

## REPREZENTATÍV KÖZÉPHŐMÉRSÉKLET ADATBÁZIS MAGYARORSZÁGRA A XIX. SZÁZAD KÖZEPÉTŐL NAPJAINKIG

Szentes Olivér <sup>(1,2)</sup> , Pongrácz Rita <sup>(1)</sup> , Lakatos Mónika <sup>(2)</sup> 

<sup>(1)</sup> ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/A

<sup>(2)</sup> HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt.,  
1024 Budapest, Kitaibel Pál utca 1.  
e-mail: szentes.o@met.hu

### Bevezetés

Az éghajlat pontos jellemzéséhez és az éghajlati változások nyomon követéséhez megbízható, hosszú időszakkal rendelkező mérőállomások adataira épülő klimatológiai adatbázisokra van szükség. Ezek az adatbázisok nemcsak a múlt és jelen klímájának feltárásában játszanak kulcsszerepet, hanem alapvető fontosságúak a klímamodellek hitelesítésében is, mivel a modellek validálása megfigyeléseken alapuló adatok felhasználásával történik. Európa-szerte számos ilyen adatbázis áll rendelkezésre, különböző térbeli és időbeli felbontásban.

A doktori kutatás célja többek között egy olyan, csapadékösszegre és középhőmérsékletre vonatkozó adatbázis összeállítása Magyarország jelenlegi területére, amely a XX. századot megelőző mérési adatokra is támaszkodik, és időben, valamint térben is reprezentatív képet nyújt a mérések kezdetétől napjainkig. A kutatómunka a csapadékkal kezdődött, aminek az eredményei konferenciákon bemutatásra kerültek, és cikkek is megjelentek a témában (Szentes et al., 2023a, 2023b, 2024a), majd a hőmérséklettel folytatódott. Ebben az összefoglalóban Magyarország középhőmérsékleti viszonyait ismerhetjük meg a XIX. század közepétől 2024-ig.

### Adatsorok, állomásrendszerek kialakítása

A kutatáshoz felhasználható hazai adatsorokat elsősorban a HungaroMet elektronikus éghajlati adatbázisa biztosítja. Bár a régi mérési jegyzőkönyvek digitalizálása jelenleg is zajlik, az 1951 előtti időszak adatai döntően még papíralapon érhetők el. Havi középhőmérséklet adatsorok azonban több forrásból is rendelkezésre állnak: évkönyvekből (1871-től magyar, korábban osztrák), feldolgozásokból, valamint különféle kiadványokból. Ezek a havi adatok kiegészítik a meglévő napi adatsorokat, így részletesebb képet adnak a XIX. század második felének éghajlati viszonyairól. Az 1850 előtti időszakra szintén elérhetők havi hőmérsékleti adatok hasonló forrásokból, de e tanulmány nem terjed ki a XIX. század első felére. Az állomáshálózat kiválasztásánál cél, hogy az illeszkedjen a XX. századtól használt rendszerhez: középhőmérséklet esetén ez 1901-től 34, 1951-től 55, 1975-től pedig 112 állomás adatsorát jelenti, ami többek között az évenkénti frissítést is hatékonyabbá teszi.

### Időbeli reprezentativitás: homogén, pótoltt, ellenőrzött állomási adatsorok előállítása

Az állomáshálózat kialakítása után a nyers adatsorokat homogenizálni, ellenőrizni és szükség esetén pótolni kell, mivel az állomásáthelyezések, műszerváltások és módszertani változások inhomogenitásokat és hibákat okozhatnak. Ezek kezelésére a meteorológiai szolgálatnál kifejlesztett MASH (Szentimrey, 1999; 2008; 2017) eljárást alkalmazzuk, ahol középhőmérséklet esetén additív modellt használunk. A homogenizálás során az adatsorokat

mindig a jelenlegi mérési körülményekhez igazítjuk. A kutatás során tehát hibrid állomásrendszerek jöttek létre. Jelenleg 1870-től 1974-ig napi és havi adatsorok is felhasználásra kerülnek, míg 1870 előtt csak havi középhőmérséklet adatokat használunk a homogenizáláskor. A napi adatokból számított havi értékek inhomogenitásait a bővebb havi hálózat MASH-alapú vizsgálatai segítenek feltárni. Az adatsorokat a jövőben is rendszeresen frissíteni kell, amit a MASH szoftver hatékonyan támogat. A folyamat eredményeként időben egységes, reprezentatív éghajlati adatsorok állnak rendelkezésre.

### **Térbeli reprezentativitás: rácsponti adatsorok létrehozása**

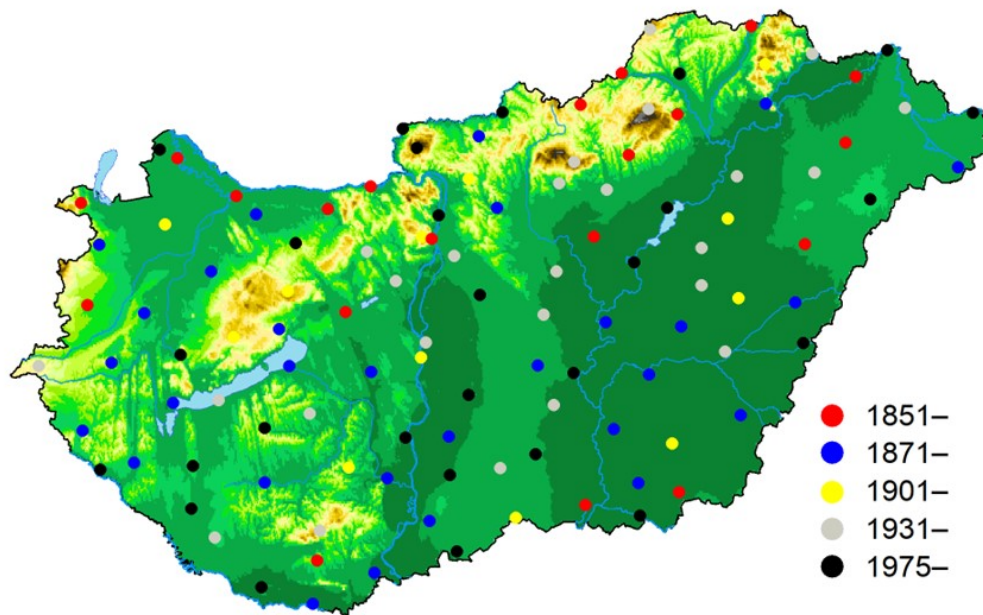
A homogenizálás után ugyan jó minőségű, de csak pontszerű adatok állnak rendelkezésre, amelyek térbeli eloszlása egyenetlen. Az állomáshálózatok időben is változnak: például 2024-ben 112, míg 1910-ben csupán 34 állomás hőmérséklet adatait használhatjuk, a XIX. század közepéről pedig még ennél is kevesebb információ érhető el. Ezért az országos átlagok meghatározásához szükség van az állomási adatoknak egy szabályos rácshálózatra történő interpolálására. E célra szintén a meteorológiai szolgálatnál kifejlesztett MISH eljárást alkalmazzuk (Szentimrey & Bihari, 2014), amely egy modellező és egy interpoláló komponensből áll. Az interpolálás a modellezett éghajlati statisztikai paraméterek és térbeli sztochasztikus kapcsolatok felhasználásával történik. Magát a modellezést elég egyszer elvégezni, nem kell minden interpolálás előtt. A hőmérséklethez additív modellt használunk. A doktori kutatás célja, hogy a XX. század előtti időszakból is olyan térben is reprezentatív országos középhőmérséklet adatsorokat hozzunk létre, amelyek megbízhatósága közelíti a jelenlegi viszonyok között számított értékekét. Ehhez elengedhetetlen a vizsgált meteorológiai elem térbeli szerkezetének pontos ismerete, amihez minél több, hosszú és jó minőségű adatsorra van szükség a jelenben, amit a modellezéshez felhasználhatunk. A határ menti területek pontosabb interpolálásához külföldi állomások bevonása és a modellezés frissítése is szükségessé válhat, ami 2025 második felében fog megvalósulni. A rácsponti adatsorok elkészülte után Magyarországra időben és térben egyaránt reprezentatív éghajlati adatbázis áll rendelkezésre, a XIX. század második felére is.

### **Magyarország hőmérsékleti viszonyai a XIX. század közepétől**

A továbbiakban a középhőmérséklet homogenizálásának és interpolálásának legfontosabb eredményei ismertetjük, amik először a Barcelonában megrendezett EMS Annual Meeting konferencián kerültek bemutatásra 2024 őszén (Szentes et al., 2024b).

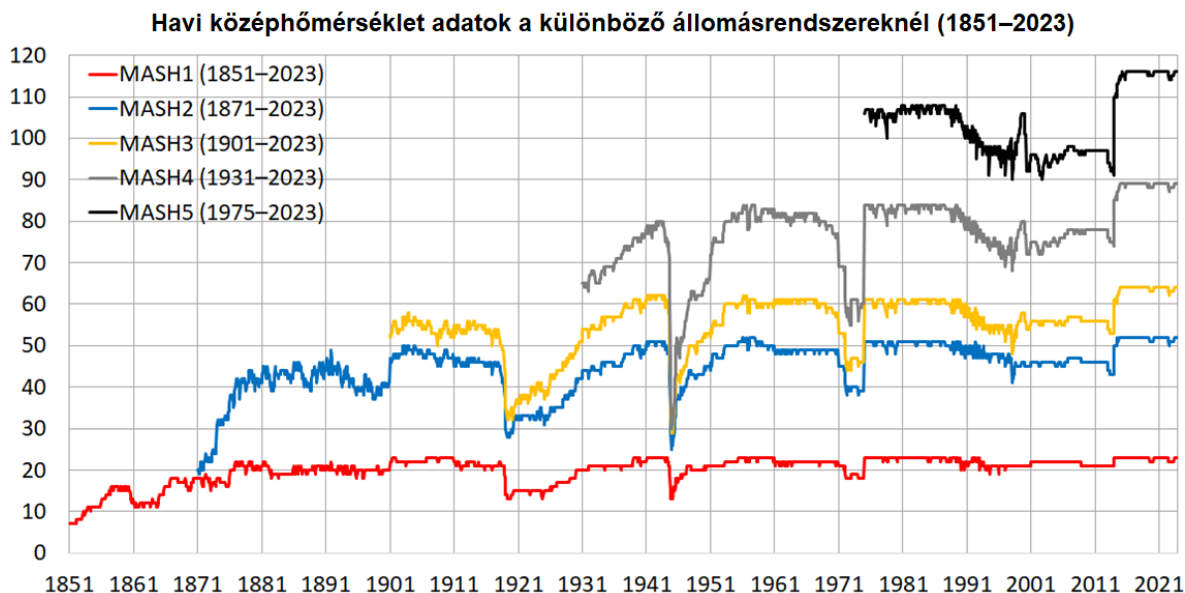
#### ***Állomásrendszerek bővítése 1851-ig***

A napi időfelbontású középhőmérséklet adatsorok esetén jelenleg 1901-től 34, 1951-től 55, 1975-től pedig 112 állomás adatsorát használjuk. Az összes, még papíron levő, a hosszú klimatikus célú felhasználásnak megfelelő állomási havi középhőmérséklet adatsor összegyűjtését, rendszerezését követően jelentős változások következtek be. 1975-től minimális mértékben, 116 állomásra bővült, az 1951-től levő állomásrendszer viszont kikerült, helyette 1931-től 89 állomásos rendszert használunk. 1901-től a korábbi 34-ről közel kétszeresére, 64-re nőtt azon állomások száma, amiket a teljes XX. században a középhőmérséklet homogenizálásakor használhatunk. A XIX. század második feléből további két homogenizálási lépcsővel bővült a középhőmérséklet homogenizálásának folyamata. 1871-től 52, míg 1851-től 23 állomásos rendszer került kialakításra. Az állomások elhelyezkedését az országon belül az *1. ábra* mutatja.



1. ábra: A középhőmérséklet homogenizáláshoz használt állomások elhelyezkedése Magyarországon, az öt különböző időtartamú állomásrendszer szerint jelölve.

Természetesen pl. az 1851-től levő állomások inhomogenitásai a másik négy rövidebb időszakban is megegyeznek a homogenizálási folyamat végeztével. Mivel hiánytalan adatsorok nem léteznek, a MASH eljárás során a hiányzó adatok pótlását is elvégezzük. A különböző időszakok (állomásrendszerek) esetén rendelkezésre álló havi középhőmérséklet adatok számát mutatja a 2. ábra.



2. ábra: A középhőmérséklet adatok száma havonta Magyarországon a XIX. század második felétől.

### Homogenizálás eredményei

A homogenizálás tehát összesen öt különálló állomásrendszerben történik, ahol minden állomásrendszerben detektált inhomogenitások (havi, évszakos és éves) harmonizálásra

kerülnek a homogenizálási eljárás során. Az 1. táblázat foglalja össze a főbb verifikációs statisztikai jellemzőket az éves középhőmérsékletnél, az egyes állomásrendszerek esetén.

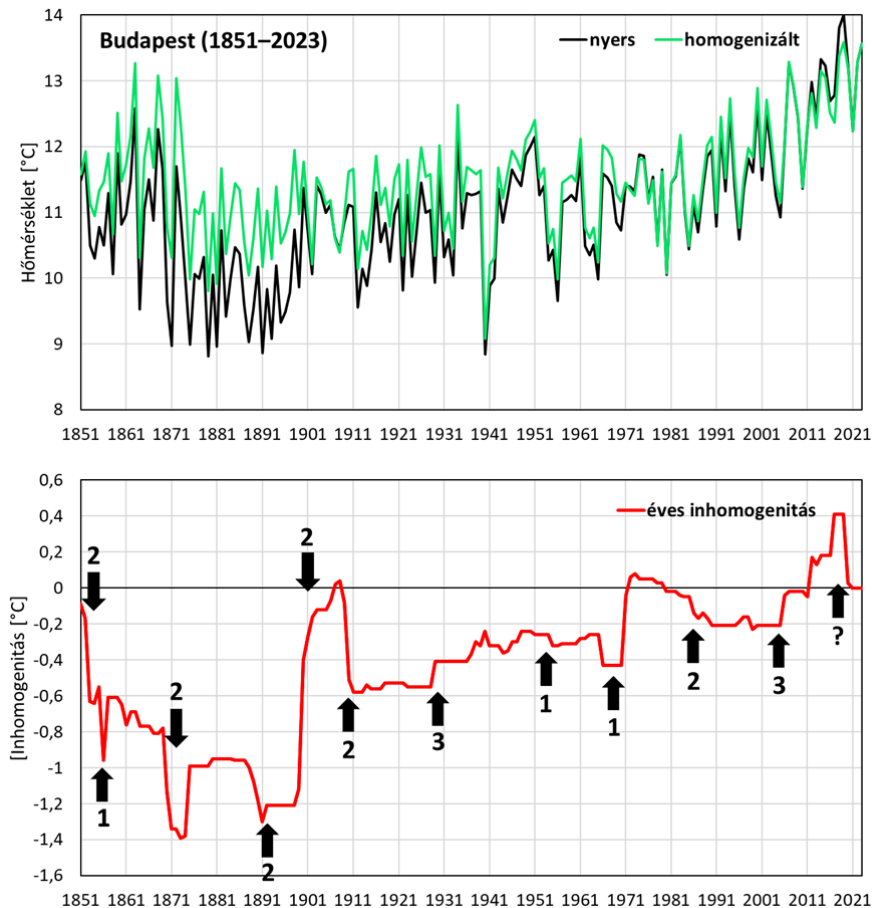
1. táblázat: A homogenizálás fontosabb verifikációs statisztikái az éves középhőmérsékletnél.

	MASH1 (1851–2023)	MASH2 (1871–2023)	MASH3 (1901–2023)	MASH4 (1931–2023)	MASH5 (1975–2023)
Adatsorok száma	23	52	64	89	116
Kritikus érték: (szignifikancia szint: 0.05)	22,19	22,06	21,93	21,60	20,86
Tesztstatisztika a homogenizálás előtt	816,47	988,85	865,74	628,63	299,41
Tesztstatisztika a homogenizálás után	22,33	24,50	21,70	21,59	20,53
Adatsorok relatív módosítása	0,49	0,50	0,48	0,41	0,38
Állomáshálózat reprezentativitása	0,86	0,89	0,89	0,90	0,90

A homogenizálás előtt az átlagos tesztstatisztika minden állomásrendszer esetén jóval a kritikus érték felett van, míg a homogenizálás utáni tesztstatisztikák a kritikus érték közelében vagy az alatt maradnak, tehát a középhőmérséklet-adatbázis homogénnek tekinthető. Az adatsorokon történő módosítás természetesen a hosszabb adatsorok esetén nagyobb, mivel több inhomogenitással terheltek a hosszabb adatsorok, többek között a műszercserék és áthelyezések miatt, az állomáshálózat reprezentativitása pedig mind az öt rendszer esetén jónak számít.

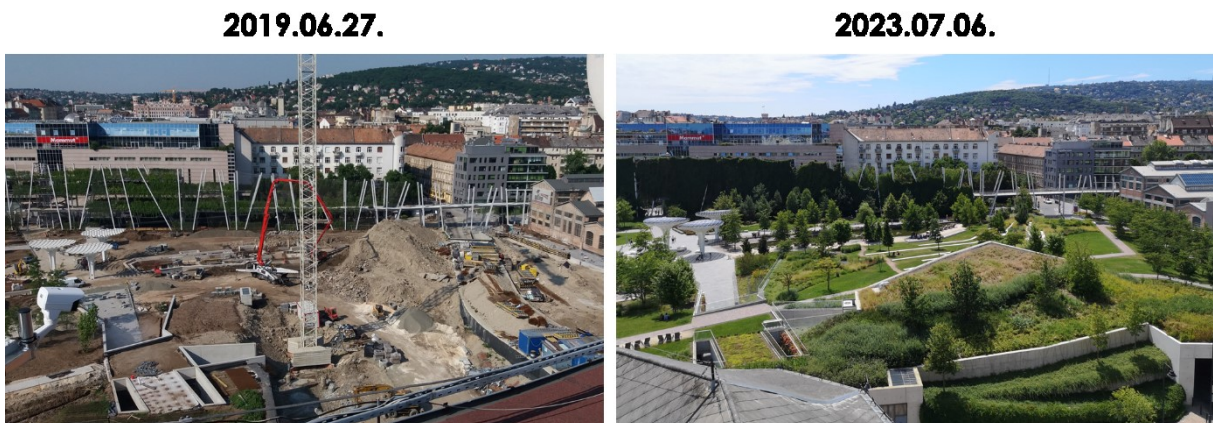
### ***Inhomogenitások típusai***

A hőmérsékleti idősorokban megjelenő inhomogenitások olyan töréspontok vagy torzulások, amelyek nem a valós éghajlati változások eredményei, hanem a mérési körülmények módosulásából származnak. Ilyen hatást okozhat az állomások áthelyezése, amely akár kis távolságon belül is megváltoztathatja a lokális mikroklímát, valamint a mérési módszerek változása, például az középhőmérséklet számításának eltérő eljárásai. A műszerek cseréje, akár csak az automatizálás bevezetése, amely újfajta mérési gyakoriságot hozott, mind inhomogenitásokat okozhatnak. Emellett a mérőhely környezetének változásai is olykor hirtelen és jelentős töréseket eredményezhetnek a hőmérsékleti adatsorokban, amik a hosszútávú klimatológiai célú elemzések készítésére alkalmatlanná teszik a nyers adatsorokat. A 3. ábrán Budapest éves nyers és homogenizált középhőmérséklet adatsorát, valamint a detektált inhomogenitások értékeit láthatjuk. Több esetben is inhomogenitásokat okoztak az észlelési időpontokban bekövetkező változások (1), a legjelentősebb törések viszont a mérőhely áthelyezéséből származtak (2).



3. ábra: Budapest éves (nyers és homogén) középhőmérséklete (fent), valamint a detektált inhomogenitások értéke (lent) az 1851–2023-as időszakban.

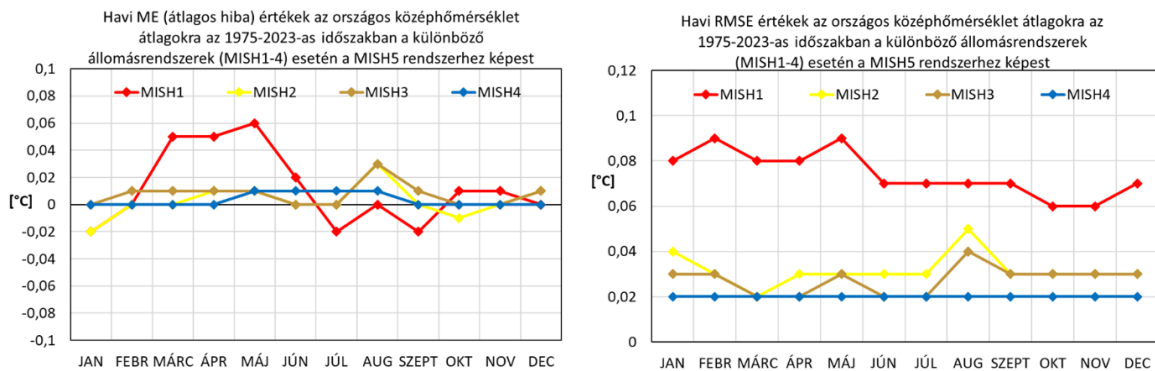
Emellett inhomogenitások keletkeztek egyéb módszertani váltások (3) következtében is (pl. műszercsere, árnyékoló cseréje). Megjelenik továbbá a közelmúltban egy viszonylag jelentős, közel fél fokos inhomogenitás, aminek az oka a mérőhely környezetében bekövetkező jelentős változás. A 2010-es évek végén épülő Széllkapu park csupasz földterülete jobban felmelegedett, majd a kész zöld park a korábbinál hűvösebb mikroklímát hozott létre az állomás környezetében, ami a hőmérsékletmérésekre hatással van (4. ábra).



4. ábra: Budapest belterület állomás környezetében bekövetkező változások.

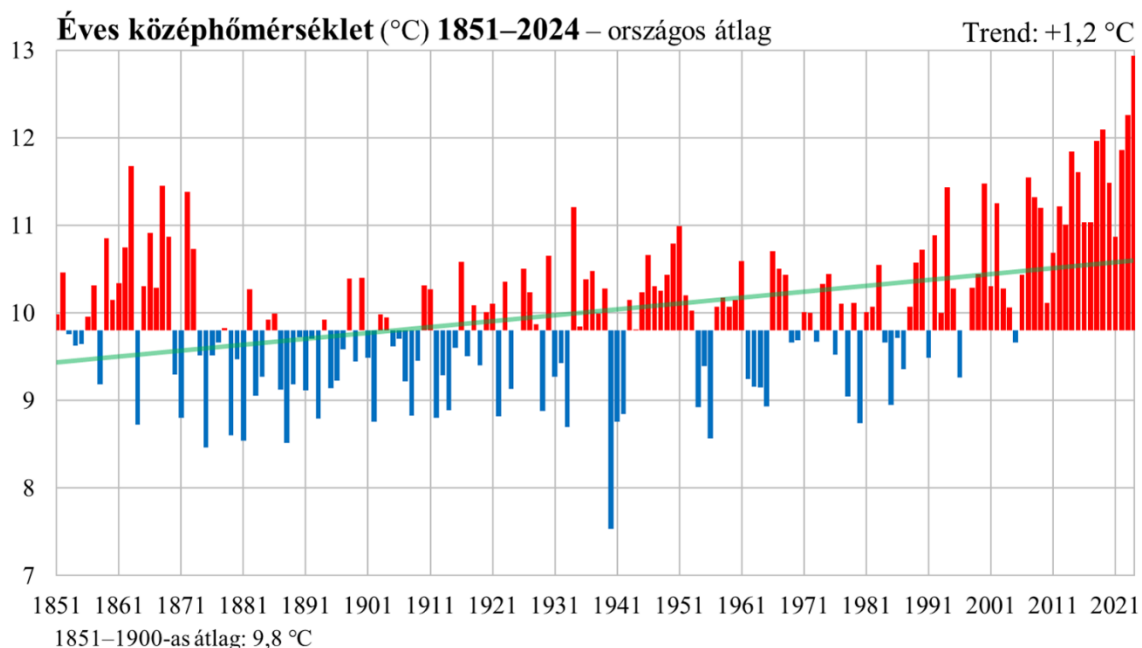
### A középhőmérséklet éves országos átlagai 1851-től

A homogenizálást követően az adatsorokat 0,1°-os rácshálóra interpoláltuk, majd a rácspontok átlaga jelenti az országos átlagot. A kevesebb állomásból előálló rácsponti adatsorokat összevetve a legsűrűbb, 116 állomást használóval azt kaptuk, hogy az átlagos hibák (eltérések) minden hónapban 0,1 °C-on belüliek, 0 °C közelében vannak és az RMSE<sup>1</sup> értékek is 0,1 °C-on belül maradnak az országos átlagokra (5. ábra). Tehát a kevés állomási adatsorból előálló középhőmérséklet országos átlagok is reprezentatívnak tekinthetők Magyarországra.



5. ábra: Átlagos hibák (balra) és RMSE értékek (jobbra) havonta, állomásrendszerenként, a 116 állomásos (MISH5) rendszerhez képest, az 1975–2023-as időszak alapján.

A 6. ábra az éves középhőmérséklet országos átlagait mutatja 1851-től 2024-ig. Az országos átlagok Magyarország jelenlegi területére vonatkoznak a teljes időszakban.



6. ábra: Az éves középhőmérséklet országos átlagai Magyarországon 1851-től 2024-ig, az idősorra illesztett lineáris trenddel.

A doktori kutatás eredményeképpen első alkalommal elemezhetővé váltak hazánk hőmérsékleti viszonyai már a XIX. század közepétől. Az 1860-as évek nagyon száraz évei

<sup>1</sup> RMSE: Root mean squared error – átlagos négyzetes hiba gyöke

során ugyan az 1851–1900-as átlagnál általában melegebbek voltak az évek, de a 11,5 °C-os értéket is csak egy év, az 1863-as érte el. A legmelegebb évek viszont egyértelműen az elmúlt 10-15 évből kerülnek ki, három év középhőmérséklete a 12 °C-ot is meghaladta. Az utolsó év, aminek a középhőmérséklete elmaradt a XIX. század második felének átlagától 20 évvel ezelőtt, a 2005-ös év volt. A teljes időszakban az éves középhőmérséklet jelentős, 1,2 °C-os emelkedést mutat, ami 0,1-es szignifikancia szint mellett szignifikáns változás.

## Összefoglalás

A közelmúltban jelentős változtatások történtek a homogenizált, rácsponti éghajlati középhőmérséklet-adatbázis előállításában. A doktori kutatómunka eredményeképpen lehetővé vált Magyarország középhőmérsékleti viszonyainak elemzése már a XIX. század közepétől, a rendelkezésre álló összes havi hőmérsékleti adatsor összegyűjtése és homogenizálása révén. Az állomáshálózat több lépcsőben bővítésre került: 1851-től 23, 1871-től 52, 1901-től 64, 1951-től 55, végül 1975-től 116 állomás adatai állnak rendelkezésre, amelyeket a homogenizálási eljárásban használunk. Az adatokban előforduló inhomogenitásokat – például állomásáthelyezések, mérési módszerek változása, műszercserék – a MASH eljárással detektáltuk, és homogénné tettük az adatsorokat, így biztosítva az időbeli reprezentativitást. A homogenizálást követően az interpolációhoz a MISH módszert alkalmaztuk, amivel 0,1°-os térbeli felbontású adatokat állítottunk elő, és az így számolt országos középhőmérsékleti átlagok megbízhatósága magas lett, az átlagos eltérések és RMSE értékek egyaránt 0,1 °C alatt maradtak. Tehát időben és térben is reprezentatív középhőmérséklet adatbázis áll rendelkezésünkre Magyarországra vonatkozóan a XIX. század közepétől napjainkig.

## Köszönetnyilvánítás


A kutatás a Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-KDP-24 kódszámú Egyetemi Kiválósági Ösztöndíj Programjának Kooperatív Doktori Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült, valamint a bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00014 számú projekt támogatásával valósult meg.

## Hivatkozások

- Szentes, O., Lakatos, M., Pongrácz, R., 2023a: New homogenized precipitation database for Hungary from 1901. *International Journal of Climatology*, 43(10): 4457–4471. <https://doi.org/10.1002/joc.8097>
- Szentes, O., Lakatos, M., Pongrácz, R., 2023b: Historical precipitation data sets in Hungary. *11th Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and 6th Interpolation Conference jointly organized with the 14th EUMETNET Data Management Workshop*. 2023. május 9.
- Szentes, O., Lakatos, M., Pongrácz, R., 2024a: Precipitation conditions in Hungary from 1854 to 2022. *Időjárás / Journal of the HungaroMet Hungarian Meteorological Service*, 128(2): 171–193. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2024.2.3>
- Szentes, O., Lakatos, M., Pongrácz, R., 2024b: Homogenized and gridded mean temperature data series in Hungary from the mid-19th century. *EMS Annual Meeting 2024*, EMS2024-410. Barcelona, Spanyolország, 2024. szeptember 1–6. <https://doi.org/10.5194/ems2024-410>

- Szentimrey, T.*, 1999: Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH). *Paper presented at the Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*, Budapest, Hungary, WMO WCDMP-No. 41: 27–46. Retrieved from [https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice\\_display&id=11624#.X48Glu28qUk](https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=11624#.X48Glu28qUk)
- Szentimrey, T.*, 2008: Development of MASH Homogenization Procedure for Daily Data. *Paper presented at the Proceedings of the fifth seminar for homogenization and quality control in climatological databases*, Budapest, 2006 WCDMP-No. 71, WMO/TD-No. 1493: 123–130. Retrieved from [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=9417](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=9417)
- Szentimrey, T.*, 2017: Manual of homogenization software MASHv3.03. Hungarian Meteorological Service, p.71.
- Szentimrey, T., Bihari, Z.*, 2014: Manual of interpolation software MISHv1.03. Hungarian Meteorological Service, p.60.
- 

## ORCID

- Szentes O.*  <https://orcid.org/0000-0003-3537-0397>
- Pongrácz R.*  <https://orcid.org/0000-0001-7591-7989>
- Lakatos M.*  <https://orcid.org/0000-0002-3705-0306>