

UDC 551.583(292.455)''1981/2020''

DOI <https://doi.org/10.32782/2786-5843/2025-1-4>

## A LÉGHŐMÉRSÉKLET MÓDOSULÁSA A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN AZ 1981–2020-AS IDŐSZAK SORÁN

### Molnár József

PhD, a földrajztudományok kandidátusa, docens,  
a Földrajz és Turizmus Tanszék vezetője,  
II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Beregszász, Ukrajna  
ORCID ID: 0000-0002-5178-0305

### Kovács Andrea

főiskolai hallgató, MSc II. évfolyam, Középszintű oktatás (Földrajz) szak,  
II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Beregszász, Ukrajna  
ORCID ID: 0009-0000-9277-3569

***A kutatás aktualitása:** az éghajlatváltozás, azon belül a felmelegedés, korunk egyik legfontosabb környezeti problémájává lépett elő mind globális, mind regionális szinten. **A kutatás tárgya:** a hőmérsékletváltozás sajátosságai a Kárpát-medencében az utóbbi évtizedekben. **A kutatás célja:** meghatározni a hőmérsékletváltozás regionális sajátosságait a Kárpát-medencében az 1981–2020-as időszak folyamán, feltárni a felmelegedés mennyiségi mutatóit és jellegét, illetve a lehetséges mozgatórugóit. **Módszerek:** elsősorban matematikai-statisztikai elemzéseket alkalmaztunk, kiemelten trendelemzést, töréspontvizsgálatot, a kétféle modell illeszkedése jóságának az összevetését.*

***Eredmények:** a lineáris trendelemzés a vizsgált évtizedekre vonatkozóan mindegyik állomás évi középhőmérsékleti adatsorában szignifikáns emelkedő trendet detektált, melyek mértéke némileg meghaladta a globális átlagot. Ugyanakkor sikerült szignifikáns töréspontokat is detektálni az adatsorokban. Összehasonlítva a kétféle közelítés illeszkedését az évi hőmérsékleti adatsorokhoz, többnyire a töréspontok által tagolt részátlagoké bizonyult jobbnak, ami a felmelegedés szakaszos jellegére utal. Az évszakos adatok elemzése a nyarak melegedését találta legintenzívebbnek, sajátos módon viszont a nyári hőmérsékletek emelkedése inkább bizonyult trendjellegűnek.*

***Gyakorlati jelentősége:** a kapott eredmények elősegíthetik az éghajlatváltozás sajátosságainak a jobb megértését, ami lehetővé teheti az előrejelzések javítását és a következményekhez való alkalmazkodás megkönnyítését. **Következtetések:** a globális felmelegedés regionális szinten eltérően jelentkezik, tér- és időbeli sajátosságait különböző éghajlati tényezők határozzák meg. **A további lépés lehetőségei:** az éghajlatváltozás regionális sajátosságainak azok tényezőitől, elsősorban a légközés jellemzőitől való függésének a vizsgálata.*

***Kulcsszavak:** éghajlatváltozás, Kárpát-medence, lineáris trendek, töréspontvizsgálat, illeszkedés.*

## МОДИФІКАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ В КАРПАТСЬКОМУ БАСЕЙНІ ПРОТЯГОМ 1981–2020 РОКІВ

### Молнар Йосип Йозефович

кандидат географічних наук, доцент,  
завідувач кафедри географії та туризму,  
Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна  
ORCID ID: 0000-0002-5178-0305

### Ковач Андрея Болдіжарівна

здобувачка II курсу магістерського рівня, спеціальність «Середня освіта (Географія)»  
Закарпатський угорський інститут ім. Ференца Ракоці II, м. Берегове, Україна  
ORCID ID: 0009-0000-9277-3569

***Актуальність дослідження:** зміна клімату, в тому числі потепління, виступає однією з головних екологічних проблем сучасності як у глобальному, так і в регіональному масштабі. **Предмет дослідження:** осо-*

близості температурних змін у Карпатському басейні за останні десятиріччя. **Мета дослідження** – визначити регіональні особливості температурних змін у Карпатському басейні протягом 1981–2020 років, виявити кількісні показники та характер процесів потепління, їх можливі чинники. **Методи дослідження:** основними виступають методи статистичного аналізу, передусім трендовий аналіз та виявлення точок розриву часових рядів даних, порівняння добротності прилягання трендів і розбивань на періоди за допомогою точок розриву.

**Результати дослідження:** аналізи виявили значимі висхідні лінійні тренди у середньорічних температурах усіх 10 міст, що досліджувалися за 1981–2020 роки, причому регіональні показники потепління переважали відповідні значення глобального рівня. Разом із тим виявлені також значимі точки розриву в часових рядах. Порівняння добротності прилягання трендів та періодів, розбитих точками розриву до фактичних показників, для більшості міст вирішилось на користь останніх, що вказує на ступінчастий характер процесу підвищення температури в регіоні. Аналіз даних пір року показав найбільшу інтенсивність літнього потепління, однак своєрідно, що підвищення літніх температур, на відміну від інших сезонів, мало більшою мірою трендовий характер.

**Практичне значення:** отримані результати сприяють кращому розумінню характеру змін клімату, що дасть змогу вдосконалити їх прогнозування та полегшити адаптацію до їх наслідків. **Висновки:** глобальне потепління проявляється неоднаково на регіональному рівні, його просторові та часові особливості зумовлені різними кліматотвірними чинниками. **Перспектива подальших досліджень** полягає у вивченні залежності регіональних особливостей кліматичних змін від їх чинників, передусім характеру циркуляції атмосфери.

**Ключові слова:** зміна клімату, Карпатський басейн, лінійні тренди, точки розриву в часових рядах, добротність прилягання.

## MODIFICATION OF THE AIR TEMPERATURE IN THE CARPATHIAN BASIN OVER THE PERIOD 1981–2020

**Molnár Yosyp Yozhefovych**

PhD in Earth Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Geography and Tourism,

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-5178-0305

**Kovács Andrea Boldizharivna**

College student, MSc 2nd year, Secondary Education (Geography) major

Ferenc Rakoczi II Transcarpathian Hungarian College of Higher Education, Berehove, Ukraine

ORCID ID: 0009-0000-9277-3569

**The relevance of the research:** climate change, including warming, which has emerged as one of the most important environmental problems of our lifetime, both at global and regional levels. **The subject of the research** is the features of temperature changes in the Carpathian Basin over recent decades. **The purpose of the study** is to determine the regional characteristics of temperature changes in the Carpathian Basin over the period 1981–2020, to identify relevant quantitative indicators as well as patterns of warming and their possible causes. **Research methods:** mostly mathematical-statistical methods of analysis were used, with emphasis on trend detection and breakpoint analysis, as well comparison of the goodness of fit between the models.

**The results of the study:** linear trend analysis detected a significant upward trend for mean annual temperature data series for each station category over the studied decades, with values slightly above global average. Though, significant breakpoints were also detected in the dataset. As compared the fitting of trends and periods distributed by break points to the annual temperature data series, the latter proved better indicating the gradual nature in the temperature rise. As a result, analysis of the seasonal data show that more intense warming was observed in the summer. Still, it is important to note that the rise in summer temperatures was more likely to be trend-like.

**Practical significance:** research results may facilitate a better understanding of the nature of climate change, which in turn, could improve its forecasting and facilitate adaptation to its consequences. **Conclusions:** global warming is regionally differentiated, with its spatial and temporal patterns determined by different climatic factors. **The prospect of further research:** to examine the dependence of region-specific features of climate change on its factors, especially the nature of atmospheric circulation.

**Key words:** climate change, Carpathian Basin, linear trends, break point analyses, fitting of approximation.

**Problémafelvetés.** Az éghajlatváltozás, a globális felmelegedés azon tudományos problémakörök közé emelkedett, amelyek a szakmain túl széleskörű közérdeklődés, sőt társadalmi-politikai diskurzus tárgyává váltak, annak pozitív és negatív hozadékaival együtt. Maga a felmelegedés ténye adatokkal jól alátámasztott, és egyértelműen állást foglalt a kérdésben az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (IPCC) több jelentése is, amely annak globális lineáris trendjét az 1906–2005-ös évszázadra  $0,74^{\circ}\text{C}$ -ban határozta meg [1], a 2011–2020-as évtized átlaghőmérsékletét pedig  $1,09^{\circ}\text{C}$ -kal becsülte magasabbra az 1850–1900-as bázisidőszakhoz viszonyítva [2: 4]. Az utóbbi 25 évben pedig a hőmérsékletemelkedés átlagos évtizedes üteme elérte a  $0,2^{\circ}\text{C}$ -ot [3].

A hőmérséklet-módosulás sajátosságai, jövőbeli alakulása, valamint földrajzi eltérései azonban további megoldandó kérdések, amelyek tág teret biztosítanak a kutatómunkának. Ennek keretébe illeszkedik tanulmányunk is, amely tágabb régiónk a Kárpát-medence utóbbi évtizedekben tapasztalt felmelegedésének a mértékét és annak jellegét vizsgálja.

**A releváns publikációk áttekintése.** Az üvegházhatás fokozódásának a döntő szerepe a felmelegedésben elég egyértelmű ugyan, de nem hagyhatók figyelmen kívül az egyéb ezt befolyásoló éghajlati tényezők sem (napfoltciklusok, cirkulációs viszonyok stb.) [4]. Az ezek sokrétű kölcsönhatása eredményeként alakuló globális éghajlatváltozás összetett folyamatában fordulópontok, bifurkációs pontok jelentkezését, lehetőségét valószínűsítik mind a földtörténeti, mind a jelenkori időléptékben [5]. A módosulások különböző statisztikai modellekkel közelíthetők, az egyszerű lineáris, illetve fordulópontok által tagolt szekvenciális trendektől, az autoregresszív modellekig [6; 7; 8; 9]. A feltárt trendek kvantitatív jellemzőit ugyancsak jelentősen befolyásolja a vizsgált időintervallum hossza és kezdőpontja [10]. Másrészt, az éghajlati változások eredményesen közelíthetők szakaszos, lépcsőzetes folyamatként is [11].

A felmelegedés általános tendenciája ugyan Földünk szinte minden részét érinti, annak regionális sajátosságai viszont jelentős válto-

zékonytságot mutatnak. A hőmérséklet változása Ukrajnában nagy vonalakban a globálissal összhangban zajlott, ám mértékében meghaladta azt: az 1900–2021-es időszakban a felmelegedés országos évszázados átlagértéke  $1,31^{\circ}\text{C}$  volt [12, p. 61]. Az ország területét a folyamatok nem egyenletesen érintették, így például, az északi részekben a nevezett időszak évszázados lineáris hőmérsékleti trendjei meghaladták a  $2^{\circ}\text{C}$ -ot, a déli tengerpartokon pedig ugyanakkor  $1^{\circ}\text{C}$  körül alakultak [12, p. 63]. Nem egyértelmű a 2022-ben totálissá vált orosz–ukrán háború hatása a léghőmérséklet változására, mivel annak eredményeként egyrészt nőtt a légkörbe kerülő fűtő hatású üvegházgázok mennyisége, másrészt az aeroszol részecskéké is, amelyek hűtőhatást gyakorolnak a légkörre [13].

A változások Magyarország területén szintén a globálissal szinkronban zajlottak, amelyek  $1,2^{\circ}\text{C}$ -ot tettek ki az 1901–2020-as időszakban, ami évszázados átlagban  $1,0^{\circ}\text{C}$ -nak felelt meg. Az északi rész itt is jobban melegeedett, bár – nyilván az országok kiterjedéséből adódóan is – a különbség kisebbnek, mindössze  $0,3^{\circ}\text{C}$  körülnek adódott [14]. A változások az utóbbi évtizedekben, a globális tendenciákkal összhangban, Magyarország területén is felgyorsultak, 1981 és 2016 között elérve az  $1,62^{\circ}\text{C}$ -ot [15, p. 6]. Az utóbbi évtizedekben az egész térségben a nyarak melegezése bizonyult számottevőbbnek [16, p. 1332; 17, p. 44–45; 12, p. 75; 18, p. 4].

**Célkitűzés.** Vizsgálataink célja meghatározni a hőmérsékletváltozás regionális sajátosságait a Kárpát-medencében az 1981–2020-as időszak folyamán, feltárni a felmelegedés mennyiségi mutatóit és jellegét, illetve a lehetséges mozgatórugóit. Választ keresünk arra a kérdésre, hogy milyen lineáris trendek, illetve töréspontok jellemzik a térség évi és évszakai hőmérsékleti idősorait, valamint, hogy a nevezett statisztikai modellek közül melyik illeszkedik jobban a megfigyelt adatokhoz.

**Adatbázis és módszerek.** A vizsgált térség kiválasztásánál alapvető szempont volt, hogy a Kárpát-medence – számos más földrajzi és történelmi aspektus mellett – a légköri viszonyok tekintetében is viszonylag jól elkülönülő egységet

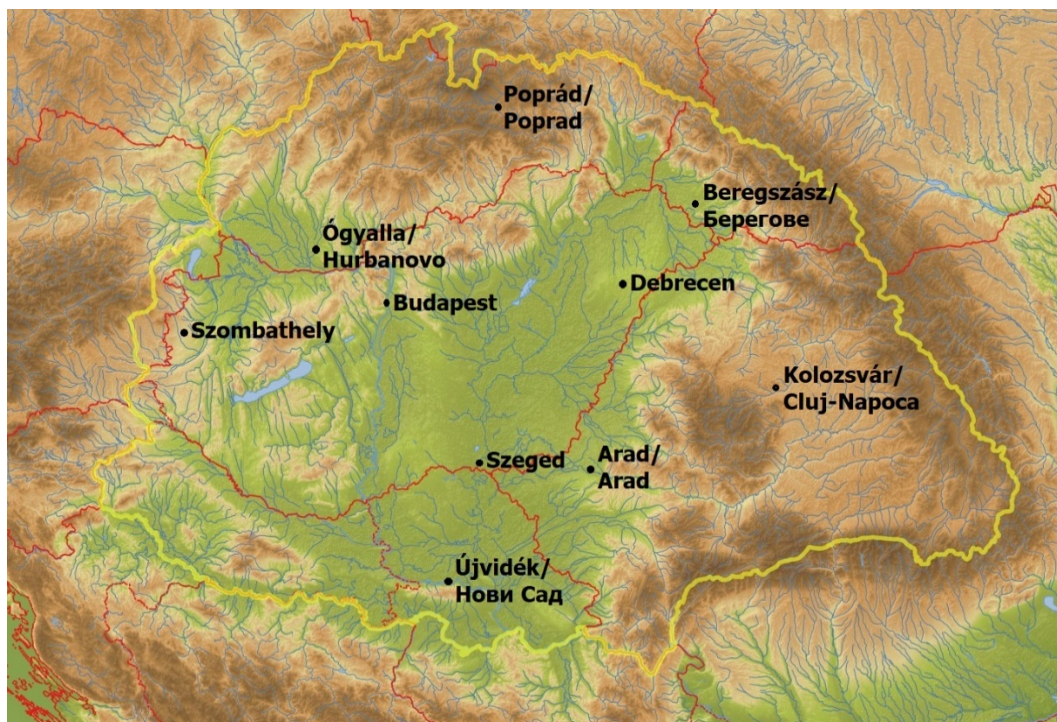
képvisel [19]. Ezzel együtt a medencén belül jelentős éghajlati eltérések figyelhetők meg, amelyek nagyrészt a domborzat és a földrajzi fekvés következményei. A térségi éghajlatváltozás közös és különböző sajátosságainak a detektálására tíz város 1981–2020-as időszakra vonatkozó havi hőmérsékleti idősorait használtuk. A városok kiválasztásánál – azon túl, hogy hozzáférhetőek legyenek az adataik – fontos szempont volt, hogy területileg reprezentálják a Kárpát-medence különböző részeit. Nyolc meteorológiai állomás a 100–200 m körüli tengerszint fölötti magasságú síkvidéket reprezentálja, Poprád és Kolozsvár pedig a valamivel magasabban fekvő hegyközi medencéket (1. ábra). A felhasznált magyarországi adatokat a HungaroMet magyar meteorológiai szolgálat honlapjáról (Budapest, Debrecen, Szeged, Szombathely; [20]) töltöttük le, a szlovákiai (Ógyalla, Poprád), romániai (Arad, Kolozsvár) és szerbiai (Újvidék) idősorokat a Tutiempo Network adatbázisból [21], a beregszászi értékeket pedig a Beregszászi Meteorológiai Állomás adattárából [22] kaptuk (ezúton is köszönjük az állomás vezetőjének).

Elemzéseink az alábbi kérdésekre keresték a választ:

- kimutatható-e a hőmérsékleti adatokban szignifikáns lineáris trend?
- detektálható-e az idősorokat szignifikánsan különböző szakaszokra tagoló töréspontok?
- vajon a trendek, vagy a szakaszbonthatások írják le szabatosabban a vizsgált hőmérséklet-módosulásokat?

A lineáris trendek realitásának az eldöntésére korrelációs együtthatót alkalmaztunk. A legelterjedtebb Pearson-féle korrelációs együttható realitását a statisztikai szakirodalom az összevetendő valószínűségi változók normális eloszlásához köti [23]. Esetünkben az egyik korrelálandó számsor nem is valószínűségi változó, hanem az évszámok egyenletes eloszlású sora volt. Ezt figyelembe véve, a trendek szignifikanciájának az ellenőrzését a normális eloszlást nem kívánó nemparaméteres Spearman-korrelációs együtthatók meghatározásával végeztük.

A Spearman-korrelációs együttható ( $r_s$ ) az idősor elemeinek a növekvő sorba rendezett mintában elfoglalt sorszáma ( $z$ ) és az időrendi sorszáma ( $i$ ) közötti kapcsolat szorosságát mutatja [24]:



1. ábra. A vizsgálatokba vont meteorológiai állomások elhelyezkedése a Kárpát-medence területén (alaptérkép: Molnár D. István)

$$r_s = \frac{\sum \left( z_i - \frac{n+1}{2} \right) \left( i - \frac{n+1}{2} \right)}{\sqrt{\sum \left( z_i - \frac{n+1}{2} \right)^2 \sum \left( i - \frac{n+1}{2} \right)^2}}$$

ahol  $n$  – az idősor elemszáma.

Az idősorokban esetlegesen végbement hirtelen, ugrásszerű változások, vagyis töréspontok feltárására a statisztikai szakirodalom által kínált számos módszer közül [25, p. 46–51] a részátlagok Student-féle  $t$ -próbával történő összevetését választottuk. Az eljárás azon a feltevésen alapul, hogy az ugrásszerű változás időpontjánál elválasztott időszakok átlagának eltérése nagyobb a más időpontoknál elválasztottakénál. Az átlagok összevetésére a Student-féle  $t$ -értéket használtuk [26, p. 316].

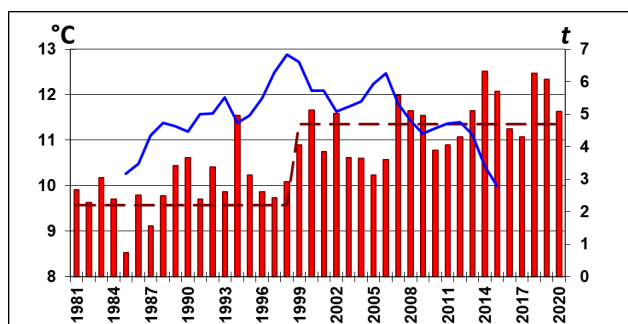
A töréspontvizsgálat első lépésében az idősorokat két szakaszra bontottuk az 1985/1990-es választópontnál, ami az 1981–1985-ös és az 1986–2020-as részekre osztotta a teljes periódust (mivel a szakaszok hosszát 5 évben minimalizáltuk). Kiszámítottuk a Student-féle  $t$ -értéket a két szakasz átlagaira. Ezután a választópontot egyesével léptettük előre az időben, változtatva a két részidőszak hosszát. A részidőszakok átlagait minden lépésnél összevetettük, a  $t$ -érték meghatározásával. Az utolsó választópont 2015 és 2016 közé esett, betartandó az időszakok 5 éves minimális hosszával kapcsolatos fenti feltételt.

A kapott  $|t|$ -értékek közül a maximális mutatja a hozzá tartozó két részidőszak átlagának legnagyobb eltérését, tehát ez tekinthető töréspontnak. Ha az adott  $t$ -érték a vonatkozó szabadsági fok (ez a konkrét vizsgálatnál 38 volt) esetén 95%-os szinten szignifikáns eltérést jelzett a szakaszátlagok között, a hozzá tartozó választópontot szignifikáns töréspontnak tekintettük.

A 2. ábra a töréspont kijelölését szemlélteti a Beregszászi Meteorológiai Állomás évi átlaghőmérsékleti idősora példáján. A  $|t|$  a maximumát az 1998-as évnél éri el, és mivel értéke a kívánt szinten szignifikáns, 1998 és 1999 fordulóját szignifikáns töréspontnak tekintettük.

Vizsgálataink a hőmérsékleti idősorokban úgy szignifikáns trendeket, mint töréspontokat feltártak. Annak eldöntésére, hogy a végbement változásokat melyikük írja

le pontosabban, azaz inkább tekinthetők azok fokozatosan vagy ugrásszerűen végbemenőknek, az egyes évek tényleges adatai és a modell (lineáris trend, illetve ugrásszerű változás) által az adott évre szolgáltatott adatok eltérései szórásának vagy átlagos abszolút értékeinek az összevetése lehet alkalmas. A két lehetőség közül az átlagos abszolút eltéréseket választottuk, mivel a szórás képlete túl érzékeny a kiugró értékekre (a szórás számításnál az eltérések négyzetre emelve szerepelnek, ami túlhangsúlyozza a magányos „outlier”-ek jelentőségét).



**2. ábra. A Beregszászi Meteorológiai Állomás 1981–2020-as évi átlaghőmérsékleti idősorában jelentkező töréspont  $t$ -próba segítségével történő kijelöléséhez használt diagram. Oszlopdiaagrammal ábrázoltuk az évi középhőmérsékleteket (bal oldali skála, °C). A folytonos vonal az adott évvel végződő és az azt követő időszak átlagának összevetésére használt abszolút  $t$ -értékeket mutatja (jobb oldali skála). A szaggatott vonal a töréspont által elválasztott részidőszakok szakaszátlagait jelöli**

Ennek megfelelően meghatároztuk az adott idősorra fektetett lineáris trendegyenes  $x_i$  értékeit az  $i = 1, 2, \dots, n$  évekre, majd az egyes évek  $x_i$  értékeiből kivontuk azokat. Az átlagos abszolút eltérés ( $S_{tr}$ ) jellemzi a trendegyenes illeszkedésének jóságát: a kisebb érték jobb illeszkedésnek felel meg:

$$S_{tr} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - x_{\hat{i}}|}{n}$$

A továbbiakban meghatároztuk az adott idősor legmarkánsabb,  $k$  és  $k+1$  közé eső töréspontja által

kijelölt két szakasz átlagos hőmérsékleti értékét ( $\bar{x}_1$  és  $\bar{x}_2$ ). Az egyes évekre vonatkozó értékek megfelelő részátlagtól vett eltéréseinek átlagos abszolút értékét képeztük ( $S_{tp}$ ), ami a szakaszátlagokkal való közelítés illeszkedésének a jóságát méri (a jobb illeszkedést ebben az esetben is a kisebb értékek mutatják):

$$S_{tp} = \frac{\sum_{l=1}^k |x_l - \bar{x}_1| + \sum_{m=k+1}^n |x_m - \bar{x}_2|}{n},$$

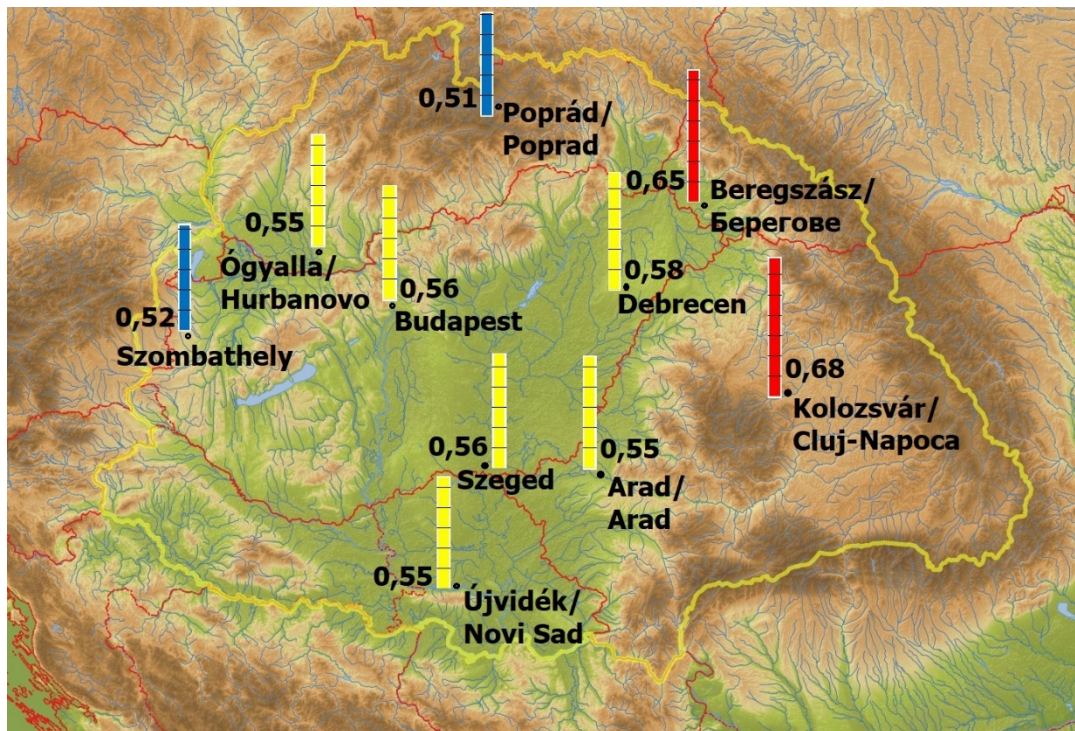
ahol  $l = 1, 2, \dots, k$  és  $m = k+1, k+2, \dots, n$ .

Az illeszkedések jóságának összehasonlítására az átlagos abszolút eltéréseket alkalmaztuk: ha  $S_{tr} < S_{tp}$  – a töréspontok által elválasztott átlagok.

**Eredmények.** A Spearman-féle korrelációs együtthatók segítségével végrehajtott elemzések mind a tíz vizsgált állomás évi középhőmérsékleti adatsorában 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns emelkedő trendet talált. A felmelegedés átlagos értéke az 1981–2020-as időszakban a tíz város adatai alapján a Kárpát-medencében  $2,3^\circ\text{C}$ -nak adódott, azaz a melegedés átlagos üteme  $0,57^\circ\text{C}/\text{évtized}$  volt.

A melegedési trendek a medence északkeleti részén adódtak meredekebbnek: Kolozsvárott az 1981–2020-as periódus folyamán  $0,68^\circ\text{C}/\text{évtized}$ , Beregszászban  $0,65$  volt a megfelelő érték (3. ábra, 1. táblázat). Az átlagnál mérsékelt-ebbnek, a fél fokot alig meghaladónak bizonyult az átlaghőmérsékletek évtizedes emelkedési üteme északnyugaton (Poprád –  $0,51^\circ\text{C}$ , Szombathely –  $0,52$ ). Ez részben az Atlanti-óceánhoz való közelebbi fekvésével függhet össze, mivel a nagy hőkapacitású óceánok hőmérsékleti puffertartást fejtenek ki a globális felmelegedés évtizedes időskáláján is [27]. A Kárpát-medence északkeleti részén viszont inkább érvényesül a globális szinten a leggyorsabban melegedő térségek közé tartozó Szibéria befolyása [28]. Megjegyezzük még, hogy a beregszászi átlagok meredekebb emelkedésében a városhatás fokozódása is szerepet játszhatott, ugyanis a vizsgált periódus alatt, nevezetesen a múlt század 80–90-es éveinek a fordulóján, a meteorológiai állomás környékét beépítették.

Folytassuk a hőmérsékleti idősorokban feltárt melegedési trendek évszakos megoszlásának



3. ábra. Az évi középhőmérsékletek átlagos trendjei a Kárpát-medence vizsgált városaiban az 1981–2020-as időszakban ( $^\circ\text{C}/\text{évtized}$ ; az oszlopok 1 beosztása  $0,1^\circ\text{C}/\text{évtized}$ nek felel meg; kék oszlopok – kisebb mértékű melegedés, piros oszlopok – nagyobb mértékű melegedés, sárga oszlopok – átlag közeli melegedés)

elemzésével! Az évszakai hőmérsékleti átlagok meghatározásánál az összefüggő téli hónapokat vontuk össze, így, például 2004 decembere 2005 januárjával és februárjával alkot egy évszakot.

Összességében az 1981–2020-as időszak mind a négy naptári évszaka a Kárpát-medence mind a tíz vizsgált állomásán 95%-os valószínűségi szinten szignifikáns hőmérséklet emelkedést mutatott. A legjelentősebb felmelegedést – a tíz város átlagában a 40 év alatt  $2,8^{\circ}\text{C}$ -ot, azaz a  $0,70^{\circ}\text{C}/\text{évtizedet}$  – a nyári időszakban detektáltuk. Hasonló eredményre, azaz a nyári hőmérsékletek erőteljesebb emelkedésére, jutott Martazinova és szerzőtársai [30] az utóbbi évtizedek ukrainai felmelegedése vonatkozásában. Ezt az eredményt erősíti az is, hogy magyarországi adatok szerint az utóbbi évtizedekben a hőmérsékleti maximumok nyáron dőltek meg leggyakrabban [31].

A nyári változások térbeli eloszlása az évi átlagokéhoz hasonló mintázatot követett: ahhoz hasonlóan Kolozsvár bizonyult a leggyorsabban ( $0,81^{\circ}\text{C}/\text{évtized}$ ), Szombathely ( $0,61^{\circ}\text{C}/\text{évtized}$ ) és Poprád ( $0,65^{\circ}\text{C}/\text{évtized}$ ) pedig a leglassabban növekvő hőmérsékletű állomásnak (1. táblázat). A nyarak intenzívebb felmelegedésére hatással lehetett a Jeges-tenger jegének az utóbbi évtizedekben tapasztalt jelentős nyári zsugorodása [29], mások a nagyterületi cirkulációs rendszerek módosulásával magyarázzák azt [30].

Az átlagot éppen csak meghaladó,  $0,59^{\circ}\text{C}/\text{évtized}$  volt a téli hónapok hőmérséklet módo-

sulása. Az évi középértékek melegedési ütemét jellemző átlagos kelet–nyugati lejtő a hideg évszakban is megfigyelhető volt, főként a medence északi felében, mivel Beregszász ( $0,78^{\circ}\text{C}/\text{évtized}$ ) és Kolozsvár ( $0,71^{\circ}\text{C}/\text{évtized}$ ) illetve Budapest ( $0,48^{\circ}\text{C}/\text{évtized}$ ) és Poprád ( $0,48^{\circ}\text{C}/\text{évtized}$ ) produkálták az átlagtól leginkább eltérő mutatókat. Nem sokkal maradt el az évi megfelelőitől az ősz melegedésének a mértéke a Kárpát-medencében a 40 év folyamán: a vizsgált városok átlagában az utóbbi  $0,52^{\circ}\text{C}/\text{évtizednek}$  adódott. A módosulások térbeli eloszlása alapvetően szintén az évi értékek mintázatát követte. Az évszakok 1981–2020-as melegedési rangsorát a térségben a tavasz zárja, amikor is  $0,45^{\circ}\text{C}/\text{évtized}$ , illetve  $1,8^{\circ}\text{C}/40$  év volt a hőmérséklet növekedésének az átlagos üteme. Az évi középhőmérsékletek és a többi évszak átlaga változásához képest más volt a tavaszi módosulások földrajzi eloszlása is: miközben a legnagyobb melegedést Budapest és Kolozsvár adatai mutatták, a legkevesbé Arad hőmérséklete változott (1. táblázat).

Tekintsük át a városok hőmérsékleti idősorai töréspontelemzésének az eredményeit!

A Student-féle  $t$ -próba segítségével végrehajtott töréspontvizsgálat minden város évi hőmérsékleti adatsorában, illetve a tíz város átlagának az idősorában is, szignifikáns töréspontot mutatott ki. A tizből nyolc esetben a töréspont időpontja megegyezett, 2006 és 2007 között következett be ugrásszerű hőmérsékletemelkedés, és ekkorra esett az átlagaik idősorának a töréspontja is (2. táblázat, 4. ábra). Kivételt Beregszász és Ógyala képezett, az előbbiben 1998 és 1999, az utóbbiban 1997 és 1998 között következett be a legnagyobb változás.

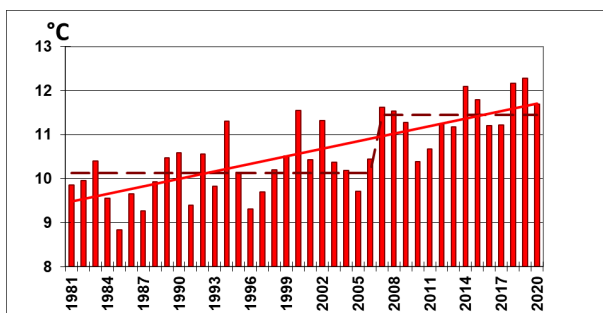
Míg a fokozatos melegedést jól magyarázza az üvegházgázok folyamatos halmozódása a légkörben, a felmelegedés szakaszos jellegének nincs ilyen egyértelmű indoklása. Nyilván arról lehet szó, hogy az éghajlat számos tényező kölcsönhatásaként alakul, és az üvegházhatás csak egy a sok közül. A tényezők egy része periodikus (a napsugárzás beesési szöge, például), másik része kváziperiodikus (a napállandó, az El Niño, más nagyterületi oszcillációk), harmadik része pedig rendszertelenül, illetve

1. táblázat

**Az évi és az évszakai középhőmérsékletek átlagos trendjei a Kárpát-medence vizsgált városaiban az 1981–2020-as időszakban ( $^{\circ}\text{C}/\text{évtized}$ )**

Város	Év	Tavaszi	Nyári	Ősz	Téli
Arad	0,55	0,37	0,72	0,49	0,59
Beregszász	0,65	0,45	0,73	0,59	0,78
Budapest	0,56	0,51	0,69	0,54	0,48
Debrecen	0,58	0,44	0,72	0,54	0,59
Kolozsvár	0,68	0,51	0,81	0,64	0,71
Ógyala	0,55	0,42	0,69	0,49	0,57
Poprád	0,51	0,43	0,65	0,45	0,48
Szeged	0,56	0,42	0,69	0,55	0,57
Szombathely	0,52	0,49	0,61	0,42	0,55
Újvidék	0,55	0,46	0,68	0,49	0,56
a 10 város átlaga	0,57	0,45	0,70	0,52	0,59

jelenleg ismeretlen rendszer szerint jelentkezik (nagyobb vulkánkitörések). Ezek hatása ráakódik az általános melegedési tendenciára, időnként fékezve, máskor fokozva azt. Esetünkben a melegedés szakaszos jellegének leginkább a nagytérségi légköri (ún. makrocirkulációs) viszonyok hosszú távú változása állhat a hátterében, amelyet detektált szerzőtársaival Martazina az Északi-féltekére 2006-ra vonatkozóan [30: 25]. Más ukrain vizsgálatok a megleghullámok gyakoriságának jelentős növekedésére mutattak rá 2007-ben [32, p. 18].



**4. ábra. A Kárpát-medence 10 vizsgált városa átlagos évi középhőmérsékletének alakulása az 1981–2020-as időszakban. A folytonos egyenes a lineáris trendet, a megtört vízszintes szakasz az idősorban detektált szignifikáns töréspont által elválasztott részátlagokat jeleníti meg szaggatott vonal segítségével**

A töréspontok által elválasztott szakaszátlagok legnagyobb mértékben –  $1,6^{\circ}\text{C}$ -kal – Kolozsvárott különböztek, míg Ógyalán, Poprádon és Szombathelyen csak  $1,2^{\circ}\text{C}$ -kal. A töréspontvizsgálat tehát megerősítette a trendelemzés által feltárt kelet–nyugati irányú lejtőt a Kárpát-medencében az utóbbi évtizedek hőmérséklet emelkedése vonatkozásában (3. ábra).

A töréspontelemzést elvégeztük az évszakos átlaghőmérsékletek 1981–2020-as idősorain is. Szignifikáns töréspontokat találtunk mind a négy évszak mindegyik vizsgált állomáson mért idősorában. Evidens, hogy a feltárt évszakos töréspontok mindegyike után emelkedtek a hőmérsékletek.

Az évi középhőmérsékletekben feltárt töréspontok között domináló 2006/2007-es időpont (a vizsgált városok átlagértékeiben és a tíz városból nyolcban detektáltuk) az évszakok

közül leginkább a téli és nyári megfelelőekkel volt szinkronban: a hideg évszakban hat városban, inkább a Kárpát-medence keleti részén, a melegben háromban jelentkezett, földrajzilag kevésbé elkülönülve (2. táblázat). Tavasszal a városok zömében (tízből nyolcban) és átlagában is 1998 és 1999 között „lépett szintet” a léghőmérséklet, ősszel viszont a 2011/2012-es töréspont dominált. Nyáron voltak a feltárt töréspontok a legkevésbé összhangban: az átlagokban jelentkező 1999/2000-es is csak 30%-os relatív gyakoriságot ért el; rajta kívül még három másik töréspont fordult elő, hektikus földrajzi elhelyezkedésben. Ami a részidőszakok átlaghőmérsékletei közötti különbségeket illeti, az évszakos trendelemzésekhez hasonlóan a tavasz mutatta a legkisebb változásokat, viszont azoktól eltérően, a nyári hőmérsékletek emelkedése itt nem bizonyult a többi évszakhoz képest kiemelkedőnek.

Végül választ kerestünk arra a kérdésre, hogy vajon a hőmérséklet-módosulások a Kárpát-medencében az 1981–2020-as időszakban folytonos vagy diszkrét statisztikai modellel közelíthető-e jobban. Ehhez a módszereknél leírtaknak megfelelően megvizsgáltuk, hogy a trendegyenések vagy a töréspontok által tagolt részátlagok illeszkednek-e jobban a mért adatokhoz.

Az évi átlaghőmérsékletek elemzése a tíz város közül hétben a töréspontok által elválasztott részátlagok illeszkedését valamivel jobbnak találta, mint a trendegyenését (2. táblázat), ami a felmelegedési folyamat szakaszos jellegére utal a térségben. Ugyanakkor a városok átlagát vizsgálva a trendegyenés illeszkedése bizonyult jobbnak. Ennek az lehet a magyarázata, hogy az átlagolás valamennyire elsimította az egyes állomások idősoraiiban különböző időpontokban jelentkező ugrásszerű változások mértékét. Az évszakos átlagok vizsgálata a tavasz, az ősz és a tél esetében szintén a változások szakaszosságát találta jellemzőbbnek, nyáron viszont a melegedés trendjellege dominált. Ennek az lehet a magyarázata, hogy a felmelegedés szakaszosságáért feltehetően felelős éghajlat alakító tényezők, így az interannuális légköri–óceáni oszcillációk nyáron kevésbé érvényesülnek, mivel a hőmérséklet alakításában ilyenkor



Az évi és az évszakos középhőmérsékletek 1981–2020-as időszakaiban feltárt szignifikáns töréspontok időpontjai a Kárpát-medence vizsgált városaiban. A  $\Delta t$  oszlopokban az előtte levő oszlopok töréspontjai által elválasztott részidőszakok átlaghőmérséklete közötti különbséget adtuk meg (°C). Ha a töréspontnál elválasztott részidőszakok átlaghőmérsékletei a mért adatokhoz jobb illeszkedést mutattak, mint a lineáris trend, a töréspontot félkövér dőlt betűvel jelöltük

Város	Év	$\Delta t$	Tavaszi	$\Delta t$	Nyár	$\Delta t$	Ősz	$\Delta t$	Tél	$\Delta t$
Arad	<b>2006/2007</b>	1,3	<b>1998/1999</b>	1,0	1999/2000	1,6	<b>2011/2012</b>	2,0	<b>2006/2007</b>	1,6
Beregszász	1998/1999	1,4	<b>1998/1999</b>	1,2	1991/1992	1,9	<b>1998/1999</b>	1,4	<b>2006/2007</b>	2,0
Budapest	<b>2006/2007</b>	1,4	<b>2006/2007</b>	1,4	2006/2007	1,5	<b>2005/2006</b>	0,9	<b>2013/2014</b>	1,3
Debrecen	<b>2006/2007</b>	1,4	<b>1998/1999</b>	1,0	1991/1992	1,9	<b>2011/2012</b>	1,5	<b>2006/2007</b>	1,6
Kolozsvár	<b>2006/2007</b>	1,6	<b>1999/2000</b>	1,4	2006/2007	1,9	<b>2011/2012</b>	1,9	<b>2006/2007</b>	1,9
Ógyala	1997/1998	1,2	<b>1998/1999</b>	1,1	1991/1992	1,7	<b>1998/1999</b>	1,2	<b>1987/1988</b>	2,0
Poprád	<b>2006/2007</b>	1,2	<b>1998/1999</b>	1,2	1997/1998	1,4	<b>2011/2012</b>	1,5	<b>2013/2014</b>	2,0
Szeged	<b>2006/2007</b>	1,4	<b>1998/1999</b>	1,1	2006/2007	1,5	<b>2011/2012</b>	1,6	<b>2006/2007</b>	1,6
Szombathely	<b>2006/2007</b>	1,2	<b>1998/1999</b>	1,3	1999/2000	1,3	<b>2011/2012</b>	1,2	<b>2006/2007</b>	1,5
Újvidék	2006/2007	1,3	<b>1998/1999</b>	1,2	1999/2000	1,4	<b>2011/2012</b>	1,5	1987/1988	1,9
a 10 város átlaga	2006/2007	1,3	<b>1998/1999</b>	1,2	1999/2000	1,4	<b>2011/2012</b>	1,5	<b>2006/2007</b>	1,6

a cirkulációs tényezők szerepe mérsékeltebb a sugárzási viszonyokhoz képest.

**Következtetések.** Vizsgálataink alapján az alábbi fő következtetésekre jutottunk:

– A Kárpát-medencében az 1981–2020-as időszakban az évi átlaghőmérsékletek szignifikánsan, 0,51–0,68°C/évtizedes ütemben, a globális átlagot meghaladó mértékben emelkedtek.

– A melegedés leginkább a nyarakat (0,61–0,81°C/évtized), legkevésbé a tavaszi hónapokat (0,37–0,51°C/évtized) érintette.

– Mivel a töréspontok által elválasztott részátlagok illeszkedése valamivel jobbnak bizonyult, mint a trendegyeneseké, az évi hőmérsékletváltozások inkább tekinthetők szakaszos, mint folyamatos jellegűnek.

– A vizsgált tíz város közül nyolc esetében a hőmérsékleti adatsorok töréspontja megegyezett, mindegyikükönél 2006 és 2007 között következett be ugrásszerű hőmérsékletemelkedés.

– A naptári évszakok melegedése, a nyarat kivéve, ugyancsak inkább volt szakaszos, mintsem trendjellegű; az évi középhőmérsékletek 2006/2007-es töréspontja leggyakrabban a téli idősorokban volt detektálható.

– A hőmérséklet változásának a szakaszos jellege valószínűleg a nagytérségi cirkulációs rendszerek hosszútávú módosulásaival hozható összefüggésbe; ennek alátámasztása lehet a kutatások továbbvitelének az egyik lehetséges iránya.

## Irodalom

1. IPCC Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.
2. IPCC 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, 2023. 184 p., DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
3. URL: [climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_hu](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_hu) (2024). (Letöltés ideje: 2025.01.10).
4. Holme Petter, Rocha Juan C. Networks of climate change: connecting causes and consequences. *Applied Network Science*, 8:10. 2023. doi.org/10.1007/s41109-023-00536-9.
5. Boers N., Ghil M., Stocker T.F. Theoretical and paleoclimatic evidence for abrupt transitions in the Earth system. *Environmental Research Letters*, 17. 2022. doi.org/10.1088/1748-9326/ac8944.
6. Woodward W.A., Gray H.L. Global warming and the problem of testing for trend in time series data. *Journal of Climate*, 1993. 6 (5). 953–962.

7. Cahill Niamh, Rahmstorf Stefan, Parnell Andrew. Change points of global temperature. *Environmental Research Letters*, 2015. 10. 10.1088/1748-9326/10/8/084002.
8. Mudelsee M. Trend analysis of climate time series: A review of methods. *Earth-Science Reviews*, 2019. 190. 310–322. doi: 10.1016/j.earscirev.2018.12.005.
9. Wang Leon, Wang Leigh, Li Yang, Wang John. A century-long analysis of global warming and earth temperature using a random walk with drift approach. *Decision Analytics Journal*, Volume 7, June 2023. doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100237.
10. Liebmann Brant, Dole Randall M., Jones Charles, Bladé Ileana, Allured Dave. Influence of Choice of Time Period on Global Surface Temperature Trend Estimates. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2010. 91: 11. 1485–1492. doi.org/10.1175/2010BAMS3030.1.
11. Reeves J., Chen J., Wang X.L., Lund R., Lu Q.Q. A Review and Comparison of Changepoint Detection Techniques for Climate Data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 2007. 46(6). 900–915. https://doi.org/10.1175/JAM2493.1.
12. Boychenko S., Maidanovych N. A century-long tendency of change in surface air temperature on the territory of Ukraine. *Geofizycznyi Zhurnal*, 2024. 46(2), 53–79. doi.org/10.24028/gj.v46i2.297227.
13. Бойченко С.Г. Метеорологічні та кліматичні наслідки воєнних дій в Україні. За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 29 листопада 2023 року. *Вісник Національної академії наук України*. 2024. (1). 83–93. doi.org/10.15407/visn2024.01.083.
14. OMSZ Éves és évszakos középhőmérsékletek változása. met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\_hazai\_valtozasok/homerseklet\_es\_csapadektrendek/kozephomerseklet/ (Letöltés ideje: 2024.12.20).
15. Kemény Gábor, Molnár András, Fogarasi József (szerk.) A klímaváltozás hatásának modellezése a főbb hazai gabonafélék esetében. Agrárgazdasági Kutató Intézet, Budapest. 2019. 112 p. doi.org/10.7896/ak1901.
16. Spinoni J., Szalai S., Szentimrey T., Lakatos M., Bihari Z., Nagy A., Németh Á., Kovács T., Mihic D., Dacic M., Petrovic P., Kržič A., Hiebl J., Auer I., Milkovic J., Štěpánek P., Zahradníček P., Kilar P., Limanowka D., Pyrc R., Birsan M., Cheval S., Dumitrescu A., Deak G., Matei M., Antolovic I., Nejedlík P., Štastný P., Kajaba P., Bochníček O., Galo D., Mikulová K., Nabyvanets Y., Skrynyk O., Krakovska S., Gnatiuk N., Tolasz R., Antofie T., Vogt J. Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. In: *International Journal of Climatology*. 2015. 35 (7). 1322–1341. DOI: 10.1002/joc.4059
17. Lakatos Mónika. Hazai megfigyelt hőmérsékleti és csapadék tendenciák, szélsőségek alakulása a múlt század elejétől. In: *Változó éghajlat és következményei a Kárpát-medencében*. 36. *Meteorológiai Tudományos Napok*. 2010. 42–59.
18. Manea A., Birsan M.-V., Dima V., Havris L.-E. Comparative Analysis of Land and Air Temperature in Romania since A.D. 1961. In: *Land*, 2024, 13, 596. doi.org/10.3390/land13050596.
19. Molnár József. A Kárpát-medence fogalma, lehatárolása, földrajzi fekvése. In: *A Kárpát-medence földrajza: Természet, népesség, gazdaság, néprajz. Monográfia (szerk.: Molnár József és Papp Géza). Termini Egyesület–II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Budapest–Beregszász. Elektronikus kiadvány. 13–18. URL: kmf.uz.ua/hu/publications/a-karpat-medence-foldrajza-termeszet-tarsadalom-gazdasag-neprajz-monografia/ (Letöltés ideje: 2024.12.20).*
20. URL: [www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/eghajlati\\_adatsorok/](http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/). 2024 (Letöltés ideje: 2024.12.20).
21. URL: [en.tutiempo.net/climate/europe.html](http://en.tutiempo.net/climate/europe.html). 2024. (Letöltés ideje: 2024.12.20).
22. Beregszászi Meteorológiai Állomás adattára, 2024.
23. Ezekiel M., Fox K.A. Korreláció– és regresszió-analízis. Lineáris és nem-lineáris módszerek. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest. 1970. 594 p.
24. Molnár József, Izsák Tibor. Trendek és töréspontok a léghőmérséklet kárpátaljai idősoraiban. In: *Léghő*. 56. évfolyam 2011/2. Országos Meteorológiai Szolgálat–Magyar Meteorológiai Társaság. 2011. 49–54.
25. Molnár József. A légnyomási mező szerkezete és módosulása a Kárpát-medence térségében. Doktori (PhD) értekezés. Debreceni Egyetem, Debrecen. 2003. 166 p.
26. Péczely Gy. Éghajlattan. Szeged. Utánnomás: Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 1996. 336 p.
27. Quade Gratianna. Global sea surface temperatures reach record high. URL: [www.mercator-ocean.eu/en/news/sea-surface-temperatures-record-high-2023/](http://www.mercator-ocean.eu/en/news/sea-surface-temperatures-record-high-2023/) (Letöltés ideje: 2025.01.10).
28. URL: <https://dev-04-drupal-climate.woc.noaa.gov/media/15841> (2025) (Letöltés ideje: 2025.02.02).
29. URL: [marine.copernicus.eu/ocean-climate-portal/arctic-sea-ice-extent](http://marine.copernicus.eu/ocean-climate-portal/arctic-sea-ice-extent) (2025) (Letöltés ideje: 2025.01.10).
30. Мартазінова В.Ф., Городецька Н.С., Рибченко Л.С., Савчук С.В., Гребенюк Н.П., Татарчук О.Г. Особливості температурно-вологісного режиму території України з початку ХХІ сторіччя під впливом змін великомасштабної атмосферної циркуляції. *Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля*, 2022. 2(2). 22–34. doi.org/10.15407/Meteorology2022.02.022.

31. Szabó P., Bartholy J., Pongrácz R. Seasonal temperature and precipitation record breakings in Hungary in a warming world. In: *International Journal on Geomathematics*. 2024. 15, 2. doi.org/10.1007/s13137-023-00241-w.

32. Шевченко О., Сніжко С., Олійник Р., Костирко І. Індикатори температурних аномалій регіонального клімату. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. 2018. 4(73). 15–19. DOI: 10.17721/1728-2721.2019.73.3.

### References

1. IPCC (2007). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

2. IPCC (2023). *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, 184 p. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.

3. Retrieved from: [climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_hu](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_hu) (2025). (Date of access: 10.01.2025).

4. Holme, Petter, Rocha, & Juan C. (2023). Networks of climate change: connecting causes and consequences. *Applied Network Science*, 8:10. doi.org/10.1007/s41109-023-00536-9.

5. Boers, N., Ghil, M., & Stocker, T.F. (2022). Theoretical and paleoclimatic evidence for abrupt transitions in the Earth system. *Environmental Research Letters*, 17. doi.org/10.1088/1748-9326/ac8944.

6. Woodward, W.A., & Gray, H.L. (1993). Global warming and the problem of testing for trend in time series data. *Journal of Climate*, 6 (5). 953–962.

7. Cahill, Niamh, Rahmstorf, Stefan, Parnell, Andrew (2015). Change points of global temperature. *Environmental Research Letters*, 10. 10.1088/1748-9326/10/8/084002.

8. Mudelsee, M. (2019). Trend analysis of climate time series: A review of methods. *Earth-Science Reviews*, 190. 310–322. DOI: 10.1016/j.earscirev.2018.12.005.

9. Wang, Leon, Wang, Leigh, Li, Yang, Wang, & John (2023). A century-long analysis of global warming and earth temperature using a random walk with drift approach. *Decision Analytics Journal*, Volume 7, June 2023. doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100237.

10. Liebmann, Brant, Dole, Randall M., Jones, Charles, Bladé, Ileana, Allured, & Dave (2010). Influence of Choice of Time Period on Global Surface Temperature Trend Estimates. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 91: 11. 1485–1492. doi.org/10.1175/2010BAMS3030.1.

11. Reeves, J., Chen, J., Wang, X.L., Lund, R., & Lu, Q.Q. (2007). A Review and Comparison of Changepoint Detection Techniques for Climate Data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46(6). 900–915. <https://doi.org/10.1175/JAM2493.1>.

12. Boychenko, S., & Maidanovych, N. (2024). A century-long tendency of change in surface air temperature on the territory of Ukraine. *Geofizychnyi Zhurnal*, 46(2), 53–79. doi.org/10.24028/gj.v46i2.297227.

13. Boychenko, S.H. (2024). Meteorologichni ta klimatichni naslidky voiennykh dii v Ukraini: Za materialamy dopovidi na zasidanni Prezydii NAN Ukrainy 29 lystopada 2023 roku [Meteorological and climatic consequences of military operations in Ukraine: Based on the materials of the report at the meeting of the Presidium of the NAS of Ukraine on November 29, 2023]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, (1). 83–93. doi.org/10.15407/visn2024.01.083 [in Ukrainian].

14. Hungarian Meteorological Service (2024). Changes in annual and seasonal average temperatures. Retrieved from: [met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_hazai\\_valtozasok/homerseklet\\_es\\_csapadektrendek/kozephomerseklet/](https://met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/homerseklet_es_csapadektrendek/kozephomerseklet/) (Date of access: 20.12.2024) [in Hungarian].

15. Kemény Gábor, Molnár András, Fogarasi József (eds.) (2019). Modeling the impact of climate change on the main cereals in Hungary. *Agrárgazdasági Kutató Intézet*, Budapest. 112 p. doi.org/10.7896/ak1901 [in Hungarian].

16. Spinoni, J., Szalai, S., Szentimrey, T., Lakatos, M., Bihari, Z., Nagy, A., Németh, A., Kovács, T., Mihic, D., Dacic, M., Petrovic, P., Kržič, A., Hiebl, J., Auer, I., Milkovic, J., Štěpánek, P., Zahradníček, P., Kilar, P., Limanowka, D., Pyrc, R., Birsan, M., Cheval, S., Dumitrescu, A., Deak, G., Matei, M., Antolovic, I., Nejedlík, P., Štastný, P., Kajaba, P., Bochníček, O., Galo, D., Mikulová, K., Nabyvanets, Y., Skrynyk, O., Krakovska, S., Gnatiuk, N., Tolasz, R., Antofie, T., & Vogt, J. (2015). Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. In: *International Journal of Climatology*, 35 (7). 1322–1341. DOI: 10.1002/joc.4059.

17. Lakatos Mónika (2010). Observed temperature and precipitation trends and extremes in Hungary since the beginning of the last century. In: *Változó éghajlat és következményei a Kárpát-medencében*. 36. *Meteorológiai Tudományos Napok*. 42–59 [in Hungarian].

18. Manea, A., Birsan, M.-V., Dima, V., & Havris, L.-E. (2024). Comparative Analysis of Land and Air Temperature in Romania since A.D. 1961. In: *Land*, 2024, 13, 596. doi.org/10.3390/land13050596.
19. Molnár József (2022). Concept, delimitation, geographical location of the Carpathian Basin. In: *Geography of the Carpathian Basin: Nature, population, economy, ethnography: Monography* (eds.: Molnár József és Papp Géza). Termini Egyesület–II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, Budapest–Beregszász. Electronic publication. 13–18. Retrieved from: [kmf.uz.ua/hu/publications/a-karpat-medence-foldrajza-termesztet-tarsadalom-gazdasag-neprajz-monografia/](https://kmf.uz.ua/hu/publications/a-karpat-medence-foldrajza-termesztet-tarsadalom-gazdasag-neprajz-monografia/) (Date of access: 20.12.2024) [in Hungarian].
20. Retrieved from: [https://www.met.hu/en/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/eghajlati\\_adatsorok/](https://www.met.hu/en/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/) (2024) (Date of access: 20.12.2024).
21. Retrieved from: [en.tutiempo.net/climate/europe.html](https://en.tutiempo.net/climate/europe.html) (2024). (Date of access: 20.12.2024).
22. Database of the Berehove Meteorological Station (2024).
23. Ezekiel, M., Fox, K.A. (1970). Correlation– and regression-analysis. Linear and nonlinear methods. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest. 594 p. [in Hungarian].
24. Molnár József, Izsák Tibor (2011). Trends and breaking points in the time series of air temperature in the Transcarpathia. In: *Légekör*. 56. évfolyam 2011/2. Országos Meteorológiai Szolgálat–Magyar Meteorológiai Társaság. 49–54 [in Hungarian].
25. Molnár József (2003). The structure and modification of the baric field in the Carpathian Basin. Doctoral (PhD) thesis. University of Debrecen, Debrecen. 166 p. [in Hungarian].
26. Péczely Gy. (1979). Climatology. Szeged. Reprinting: Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest 1996. 336 p. [in Hungarian].
27. Quade, Gratianne (2025). Global sea surface temperatures reach record high. Retrieved from: [www.mercator-ocean.eu/en/news/sea-surface-temperatures-record-high-2023/](https://www.mercator-ocean.eu/en/news/sea-surface-temperatures-record-high-2023/) (Date of access: 10.01.2025).
28. Retrieved from: <https://dev-04-drupal-climate.woc.noaa.gov/media/15841> (2025). (Date of access: 2025.02.02).
29. Retrieved from: [marine.copernicus.eu/ocean-climate-portal/arctic-sea-ice-extent](https://marine.copernicus.eu/ocean-climate-portal/arctic-sea-ice-extent) (2025). (Date of access: 2025.01.10).
30. Martazinova, V.F., Horodetska, N.S., Rybchenko, L.S., Savchuk, S.V., Hrebenuk, N.P., & Tatarchuk, O.H. (2022). Osoblyvosti temperaturno-volohisnogo rezhymu terytorii Ukrainy z pochatku XXI storichchia pid vplyvom zmin velykomasshtabnoi atmosferynoi tsyrkuliatsii [The peculiarities of the temperature and humidity regime of the territory of Ukraine since the beginning of the 21st century under the influence of changes in large-scale atmospheric circulation]. In: *Meteorolohiia. Hidrolohiia. Monitorynh dovkillia*, 2(2). 22–34. doi.org/10.15407/Meteorology2022.02.022 [in Ukrainian].
31. Szabó, P., Bartholy, J., Pongrácz, R. (2024). Seasonal temperature and precipitation record breakings in Hungary in a warming world. In: *International Journal on Geomathematics*, 15, 2. doi.org/10.1007/s13137-023-00241-w.
32. Shevchenko, O., Snizhko, S., Oliinyk, R., & Kostyrko, I. (2018). Indykatory temperaturnykh anomalii rehionalnogo klimatu [Indicators of temperature anomalies of regional climate]. In: *Visnyk Kyivskoho natsionalnogo universytetu imeni Tarasa Shevchenka, Heohrafiia*, 4(73). 15–19. DOI: 10.17721/1728-2721.2019.73.3 [in Ukrainian].