



A keszthelyi homogenizált hőmérsékleti adatok elemzése különös tekintettel a 20. század eleji felmelegedés jeleire

Jakuschné Kocsis Tímea, Pongrácz Rita, Hatvani István Gábor, Magyar Norbert, Anda Angéla, Kovácsné Székely Ilona

Budapesti Gazdaságtudományi Egyetem Kereskedelmi-, Vendéglátóipari és Idegenforgalmi Kar, jakuschnekocsis.timea@uni-bge.hu

DOI:10.56474/legkor.2025.2.3

A tanulmány célja, hogy bemutassa, objektíven detektálhatóak-e éves, évszakos, illetve havi skálán statisztikailag szignifikáns változások Kelet-Közép-Európa egyik leghosszabb homogenizált hőmérsékleti adatsorában nemcsak az utóbbi néhány évtizedben, hanem már sokkal korábban, a 20. század első felében is. A globális tendenciához hasonlóan a keszthelyi éves középhőmérsékleti idősorban is azonosítható a 20. század eleji felmelegedés (a továbbiakban ETCW) 1931 és 1951 között. A Mann-Kendall-féle trend teszttel kimutattuk, hogy egy szignifikáns emelkedő tendencia figyelhető meg az 1925 és 1951 közötti évek tavaszi idősorában. Ugyanakkor sem a nyár, sem az ősz ebben az időszakban nem jellemezhető szignifikáns trenddel, az átlag emelkedése azonban felismerhető. Összességében az ETCW jól megfigyelhető a keszthelyi hőmérsékleti idősor részletes statisztikai elemzésén keresztül.

Analysis of homogenized temperature data from Keszthely with special attention to signs of warming in the early 20th century

The aim of the study is to prove whether statistically significant changes on annual, seasonal and monthly scales can be objectively detected in one of the longest homogenized temperature time series in Central and Eastern Europe, not only in the last few decades, but also much earlier, in the first half of the 20th century. Like the global trend, an early 20th century warming (hereafter ETCW) between 1931 and 1951 can be identified in the Keszthely annual mean temperature time series. Using the Mann-Kendall trend test, a significant increasing trend can be observed in the time series of spring for the years 1925 to 1951. However, neither the summer nor the autumn in this period show a significant trend, but an upward shift in the average is detectable. Overall, the ETCW is well observed through a detailed statistical analysis of the temperature time series for Keszthely.

A globális átlaghőmérséklet emelkedése mára már bizonyított ténynek tekinthető (IPCC, 2023). Ez a felmelegedés a 19. század vége óta nyomon követhető, és megfigyelhető két határozott melegedési szakasz, amik sok éghajlati idősorban jól lehatárolhatók. Az egyik ilyen szakasz a 20. század első felére tehető, az 1920-as és 1940-es évek közé. A másik jól elkülöníthető szakasz a 20. század végén kezdődött, kb. 1980 táján, és jelenleg is tart elsősorban az erősödő antropogén hatások miatt (Hegerl et al., 2018). A jelenlegi felmelegedést megelőző legjelentősebb felmelegedés a történelmi globális éghajlati adatokban a 20. század első felében következett be, és a 20. század eleji felmelegedés néven ismert (Hegerl et al., 2018). A 20. század eleji felmelegedésben (melyet angol nevén /Early Twentieth Century Warming/ rövidítéséből a továbbiakban ETCW-nek nevezünk) a természetes tényezők szerepe volt hangsúlyos, és az aktuálisabbnak tekintett antropogén eredetű felmelegedés miatt vizsgálatára kevesebb figyelmet szentelnek. Az ETCW során erősebb felmelegedés az arktikus területeken jelentkezett, de hatást gyakorolt Észak-Amerika, Nyugat-Európa és az Atlanti térség éghajlatára is. Európában az ETCW időszakát hideg telek, nyári hóhullámok és aszályok jellemezték (Hegerl et al., 2018). Vizsgálataink célkitűzése az volt, hogy megnézzük, felfedezhető-e, elkülöníthető-e az ETCW időszaka a Kárpát-medence térségében is. Ehhez egy olyan állomás adatsorát használtuk, ahol a hazai mérőhálózat szerveződése óta megszakítás nélkül folynak a meteorológiai mérések. Keszthely a Kárpát-medence nyugati felén, a Balaton nyugati végén, annak északi partján található. Mikroklímáját befolyásolja a közeli víztest és a várost körbevevő dombság jelenléte. A klímaváltozás több szempontból is érinti, hiszen turisztikai desztináció, és a közelében felbecsülhetetlen természeti értékek találhatók.

Felhasznált adatok és elemzési módszerek

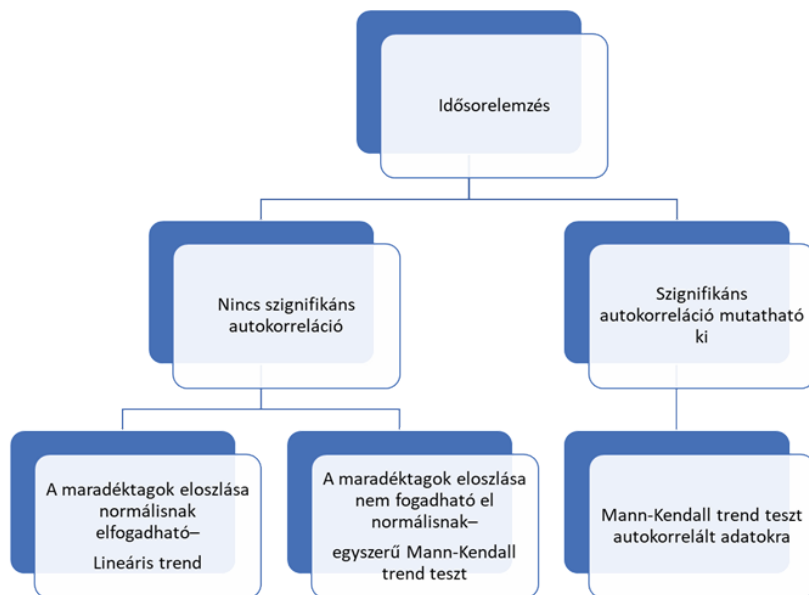
A vizsgált adatok a keszthelyi havi homogenizált középhőmérsékleti értékek az 1871–2018 közötti időszakban, melyeket a MATE Georgikon Campus Agronómia Tanszéke biztosított. A homogenizálást a HungaroMet-nél a MASH

programmal (Szentimrey, 1999, 2008) végezték el. Az adatokat először éves és évszakos középhőmérsékletekre aggregáltuk, majd ezután az éves és évszakos adatokban töréspontokat kerestünk a Bayes-i töréspontvizsgálati módszer segítségével (Ruggieri, 2013, 2018) 80%-os és 90%-os valószínűségi szinten. Gyakorlatilag kimutattuk azon ötéves időegységeket, ahol a legnagyobb valószínűséggel töréspont következett be az idősorban. A töréspontoknak megfelelően szakaszoltuk az idősorokat és trendvizsgálatot végeztünk (lineáris trend, egyszerű Mann-Kendall trend teszt (Mann, 1945, Kendall, 1975); Mann-Kendall trend teszt autokorrelált adatokra (Hamed és Rao, 1998)). A megfelelő trendszámítási módszer kiválasztásához egy döntési eljárást alkalmaztunk (1. ábra).

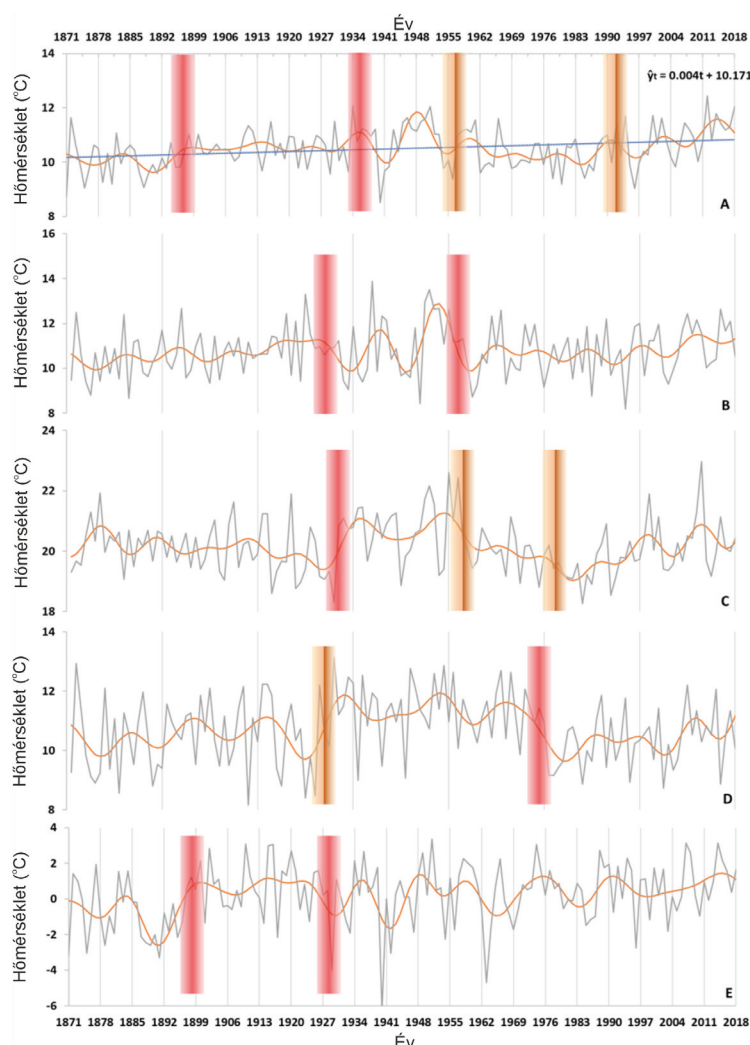
A maradéktagok normális eloszlásának vizsgálatára a Shapiro-Wilk próbát használtuk (Shapiro és Wilk, 1965). A nem-paraméteres trend meredekségét Sen-féle meredekséggel (Sen, 1968) közelítettük. Az autokorrelált Mann-Kendall trend teszt használatát az ebbe indokoltta, hogy több idősor esetében tapasztalható a lineáris trend maradéktagjai között autokorreláció (az éves, a nyári és a júliusi idősorokban). A tesztek legnagyobb részében az 5%-os szignifikancia szintet alkalmaztuk.

Eredmények

Az éves középhőmérsékletek trendjeinek megállapítására az autokorrelált Mann-Kendall trend tesztet használtuk, és szignifikáns emelkedő trendet talál-



1. ábra Az alkalmazott módszer kiválasztása.



2. ábra. Keszthelyi éves (A) és évszakonkénti (B-tavaszi, C-nyári, D-őszi, E-téli) nyers (szürke) és szűrt (narancssárga) hőmérsékleti idősorok 1871–2018 között. A 80–90% közötti valószínűségű töréspontokat narancssárga, a 90%-nál magasabb valószínűségeket piros függőleges oszloppal jelöljük. A kék vonal az éves idősor lineáris trendje. (Kocsis et al. 2024 alapján).

tünk, aminek a mértéke $0,4^{\circ}\text{C}/100$ évre becsülhető. Az évszakok közül télen monoton emelkedő trend mutatható ki ($0,84^{\circ}\text{C}/100$ év). Tavasszal szintén emelkedő tendencia tapasztalható a lineáris trend alapján, de a télihez képest kisebb mértékű ($0,48^{\circ}\text{C}/100$ év). A havi középhőmérsékletek idősorai közül 1871–2018 között januárra (lineáris meredekség: $0,0119$, $t(146)=2,259$, $p=2,534 \cdot 10^{-2}$) és novemberre (lineáris meredekség: $0,0086$, $t(146)=2,197$, $p=2,956 \cdot 10^{-2}$) igazolható emelkedő trend. Ha a változékonyságot az átlagtól vett abszolút eltérés idősoraként vizsgáljuk, akkor december hónapban ez szignifikánsan csökken (Senfélé meredekség: $-0,0042$, $S = -1235$, $p=4,070 \cdot 10^{-2}$).

A töréspontvizsgálat alapján az éves középhőmérsékletek idősorában 1930-ban 90% feletti, 1952-ben 80–90% közötti valószínűséggel mutatható ki töréspont. Ezek a töréspontok jó egyezést mutatnak az ETCW kezdetével és végével. Tavasszal 1925-ben és 1952-ben találunk töréspontokat. A nyári évszak idősorában 1927-ben és 1953-ban mutatható ki töréspont. Ősszel 1924-ben egy 80–90% közötti valószínűségű töréspont jelentkezik. A téli középhőmérsékleti adatsorokban 1924-ben 90% feletti valószínűségű töréspont detektálható. Az ETCW időszaka jól elkülöníthető a tavaszi és a nyári idősorokban is. Az őszi és a téli idősorokban azonban csak az ETCW kezdete mutatható ki (2. ábra).

A vizsgált középhőmérsékleti adatsorokat a legalább 80%-os valószínűségű töréspontoknál feldaraboltuk, és a szakaszokat külön-külön trendvizsgálat alá vetettük (1. táblázat). Az éves középhőmérsékleti adatok szegmensei közül szignifikáns hőmérsékletemelkedés figyelhető meg 1931 és 1951 között, valamint 1985 és 2018 között. Tavasszal minden szegmens szignifikáns hőmérsékletemelkedést mutat ($\alpha = 10\%$). Az ETCW időszakában is szignifikáns változás igazolható: a nyári középhőmérsékleti adatok szegmensei esetében az ETCW periódusban nem jelentkezett szignifikáns melegedés, viszont azt megelőzően egy hűlési, majd azt követően egy melegedési időszak figyelhető meg. A nyár és az ősz az ETCW idején nem jellemezhető szignifikáns trenddel, az átlag emelkedése azonban felismerhető (2. táblázat).

Télen egyik szakaszban sem mutatható ki szignifikáns változás. A nyári középhőmérsékleti adatok alakulása meglepő volt a korábbi ismeretek tükrében.

Az ETCW időszakát a mediterrán területeken és Kelet-Európában is aszályok jellemezték (Popova et al., 2022), azonban Keszthely térségére vonatkozóan nincs olyan irodalom, ami fokozott aszály érintettséget dokumentált volna az ETCW periódusban. Következtetésként levonhatjuk, hogy az ETCW időszaka hazánk területén is kimutatható, de eltérő jellegzetességekkel, mint amit a szakirodalomban olvashatunk. Például Makra et al. (2005) éppen a nedvesebb időszakok gyakoribb előfordulását detektálta a 20. század első felében.

éves	1871-1894	1895-1930	1931-1951** (Sen-féle meredekség=0,059)	1952-1984	1985-2018** (meredekség=0,042)
tavaszi	1871-1924** (meredekség=0,018)		1925-1951* (meredekség=0,062)	1952-2018** (meredekség=0,018)	
nyári	1871-1926** (meredekség=-0,014)		1927-1952	1953-2018** (meredekség=0,018)	
ősz	1871-1923		1924-1968	1969-2018** (Sen-féle meredekség=0,024)	
téli	1872-1895	1896-1923	1924-2018		

1. táblázat Szegmentálás és a szegmensek trendvizsgálata (Kocsis et al. 2024). *szignifikáns 10%-os szignifikancia szinten, ** szignifikáns 5%-os szignifikancia szinten. A szignifikáns trend esetében a lineáris meredekség vagy a Sen-féle meredekség zárójelben szerepel.

Átlag (°C) /szórás (°C)/ (időszak)					
éves	10,023 /0,707/ (1871-1894)	10,513 /0,509/ (1895-1930)	10,852 /0,893/ (1931-1951)	10,360 /0,642/ (1952-1984)	10,740 /0,803/ (1985-2018)
tavaszi	10,644 /1,011/ (1871-1924)		11,036 /1,464/ (1925-1951)	10,860 /1,071/ (1952-2018)	
nyári	20,053 /0,818/ (1871-1926)		20,829 /0,943/ (1927-1952)	20,009 /0,897/ (1953-2018)	
ősz	10,469 /1,215/ (1871-1923)		11,344 /1,009/ (1924-1968)	10,560 /1,194/ (1969-2018)	
téli	-0,975 /2,094/ (1872-1895)	0,715 /1,583/ (1896-1923)	0,367 /1,856/ (1924-2018)		

2. táblázat. A szegmensek leíró statisztikai jellemzői (Kocsis et al. 2024).

Következtetések

Vizsgálataink eredményeivel az ETCW arktiszi régióban tapasztalható hatásairól szóló számos tanulmány (pl. Bokuchava és Semenov, 2021; Brönnimann, 2009; Semenov és Latif, 2012) és az európai kontinensre gyakorolt hatásáról szóló szórványos kutatások közötti űrt céloztuk betölteni. A globális tendenciához hasonlóan a keszthelyi éves középhőmérsékleti idősorban is azonosítható az ETCW időszaka 1931 és 1951 között. A Mann-Kendall trend teszttel az 1925 és 1951 közötti tavaszi felmelegedési időszakban egy szignifikáns emelkedő tendenciát mutattunk ki. A nyár és az ősz ebben az időszakban nem jellemezhető szignifikáns trenddel, azonban az átlag emelkedése felismerhető. Érdekesképpén fontos megemlíteni, hogy Közép-Európa egészét tekintve ennek az időszaknak a csapadékvizonyokat érintő jellemzői némileg eltérnek a szakirodalomban a tágabb környező régióra találtaktól, ugyanis a máshol jellemző

aszályokról Keszthelyre vonatkozóan nincsenek megerősítő bizonyítékok. Ennek az eltérésnek a lehetséges okait rekonstrukciós modellezéssel szükséges részletesebben megvizsgálni, de ez már túlmutat tanulmányunk célkitűzésein.

Megjegyzés: A kutatás eredményei teljes terjedelemben az alábbi szakcikkekben olvashatók az alkalmazott módszerek részletes leírásával és a felhasznált irodalommal együtt: Kocsis, T. – Pongrácz, R. – Hatvani, I.G. – Magyar, N. – Anda, A. – Kovács-Székely, I. (2024): Seasonal trends in the Early Twentieth Century Warming (ETCW) in a centennial instrumental temperature record from Central Europe. Hun. Geo. Bull. 73(1): 3-16. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.73.1.1>

A 2024. évi Meteorológiai Tudományos Napokon elhangzott előadás szerkesztett változata.

Irodalomjegyzék

- Bokuchava, D. D., Semenov, V. A. 2021: Mechanisms of the Early 20th Century Warming in the Arctic, *Earth-Science Reviews*, 222, 103820, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103820>
- Brönnimann, S. 2009: Early twentieth-century warming., *Nature Geoscience*, 2(11), 735–736. <https://doi.org/10.1038/ngeo670>
- Hamed K.H., Rao A.R. 1998: A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204, 182–196, [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X)
- Hegerl, G.C., Brönnimann, S., Schurer, A., Cowan, T. 2018: The early 20th century warming: Anomalies, causes, and consequences. *WIREs Climate Change* 2018, 9 (4), e522, <https://doi.org/10.1002/wcc.522>
- IPCC, 2023: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1–34, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- Kendall, M.G. 1975: Rank correlation methods. Charles Griffin, London
- Kocsis, T., Pongrácz, R., Hatvani, I.G., Magyar, N., Anda, A., Kovács-Székely, I. 2024: Seasonal trends in the Early Twentieth Century Warming (ETCW) in a centennial instrumental temperature record from Central Europe. *Hun. Geo. Bull.*, 73(1), 3–16. <https://doi.org/10.15201/hungeobull.73.1.1>
- Makra, L., Mika, J., Horváth, Sz. 2005: 20th century variations of the soil moisture content in East-Hungary in connection with global warming. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30 181–186, <https://doi.org/10.1016/j.pce.2004.08.035>
- Mann, H.B. (1945) Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245–259, <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Popova, V., Matveeva, T., Bokuchava, D. 2022: The Early 20th Century Warming in the East-European Plain Climate: Extreme Drought in 1920–1940, Atmospheric Circulation Anomalies and Links with the Sea Ice Variability. *Environmental Sciences Proceedings*, 19, 57 <https://doi.org/10.3390/ecas2022-12864>
- Ruggieri, E. 2013: A Bayesian approach to detecting change points in climatic records. *Int. J. Climatol.*, 33, 520–528. <https://doi.org/10.1002/joc.3447>
- Ruggieri, E. 2018: A pruned recursive solution to the multiple change point problem. *Comput. Stat.*, 33, 1017–1045. <https://doi.org/10.1007/s00180-017-0756-9>
- Semenov, V. A., Latif, M. 2012: The early twentieth century warming and winter Arctic sea ice, *The Cryosphere*, 6, 1231–1237, <https://doi.org/10.5194/tc-6-1231-2012>
- Sen, P. K. 1968: Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of American Statistical Association*, 63:1379–1389, <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Shapiro, S. S., Wilk, M. B., 1965: An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(3–4), 591–611, <https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591>
- Szentimrey, T. 1999: „Multiple Analysis of Series for Homogenization (MASH)”, *Proceedings of the Second Seminar for Homogenization of Surface Climatological Data*, Budapest, Hungary; WMO, WCDMP-No. 41, 27–46.
- Szentimrey, T., 2008: An overview on the main methodological questions of homogenization, *Proceedings of the Fifth Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases*, Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 71, 1–6.