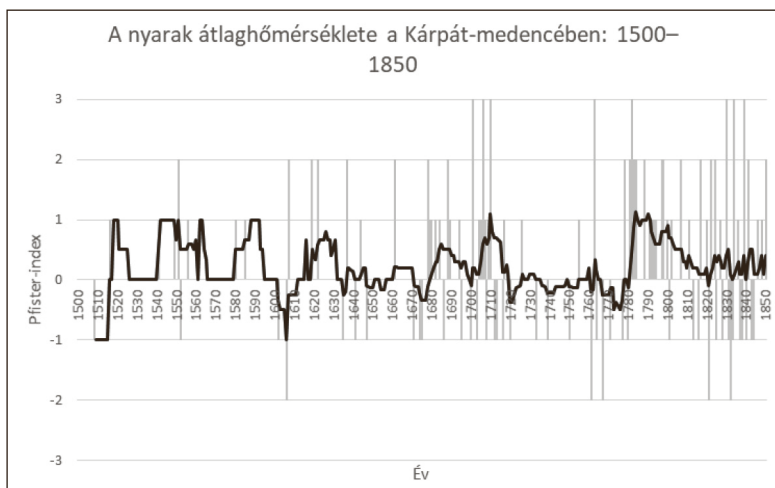
hideg	szokatlanul hűvös	hűvös	átlagos	meleg	szokatlanul meleg	forró
18,8 °C -3	19,3 °C -2	19,9 °C -1	20,6 °C 0	21,2 °C +1	21,9 °C +2	22,6 °C +3
56 mm	88 mm	121 mm	171 mm	212 mm	268 mm	347 mm
rendkívül száraz	szokatlanul száraz	száraz	átlagos	csapadékos	szokatlanul csapadékos	rendkívül csapadékos

4. táblázat. A nyarak időjárásáról tudósító éghajlattörténeti források számszerűsítési skálája³²

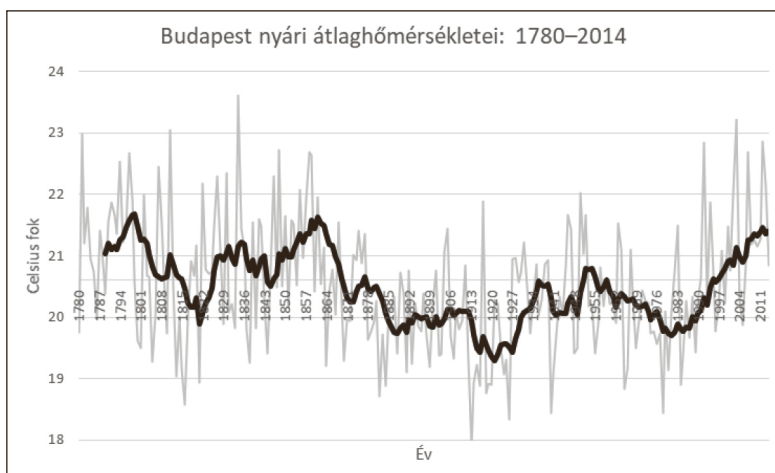
A 19. század első felének éghajlata karakteresen meleg volt, majd az 1800-as évek derekán erőteljes lehűlés kezdődött, amelynek leszálló ága eltartott egészen az 1910-es évekig (19,7 °C). A 20. század közepétől újra melegebbé vált a nyarak időjárása, különösen emlékezetesek voltak az 1930-as évek nyarai (21 °C). A felmelegedés éghajlati trendjét az 1960–1980-as évek időszakának hűvösebb nyarai törték meg átmenetileg, ám ezt követően a trend az 1990-es években (21,2 °C) folytatódott, amely a 21. században aggasztó sebességgel halad tovább.

³² Kívül a történeti forrásokból kinyerhető rövid szöveges összefoglalások tanulmányozhatók, középen a Pfister-indexek értékei láthatók, közöttük pedig az indexértékekhez rendelhető hőmérsékleti és csapadékadatok olvashatók. Az indexértékek fizikai paraméterekre történő leskáálása az 1901–1960 közötti budapesti idősor alapján készült (erről részletesen: Rácz 2001).

I. KLÍMATÖRTÉNET



12. ábra. A nyarak hőmérsékletének alakulása a Kárpát-medencében 1500 és 1850 között történeti források számszerűsítése alapján (erről részletesebben: Rácz 2001)

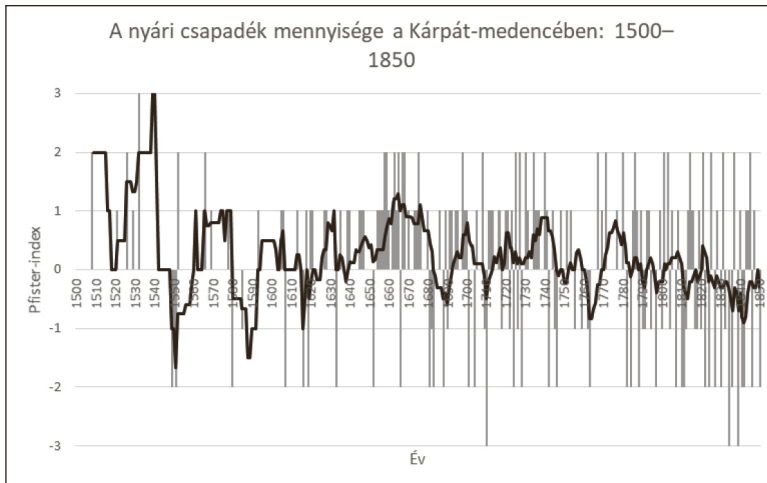


13. ábra. Budapest nyári hőmérsékleti időszora 1780 és 2014 között, az évszakos hőmérsékleti átlagok és a nyári időszor 10 éves mozgóátlaga az 1901–1960-as időszak átlagához viszonyítva

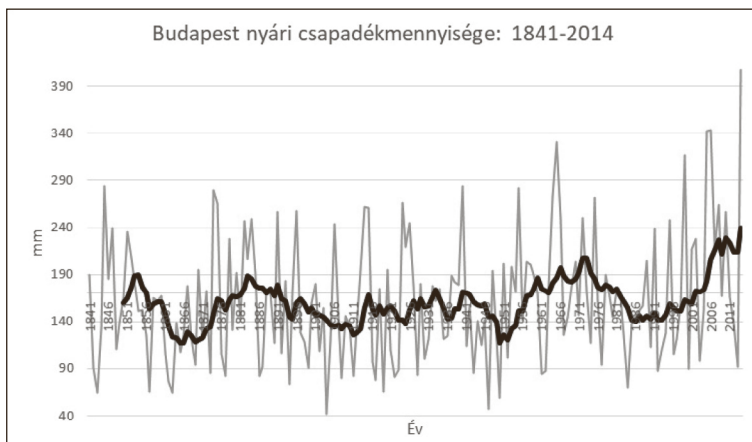
A nyarak csapadékjárása

A 16. századtól a 18. század közepéig a nyarak tartósan csapadékosak maradtak, csupán az 1540-es (129 mm), az 1580-as (104 mm), az 1610-es (150 mm) és az 1680-as (153 mm) évtizedekben váltak érezhetően szárazabbá (9. ábra). A dominánsan csapadékos nyarak idősorán belül is külön figyelmet érdemel az 1640-es évektől az 1670-es évtizedig tartó szokatlanul esős nyarak időszaka: az 1640-es (191 mm), az 1650-es (205 mm), az 1660-as (213 mm) és az 1670-es (200 mm) évtizedek. A 18. század első felének nyarai zömében még az átlagnál valamelyest csapadékosabbak voltak, ám jelentős évtizedes pozitív eltérés csak az 1730-as években (210 mm) mutatkozott. A nyarak szárazabbá válásának trendje a 18. század utolsó harmadában jelentkezett, s folytatódott egészen a 19. század derekáig. Különösen szárazak voltak az 1830-as (145 mm) és az 1860-as évek (142 mm) nyarai.

A 19. század utolsó harmadában újra csapadékosabbá váltak a nyarak, amit a 19–20. század fordulójának szárazabb időszaka zárt le. Az 1900-as évek kezdetétől, jelentős ingadozásokkal ugyan, de újra csapadékosabbá vált a nyarak időjárása, ezt az éghajlatváltozási trendet az 1940–1950-es évek fordulója, valamint az 1980-as (159 mm) és 1990-es évek (127 mm) száraz nyarai törték meg. Ugyanakkor az ezredfordulót követően a nyári csapadék mennyisége erőteljes növekedésnek indult.



14. ábra. A nyarak csapadékanak alakulása a Kárpát-medencében 1500 és 1850 között történeti források számszerűsítése alapján (erről részletesebben: Rácz 2001)



15. ábra. Budapest nyári csapadékidősora 1841 és 2014 között, az évszakos csapadék-átlagok és a nyári időszak 10 éves mozgóátlaga az 1901–1960-as időszak átlagához viszonyítva

A nyarak éghajlatváltozásainak jellemzői

A 16. század elejétől a 18. század derekáig a nyarak viszonylag kiegyensúlyozottan melegek és csapadékosak voltak. A 18. század második felétől kezdődő enyhe lehűlő tendencia mellett (ami azonban még a meleg tartományon belül ment végbe) erőteljesen szárazabbá vált a nyarak időjárása.

A budapesti hőmérsékleti idősorok tanúsága szerint a nyarak hőmérsékletének a csökkenése a 19. század második és a 20. század első felében is folytatódott, ugyanakkor a csapadék mennyisége viszonylag kiegyensúlyozottnak bizonyult, a nyári csapadék alakulásához nem lehetett hosszabb távú trendet rendelni egészen a 20. század derekáig. A 20. század második harmadában egy erőteljes felmelegedés ment végbe, amelyet a csapadék mennyiségének a növekedése kísért. Az 1990-es évektől pedig elindult a nyarak melegedésének és a csapadék növekedésének a párhuzamos trendje, amely tartósnak bizonyult.

Az őszök

Az őszök hőmérsékletjárása

Az éghajlattörténeti rekonstrukció hőmérsékleti idősorának évtizedes és fél évszázados átlagai alapján az őszök a 16. század elejétől a 18. század végéig nagyobb-részt hűvösek, illetve hidegek voltak (10. ábra). A hűvös-hideg éghajlati karakter a

17. század közepéig erőteljesebb volt, különösen emlékezetesek voltak az 1590-es (10 °C), az 1600-as (10 °C) és az 1630-as (10,1 °C) évtizedek hideg őszei. A 16. század közepétől a 18. század végéig tartó másfél száz évben az őszyk jobbára csak mérsékeltén hűvösek voltak, ettől a trendtől csupán az 1710-es (10,3 °C) és az 1730-as (10,4 °C) évtizedek hideg őszei jelentettek érdemleges eltérést.

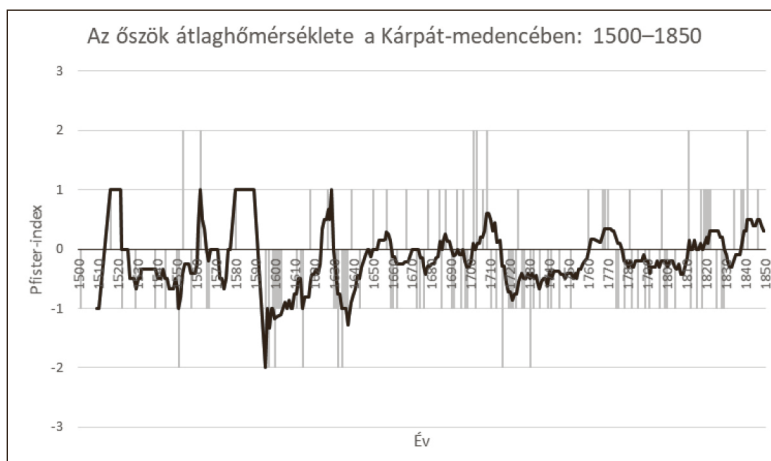
szokatlanul hideg	hideg	hűvös	átlagos	enyhe	meleg	szokatlanul meleg
7,9 °C	9 °C	10,1 °C	11,1 °C	11,9 °C	12,3 °C	12,8 °C
-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
48 mm	69 mm	109 mm	152 mm	219 mm	245 mm	284 mm
rendkívül száraz	szokatlanul száraz	száraz	átlagos	csapadékos	szokatlanul csapadékos	rendkívül csapadékos

5. táblázat. Az őszyk időjárásáról tudósító éghajlattörténeti források számszerűsítési skálája.³³

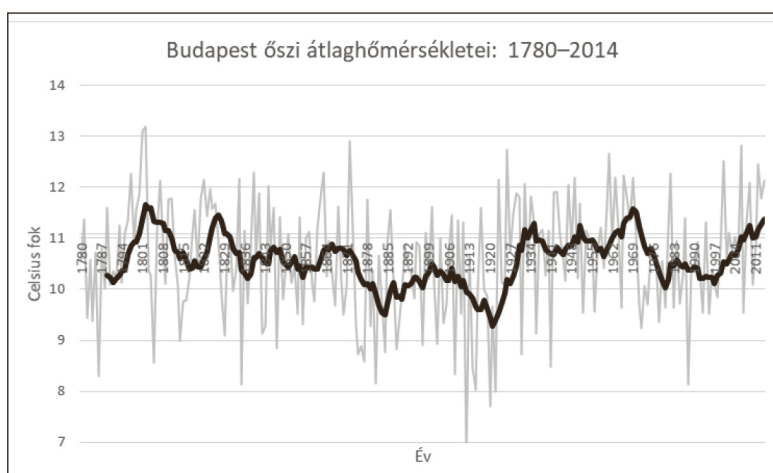
Az éghajlattörténeti idősor tanúsága szerint a 19. század első felében enyhébbé vált az őszyk időjárása. A század első felének kiegyenlített, időnként kifejezetten enyhe őszeit a század második felében, illetve a 19–20. század fordulóján nagyobbrészt hűvös-hideg időjárású őszyk váltották fel, különösen karakteresek voltak az 1880-as (10,3 °C) és az 1910-es (10 °C) évek. Az 1920-as évektől az őszyk időjárása egyre enyhébbé vált, a melegedő tendencia az 1940-es (11,5 °C) és az 1960-as (11,9 °C) években tetőzött, s ezt követően némi lehűlés ment végbe a 20. század végéig, ám az ezredfordulót követően erőteljes melegedési tendencia bontakozott ki, amely során az őszyk évről évre melegebbé váltak.

³³ Kívül a történeti forrásokból kinyerhető rövid szöveges összegzések tanulmányozhatók, közepén a Pfister-indexek értékei láthatók, közöttük pedig az indexértékekhez rendelhető hőmérsékleti és csapadékadatok olvashatók. Az indexértékek fizikai paraméterekre történő leskalázása az 1901–1960 közötti budapesti idősor alapján készült (erről részletesen: Rácz 2001).

I. KLÍMATÖRTÉNET



16. ábra. Az őszi hőmérsékletének az alakulása a Kárpát-medencében 1500 és 1850 között történeti források számszerűsítése alapján (erről részletebben: Rác 2001)

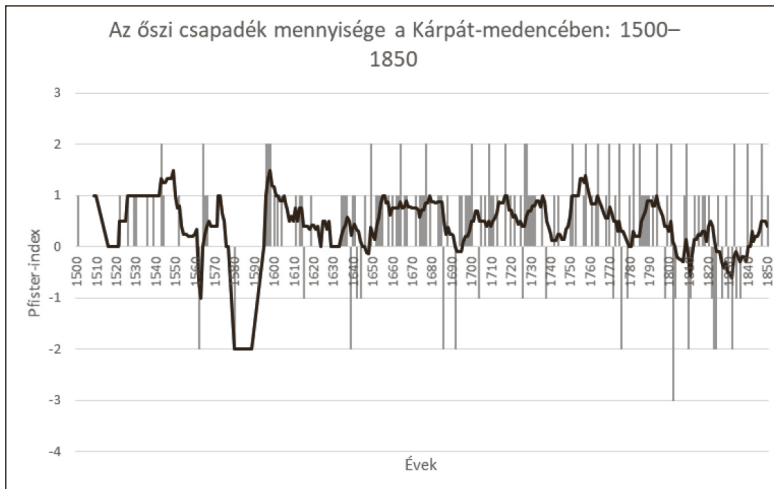


17. ábra. Budapest őszi hőmérsékleti időszora 1780 és 2014 között, az évszakos hőmérsékleti átlagok és az őszi időszor 10 éves mozgóátlaga az 1901–1960-as időszak átlagához viszonyítva

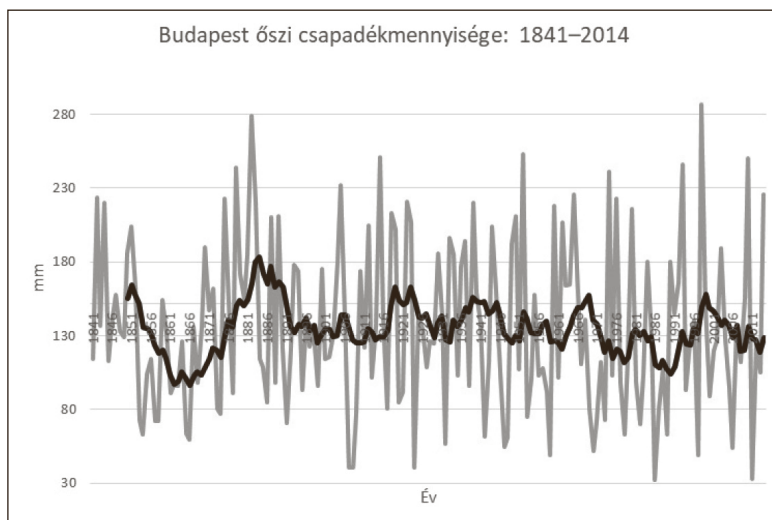
Az őszi csapadékjárása

Az éghajlattörténeti csapadékidősor szerint az ősök a 16. század elejétől a 18. század végéig tartóan csapadékosak maradtak (22. ábra). A tartósan csapadékos évtizedek sorából kiemelkedtek a szokatlanul esős 1540-es (232 mm), 1590-es (207 mm), 1670-es (213 mm), 1750-es (216 mm) és 1780-as (204 mm) évtizedek.

A 19. század első felében azonban az ősök jól nyomon követhető módon szárazabbá váltak, ez a szárazodási folyamat a budapesti csapadékidősor tanúsága szerint az 1860-as évtizedig (117 mm) folytatódott. A 19. század utolsó harmadában az ősök újra csapadékosabbá váltak, s a csapadékos ősök dominanciája megmaradt egészen az 1930-as évekig, különösen sok eső esett az 1880-as években (199 mm). A 20. század derekán ismét szárazabbá váltak az ősök, s ez a szárazodási tendencia az 1970-es (128,9 mm), majd pedig különösen az 1980-as években (110,2 mm) felerősödött. Átmenetinek bizonyult ingadozásokat követően a száraz őszi időjárási karakter kitartott a 21. század elején is.



18. ábra. Az ősök csapadékanak az alakulása a Kárpát-medencében 1500 és 1850 között történeti források számszerűsítése alapján (erről részletesebben: Rácz 2001)



19. ábra. Budapest őszi csapadékidősora 1841 és 2014 között, az évszakos csapadékatlagok és az őszi idősor 10 éves mozgóátlaga az 1901–1960-as időszak átlagához viszonyítva

Az őszyk éghajlatváltozásainak jellemzői

A 16. század elejétől a 18. század végéig az őszyk nagyjából hűvösek és csapadékosak voltak. A 19. század első felében az éghajlattörténeti rekonstrukció idősorai szerint az őszyk időjárása enyhébbé és szárazabbá vált.

A budapesti meteorológiai idősorok tanúsága szerint a 19. század második felének az őszyi jobbra hűvösek és csapadékosak voltak. A 19–20. század fordulójától kezdődően az őszyk egyre melegebbé váltak, a felmelegedés folyamata az 1960-as évek második felében tetőzött. Mindeközben a csapadékos őszyk dominanciája kitartott egészen az 1960-as évekig. Az 1970–80-as évek őszyeit a viszonylag hűvös és száraz időjárás határozta meg. Az ezredfordulón azonban az őszyk időjárása erőteljes melegedési trendet mutat, amihez a 21. század elején egy szárazodási trend csatlakozott.

Az évek

Az évek hőmérsékletjárása

A 16. század elejétől a 19. század végéig az évtizedes és a fél évszázados hőmérsékleti átlagok egyaránt a hűvös évek dominanciáját mutatják (12. ábra). Ezen az alapvetően hűvös éghajlati trenden belül el lehet különíteni a 16. század rendkívül változatos évtizedes átlaghőmérsékletű (és viszonylag gyengén dokumentált) évtizedeit, a 17. század első felének tartósan hideg időszakát, a 17–18. század fordulójának változékony éveit, majd pedig a 18. század hűvös-hideg időszakát.

szokatlanul hideg	hideg	hűvös	átlagos	enyhe	meleg	szokatlanul meleg
9,3 °C -3	9,9 °C -2	10,3 °C -1	10,9 °C 0	11,3 °C +1	11,5 °C +2	12,1 °C +3
440 mm	483 mm	553 mm	614 mm	682 mm	776 mm	943 mm
rendkívül száraz	szokatlanul száraz	száraz	átlagos	csapadékos	szokatlanul csapadékos	rendkívül csapadékos

6. táblázat. Az évek időjárásáról tudósító éghajlattörténeti források számszerűsítési skálája.³⁴

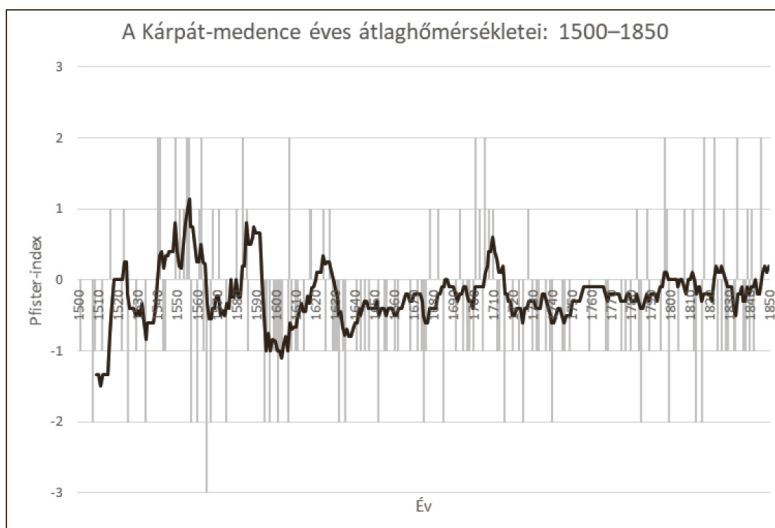
A 16. század évtizedes hőmérsékleti anomáliái közül az 1540-es (10,9 °C), az 1550-es (10,6 °C) és az 1580-as évek (11 °C) meleg időjárása, valamint a hűvösebb 1560-as évek (10,6 °C) érdemelnek kitüntetett figyelmet. A 17. század igen hideg első évtizeddel (10,5 °C) kezdődött, a század derekának tartósan hűvös-hideg időjárású évtizedei közül az 1630-as évek (10,6 °C) voltak a leghidegebbek. A 17–18. század fordulója rendkívül változékony időjárású éveket hozott, az 1690-es évek (10,6 °C) hideg, míg a 18. század első évtizedének (11 °C) esztendei enyhe időjárásukkal tűntek ki. A 18. század karakteresen hűvös-hideg időszaka az 1710-es évektől az 1780-as évtizedig tartott, s ezen belül az 1730-as (10,6 °C) és az 1740-es évek (10,6 °C) voltak a leghidegebbek.

Mind a történeti adatok, mind pedig a budapesti hőmérsékleti idősor tanúsága szerint a 19. század első felében az évek valamelyest enyhébbé váltak. Ám ezt az enyhülést a 19. század derekán egy gyengébb, majd a 19. század utolsó har-

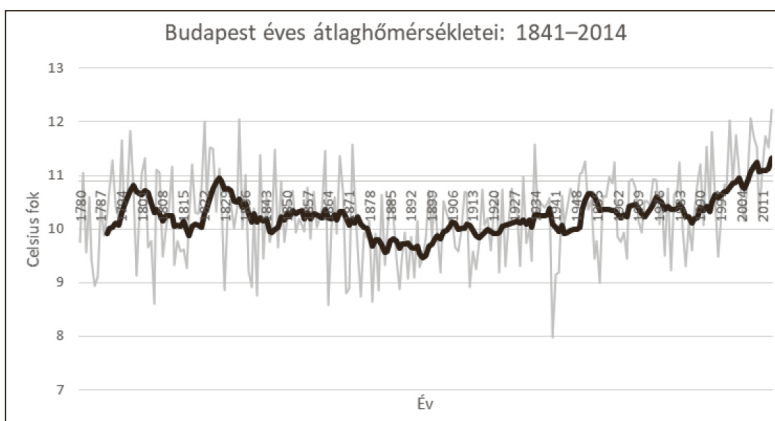
³⁴ Kívül a történeti forrásokból kinyerhető rövid szöveges összegzések tanulmányozhatók, középen a Pfister-indexek értékei láthatók, közöttük pedig az indexértékekhez rendelhető hőmérsékleti és csapadékadatok olvashatók. Az indexértékek fizikai paraméterekre történő leskalázása az 1901–1960 közötti budapesti idősor alapján készült (erről részletesen: Rácz 2001).

I. KLÍMATÖRTÉNET

madában erőteljesebb lehűlés követte, amelynek mélypontja az 1880-as (10,3 °C) évtized volt. A 20. század elején kezdődött felmelegedés, amely az 1930-as (11,3 °C), az 1970-es (11,3 °C) és az 1990-es (11,5 °C) évtizedekben mutatkozott meg legerőteljesebben, jelentős ingadozásokkal ugyan, de az évszázad teljes tartamában folytatódott.



20. ábra. Az évek átlaghőmérsékletének az alakulása a Kárpát-medencében 1500 és 1850 között történeti források számszerűsítése alapján (erről részletesebben: Rác 2001)

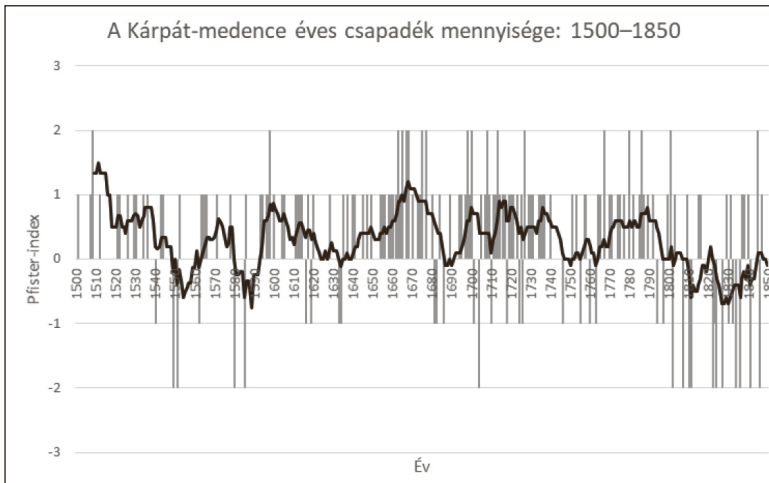


21. ábra. Budapest éves hőmérsékleti időszora 1780 és 2014 között, az éves hőmérsékleti átlagok és az éves időszor 10 éves mozgótárgya az 1901–1960-as időszak átlagához viszonyítva

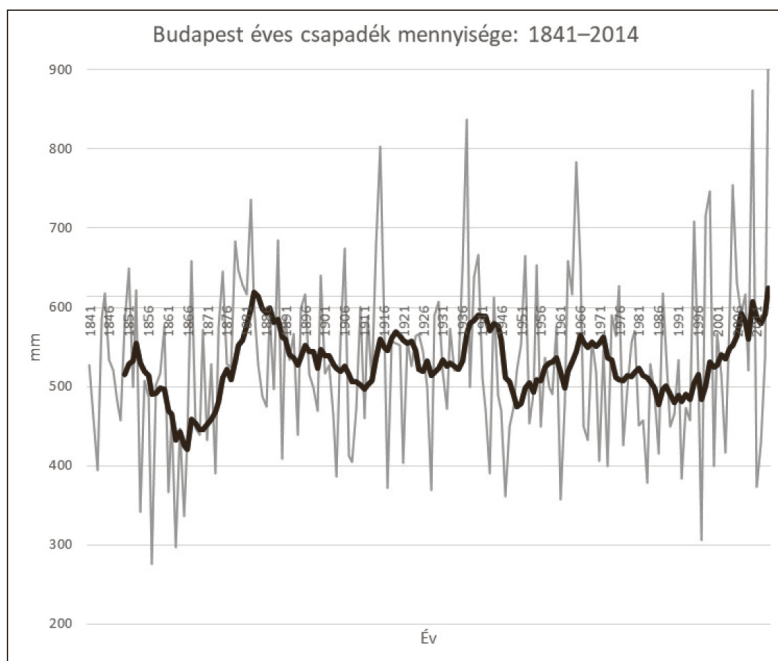
Az évek csapadékjárása

Az éghajlattörténeti rekonstrukció időszora szerint a 16. század elejétől a 18. század végéig tartósan csapadékosak voltak az évek Magyarországon (13. ábra). Ebben a három évszázadban karakteresen száraz évtizedes értéket csak az 1580-as (588 mm) évek produkáltak. A szokatlanul csapadékos évtizedek viszont nagy számban fordultak elő, így igen sok csapadék hullott az 1590-es (659 mm), az 1660-as (699 mm), az 1680-as (666 mm), az 1710-es (668 mm), az 1730-as (664 mm) és az 1780-as (676 mm) években.

Az évek szárazabbá válásának folyamata a 18–19. század fordulóján kezdődött, különösen száraz volt az 1820-as évek (575 mm) időjárása, s ez az időszak a budapesti idősor adatai szerint az 1860-as évtizedig (534 mm) tartott. A 19. század utolsó harmadának és a 20. század első felének évei jobbra csapadékosak voltak, különösen csapadékos volt az 1880-as (711 mm), az 1910-es (668 mm) és az 1930-as évtized (687 mm). Az 1960-as évektől kezdődően azonban erőteljes és tartós szárazodási trend jelentkezett, amely különösen szembetűnő volt az 1980-as (533 mm) és az 1990-es (477 mm) években.



22. ábra. Az évek átlagos csapadékanak alakulása a Kárpát-medencében 1500 és 1850 között történeti források számszerűsítése alapján (erről részletesebben: Rácz 2001)



23. ábra. Budapest éves csapadékidősora 1841 és 2014 között, az éves csapadékátlagok és az éves idősor 10 éves mozgóátlagja az 1901–1960-as időszak átlagához viszonyítva

Az évek éghajlatváltozásainak jellemzői

A 16. század kezdetétől a 18. század végéig az évek mérsékelt hűvösek és tartósan csapadékosak voltak. A jelenkorinál lényegesen pozitívabb csapadékmérleg egyik közvetett bizonyítéka a Balaton vízállása, amely a 17. század végén 3-4 méterrel volt a 20. századi szint felett. 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 előbb az 1860-as években egy igen karakteres száraz időszak azonosítható be, amelyet a csapadék növekedése követett az évszázad végéig. 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 az évszázad végéig az éves csapadékmennyiség erőteljesen csökkenni kezdett. Ugyanakkor az ezredfordulón az éves csapadék mennyisége erőteljes növekedésbe váltott, és ez a trend tartósnak bizonyult.

Az éghajlati változások jellemzői a Kárpát-medencében

Az éghajlati változások egyik legfontosabb jegye Magyarországon a „természetes évszakok” időtartamának és időhatárainak módosulása volt. A kis jégkorszak típusos időszakában az igazi tél december-január fordulóján köszöntött be, és gyakran eltartott egészen március végéig, az áprilisban kezdődő tavaszi időjárás júniusban is folytatódott, az „alpesi” nyár júliusra és augusztusra korlátozódott, az évet pedig a hosszúra nyúlt és nagyjából hűvös és csapadékos időjárású ősz zárta le. A jelenkori felmelegedés idején pedig a négy évszakai klíma egyre inkább két évszakra, a téli és a nyári félfévre redukálódik, a váltás pedig áprilisban és októberben történik meg.

A kis jégkorszak másik meghatározó jegye a csapadékos éghajlati karakter felerősödése és a csapadékmérleg aktívumának a növekedése. Nem véletlenül vált a magyar modernizáció szinonimájává a vízsabályozások ügye. A jelenkori felmelegedés idején viszont jelentős regionális különbségekkel, de nagymértékben csökken a csapadék mennyisége a Kárpát-medencében.

A telek a kis jégkorszak idején hidegek és viszonylag csapadékosak voltak, Christian Pfister megállapítása szerint a kis jégkorszak leginkább téli jelenség volt.³⁵ A négy évszak közül a hőmérséklet csökkenése a tavaszok esetében volt a legerőteljesebb, s a hűvös-hideg időjárású tavaszok a kis jégkorszak idején jobbra igen csapadékosak is voltak. Az újkor évszázadaiban a magyarországi nyarak átlaghőmérséklete a 20. századi referenciaidőszak átlagának közelében mozgott, ám a nyári hónapok lényegesen csapadékosabbak voltak, mint századunkban. A kis jégkorszak idején az őszi időjárása többnyire hűvös és csapadékos volt.

Az évek egészének hőmérsékleti és csapadékidősorait vizsgálva olybá tűnik, hogy elemzésünk időhatárain belül a kis jégkorszakra jellemző hűvös-csapadékos éghajlati karakter a 17. század elejétől a 18–19. század fordulójáig volt meghatározó a Kárpát-medencében. A 19. század első felének éghajlata valamelyest enyhébbé és kevésbé csapadékosává vált. A buda(pest)i műszeres mérések idősorai szerint a 19. század második felében rövid időre még visszatért a hűvös-csapadékos klíma, a jelenkori felmelegedés meleg-száraz éghajlati karaktere pedig a 20. század derekától határozta meg az egész év időjárását Magyarországon. A jelenkori felmelegedés felgyorsulása pedig 1988-ban kezdődött el.³⁶

³⁵ Pfister–Wanner 2024.

³⁶ Pfister–Wanner 2024.

Hivatkozott irodalom

- Bendefy László – V. Nagy István 1969: *A Balaton évszázados partvonalváltozásai*. Budapest.
- Büntgen, Ulf – Tegel, Willy – Nicolussi, Kurt – McCormick, Michael – Frank, David – Trouet, Valerie – Kaplan, Jed O. – Heussner, Karl-Uwe – Wanner, Heinz – Luterbacher, Jürg – Esper, Jan 2011: 2500 Years of European Climate Variability and Human Susceptibility. *Science* (331.) 6017. 578–582.
- Grynaeus András 1997: *Dendrológiai kutatások Magyarországon*. Kandidátusi értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- Grynaeus András (2022): *Történeti ökológia / Környezettörténet. Kutatási szempontok régészhallgatók és minden érdeklődő számára*. Budapest.
- Györffy György – Zólyomi Bálint 1996: A Kárpát-medence és Etelköz képe egy évezred előtt. *Magyar Tudomány* (41.) 8. 899–918.
- Jakab Gusztáv – Pál Ilona – Silye Lóránd – Sümegi Pál – Tóth Attila – Sümegi Balázs – Frink József Pál – Magyar Enikő – Kern Zoltán – Benkő Elek 2021: A középkori tájhasználat változásának környezeti és társadalmi háttere az Erdélyi-szigetegységben. In: Benkő Elek – Zatykó Csilla (szerk.): *A Kárpát-medence környezettörténete a középkorban és a kora újkorban*. Budapest, 71–110.
- Kern Zoltán 2010: *Éghajlati és környezeti változások rekonstrukciója faévgűrűk és barlangi jég vizsgálata alapján*. (Doktori disszertáció) Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- Kiss Andrea 2019: *Floods and Long-Term Water-Level Changes in Medieval Hungary*. Cham.
- Lamb, Hubert H. 1982: *Climate, History and the Modern World*. London.
- Lamb, Hubert H. 1988: *Weather, Climate and Human Affairs*. London.
- Le Roy Ladurie, Emmanuel 1959: Histoire et climat, *Annales E.S.C.* (14.) 1. 3–34.
- Masek Zsófia 2021: A római kori és kora középkori őségajlati és környezettörténeti kutatások régészeti vonatkozásai. In: Benkő Elek – Zatykó Csilla (szerk.): *A Kárpát-medence környezettörténete a középkorban és a kora újkorban*. Budapest, 111–146.
- Pfister, Christian 1984: *Klimageschichte der Schweiz 1525–1860. Das klima der Schweiz von 1525-1860 uns seine Bedeutung in der Geschichte von Bevölkerung und Landwirtschaft*. (Berne Academica Helvetica 6.) Bern.
- Pfister, Christian 1999: *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen*. Bern.
- Pfister, Christian – Wanner, Heinz 2021: *Climate and Society in Europe. The last Thousand Years*. Bern.

- Pfister, Christian – Wanner, Heinz 2024: *Klíma és társadalom Európában. Az utolsó ezer év.* Budapest.
- Pinke Zsolt – Ferenczi László – Gábris Gyula 2015: Az emberi település mint klímaindikátor – vízszintemelkedés a Tiszántúl árterein a középkori klímaváltozás során? *Földrajzi Közlemények.* (139.) 1. 77–91.
- Rácz Lajos 2001: *Magyarország éghajlattörténete az újkor idején.* Szeged.
- Réthly Antal 1962: *Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1700-ig.* Budapest.
- Réthly Antal 1970: *Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1701–1800-ig.* Budapest.
- Réthly Antal 1998: *Időjárási események és elemi csapások Magyarországon 1801–1900-ig.* Budapest.
- Schüle, Hannes – Pfister, Christian 1992: Euro-Climhist – Outlines of a Multi Proxy Data Base for Investigating the Climate of Europe Over the Last Centuries. In: Frenzel, Burkhard (ed.): *European Climate Reconstructed from Documentary Data: Methods and Results.* Stuttgart, 211–218.
- Sümei Pál – Jakab Gusztáv – Majkut Péter – Törőcsik Tünde – Zatykó Csilla 2009: Middle Age Palaeoecological and Palaeoclimatological Reconstruction in the Carpathian Basin. *Időjárás* (113.). 4. 265–298.
- Sümei Pál – Jakab Gusztáv – Persaits Gergő – Törőcsik Tünde – Náfrádi Katalin – Szelepcsényi Zoltán 2014: A császárkor környezettörténete a Baláta-tó üledékgyűjtő rendszerének elemzése alapján. In: Balázs Péter (szerk.): *Firkák III: Fiatal Római Koros Kutatók III. konferenciakötete.* Szombathely, 373–396.
- Sümei Pál – Náfrádi Katalin – Törőcsik Tünde 2024: *Integrált környezettörténet – az ember és környezet hosszútávú kapcsolata II.* Szeged.
- Vadas András – Rácz Lajos 2010: Éghajlati változások a Kárpát-medencében a középkor idején. *Agrártörténeti Szemle* (51.) 1–4. 39–62.