

REPREZENTATÍV KÖZÉPHŐMÉRSÉKLET ÉS CSAPADÉKÖSSZEG ADATBÁZIS LÉTREHOZÁSA ÉS ELEMZÉSE MAGYARORSZÁGRA A MÉRÉSEK KEZDETÉTŐL NAPJAINKIG

Szentes Olivér ^(1,2) , Pongrácz Rita ⁽¹⁾ , Lakatos Mónika ⁽²⁾ 

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

⁽²⁾ Országos Meteorológiai Szolgálat, 1024 Budapest, Kitaibel P. u 1.
e-mail: szentes.o@met.hu

Bevezetés

Az éghajlat és az abban zajló változások pontos leírásához hosszú adatsorral rendelkező állomások méréseiből előálló éghajlati adatbázisokra van szükség. A múlt és jelen klímájának megismerése mellett a megfigyelési adatbázisok fontos szerepet töltenek be a klímamodellezésben is, mivel a klímamodellek validálása valamilyen megfigyelési adatbázis felhasználásával történik. Számos megfigyelési adatbázis elérhető Európára, változó időbeli és térbeli felbontásban. A doktori kutatómunka célja a XX. század előtti mérési adatsorok felhasználásával egy időben és térben is reprezentatív középhőmérséklet és csapadékösszeg adatbázis létrehozása hazánk jelenlegi területére a mérések kezdetétől napjainkig. A kutatómunka eredményeképpen megismerhetővé válnak Magyarország csapadékviszonyai a XIX. második felétől, míg a középhőmérséklet esetén az ország preindusztriális hőmérsékleti viszonyairól is átfogó képet kapunk.

A mérések kezdete

Legelső lépésként azt kell tisztázni, mit is tekinthetünk Magyarországon a mérések kezdetének a hőmérséklet és csapadékmérések esetén. Alapvetően azt az időpontot (évet), amikortól nagyrészt folytonos adatsorok állnak rendelkezésünkre és lehetőleg minden ország részben volt mérés. Utóbbi a csapadék esetén különösen fontos, hiszen, ha egy hónap csapadékos nyugaton, abból nem következik, hogy országsszerte szintén az, pl. keleten lehet akár szárazság is. Ezek alapján a csapadéknál az 1850-es évek közepe a kezdet.

A hőmérséklet mérése korábbra nyúlik vissza, mint a csapadéké. Középhőmérséklet méréseket Magyarország különböző részeiről már a XVIII. század végéről és a XIX. század első feléből is találunk, melyek közül a leghosszabb adatsorral Buda rendelkezik. A havi középhőmérsékleti anomália térbeli változékonysága a csapadék változékonyságánál sokkal kisebb, és jellemzően az ország pár száz km-es környezetében is hasonló, így a közép-európai térségből a Kárpát-medencéhez közeli, hosszú hőmérséklet-adatsorok (pl. Bécs, Prága) is felhasználhatóvá válnak, valamint sokkal kevesebb állomás is elegendő, mint a csapadék esetén. Középhőmérsékletnél a mérések kezdete Magyarországon ezek alapján az 1780. év.

Adatsorok, állomásrendszerek kialakítása

A kutatás során használható magyar adatsorokat alapvetően az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) elektronikus éghajlati adatbázisa biztosítja. A régi feljegyzések digitalizálása folyamatos napjainkban is, ugyanakkor az 1951 előtti időszakból jelenleg is nagyobb arányban csak papíron vannak meg a mérések. Havi középhőmérséklet és csapadékösszeg adatsorokat viszont több forrásból is találunk: évkönyvek (1871-től magyar, előtte osztrák), feldolgozások, elszórtan különböző könyvekben, kiadványokban, pl. az Ausztriából származó hosszú adatso-

rok forrása lehet már az osztrák open data portál (<https://data.hub.zamg.ac.at/>) is, stb. A meglévő napi adatsorok mellett ezekkel a havi információkkal kiegészítve sokkal részletesebb képet kaphatunk az ország hőmérséklet- és csapadékviszonyairól a XIX. század második felére. Az 1850-es évek előtti időszakból az előbb említett hasonló forrásokból származó havi középhőmérséklet adatokat lehet használni a kutatáshoz. Az állomásrendszerek kialakításánál cél, hogy az országban a XX. századtól aktuálisan használtakhoz igazodjanak, ami középhőmérséklet esetén jelenleg 1901-től 34, 1951-től 55, 1975-től 112 állomás, míg csapadékösszegnél 1901-től 131, 1951-től 500 állomás felhasználását jelenti, ezzel többek között hatékonyabb évenkénti frissítést lehetővé téve.

Homogén, pótolta, ellenőrzött állomási adatsorok előállítás

Az állomásrendszerek kialakítását követően a nyers adatsorokat homogenizálni, pótolni és ellenőrizni kell. Erre azért van szükség, mert az adatsorok többek között az állomásáthelyezések, mérési módszerek változása miatt ún. inhomogenitásokkal, illetve esetleges hibákkal is terheltek. A homogenizálás, adatpótlás és adatellenőrzés az OMSZ Éghajlati Osztályán kifejlesztett MASH (Szentimrey, 1999; 2008; 2017) eljárással történik. Középhőmérsékletnél additív, csapadékösszegnél multiplikatív modellt használunk. A homogenizálás során mindig a jelen mérési körülményekhez igazítjuk az adatsorokat. A 2. pont alapján hibrid állomásrendszerek kerülnek kialakításra. Ez annyit jelent, hogy a jelenlegi tervek szerint 1901-től az állomásrendszerek napi, 1870 előtt havi adatsorokon alapulnak. Az 1870 és 1900 közötti időszakban napi és csak havi adatsorok is felhasználásra kerülnek, a napi adatsorokból képzett havi adatok inhomogenitásai pedig a majdani bővebb havi rendszer MASH által detektált inhomogenitásaiból származnak középhőmérséklet és csapadékösszeg esetén egyaránt. A napi homogenizált adatsorok kezdete várhatóan 1870. január 1. lesz, de ez az adatbázisban rögzített állomások számának és főképp az adatsorok hosszának függvényében a jövőben változhat. Az évek folyamán az adatsorokat frissíteni kell az újabb mérésekkel. Az évenkénti frissítés is hatékonyan működik a MASH szoftverrel. A homogenizálás után időben már reprezentatív adatsorokkal fogunk rendelkezni.

Rácsponti adatsorok létrehozása

A homogenizálást követően időben ugyan jó minőségű, viszont térben csak pontszerű adatsorokkal rendelkezünk, amik az országon belül egyenlőtlenül helyezkednek el. Továbbá a különböző állomásrendszerek is eltérő számú állomási adatsorokból állnak, így még az állomási átlagok sem összehasonlíthatók, ha esetleg abból akarnánk országos átlagot előállítani: pl. középhőmérséklet esetén 2021-ből 112, míg 1910-ből csak 34 állomás homogenizált, pótolta, ellenőrzött adatsorával rendelkezünk, a mérések kezdetéhez közelítve pedig egyre kevesebb meteorológiai információt tudunk felhasználni. Ahhoz, hogy országos átlagról beszélhessünk, az állomási sorok valamilyen szabályos rácsra történő interpolációja szükséges. A térbeli interpolációhoz a – szintén az OMSZ Éghajlati Osztályán kifejlesztett – MISH (Szentimrey & Bihari, 2014) eljárást alkalmazzuk. A MISH egy interpoláló és egy modellező alrendszerből tevődik össze. 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 modellezés hőmérséklet esetén additív, míg csapadéknál multiplikatív modellel történik. A doktori kutatómunkában fontos szempont, hogy a XX. század előtti időszakból – amikor a mainál sokkal kevesebb helyen végeztek méréseket – egy-egy hónap középhőmérsékletéről vagy csapadékösszegéről hasonló megbízhatósággal tudunk országos átlagot meghatározni, mint napjainkban. Az adott meteorológiai elemre jellemző térbeli szerkezetet ezért a lehető legpontosabban ismernünk kell. Ehhez a modellezéshez minél több jó

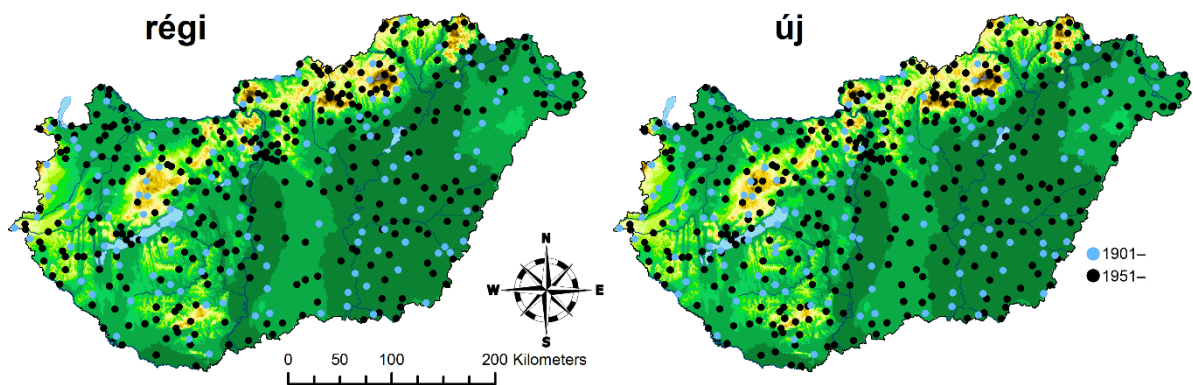
minőségű, hosszú adatsorral kell rendelkezünk. Természetesen csapadék esetén sokkal több állomást kell használni a modellezéskor, hiszen a csapadék térbeli változékonysága sokkal nagyobb, mint a hőmérsékleté. A kutatómunka során a határmenti rácspontokba történő interpoláció pontosítása érdekében külföldi, határmenti állomások bevonása, majd a modellezett paraméterek megújítása válhat szükségessé. A rácsponti adatsorok elkészültével térben és időben egyaránt reprezentatív középhőmérséklet és csapadékösszeg adatsorokkal fogunk rendelkezni Magyarországra a XX. század előtti időszakból is.

Eredmények

A kutatás a csapadékkal kezdődött, aminek az első eredményei kerülnek bemutatásra a továbbiakban.

Napi csapadékadatbázis megújítása 1901-től

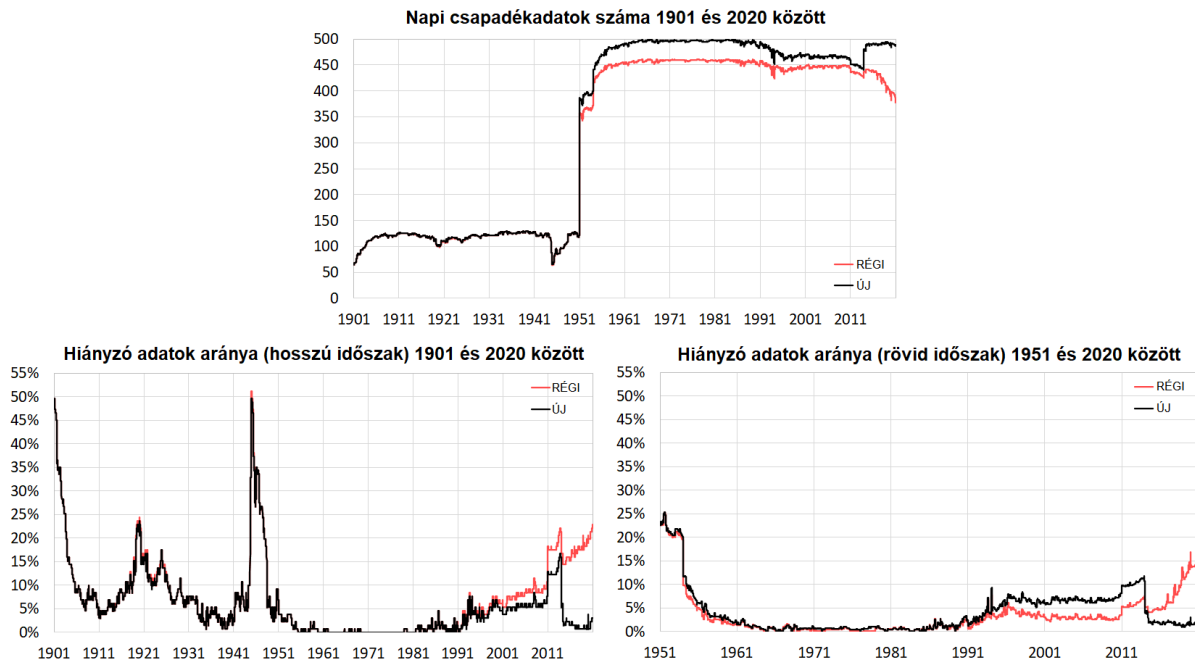
A még nem digitalizált adatok bevonása előtt a már meglévő napi csapadékadatbázis megújítása történt meg, amiről egy cikk is megjelent (Szentes et al., 2023a). A cikk az alkalmazott állomásrendszerekben történt változtatásokat, a homogenizálás főbb eredményeit jellemző inhomogenitásokat tartalmazza. Az állomásrendszer megújítására azért volt szükség, mert egyre több adat hiányzott a jelenben, különösen a hosszú adatsorok esetében (az állomások bezárása miatt), ezért a fő cél a hiányzó adatok minimalizálása és a hosszú mérésekkel rendelkező régi adatsorok megtartása volt, új, összevont állomássorozatok létrehozásával. A XX. század első felében használt 131 állomásból álló adatsorban nincs jelentős változás, a régi és az új rendszer szinte azonos. Az elmúlt 10-20 évben azonban több állomás megszűnt, és több esetben új állomás-sorozatokat kellett létrehozni a közeli állomásokkal, hogy a jelenhez közeli években több adat álljon rendelkezésre. A rövidebb időszakban (1951-től) a korábban használt 461 állomás helyett 500 állomást használunk (1. ábra).



1. ábra: Csapadékállomások elhelyezkedése Magyarországon a csapadékadatbázis megújítása előtt és után.

A korábban használt 461 állomásból ~20 állomást töröltünk a túl sok hiányzó érték miatt, és ~60 új, korábban a homogenizálás során nem használt állomást adtunk hozzá. A rövidebb időszakra vonatkozó 500 adatsor természetesen tartalmazza a hosszú időszakra vonatkozó 131 adatsort 1951-től. A hiányzó adatok mennyisége a jelenben sem nulla, mivel a csapadék nagyobb területi változékonyságú területeiről (hegyvidéki területek) származó olyan állomásokat is felhasználunk, amelyek több évtizeden át működtek, majd megszűntek, és a közelben nincs más állomás, amellyel össze lehetne vonni az adatsorát. A 2. ábra a rendelkezésre álló napi

csapadékadatok számát mutatja a teljes időszakra vonatkozóan, valamint a hiányzó adatok százalékos arányát a két (régi és új) állomásrendszerre vonatkozóan 1901. január 1. és 2020. december 31. között.



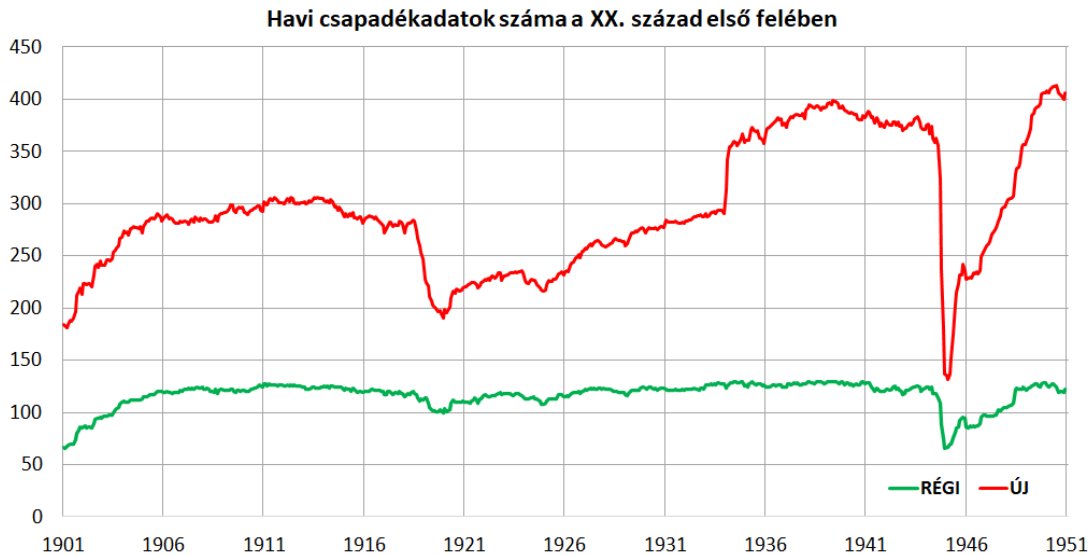
2. ábra A csapadékadatok száma naponta 1901 és 2020 között, valamint a hiányzó adatok százalékos aránya a két időszakban, a régi és új állomásrendszerek esetén.

Állomásrendszer bővítése 1951 előtt

A 2. ábra is jól mutatja, hogy jelentős törés van az adatsorok számában 1951-nél. Ennek az oka, hogy az adatsorok nagyrészt 1951-től vannak digitalizálva, a korábbi időszakból sok csapadékadat csak papíron van egyelőre meg. Az elmúlt egy évben megtörtént minden magyarországi csapadékmérő állomás havi csapadékösszegeinek az összegyűjtése a mérések kezdetétől, új állomásrendszerek kialakítása, homogenizálása és interpolálása, aminek eredményeképpen először kaptunk bepillantást Magyarország csapadékviszonyaira a mérések kezdetétől. A 3. és 4. ábra mutatja a rendelkezésre álló csapadékadatok számát a XX. század első és XIX. század második felében.

A XX. század elején és az 1930-as években volt jelentősebb állomáshálózat-bővítés, így a korábbi 1901-től egy körös homogenizálást két lépcsős váltotta fel a XX. század első felében. A II. világháború pusztítása itt is megjelenik, ugyanis 1945-re átmenetileg a csapadékmérő állomások mintegy 70%-án megszűntek a mérések.

Az 1800-as évek második felében viszonylag folyamatosnak tekinthető az állomáshálózat bővítése, ami az 1870-es évektől gyorsuló tendenciát mutat. Az ország különböző részein rendszeresnek tekinthető mérések 1854-ben indultak, akkor még az osztrák meteorológiai intézet irányítása alatt, így a magyarországi csapadékmérések kezdetének az 1854. év tekinthető. A XIX. század második felében összesen három lépcsőben történik a homogenizálás.



3. ábra: Csapadékadatok száma havonta Magyarországon a XX. század első felében.



4. ábra: Csapadékadatok száma havonta Magyarországon a XIX. század második felében.

Homogenizálás eredményei

A homogenizálás tehát összesen 6 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 csapadékösszegnél, az egyes állomásrendszerek esetén.

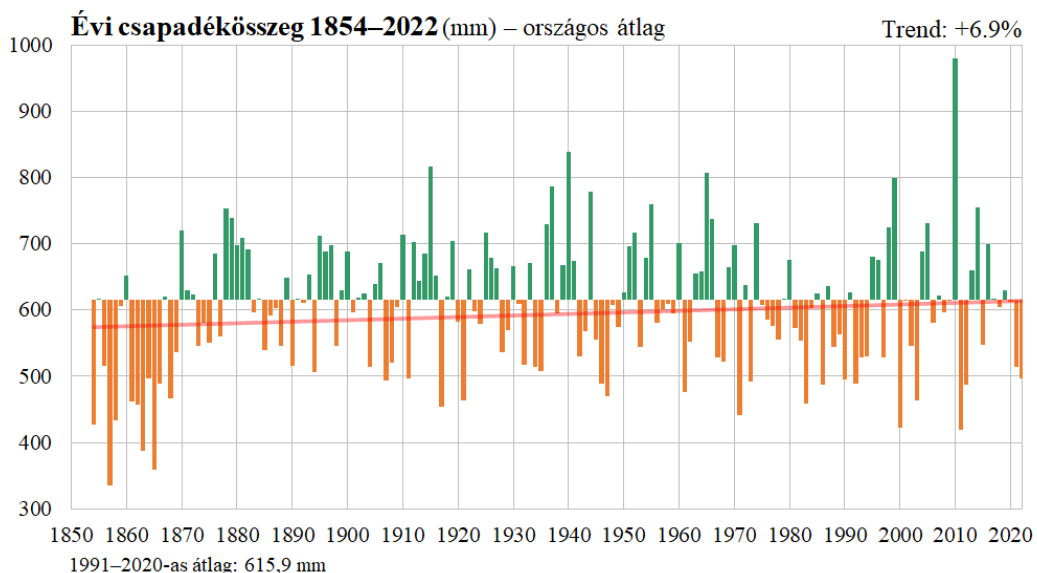
A homogenizálás előtt az átlagos tesztstatisztika minden állomásrendszer esetén jóval a kritikus érték közelében van, míg a homogenizálás utáni tesztstatisztikák a kritikus érték közelében vagy az alatt maradnak, tehát a csapadékadatbázis homogénnek tekinthető. Az adatsorokon történő módosítás természetesen a hosszabb adatsorok esetén nagyobb, mivel több inhomogenitással terheltek a hosszabb adatsorok, többek között a műszercserék és áthelyezések miatt.

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

	MASH1 (1854–2022)	MASH2 (1870–2022)	MASH3 (1881–2022)	MASH4 (1901–2022)	MASH5 (1931–2022)	MASH6 (1951–2022)
Adatsorok száma	30	50	124	318	402	500
Kritikus érték (szignifikancia szint: 0,01)	28,00	28,00	28,00	28,00	29,00	29,00
Tesztstatisztika a homogenizálás előtt	87,62	87,57	122,67	73,19	53,17	46,27
Tesztstatisztika a homogenizálás után	28,42	28,16	30,74	29,11	25,58	25,18
Adatsorok relatív módosítása	0,30	0,28	0,25	0,19	0,15	0,12
Állomáshálózat reprezentativitása	0,55	0,56	0,61	0,67	0,69	0,70

Országos csapadékátlag a mérések kezdetétől

A homogenizálást követően az adatsorokat $0,1^\circ$ -os rácshálóra interpoláltuk, majd a rácspontok átlaga jelenti az országos átlagot. A kevesebb állomásból előálló rácsponti adatsorokat összevetve a legsűrűbb, 500 állomást használóval azt kaptuk, hogy az átlagos hibák (eltérések) minden hónapban 1 mm alattiak és az RMSE¹ értékek is 5 mm alatt maradnak az országos átlagokra. Tehát a kevés állomási adatsorból előálló országos átlag is reprezentatívnak tekinthető Magyarországra. Ezek a kis eltérések a nagyon jó MISH modellezésnek köszönhetők. Az 5. ábra az éves csapadékösszegek országos átlagait mutatja 1854-től (mérések kezdete) 2022-ig. Az országos átlagok Magyarország jelenlegi területére vonatkoznak a teljes időszakban.



5. ábra: Az évi csapadékösszeg országos átlagai Magyarországon 1854-től 2022-ig, az idősorra illesztett exponenciális trenddel.

A doktori kutatás eredményeképpen első alkalommal elemezhetővé váltak hazánk csapadékviszonyai a csapadékmérések kezdetétől napjainkig, mely időszak tartalmazza az 1860-as évek

¹ RMSE: Root mean squared error – átlagos négyzetes hiba gyöke

körül nagyon száraz periódust. Összességében 1901 óta 2011 volt a legszárazabb év, de az 1860-as évek környékén három szárazabb év is volt ennél: 1857, 1863 és 1865. Emellett az 1860-as években hosszú ideig rendkívüli szárazság uralkodott. Az 1861 és 1866 közötti időszakban a csapadék mennyisége minden évben 500 mm alatt maradt országos átlagban. A szárazságot az is jól mutatja, hogy például a Fertő az 1860-as években száradt ki utoljára. A legcsapadékosabb év Magyarországon 1854-től a 2010-es volt, míg a legcsapadékosabb több éves egybefüggő időszak 1880 körül, 1878 és 1882 között jelentkezett. A teljes időszakban az éves csapadék enyhe, 6,9%-os növekedést mutat, de az a változás 0,1-es szignifikancia szint mellett nem szignifikáns változás.




Összefoglalás

A közelmúltban jelentős változtatások történtek az Országos Meteorológiai Szolgálat Éghajlati Osztályán készülő homogenizált, rácsponti éghajlati csapadékadatbázis előállításában. Megújításra került a napi csapadékadatbázis, amiről egy cikk jelent meg 2023 májusában az *International Journal of Climatology* folyóiratban. Az 1951 előtt időszakból a mérések kezdetéig viszszamenőleg összegyűjtésre került minden havi csapadékadat, melyek a már meglévő állomásrendszerekkel együtt felhasználásra kerültek a homogenizálási és interpolálási eljárás során. Ezáltal sokkal több információból készülő rácsponti csapadékadatbázis jött létre már a XX. század első felére is, valamint a rácsponti adatsorok kezdete a csapadékmérések kezdete, az 1854. év lett. Ezek az első eredmények először 2023 májusában a 11. homogenizálási szemináriumon kerültek bemutatásra (Szentes et al., 2023b).

Hivatkozások

- Szentes, O., Lakatos, M., Pongrácz, R., 2023a: New homogenized precipitation database for Hungary from 1901. *International Journal of Climatology*, 1–15.
<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.
- 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
- 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
- Szentimrey, T., 2017: Manual of homogenization software MASHv3.03, Hungarian Meteorological Service, 71p.
- Szentimrey, T., Bihari, Z., 2014: Manual of interpolation software MISHv1.03. Hungarian Meteorological Service, 60p.
-

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>