

A hőmérsékleti és csapadékviszonyok megváltozása a nyugalmi időszakban (november-március) Magyarországon az elmúlt két éghajlati ciklus (1961–2023) során

¹FÜZI TAMÁS – ²WELLMANN BARNA – ³LADÁNYI MÁRTA

Széchenyi István Egyetem

¹Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Alkalmazott Fenntarthatóság Tanszék, Győr

²Deák Ferenc Állam- és Jogtudományi Kar

Munkajogi és Szociális Jogi Tanszék, Győr

³Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Matematika és Természettudományi Alapok Intézet, Budapest

Összefoglalás

Az éghajlatváltozás tapasztalható jelei térben és időben különféle módokon fejeződnek ki, mely jelenségek vizsgálata szükségszerű a körülöttünk – a Föld légkörében – lezajló, sokszor szélsőséges jelenségek és légköri viszonyok alaposabb megismeréséhez.

E tanulmány célja a nyugalmi időszakban (november-március) bekövetkező hőmérséklet- és csapadékviszonyok térben és időben történő megváltozásának bemutatása 10 magyarországi meteorológiai állomás napi bontású hőmérséklet- és csapadékadatainak statisztikai módszerekkel történő vizsgálatával. A vizsgálatokat az elmúlt több mint 60 évre (1961–2023) vonatkozóan végeztük, a referenciaidőszak (1961–1990) és a közelmúltbeli éghajlati ciklus (1991–2023) között végbement – a kijelölt indikátorok gyakoriságát célzó – változások kiértékelésével.

Eredményeink alapján megállapítható a nyugalmi időszak egészére (november-március) vonatkozóan – a minimum és a maximum hőmérsékleti indikátorok esetében egyaránt – az alacsony hőmérsékletű napok előfordulásának szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenése, míg a magas – olykor extrém magas – hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése. Mindezek mellett tapasztalhatóvá vált az egyre

nagyobb – fagyponthoz átlépő – hőingással jellemezhető ($T_{\min} < 0$ °C és $T_{\max} \geq 5$ °C; $T_{\min} < 0$ °C és $T_{\max} \geq 10$ °C; $T_{\min} < 0$ °C és $T_{\max} \geq 15$ °C) napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése is. E változások alapvetően az ország egészére, mind a 10 vizsgált meteorológiai állomásra vonatkozóan értelmezhetőek.

A vizsgálataink alapján megállapítható, hogy a nyugalmi időszakban tapasztalt hőtöbblet nem jár együtt a csapadékmennyiség egyértelmű növekedésével. A csapadékmutatók vizsgálata során térben és időben is jóval nagyobb bizonytalanságot és változékonyságot tapasztaltunk, tehát egyértelmű és egyirányba mutató változás a csapadékadatok esetében az elmúlt 63 év (1961–2023) során nem volt jellemző.

Kulcsszavak: éghajlatváltozás, nyugalmi időszak, hőmérsékletváltozás, csapadékmennyiség-változás, csapadékos napok száma

Changes in temperature and precipitation conditions during the dormant season (November–March) in Hungary over the past two climate cycles (1961–2023)

¹T. FÜZI – ²B. WELLMANN – ³M. LADÁNYI

Széchenyi István University

¹Albert Kázmér Mosonmagyaróvár Faculty

Department of Applied Sustainability, Győr

²Deák Ferenc Faculty of Law and Political Science

Department of Labor and Social Law, Győr

³ Hungarian University of Agricultural and Life Sciences

Institute of Foundations of Mathematics and Natural Sciences, Budapest

Summary

The observable signs of climate change manifest themselves in various ways across space and time; examining these phenomena is essential for gaining a deeper understanding of the often extreme events and atmospheric conditions occurring around us – in the Earth's atmosphere.

The aim of this study is to present the spatial and temporal changes in temperature and precipitation conditions occurring during the dormant season (November–March) by analysing daily temperature and precipitation data from 10 meteorological stations in Hungary using statistical methods. This study covers the past 60+ years (1961–2023), evaluating changes – specifically in the frequency of selected indicators – that occurred between the reference period (1961–1990) and the recent climate cycle (1991–2023).

Based on the results, a significant ($p < 0.05$) decrease in the occurrence of low-temperature days can be observed for the entire dormant period (November–March) – for both minimum and maximum temperature indicators – while there was a significant ($p < 0.05$) increase in the number of days with high – and sometimes extremely high – temperatures. In addition to these findings, there was a noticeable increase in the number of days – characterised by increasingly large temperature fluctuations exceeding the freezing point ($T_{\min} < 0\text{ °C}$ and $T_{\max} \geq 5\text{ °C}$; $T_{\min} < 0\text{ °C}$ and $T_{\max} \geq 10\text{ °C}$; $T_{\min} < 0\text{ °C}$ and $T_{\max} \geq 15\text{ °C}$). These changes are essentially applicable to the entire country, as well as to all 10 meteorological stations examined. Based on the performed analyses, it can be concluded that the excess heat observed during the dormant period is not accompanied by a clear increase in precipitation. When examining precipitation indicators, significantly greater uncertainty and variability were observed both spatially and temporally; thus, a clear, unidirectional trend in precipitation data has not been characteristic of the past 63 years (1961–2023).

Keywords: climate change, dormant period, temperature change, change in precipitation, number of rainy days

Bevezetés

Az éghajlatváltozás korunk egyik legnagyobb – ha nem a legnagyobb – globális környezeti kihívásává vált. Az 1850–1900-as évek közötti átlag hőmérsékleti értékéhez képest a 1,5 °C-os átlag hőmérsékletemelkedést a 2020-as évek elejére elértük (URL1, URL2) és mostanra a 2,0; akár 3,0 °C-os határérték elérése is valós veszélynek tűnik, mely drasztikus és visszafordíthatatlan folyamatokat indíthat el a Föld különböző ökológiai rendszereiben (IPCC, 2007; Forzieri et al., 2014; Baumann, 2018; Nolan et al., 2018; Zhai et al., 2018; IPCC, 2023; Stigant et al., 2023 Ekele et al., 2025; Venegas et al., 2025). Természetesen

a globális átlaghőmérsékletemelkedés önmagában nem fejezi ki az éghajlatváltozással járó globális kihívások teljességét, ugyanakkor a globális felmelegedéssel együtt járó szélsőségek és extrémítások (hőhullámok (Boboc et al., 2025), hosszan tartó aszály (Trenberth et al., 2015; Rakovec et al., 2022; Biella et al., 2024), özönvízszerű esőzések (Robinson et al., 2021; Khattak et al., 2024), melegedő telek (Tomczyk et al., 2021; Dong et al., 2025), orkánerejű viharok (Kossint et al., 2020; Feehan et al., 2024), erdőtüzek (Xu et al., 2020; Moser et al., 2024) komoly fenyegetettséget jelentenek az emberiségre, a természeti környezetre, az élővilágra és a természet kultúrára (mezőgazdasági termelés) egyaránt, ezért fontos a klimatikus átrendeződés széleskörű és minél részletesebb analízise.

A szélsőséges időjárási jelenségek egyre gyakoribb megjelenésével, valamint az évről évre rekordokat döntő extrém időjárási jelenségek következményeivel (biodiverzitás-csökkenés (Bellard et al., 2012), tengerszintemelkedés (Church et al., 2013), elsivatagosodás (Stavi et al., 2024), kórokozók és kártevők áttelelése (Holt et al., 2020; Wittmann & Baylis, 2000; Skendzic et al., 2021), az agrár produktivitás hanyatlása (Schleypen et al., 2022; Kim & Mendelsohn, 2023) és nem utolsósorban az embereket érő többethalálozás (WHO, 2023) számolnunk szükséges. Különösen kiszolgáltatott ágazat az agrárium, mely sikeres és eredményes működése nagy mértékben függ a légköri viszonyoktól.

Éppen ezért vált az elmúlt évtizedekben sürgető feladattá az éghajlatváltozásból származó szélsőséges időjárási jelenségek térben és időben történő egyre részletesebb feltárása és megismerése.

A vegetációs időszakban bekövetkező légköri viszonyok átalakulása mellett fontos vizsgálni a nyugalmi időszakra jellemző éghajlati sajátosságok megváltozását is, ugyanis a nyugalmi időszakban bekövetkező hőmérsékleti- és csapadékviszonyok megváltozása jelentős hatással bírnak a kultúrnövények vegetációs időszakban bekövetkező fejlődési ütemére, ellenállóságára, illetve a fejlődésüket befolyásoló körülmények kialakulására (kártévők és kórokozók elterjedése, fagyellenállóság mérséklése (pl.: fagy- és hideghatás kialakulása) (Romeu et al., 2014; Schneider et al., 2022; Fernandez et al., 2023; Subedi et al., 2023; Sabir et al., 2025), továbbá a talaj állapotára, szerkezetére, illetve tápanyag- és víztartalmára (Zanini & Freppaz, 2006; Juan et al., 2018; Khoroshaev et al., 2023; Ni et al., 2024).

A mérséklet égövön a nyugalmi időszakot általában a lombhullástól a rügyfakadásig tartó periódusként definiálják, amely jellemzően késő ősszel kezdődik és kora tavasszal zárul (Erez, 2000; Campoy et al., 2011; Santos et al., 2020). Számos, Közép-Európára vonatkozó agrometeorológiai tanulmány ezt az időszakot november és március közé helyezi annak érdekében, hogy lefedje a hideghatás-felhalmozódás teljes időszakát, valamint a tavaszi növekedés kezdetéhez vezető átmenetet (Luedeling, 2012; Deutscher et al., 2021). Ezt az intervallumot alacsony hőmérséklet, minimális fiziológiai aktivitás, valamint speciális szén- és vízforgalmi dinamika jellemzi, ami indokoltá teszi, hogy az agrometeorológiai vizsgálatokban önálló elemzési egységként kezeljük.

A nyugalmi időszakban a hőmérséklet és a napfénytartam lecsökkenése miatt leáll a növények növekedése, vagyis bekövetkezik a növények részleges anyagcsere leállása (Karjee & Mahapatra, 2019), mely folyamat teszi lehetővé, hogy a mérsékelt éghajlaton élő évelő növények a kedvezőtlen időjárási körülmények között is túléljenek (North & Kovaleski, 2024). Ekkor ugyanis a növények a rügyekben lévő merisztémáikat védik a hideg és a vízhiány káros hatásaitól (Allona et al., 2008; Romeu et al., 2014).

A nyugalmi időszak három, egymástól nem teljesen elkülöníthető fázisból (előnyugalmi-, mélynyugalmi- és kényszernyugalmi időszakok – Lang et al., 1987; Faust et al., 1997) áll, mely során alapvető fiziológiai változások mennek végbe (Kurpisz & Pawtowski, 2022) a növények hajtás- és gyökérfejlődésének megállításával (Young & Werner, 1984; Young, 1987), annak érdekében, hogy a növények túléljék a kedvezőtlen körülményeket, addig, míg a kedvező körülmények ismételten visszatérnek (Fadón et al., 2020). Ahhoz, hogy ez az állapot zavartalanul fennállhasson, a nyugalmi időszakban – habár a mérsékelt éghajlaton a nyugalmi időszak optimális hőmérsékleti feltételei fajonként eltérőek – általában a legtöbb mérsékelt éghajlati növényzetnek 0-5°C közötti hőmérsékletre van szüksége (Deng et al., 2019) továbbá szükséges, hogy a napi hőingás szűk tartományon belül maradjon, ugyanis a nagy napi hőingás kialakulása képes a növények számára a stressz kiváltására (Tsukanova & Tkachev, 2019). A kedvező téli körülmények közé tartozik még az egyes növényfajtáknak megfelelő optimális páratartalom, valamint a vastag hótakaró, amely szigetelést és fokozatos nedvességellátást biztosít a talaj és a növény számára (Tsukanova & Tkachev, 2019). A hideg és mérsékelt éghajlaton a téli csapadék pozitívan befolyásolja az évelő növények növekedését, mivel a nyugalmi

időszak során lehullott csapadék és a talajban elraktározódott nedvesség kedvező hatással van a gyökérszövet működésére és a növény fejlődésére és produktivására a nyugalmi időszakot követő vegetációs időszak korai szakaszaiban (Bradford et al., 2017; Matison et al., 2021). Az éghajlatváltozás azonban jelentősen átalakíthatja a hőmérsékleti- és csapadékvizonyokat. A mérsékelt és szubtrópusi régiókban már megfigyelhető a téli hőmérséklet emelkedése, ami nem elegendő hideghatás eléréséhez és a nyugalmi időszak lerövidüléséhez, illetve megszakításához vezethet (Medda et al., 2022; Kapazoglou et al., 2025). Aalijahan et al. (2023) tanulmánya továbbá arra is rámutat, hogy a mediterrán térségben a csapadékmennyiség erőteljes csökkenő irányú változása is kimutatható, mely az aszályjelenségek gyakori előfordulásával jár együtt.

Lakatos et al. (2021) tanulmánya alapján Magyarország teljes területére vonatkozóan megállapítható a fagyos napok ($T_{\min} < 0$ °C) számának markáns csökkenése az elmúlt 120 év (1901-2020) meteorológiai adatsorainak vizsgálata alapján. Mindemellett Lakatos & Bokros (2024) tanulmánya egyértelműen igazolja, hogy a téli hónapokban a hóhullámok előfordulása, valamint a melegedő tendencia kialakulása is egyértelműen kimutatható, mely az enyhülő, melegedő nyugalmi időszak kialakulásához vezet. A téli hónapok markáns felmelegedése a jövőben is várható, mely egyes klímamodellek szerint 2021-2050 között 1,9–2,2 °C, míg 2071–2100 között 4,3–4,8 °C lesz. Ez a prognózis egyúttal azt is jelenti, hogy a jövőben, a téli évszakban várható a legintenzívebb és legerőteljesebb felmelegedés (Allaga-Zsebeházi, 2021; Bán et al., 2021). A hőmérséklet egyértelmű növekvő irányú változása mellett a csapadék erőteljes térbeli és időbeli változékonysága figyelhető meg a Kárpát-medencében és Magyarországon (Kocsis & Anda, 2018). Míg a legcsapadékosabb évben 800 mm feletti csapadékmennyiség is mérhető volt az elmúlt 30 év távlatában, addig a legszárazabb években a csapadékmennyiség 430 mm alatt maradt (Biró & Kovács, 2023). Ugyanakkor jelentős különbségek figyelhetők meg a vegetációs és a nyugalmi időszakban bekövetkező változások tekintetében is. Míg a vegetációs időszakban a csapadékmennyiség jelentős csökkenése volt megfigyelhető az 1991-2020 közötti éghajlati ciklusban, addig az október-április közötti éven belüli időszakban a csapadékmennyiség növekedése volt kimutatható Biró & Kovács (2023) Magyarországra vonatkozó vizsgálata alapján. Mindemellett tapasztalhatóvá vált a csapadékesemények intenzitásának növekedése is a téli hónapokban, ami növeli az elfolyás arányát, így csökkentve

a talajvíz-utánpótlás és a talajvízkészlet mértékét (Kovács és Jakab, 2021), ami az intenzív hőmérsékletemelkedéssel együtt fokozódó aszály- és stresszhelyzet kialakulását eredményezheti.

Kis et al. (2020) tanulmányukban bemutatják, hogy különböző klímamodellek szimulációit figyelembe véve az 1971–2000 közötti referencia-időszakhoz képest 2021–2050 és 2069–2098 közötti periódusokra a téli hónapokban (október hónaptól) a csapadékmennyiség növekedése várható. Megfigyeléseik alapján a 21. század végére nagyobb, mint 20%-os csapadékmennyiség növekedést prognosztizálnak a január-március közötti éven belüli időszakra. A jövőre vonatkozóan (Bartholy et al., 2007, 2011) is megállapították PRUDENCE szimulációk alapján a csapadékmennyiség erőteljes növekedését a téli hónapokban (december-február) a 2071–2100 közötti periódusra vonatkozóan Magyarország területén, egyúttal felhívják a figyelmet a csapadékhullás évszakos megváltozására is, miszerint a tél válik a legcsapadékosabb, míg a nyár a legszárazabb évszakká a jövőben.

Ezek az éghajlati anomáliák a kritikus fenológiai fázisok (a virágzás, a termésérés és a levélöregedés) időbeli eltolódását, míg a hőstressz és az azzal együtt járó fokozódó vízvesztés a növekedési időszak lerövidülését okozhatja (Hirpo & Gebeyehu, 2019; Medda et al., 2022).

A gyümölcsstermő növényeket különösen kedvezőtlenül érintik a gyakrabban fellépő hőmérséklet-ingadozások, melyek megzavarják a kajszi- és őszibarack fajták természetes hidegtűrését, illetve fagyellenállóságának kialakulását, a hőmérsékletemelkedés pedig hozzájárulhat a kiszáradási folyamatokhoz, ami a fagykárak gyakoribbá válásához és a virágfejlődésben fellépő rendellenességhez vezethet (Szalay et al., 2010; Lakatos et al., 2012). A változó körülmények a gyümölcsfák (különösen az alma) rügyfakadási és virágzási fenológiai fázisának korábbra tolódását eredményezi (Somfalvi-Tóth et al., 2023), mely a tavaszi fagyok okozta kockázat fokozódásához vezethet. Ugyanakkor Bujdos (2019) vizsgálatai alapján arra következtet, hogy a téli periódus során tapasztalt hőmérséklet- és főként a csapadékmennyiség változás az őszi vetésű szántóföldi kultúrák számára – szemben a tavaszi vetésű szántóföldi kultúrákkal – kedvező hatást fejt ki, mely a termésmennyiség növekedésében fog megnyilvánulni.

E tanulmány megírásával célunk tehát a nyugalmi időszakban (november-március) bekövetkező hőmérséklet- és csapadékváltozások speciális szempontok szerint történő feltárása az elmúlt 63 év (1961–2023) során,

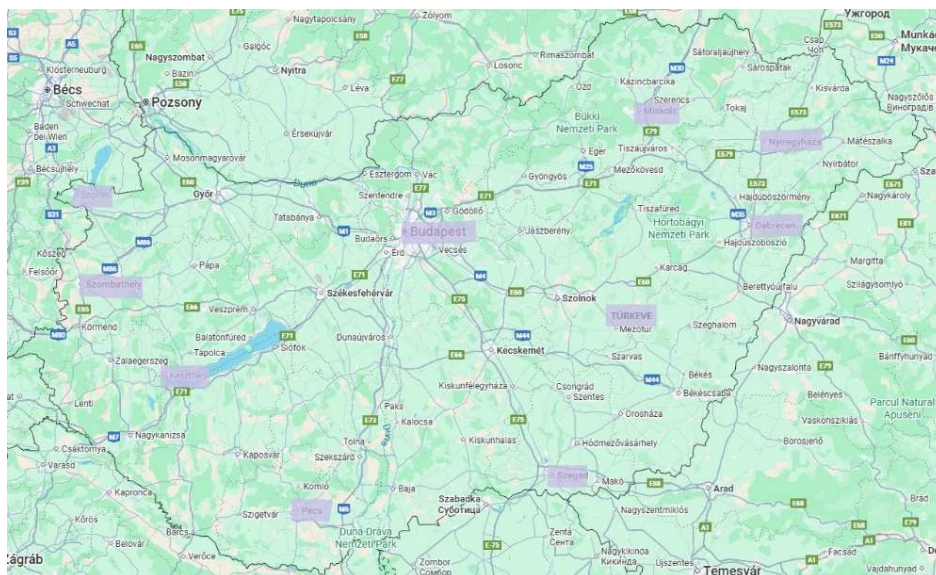
Magyarország 10 állomásán. E vizsgálatokból kapott eredményeink alapján képesek lehetünk az éghajlatváltozás tapasztalható jeleinek és megnyilvánulásainak térbeli és időbeli bemutatására.

Anyag és módszer

Kutatómunkánk során felhasznált meteorológiai adatok a HungaroMet Nonprofit Zrt. (korábban Országos Meteorológiai Szolgálat) Meteorológiai Adattárából származnak. Ezen homogenizált adatsorok napi bontású minimum- és maximumhőmérsékleti adatokat, illetve csapadékadatokat tartalmaznak 1961. 01. 01.-2023. 12. 31. közötti, több mint hat évtizedet felölelő időszávból.

A 10 magyarországi település (Pécs, Szeged, Keszthely, Túrkeve, Szombathely, Budapest, Debrecen, Sopron, Miskolc és Nyíregyháza), melyekre vonatkozóan vizsgálateinket végeztük, az 1. ábrán láthatók.

1. ábra. Vizsgált állomások (Pécs, Szeged, Keszthely, Túrkeve, Szombathely, Budapest, Debrecen, Sopron, Miskolc és Nyíregyháza)



Forrás: Google maps (2026. 01. 25.)

Figure 1. Examined stations (Pécs, Szeged, Keszthely, Túrkeve, Szombathely, Budapest, Debrecen, Sopron, Miskolc and Nyíregyháza). Source: Google maps (2026. 01. 25.)

Vizsgálatainkat az 1961–1990 közötti referenciaidőszakban és az 1991–2023 közötti közelmúltbeli éghajlati ciklusban végbement időjárási változások gyakoriságvizsgálatával (Z-próba), az *1. táblázatban* bemutatott hőmérsékleti indikátorok kijelölésével végeztük.

Az általunk definiált indikátorok meghatározása azon elven alapult, hogy az 5 °C-os hőmérsékleti intervallumok meteorológiai szempontból jól elkülöníthető tartományokat képeznek, amelyek eltérő és jellegzetes időjárási körülményeket reprezentálnak. Ezek az indikátorok alkalmasak az alacsony és magas hőmérsékleti értékek gyakoriságában bekövetkező változások szemléltetésére, valamint lehetővé teszik a vizsgálat során kijelölt éghajlati ciklusok (1961–1990, 1991–2023) között végbement változások könnyen érthető és áttekinthető bemutatását. A kijelölt indikátorok különösen alkalmasak a hőmérsékleti átrendeződés szemléltetésére, vagyis jól mutatják a felmelegedés, illetve lehűlés léptékét és mértékét.

1. táblázat. *Vizsgált hőmérsékleti indikátorok*

Indikátorok (1)	Magyarázat (2)
$T_{\min} < -15\text{ °C}$	A -15 °C -nál alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok száma.
$-15\text{ °C} \leq T_{\min} < -10\text{ °C}$	A -10 °C -nál kisebb, de -15 °C -nál nem alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok száma.
$-10\text{ °C} \leq T_{\min} < -5\text{ °C}$	A -5 °C -nál kisebb, de -10 °C -nál nem alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok száma.
$-5\text{ °C} \leq T_{\min} < 0\text{ °C}$	A 0 °C -nál kisebb, de -5 °C -nál nem alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok száma.
$0\text{ °C} \leq T_{\min} < 5\text{ °C}$	Az 5 °C -nál kisebb, de 0 °C -nál nem alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok száma.
$5\text{ °C} \leq T_{\min} < 10\text{ °C}$	A 10 °C -nál kisebb, de 5 °C -nál nem alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok száma.
$10\text{ °C} \leq T_{\min} < 15\text{ °C}$	A 15 °C -nál kisebb, de 10 °C -nál nem alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok száma.

Az 1. táblázat a következő oldalon folytatódik...

... az 1. táblázat folytatása

Indikátorok (1)	Magyarázat (2)
$-10\text{ °C} \leq T_{\max} < -5\text{ °C}$	A -5 °C -nál kisebb, de -10 °C -nál nem alacsonyabb maximum hőmérsékletű napok száma.
$-5\text{ °C} \leq T_{\max} < 0\text{ °C}$	A 0 °C -nál kisebb, de -5 °C -nál nem alacsonyabb maximum hőmérsékletű napok száma.
$0\text{ °C} \leq T_{\max} < 5\text{ °C}$	Az 5 °C -nál kisebb, de 0 °C -nál nem alacsonyabb maximum hőmérsékletű napok száma.
$5\text{ °C} \leq T_{\max} < 10\text{ °C}$	A 10 °C -nál kisebb, de 5 °C -nál nem alacsonyabb maximum hőmérsékletű napok száma.
$10\text{ °C} \leq T_{\max} < 15\text{ °C}$	A 15 °C -nál kisebb, de 10 °C -nál nem alacsonyabb maximum hőmérsékletű napok száma.
$15\text{ °C} \leq T_{\max} < 20\text{ °C}$	A 20 °C -nál kisebb, de 15 °C -nál nem alacsonyabb maximum hőmérsékletű napok száma.
$20\text{ °C} \leq T_{\max}$	A 20 °C -ot elérő, illetve meghaladó maximum hőmérsékletű napok száma.
$T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $5\text{ °C} \leq T_{\max}$	Azon napok száma, amikor a minimum hőmérséklet 0 °C alatt volt, és a maximum hőmérséklet elérte, illetve meghaladta az 5 °C -ot.
$T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $10\text{ °C} \leq T_{\max}$	Azon napok száma, amikor a minimum hőmérséklet 0 °C alatt volt, és a maximum hőmérséklet elérte, illetve meghaladta az 10 °C -ot.
$T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $15\text{ °C} \leq T_{\max}$	Azon napok száma, amikor a minimum hőmérséklet 0 °C alatt volt, és a maximum hőmérséklet elérte, illetve meghaladta az 15 °C -ot.

Table 1. Examined temperature indicators. (1) Indicators, (2) Explanation

Ezen indikátorok vizsgálata a november-március közötti két évet érintő időszámban történt. Eredményeink bemutatásánál az 1961. esztendő az 1961. év november és december hónapok adatait, valamint az 1962. év január, február és március hónapok adatait foglalja magában.

A 1. táblázat utolsó három indikátorának ($T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $5\text{ °C} \leq T_{\max}$; $T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $10\text{ °C} \leq T_{\max}$; $T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $15\text{ °C} \leq T_{\max}$) vizsgálata nem csupán azt a célt szolgálta,

hogy információt kapjunk a különböző mértékű napi hóingások kialakulásának esetleges megváltozásáról, hanem azt is, hogy megismerjük, hogy a nyugalmi időszakban kialakult fagy ($T_{\min} < 0 \text{ °C}$) tartós vagy jelentős nappali felmelegedéssel ($5 \text{ °C} \leq T_{\max}$; $10 \text{ °C} \leq T_{\max}$; $15 \text{ °C} \leq T_{\max}$) együtt járó jelenség-e. Az eredmények bemutatásánál ezen indikátorokra a „*nagy napi hóingással együtt járó fagyos napok*” számaként hivatkozunk.

Továbbá vizsgáltuk a nyugalmi időszak hónapjaira külön-külön (november, december, január, február, március) a csapadékmennyiség és a csapadékos napok számának változását a teljes – 63 évet felölelő – időtávra, a referenciaidőszakra (1961–1990) és a közelmúltbeli éghajlati ciklusra (1991–2023) vonatkozóan egyaránt. A csapadékindikátorok vizsgálatát lineáris trendvizsgálat segítségével végeztük.

Csapadékos napnak tekintettük azokat a napokat, amikor a napi csapadékmennyiség meghaladta a 2 mm-t ($R > 2 \text{ mm}$). A csapadékos nap fogalmának meghatározásához a 2 mm-t meghaladó napi csapadékmennyiség kijelölését azért tartottuk indokoltnak, mert ez a mennyiség – az általános melegedő tendencia ellenére is – agronómiai szempontból számottevőnek tekinthető. Ily módon az eredményeink pontosabban tükrözik azokat a csapadékeseményeket, amelyek ténylegesen hozzájárulnak a növénytermesztés vízigényének kielégítéséhez és a talajnedvesség fenntartásához, ezáltal megbízhatóbb alapot biztosítanak a további agrárklimatológiai elemzések számára.

Az eredményeink bemutatása táblázatok segítségével történik. A hőmérsékleti indikátorok változását bemutató táblázatok első oszlopa a vizsgált állomások településnevét, a második oszlopa az elemzett indikátorok megnevezését tartalmazza. A harmadik oszlopban a statisztikai próba eredménye (Z-érték) és annak szignifikanciaszintje szerepel, míg a negyedik oszlop a változás irányát jelzi. Az ötödik és hatodik oszlopok a vizsgált éghajlati ciklusokban tapasztalt előfordulások évtizedes átlagát mutatják. Az utolsó, hetedik oszlop a két éghajlati ciklus közötti változás mértékét adja meg, amelyet az ötödik és hatodik oszlopban szereplő értékek hányadosa fejez ki. (Amennyiben az 5. oszlop értéke 0 (nulla), a 7. oszlopban nem tüntettünk fel numerikus adatot, tekintettel arra, hogy a nullával való osztás matematikailag nem értelmezhető.)

Eredmények

A hőmérsékleti és csapadékindikátorok vizsgálata során kapott eredményeink közül azok kerülnek bemutatásra, mely esetekben szignifikáns változást [$p < 0,05$ (*); $p < 0,01$ (**); $p < 0,001$ (***)] tapasztaltunk. A csapadékmutatók esetében az enyhén szignifikáns ($p < 0,1$) változást is figyelembe vettük, melynek jelzésére a (+) jelölést alkalmaztuk.

Az eredmények bemutatása a nyugalmi időszak hónapjainak időrendi sorrendjének megfelelően (november, december, január, február, március), valamint (a táblázatokon belül) a települések földrajzi elhelyezkedése alapján történik, miszerint Magyarország déli, délnyugati állomásaitól haladunk az ország északi, északkeleti állomásai felé.

A táblázatokon (2–16. táblázat) az eredményeink bemutatásánál alkalmazott színek a következőket jelentik:

- kék háttérszín: minimum hőmérsékleti indikátorok,
- narancssárga háttérszín: maximum hőmérsékleti indikátorok,
- zöld háttérszín: nagy napi hőingással együtt járó fagyos napok,
- kék betűszín: szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenő irányú változás,
- piros betűszín: szignifikáns ($p < 0,05$) növekvő irányú változás.

A csapadékmutatók (csapadékmennyiség, csapadékos napok száma) bemutatása szintén táblázatok segítségével történik, színek használata nélkül, a nyugalmi időszak hónapjaira külön-külön megfogalmazva.

November

A hőmérsékleti adatok elemzése alapján általánosságban megállapítható (2. táblázat), hogy az előnyugalmi időszakban (november hónapban) minden vizsgált állomáson, a minimum és a maximum hőmérsékleti értékek esetében egyaránt tapasztalható volt az alacsony hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenése, és a magas hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése.

A felmelegedés legerőteljesebb jelei Magyarország keleti (délkeleti-északkeleti) ország részében (Szeged, Túrkeve, Nyíregyháza) voltak megfigyelhetők. E vizsgált állomásokon a 20 °C-ot elérő, illetve azt meghaladó napi maximum hőmérsékleti értékek előfordulása szignifikáns ($p < 0,05$) növekedést mutatott a két vizsgált éghajlati ciklus között (1961–1990, 1991–2023).

2. táblázat. Hőmérsékleti mutatók változása november hónapban
(1961–1990, 1991–2023)

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
PÉCS	-10°C ≤ T _{min} < -5°C	2,417*	csökkenő	12,000	6,250	0,521
	5°C ≤ T _{min} < 10°C	3,409***	növekvő	75,667	97,188	1,284
	0°C ≤ T _{max} < 5°C	3,352***	csökkenő	59,667	42,188	0,707
	5°C ≤ T _{max} < 10°C	2,515*	csökkenő	110,000	93,438	0,849
	10°C ≤ T _{max} < 15°C	3,746***	növekvő	73,333	96,875	1,321
SZEGED	-15°C ≤ T _{min} < -10°C	2,830**	csökkenő	3,333	0,313	0,094
	-10°C ≤ T _{min} < -5°C	3,143**	csökkenő	20,667	10,938	0,529
	5°C ≤ T _{min} < 10°C	2,296*	növekvő	63,333	76,875	1,214
	10°C ≤ T _{min} < 15°C	2,218*	növekvő	7,000	12,500	1,786
	5°C ≤ T _{max} < 10°C	3,442***	csökkenő	109,333	86,875	0,795
	15°C ≤ T _{max} < 20°C	2,674**	növekvő	44,667	58,750	1,315
20°C ≤ T _{max}	2,109*	növekvő	7,000	12,188	1,741	
KESZTHELY	-15°C ≤ T _{min} < -10°C	1,979*	csökkenő	2,000	0,312	0,156
	-10°C ≤ T _{min} < -5°C	2,957**	csökkenő	15,333	7,500	0,489
	-5°C ≤ T _{min} < 0°C	3,315***	csökkenő	87,000	66,875	0,768
	5°C ≤ T _{min} < 10°C	5,257***	növekvő	57,000	88,437	1,551
	10°C ≤ T _{min} < 15°C	3,033**	növekvő	4,667	11,562	2,477
	0°C ≤ T _{max} < 5°C	3,789***	csökkenő	64,667	44,375	0,686
	10°C ≤ T _{max} < 15°C	3,330***	növekvő	72,667	93,437	1,286
	15°C ≤ T _{max} < 20°C	2,288*	növekvő	25,667	35,312	1,376
TÚRKEVE	-10°C ≤ T _{min} < -5°C	2,342*	csökkenő	23,667	15,625	0,660
	5°C ≤ T _{min} < 10°C	3,500***	növekvő	52,667	72,500	1,377
	5°C ≤ T _{max} < 10°C	4,134***	csökkenő	112,667	85,625	0,760
	10°C ≤ T _{max} < 15°C	2,189*	növekvő	85,000	99,063	1,165
	15°C ≤ T _{max} < 20°C	3,896***	növekvő	32,667	51,563	1,578
	20°C ≤ T _{max}	2,205*	növekvő	2,333	5,938	2,545
SZOMBATHELY	-10°C ≤ T _{min} < -5°C	2,734**	csökkenő	16,333	8,750	0,536
	-5°C ≤ T _{min} < 0°C	2,831**	csökkenő	95,333	77,500	0,813
	0°C ≤ T _{min} < 5°C	2,163*	csökkenő	145,000	130,000	0,897
	5°C ≤ T _{min} < 10°C	6,163***	növekvő	40,000	73,750	1,844
	10°C ≤ T _{min} < 15°C	3,854***	növekvő	1,667	8,750	5,250
	0°C ≤ T _{max} < 5°C	3,470***	csökkenő	71,000	51,563	0,726
	5°C ≤ T _{max} < 10°C	2,150*	csökkenő	123,000	108,438	0,882
	10°C ≤ T _{max} < 15°C	3,631***	növekvő	68,000	90,313	1,328
15°C ≤ T _{max} < 20°C	2,815**	növekvő	24,667	36,563	1,482	
BUDAPEST	-10°C ≤ T _{min} < -5°C	2,727**	csökkenő	5,667	1,562	0,275
	-5°C ≤ T _{min} < 0°C	2,297*	csökkenő	48,000	36,875	0,768
	5°C ≤ T _{min} < 10°C	2,746**	növekvő	100,333	118,750	1,183
	0°C ≤ T _{max} < 5°C	3,181**	csökkenő	58,000	41,562	0,716
	5°C ≤ T _{max} < 10°C	2,762**	csökkenő	123,667	105,000	0,849
	10°C ≤ T _{max} < 15°C	3,427***	növekvő	89,333	111,875	1,252
15°C ≤ T _{max} < 20°C	3,140**	növekvő	23,667	36,875	1,558	
DEBRECEN	-15°C ≤ T _{min} < -10°C	2,830**	csökkenő	3,333	0,312	0,094
	-10°C ≤ T _{min} < -5°C	2,436*	csökkenő	21,333	13,437	0,629
	5°C ≤ T _{min} < 10°C	3,340***	növekvő	56,333	75,625	1,342
	-5°C ≤ T _{max} < 0°C	3,217**	csökkenő	12,000	4,687	0,390
	0°C ≤ T _{max} < 5°C	2,029*	csökkenő	66,000	54,687	0,828
	5°C ≤ T _{max} < 10°C	2,413*	csökkenő	108,667	92,812	0,854
	10°C ≤ T _{max} < 15°C	2,513*	növekvő	77,333	93,125	1,204
	15°C ≤ T _{max} < 20°C	3,260**	növekvő	32,333	47,812	1,478

A 2. táblázat a következő oldalon folytatódik...

... a 2. táblázat folytatása

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
SOPRON	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	2,401*	csökkenő	10,667	5,313	0,498
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	3,458***	csökkenő	80,000	59,688	0,746
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$	4,664***	növekvő	62,000	90,313	1,457
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 15^{\circ}\text{C}$	3,317***	növekvő	4,333	11,875	2,740
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,203*	csökkenő	14,667	8,750	0,597
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	3,481***	csökkenő	76,667	56,563	0,738
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$	2,964**	növekvő	74,000	92,500	1,250
	$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 20^{\circ}\text{C}$	2,538*	növekvő	19,667	29,375	1,494
MISKOLC	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	2,815**	csökkenő	4,667	0,937	0,201
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	4,207***	csökkenő	23,333	10,000	0,428
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	2,117*	növekvő	75,000	88,125	1,175
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$	2,825**	növekvő	60,333	76,875	1,274
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	3,533***	csökkenő	77,333	56,875	0,735
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$	3,596***	növekvő	73,667	96,250	1,306
	$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 20^{\circ}\text{C}$	2,608**	növekvő	16,333	25,625	1,569
	NYÍREGYHÁZA	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	2,815**	csökkenő	4,667	0,937
$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$		2,714**	csökkenő	18,333	10,312	0,562
$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$		3,377***	csökkenő	135,000	111,875	0,829
$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$		3,967***	növekvő	51,000	73,438	1,440
$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$		3,062**	csökkenő	15,667	7,500	0,479
$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$		2,742**	csökkenő	78,333	62,188	0,794
$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$		2,223*	csökkenő	109,667	95,000	0,866
$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$		3,227**	növekvő	73,000	93,125	1,276
$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 20^{\circ}\text{C}$	3,777***	növekvő	22,000	37,813	1,719	
$20^{\circ}\text{C} \leq T_{\max}$	2,060*	növekvő	1,333	4,063	3,047	

Table 2. Changes in temperature indicators in November (1961–1990, 1991–2023)

A felmelegedés egyértelmű jelét mutatja továbbá, hogy az ország nyugati részén (Keszthely, Szombathely, Sopron), valamint Szeged állomáson november hónapban szignifikáns ($p < 0,05$) emelkedés következett be azon napok számát illetően, amikor a minimum hőmérséklet nem süllyedt 10°C alá ($10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 15^{\circ}\text{C}$).

A tartós napi fagyok száma (3. táblázat) november hónapban csupán az ország keleti és északkeleti országrészében (Debrecen és Nyíregyháza) csökkent, mely a 0°C -ot meghaladó, jelentős napi hóingással jellemezhető fagyos napok ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ és $T_{\max} \geq 10^{\circ}\text{C}$) előfordulásának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedésében nyilvánult meg.

A november hónapban tapasztalt hőtöbblet a csapadékatatok vizsgálata alapján nem járt együtt a csapadékmennyiség egyértelmű, az egész országra jellemző megváltozásával. Ugyanakkor az ország számos pontján kimutatható volt (4. táblázat) a csapadékmennyiség, illetve a csapadékos napok ($R > 2\text{ mm}$) számának enyhén szignifikáns ($p < 0,1$) vagy szignifikáns ($p < 0,05$) változása, amely minden – statisztikailag is igazolható – esetben csökkenő irányt mutat.

3. táblázat. *A 0 °C-ot meghaladó, jelentős napi hőingással jellemezhető fagyos napok novemberi előfordulásának változása (1961–1990, 1991–2023)*

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
DEBRECEN	$T_{min} < 0$ és $10 \leq T_{max}$	2,344*	növekvő	10,333	17,188	1,663
NYÍREGYHÁZA	$T_{min} < 0$ és $10 \leq T_{max}$	2,241*	növekvő	7,667	13,438	1,753

Table 3. Changes in the occurrence of frosty days in November, characterised by significant daily temperature fluctuations above 0 °C (1961–1990, 1991–2023)

4. táblázat. *Csapadékmutatók változása november hónapban (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023)*

Állomás (1)	Indikátor (2)	Időszak (3)	Változás iránya (4)	Merekség (5)	Szórás (6)	Átlag (7)
Pécs	csap. mennyiség	1961-2023	csökkenő	-0,93(+)	25,97	52,87
Szeged	csap. napok száma	1961-2023	csökkenő	-0,03(+)	2,79	5,08
Keszthely	csap. mennyiség	1961-2023	csökkenő	-0,42(+)	34,61	57,71
Szombathely	csap. mennyiség	1961-2023	csökkenő	-0,36(+)	28,93	48,86
Szombathely	csap. mennyiség	1961-1990	csökkenő	-1,24(+)	30,67	51,64
Szombathely	csap. napok száma	1961-1990	csökkenő	-0,12(+)	2,89	5,63
Sopron	csap. mennyiség	1961-2023	csökkenő	-0,40(*)	28,93	51,10
Sopron	csap. napok száma	1961-2023	csökkenő	-0,05(*)	2,74	5,79
Sopron	csap. mennyiség	1961-1990	csökkenő	-1,21(+)	30,72	53,82
Sopron	csap. mennyiség	1991-2023	csökkenő	-1,01(+)	27,39	48,56
Sopron	csap. napok száma	1991-2023	csökkenő	-0,11(*)	2,50	5,34
Miskolc	csap. mennyiség	1961-1990	csökkenő	-1,30(+)	36,44	50,59
Nyíregyháza	csap. napok száma	1961-1990	csökkenő	-0,11(+)	3,27	5,43

Table 4. Changes in precipitation indicators during November (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023). (1) Stations, (2) Indicators, (3) Period, (4) Direction of change, (5) Steepness, (6) Standard deviation, (7) Mean

Némileg markánsabb jelei mutatkoznak a csapadékmennyiség mérséklődésének Magyarország északnyugati országrészén (Sopron,

Szombathely), mely jelenség – a tapasztalt intenzív felmelegedés mellett – e régió fokozatos szárazodását prognosztizálja.

Ugyanakkor kiemelendők továbbá Szeged és Nyíregyháza (délkelet és északkelet Magyarország) állomások, ahol a csapadékhullás intenzitásának mérsékelt növekedése összefüggésbe hozható a csapadékos napok számának enyhén szignifikáns ($p < 0,1$) csökkenésével, valamint a csapadékmennyiség relatív változatlanságával.

December

A hőmérsékleti indikátorok vizsgálatát követően általánosságban megállapítható (5. táblázat), hogy a mélynyugalmi időszakban (december) a vizsgált állomások túlnyomó részén a minimum és a maximum hőmérsékleti értékek esetében egyaránt megfigyelhető volt, az alacsony hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenése, míg a magas hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése. Ugyanakkor négy állomáson – jellemzően az ország keleti, északkeleti részén (Túrkeve, Debrecen, Miskolc), valamint Budapest állomáson – a maximum hőmérsékleti értékek esetében megfigyelhető volt a szélsőségek kialakulása, mely a rendkívüli fagyok ($-10\text{ °C} \leq T_{\max} < -5\text{ °C}$), valamint a magas hőmérsékletű napok ($5\text{ °C} \leq T_{\max} < 10\text{ °C}$) számának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedésében, míg az enyhe napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) mérséklődésében fejeződött ki.

A tartós napi fagyok száma (6. táblázat) december hónapban az ország több állomásán (Pécs, Szeged, Keszthely, Túrkeve, Debrecen) is egyértelmű csökkenő irányú változást mutatott a vizsgált két éghajlati ciklus között (1961–1990, 1991–2023), mely a 0 °C -ot meghaladó, jelentős napi hőingással jellemezhető fagyos napok ($T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $T_{\max} \geq 5\text{ °C}$; $T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $T_{\max} \geq 10\text{ °C}$) előfordulásának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedésében nyilvánult meg. Ugyanakkor a mélynyugalmi időszakban (december) tapasztalható volt a jelentős napi hőingással jellemezhető fagyos napok ($T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $T_{\max} \geq 10\text{ °C}$) számának mérséklődése is, mely jelenség a nyugati és az északkeleti országrész (Szombathely és Miskolc) állomásaira volt jellemző. A hőmérsékleti indikátorok vizsgálata alapján tehát a mélynyugalmi időszakban nemcsak a melegedő tendencia erősödése volt megfigyelhető, hanem a hőmérsékleti szélsőségek és a jelentős napi hőingadozások számának növekedése is. Ez a jelenség elsősorban az ország északi, északkeleti és keleti térségében vált meghatározhatóvá.

5. táblázat. *Hőmérsékleti mutatók változása december hónapban
(1961–1990, 1991–2023)*

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
PÉCS	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	3,047**	esökkenő	52,667	37,500	0,712
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	2,343*	növekvő	92,000	107,500	1,168
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,077*	esökkenő	67,667	55,938	0,827
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	2,173*	növekvő	79,333	93,125	1,174
SZEGED	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	1,984*	esökkenő	55,667	45,313	0,814
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$	2,223*	növekvő	12,667	19,688	1,554
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,220*	esökkenő	58,667	46,875	0,799
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	2,772**	növekvő	83,000	100,938	1,216
KESZTHELY	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	2,917**	esökkenő	52,333	37,812	0,722
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	3,585***	növekvő	79,667	102,812	1,290
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	3,006**	esökkenő	61,333	45,312	0,738
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	4,628***	növekvő	72,667	102,187	1,406
TÚRKEVE	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	1,852*	esökkenő	59,667	49,688	0,833
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	2,612**	esökkenő	149,333	130,938	0,877
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	3,634***	növekvő	69,000	91,563	1,327
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < -5^{\circ}\text{C}$	3,115**	növekvő	5,333	12,813	2,402
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,532*	esökkenő	69,667	55,313	0,794
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	3,764***	esökkenő	147,000	120,625	0,821
SZOMBATHELY	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	4,855***	növekvő	64,333	94,375	1,467
	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	2,860**	esökkenő	19,667	10,938	0,556
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	3,634***	esökkenő	54,000	35,938	0,666
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	3,412***	növekvő	79,000	100,938	1,278
BUDAPEST	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,767**	esökkenő	69,000	53,438	0,774
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	5,181***	növekvő	67,667	100,313	1,482
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	2,105*	növekvő	120,333	135,000	1,122
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < -5^{\circ}\text{C}$	2,053*	növekvő	2,333	5,625	2,411
DEBRECEN	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,252*	esökkenő	53,000	41,562	0,784
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	3,650***	növekvő	85,667	109,687	1,280
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	2,851**	esökkenő	65,000	52,667	0,810
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	2,379*	esökkenő	134,667	118,125	0,877
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	3,097**	növekvő	80,667	100,625	1,247
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$	3,275**	növekvő	7,333	16,250	2,216
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < -5^{\circ}\text{C}$	2,344*	növekvő	7,667	13,750	1,793
SOPRON	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,129*	esökkenő	72,000	59,687	0,828
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	3,821***	esökkenő	149,000	122,187	0,820
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	4,321***	növekvő	61,333	87,500	1,426
	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	2,117*	esökkenő	12,000	6,875	0,573
MISKOLC	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	2,263*	esökkenő	51,333	40,000	0,779
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	3,912***	növekvő	93,667	120,000	1,281
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,356*	esökkenő	71,000	57,500	0,810
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	3,753***	növekvő	72,000	95,625	1,328
NYÍREGYHÁZA	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < -5^{\circ}\text{C}$	1,987*	növekvő	9,000	14,375	1,597
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,882**	esökkenő	82,000	64,687	0,788
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	2,776**	esökkenő	153,333	133,750	0,872
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	5,838***	növekvő	51,000	72,500	1,421
NYÍREGYHÁZA	$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 20^{\circ}\text{C}$	2,218*	esökkenő	2,333	0,312	0,134
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	1,979*	esökkenő	57,333	46,875	0,818
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$	2,021*	növekvő	8,667	14,063	1,623
NYÍREGYHÁZA	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	3,912***	esökkenő	156,333	128,750	0,824
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	5,093***	növekvő	51,333	80,938	1,577

Table 5. Changes in precipitation indicators during December (1961–1990, 1991–2023)

6. táblázat. A 0 °C-ot meghaladó, jelentős napi hőingással jellemezhető fagyos napok decemberi előfordulásának változása (1961–1990, 1991–2023)

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
PÉCS	Tmin<0 és 5≤Tmax	2,262*	növekvő	24,667	34,063	1,381
SZEGED	Tmin<0 és 5≤Tmax	2,009*	növekvő	32,333	41,563	1,285
KESZTHELY	Tmin<0 és 5≤Tmax	2,034*	növekvő	39,000	49,063	1,258
TÚRKEVE	Tmin<0 és 5≤Tmax	2,656**	növekvő	26,333	37,813	1,436
SZOMBATHELY	Tmin<0 és 10≤Tmax	2,214*	csökkenő	5,667	2,188	0,386
	Tmin<0 és 5≤Tmax	3,191**	növekvő	33,667	49,063	1,457
DEBRECEN	Tmin<0 és 10≤Tmax	2,389*	növekvő	0,667	3,438	5,156
MISKOLC	Tmin<0 és 10≤Tmax	2,218*	csökkenő	2,333	0,313	0,134

Table 6. A 0 °C-ot meghaladó, jelentős napi hőingással jellemezhető fagyos napok decemberi előfordulásának változása (1961–1990, 1991–2023)

A mélynyugalmi időszakban a csapadékmutatók megváltozása kevésbé volt számottevő (7. táblázat), ugyanakkor Magyarország nyugati és északnyugati térségében – hasonlóan az előnyugalmi időszakhoz – a lineáris trendvizsgálat enyhén szignifikáns ($p < 0,1$), illetve szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenő irányú változást mutatott, különösen a közelmúltbeli éghajlati ciklus (1991–2023) során.

7. táblázat. Csapadékmutatók változása december hónapban (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023)

Állomás (1)	Indikátor (2)	Időszak (3)	Változás iránya (4)	Merekség (5)	Szórás (6)	Átlag (7)
Keszthely	csap. napok száma	1991-2023	csökkenő	-0,08(+)	2,29	5,00
Sopron	csap. mennyiség	1991-2023	csökkenő	-0,75(*)	17,82	37,68

Table 7. Changes in precipitation indicators during December (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023). (1) Stations, (2) Indicators, (3) Period, (4) Direction of change, (5) Steepness, (6) Standard deviation, (7) Mean

A Sopron térségében kimutatott csapadékmennyiségre vonatkozó csökkenő irányú változás a hőmérsékleti mutatók növekvő irányú változásával együtt az

északnyugati országrész fokozódó szárazodására utal. Ugyanakkor Keszthely térségében a csapadék hullás intenzitásának mérsékelt növekedése összefüggésbe hozható a csapadékos napok ($R > 2\text{mm}$) számának enyhén szignifikáns ($p < 0,1$) csökkenésével, valamint a csapadékmennyiség relatív változatlanságával.

Január

A hőmérsékleti adatok elemzése alapján általánosságban megállapítható (8. táblázat), hogy a kényszernyugalmi időszak első felében (január hónapban), kivétel nélkül, minden vizsgált állomáson, a minimum és a maximum hőmérsékleti értékek esetében egyaránt tapasztalható volt az alacsony hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenése, és a magas hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése.

8. táblázat. *Hőmérsékleti mutatók változása január hónapban*
(1961–1990, 1991–2023)

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
PÉCS	$T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$	4,480***	csökkenő	8,667	0,938	0,108
	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	5,047***	csökkenő	31,000	12,813	0,413
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	2,129*	csökkenő	72,333	60,000	0,829
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	3,981***	növekvő	66,667	91,250	1,369
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$	2,014*	növekvő	6,000	10,625	1,771
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < -5^{\circ}\text{C}$	4,935***	csökkenő	24,333	8,750	0,360
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	2,761**	növekvő	60,333	76,563	1,269
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$	4,995***	növekvő	21,667	43,438	2,005
	$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 20^{\circ}\text{C}$	3,220**	növekvő	0,000	3,438	
	SZEGED	$T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$	6,608***	csökkenő	21,000	3,125
$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$		2,190*	csökkenő	33,000	24,063	0,729
$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$		2,749**	csökkenő	72,667	56,875	0,783
$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$		4,296***	növekvő	57,333	82,813	1,444
$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$		2,233*	növekvő	3,333	7,500	2,250
$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < -5^{\circ}\text{C}$		6,381***	csökkenő	25,000	5,625	0,225
$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$		2,363*	csökkenő	123,667	107,500	0,869
$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$		3,632***	növekvő	63,333	85,313	1,347
$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$		4,114***	növekvő	20,000	36,875	1,844
$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 20^{\circ}\text{C}$		2,242*	növekvő	0,333	2,500	7,500
KESZTHELY	$T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$	3,353***	csökkenő	9,333	2,812	0,301
	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	4,674***	csökkenő	28,000	11,875	0,424
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	2,893**	csökkenő	78,667	61,562	0,782
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	2,859**	növekvő	141,333	161,562	1,143
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	3,066**	növekvő	51,000	68,125	1,335
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < -5^{\circ}\text{C}$	5,577***	csökkenő	21,667	5,625	0,259
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	2,919**	csökkenő	133,333	113,125	0,848
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	3,363***	növekvő	62,333	82,500	1,323
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$	4,410***	növekvő	18,000	35,625	1,979
	$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 20^{\circ}\text{C}$	2,562*	növekvő	0,667	3,750	5,625

A 8. táblázat a következő oldalon folytatódik...

... a 8. táblázat folytatása

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
TÚRKEVE	Tmin<-15°C	5,842***	csökkenő	21,000	4,688	0,223
	-15°C≤Tmin<-10°C	2,175*	csökkenő	39,000	29,375	0,753
	0°C≤Tmin<5°C	3,756***	növekvő	50,667	71,875	1,419
	-10°C≤Tmax<-5°C	5,584***	csökkenő	32,000	11,875	0,371
	0°C≤Tmax<5°C	2,774**	csökkenő	121,667	102,813	0,845
	5°C≤Tmax<10°C	4,332***	növekvő	54,667	80,000	1,463
	10°C≤Tmax<15°C	4,290***	növekvő	10,333	24,375	2,359
SZOMBATHELY	Tmin<-15°C	4,999***	csökkenő	13,000	2,188	0,168
	-15°C≤Tmin<-10°C	4,007***	csökkenő	30,000	15,313	0,510
	-10°C≤Tmin<-5°C	2,624**	csökkenő	76,333	60,938	0,798
	-5°C≤Tmin<0°C	2,018*	növekvő	137,000	151,250	1,104
	0°C≤Tmin<5°C	4,260***	növekvő	52,333	76,875	1,469
	-10°C≤Tmax<-5°C	6,225***	csökkenő	24,333	5,625	0,231
	5°C≤Tmax<10°C	3,543***	növekvő	59,333	80,313	1,354
10°C≤Tmax<15°C	4,555***	növekvő	14,333	31,250	2,180	
BUDAPEST	Tmin<-15°C	2,437*	csökkenő	2,667	0,312	0,117
	-15°C≤Tmin<-10°C	5,212***	csökkenő	18,000	4,375	0,243
	-10°C≤Tmin<-5°C	4,041*	csökkenő	67,667	45,625	0,674
	0°C≤Tmin<5°C	2,872**	növekvő	96,333	115,625	1,200
	5°C≤Tmin<10°C	4,715***	növekvő	5,667	18,750	3,309
	-10°C≤Tmax<-5°C	6,122***	csökkenő	19,667	3,437	0,175
	-5°C≤Tmax<0°C	3,453***	csökkenő	71,333	51,875	0,727
5°C≤Tmax<10°C	4,456***	növekvő	74,000	102,500	1,385	
10°C≤Tmax<15°C	4,873***	növekvő	11,000	27,812	2,528	
15°C≤Tmax<20°C	2,566*	növekvő	0,000	2,187		
DEBRECEN	Tmin<-15°C	5,498***	csökkenő	23,000	6,562	0,285
	-15°C≤Tmin<-10°C	3,771***	csökkenő	43,000	26,250	0,610
	0°C≤Tmin<5°C	3,661***	növekvő	52,000	72,812	1,400
	5°C≤Tmin<10°C	2,026*	növekvő	3,667	7,500	2,046
	-10°C≤Tmax<-5°C	5,647***	csökkenő	29,333	10,000	0,341
	5°C≤Tmax<10°C	3,051**	növekvő	57,000	74,687	1,310
	10°C≤Tmax<15°C	4,715***	növekvő	5,667	18,750	3,309
SOPRON	Tmin<-15°C	4,014***	csökkenő	6,667	0,625	0,094
	-15°C≤Tmin<-10°C	5,379***	csökkenő	27,667	9,688	0,350
	-10°C≤Tmin<-5°C	2,470*	csökkenő	71,000	56,875	0,801
	0°C≤Tmin<5°C	4,263***	növekvő	61,667	87,500	1,419
	5°C≤Tmin<10°C	3,576***	növekvő	3,667	11,563	3,153
	-10°C≤Tmax<-5°C	5,731***	csökkenő	27,667	8,750	0,316
	5°C≤Tmax<10°C	3,962***	növekvő	62,000	85,938	1,386
10°C≤Tmax<15°C	2,608**	növekvő	19,667	29,688	1,510	
15°C≤Tmax<20°C	2,705**	növekvő	1,333	5,313	3,984	
MISKOLC	Tmin<-15°C	7,535***	csökkenő	23,667	2,500	0,105
	-15°C≤Tmin<-10°C	3,806***	csökkenő	44,333	27,187	0,613
	-10°C≤Tmin<-5°C	2,810**	növekvő	69,000	86,250	1,250
	-10°C≤Tmax<-5°C	7,016***	csökkenő	31,333	7,500	0,239
	0°C≤Tmax<5°C	2,125*	csökkenő	137,333	122,500	0,892
	5°C≤Tmax<10°C	6,141***	növekvő	39,000	72,500	1,859
	10°C≤Tmax<15°C	3,385***	növekvő	5,000	13,125	2,625
NYÍREGYHÁZA	Tmin<-15°C	6,531***	csökkenő	21,333	3,437	0,161
	-15°C≤Tmin<-10°C	4,038***	csökkenő	44,333	26,250	0,592
	0°C≤Tmin<5°C	2,924**	növekvő	56,000	72,813	1,300
	5°C≤Tmin<10°C	2,367*	növekvő	3,333	7,813	2,344
	-10°C≤Tmax<-5°C	4,772***	csökkenő	36,000	17,188	0,477
	0°C≤Tmax<5°C	4,119***	csökkenő	133,333	105,000	0,788
	5°C≤Tmax<10°C	6,060***	növekvő	37,667	70,313	1,867
10°C≤Tmax<15°C	3,923***	növekvő	4,333	13,750	3,173	

Table 8. Changes in precipitation indicators during January (1961–1990, 1991–2023)

A felmelegedés legerőteljesebb jelei Pécs, Szeged, Budapest és Sopron térségében jelentkeztek. E vizsgált állomásokon a 15 °C-ot elérő, illetve azt meghaladó napi maximum hőmérsékleti értékek előfordulása szignifikáns ($p < 0,05$) növekedést mutatott a két vizsgált éghajlati ciklus (1961–1990, 1991–2023) összehasonlítása alapján. A felmelegedés egyértelmű jelét mutatja továbbá az is, hogy ugyanezek az állomásokon január hónapban szignifikáns ($p < 0,05$) emelkedés következett be azoknak a napoknak a számában, amikor a minimum hőmérséklet nem volt alacsonyabb 5 °C-nál ($5\text{ °C} \leq T_{\min} < 10\text{ °C}$). Külön figyelmet érdemel a Pécsen és Budapesten megfigyelt hőmérsékletváltozás, mivel a referenciaidőszak (1961–1990) során ezekben a térségekben egyetlen alkalommal sem volt tapasztalható 15°C-ot elérő vagy azt meghaladó maximum hőmérsékleti érték kialakulása. Ezzel szemben a közelmúltbeli éghajlati ciklusban (1991–2023) e hőmérsékleti küszöbértéket meghaladó napok megjelenése évtizedenként többször is előfordult, mely jelenség a januári időjárás normákhoz viszonyítva kifejezetten extrémnek tekinthető.

A tartós napi fagyok száma (9. táblázat) a kényszernyugalmi időszak első felében az ország több különböző térségében is (Keszthely, Túrkeve, Szombathely és Nyíregyháza) csökkent, mely a 0 °C-ot meghaladó, jelentős napi hőingással jellemezhető fagyos napok ($T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $T_{\max} \geq 5\text{ °C}$; $T_{\min} < 0\text{ °C}$ és $T_{\max} \geq 10\text{ °C}$) előfordulásának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedésében nyilvánult meg.

9. táblázat. A 0 °C-ot meghaladó, jelentős napi hőingással jellemezhető fagyos napok januári előfordulásának változása (1961–1990, 1991–2023)

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
KESZTHELY	$T_{\min} < 0$ és $10 \leq T_{\max}$	4,571***	növekvő	4,333	15,938	3,678
	$T_{\min} < 0$ és $5 \leq T_{\max}$	4,129***	növekvő	42,000	64,063	1,525
TÚRKEVE	$T_{\min} < 0$ és $5 \leq T_{\max}$	2,087*	növekvő	27,000	35,938	1,331
SZOMBATHELY	$T_{\min} < 0$ és $10 \leq T_{\max}$	3,222**	növekvő	3,333	10,000	3,000
	$T_{\min} < 0$ és $5 \leq T_{\max}$	2,928**	növekvő	38,667	53,438	1,382
NYÍREGYHÁZA	$T_{\min} < 0$ és $5 \leq T_{\max}$	2,095*	növekvő	14,333	21,250	1,483

Table 9. Changes in the occurrence of frosty days in January, characterised by significant daily temperature fluctuations above 0 °C (1961–1990, 1991–2023)

A január hónapban tapasztalt hőmérsékletemelkedés a csapadékadatok vizsgálata alapján (10. táblázat) Magyarország keleti országrészén (Debrecen, Miskolc, Nyíregyháza) együtt járt a csapadékmennyiség szignifikáns ($p < 0,05$) növekedésével. Ugyanakkor az ország nyugati országrészében (Szombathely), a csapadékos napok ($R > 2$ mm) számának enyhén szignifikáns ($p < 0,1$) csökkenéséből, valamint a csapadékmennyiség relatív változatlanóságából a csapadékhullás intenzitásának mérsékelt növekedésére következtethetünk.

10. táblázat. *Csapadékmutatók változása január hónapban (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023)*

Állomás (1)	Indikátor (2)	Időszak (3)	Változás iránya (4)	Mere- dekség (5)	Szórás (6)	Átlag (7)
Szombathely	csap. napok száma	1961-2023	csökkenő	-0,02(+)	2,10	3,45
Debrecen	csap. mennyiség	1991-2023	növekvő	0,52(*)	13,42	25,73
Miskolc	csap. mennyiség	1991-2023	növekvő	1,19(*)	27,98	31,99
Miskolc	csap. napok száma	1991-2023	növekvő	0,09(*)	2,36	3,81
Nyíregyháza	csap. mennyiség	1991-2023	növekvő	0,74(**)	15,38	28,79
Nyíregyháza	csap. napok száma	1991-2023	növekvő	0,08(*)	2,06	4,22

Table 10. Changes in precipitation indicators during January (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023). (1) Stations, (2) Indicators, (3) Period, (4) Direction of change, (5) Steepness, (6) Standard deviation, (7) Mean

Február

A hőmérsékleti adatok elemzése alapján általánosságban megállapítható (11. táblázat), hogy a kényszernyugalmi időszak második felében (február hónapban), kivétel nélkül, minden vizsgált állomáson, a minimum és a maximum hőmérsékleti értékek esetében egyaránt tapasztalható volt az alacsony hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenése, és a magas hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése.

Az északkeleti országrészben (Miskolc, Nyíregyháza) a felmelegedés relatíve enyhe jelei mutatkoztak február hónapban, ugyanakkor az északnyugati országrészben (Sopron) a felmelegedés markáns jelei voltak megfigyelhetők.

11. táblázat. *Hőmérsékleti mutatók változása február hónapban
(1961–1990, 1991–2023)*

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
PÉCS	5°C ≤ Tmin < 10°C	3,922***	növekvő	13,667	27,500	2,012
	-5°C ≤ Tmax < 0°C	4,463***	esökkenő	46,333	26,250	0,567
	0°C ≤ Tmax < 5°C	3,241**	esökkenő	102,333	81,875	0,800
	10°C ≤ Tmax < 15°C	5,269***	növekvő	37,000	64,375	1,740
	15°C ≤ Tmax < 20°C	3,368***	növekvő	9,333	19,375	2,076
SZEGED	-10°C ≤ Tmin < -5°C	3,445***	esökkenő	55,000	37,813	0,688
	0°C ≤ Tmin < 5°C	2,297*	növekvő	77,667	91,875	1,183
	5°C ≤ Tmin < 10°C	2,127*	növekvő	10,667	16,875	1,582
	-5°C ≤ Tmax < 0°C	2,947**	esökkenő	39,667	26,875	0,678
	0°C ≤ Tmax < 5°C	3,701***	esökkenő	105,333	81,875	0,777
	10°C ≤ Tmax < 15°C	5,748***	növekvő	36,000	65,938	1,832
	15°C ≤ Tmax < 20°C	3,748***	növekvő	10,333	22,188	2,147
KESZTHELY	-10°C ≤ Tmin < -5°C	2,503*	esökkenő	49,333	37,187	0,754
	5°C ≤ Tmin < 10°C	2,017*	növekvő	6,000	10,625	1,771
	-5°C ≤ Tmax < 0°C	3,483***	esökkenő	40,333	25,312	0,627
	0°C ≤ Tmax < 5°C	5,223***	esökkenő	112,333	79,062	0,704
	10°C ≤ Tmax < 15°C	5,597***	növekvő	32,000	60,000	1,875
	15°C ≤ Tmax < 20°C	4,717***	növekvő	8,000	22,500	2,812
TÚRKEVE	-10°C ≤ Tmin < -5°C	1,994*	esökkenő	60,667	50,000	0,824
	0°C ≤ Tmin < 5°C	2,035*	növekvő	64,667	76,563	1,184
	0°C ≤ Tmax < 5°C	5,119***	esökkenő	113,000	80,313	0,711
	10°C ≤ Tmax < 15°C	6,245***	növekvő	28,667	59,375	2,071
	15°C ≤ Tmax < 20°C	2,482*	növekvő	6,667	12,813	1,922
SZOMBATHELY	Tmin < -15°C	1,976*	esökkenő	5,667	2,500	0,441
	-10°C ≤ Tmin < -5°C	3,542***	esökkenő	53,333	35,938	0,674
	-5°C ≤ Tmin < 0°C	2,121*	növekvő	118,000	132,188	1,120
	-5°C ≤ Tmax < 0°C	3,026**	esökkenő	39,667	26,563	0,670
	0°C ≤ Tmax < 5°C	5,981***	esökkenő	115,333	77,188	0,669
	10°C ≤ Tmax < 15°C	6,064***	növekvő	32,333	63,125	1,952
BUDAPEST	15°C ≤ Tmax < 20°C	3,369***	növekvő	8,000	17,500	2,188
	-15°C ≤ Tmin < -10°C	2,459*	esökkenő	6,667	2,500	0,375
	5°C ≤ Tmin < 10°C	4,705***	növekvő	18,667	37,812	2,026
	0°C ≤ Tmax < 5°C	5,016***	esökkenő	113,667	81,562	0,717
	10°C ≤ Tmax < 15°C	6,783***	növekvő	31,000	65,625	2,116
DEBRECEN	15°C ≤ Tmax < 20°C	3,441***	növekvő	6,333	15,312	2,417
	Tmin < -15°C	2,443*	esökkenő	10,333	5,000	0,483
	5°C ≤ Tmin < 10°C	2,027*	növekvő	9,667	15,312	1,584
	0°C ≤ Tmax < 5°C	5,158***	esökkenő	121,000	87,500	0,723
	5°C ≤ Tmax < 10°C	2,638**	növekvő	72,667	88,750	1,221
SOPRON	10°C ≤ Tmax < 15°C	4,529***	növekvő	28,000	49,062	1,752
	15°C ≤ Tmax < 20°C	2,352*	növekvő	5,333	10,625	1,992
	-15°C ≤ Tmin < -10°C	2,165*	esökkenő	15,333	9,375	0,611
	-10°C ≤ Tmin < -5°C	2,729**	esökkenő	43,000	30,625	0,712
	0°C ≤ Tmin < 5°C	2,385*	növekvő	93,333	108,750	1,165
	5°C ≤ Tmin < 10°C	3,332***	növekvő	10,333	20,625	1,996
	-5°C ≤ Tmax < 0°C	3,518***	esökkenő	47,667	31,250	0,656
	0°C ≤ Tmax < 5°C	4,971***	esökkenő	111,000	79,375	0,715
10°C ≤ Tmax < 15°C	6,024***	növekvő	33,000	63,750	1,932	
15°C ≤ Tmax < 20°C	4,343***	növekvő	5,000	16,250	3,250	
20°C ≤ Tmax	2,168*	növekvő	0,000	1,563		

A 11. táblázat a következő oldalon folytatódik...

... a 11. táblázat folytatása

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
MISKOLC	$T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$	4,714***	csökkenő	9,333	0,937	0,100
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	2,733**	növekvő	109,333	127,500	1,166
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	3,909***	csökkenő	129,333	103,437	0,799
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	2,164*	növekvő	82,667	96,250	1,164
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$	3,641***	növekvő	24,333	40,000	1,643
NYÍREGYHÁZA	$T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$	1,969*	csökkenő	7,000	3,437	0,491
	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	2,283*	csökkenő	22,667	15,000	0,662
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$	3,441***	növekvő	6,333	15,313	2,418
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	3,845***	csökkenő	125,667	100,313	0,798
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$	5,806***	növekvő	17,667	41,875	2,370

Table 11. Changes in temperature indicators in February (1961–1990, 1991–2023)

Különösen figyelemreméltó jelenség az északnyugati országrészben a 20°C -ot elérő, illetve azt meghaladó maximum hőmérsékletű napok ($20^{\circ}\text{C} \leq T_{\max}$) közelmúltbeli éghajlati ciklus (1991–2023) során történő megjelenése és előfordulásának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése, mely a körülmények (lokáció és időszak) figyelembevételével extrém időjárási jelenségnek tekinthető.

A tartós napi fagyok száma (12. táblázat) a kényszernyugalmi időszak második felében Miskolc állomás kivételével valamennyi vizsgált állomáson csökkent, mely a 0°C -ot meghaladó, jelentős napi hőingással jellemezhető fagyos napok ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ és $T_{\max} \geq 5^{\circ}\text{C}$; $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ és $T_{\max} \geq 10^{\circ}\text{C}$; $T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$ és $T_{\max} \geq 15^{\circ}\text{C}$) előfordulásának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedésében nyilvánult meg. Különösen erőteljes hőingás volt tapasztalható az ország nyugati országrészében (Keszthely, Szombathely), mely állomásokon a 15°C -ot meghaladó napi hőingás előfordulása is szignifikáns ($p < 0,001$) növekedést mutatott a két vizsgált éghajlati ciklus (1961–1990, 1991–2023) összevetése alapján.

A február hónapban tapasztalt erőteljes hőmérsékletemelkedés a csapadékatatok vizsgálata alapján (13. táblázat) nem járt együtt a csapadékmennyiség megváltozásával. Csupán Pécs és Budapest állomásokon volt megfigyelhető a csapadékos napok ($R > 2\text{ mm}$) számának enyhén szignifikáns ($p < 0,1$) növekvő irányú változása a közelmúltbeli éghajlati ciklusban (1991–2023). A csapadékos napok számának enyhe növekvő irányú változása a csapadékmennyiség relatív változatlanságával a csapadékhullás intenzitásának mérsékelt növekedésére utal.

12. táblázat. *A 0 °C-ot meghaladó, jelentős napi hőingással jellemezhető fagyos napok februári előfordulásának változása (1961–1990, 1991–2023)*

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
PÉCS	Tmin<0 és 10≤Tmax	2,288*	növekvő	4,333	9,063	2,091
	Tmin<0 és 5≤Tmax	2,494*	növekvő	36,667	48,750	1,330
SZEGED	Tmin<0 és 10≤Tmax	5,020***	növekvő	11,667	29,375	2,518
	Tmin<0 és 5≤Tmax	2,604**	növekvő	55,667	70,313	1,263
KESZTHELY	Tmin<0 és 15≤Tmax	3,788***	növekvő	1,000	7,188	7,188
	Tmin<0 és 10≤Tmax	6,884***	növekvő	9,333	34,375	3,683
	Tmin<0 és 5≤Tmax	5,660***	növekvő	49,000	81,250	1,658
TÚRKEVE	Tmin<0 és 10≤Tmax	5,272***	növekvő	7,000	23,125	3,304
	Tmin<0 és 5≤Tmax	3,327***	növekvő	54,333	73,125	1,346
SZOMBATHELY	Tmin<0 és 15≤Tmax	3,455***	növekvő	0,667	5,625	8,438
	Tmin<0 és 10≤Tmax	6,155***	növekvő	10,333	32,500	3,145
	Tmin<0 és 5≤Tmax	5,955***	növekvő	50,333	84,688	1,683
BUDAPEST	Tmin<0 és 10≤Tmax	2,383*	növekvő	1,000	4,063	4,063
DEBRECEN	Tmin<0 és 10≤Tmax	4,118***	növekvő	5,667	16,363	2,923
	Tmin<0 és 5≤Tmax	4,695***	növekvő	40,000	64,688	1,617
SOPRON	Tmin<0 és 10≤Tmax	2,692**	növekvő	6,667	13,438	2,016
NYÍREGYHÁZA	Tmin<0 és 10≤Tmax	2,500*	növekvő	3,333	8,125	2,438

Table 12. Changes in the occurrence of frosty days in February, characterised by significant daily temperature fluctuations above 0 °C (1961–1990, 1991–2023)

13. táblázat. *Csapadékmutatók változása február hónapban (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023)*

Állomás (1)	Indikátor (2)	Időszak (3)	Változás iránya (4)	Merekség (5)	Szórás (6)	Átlag (7)
Pécs	csap. napok száma	1991-2023	növekvő	0,09(+)	2,84	4,88
Budapest	csap. napok száma	1991-2023	növekvő	0,10(+)	2,86	3,63

Table 13. Changes in precipitation indicators in February (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023). (1) Stations, (2) Indicators, (3) Period, (4) Direction of change, (5) Steepness, (6) Standard deviation, (7) Mean

Március

A hőmérsékleti adatok elemzése alapján általánosságban megállapítható (14. táblázat), hogy március hónapban kivétel nélkül, minden vizsgált állomáson, a minimum és a maximum hőmérsékleti értékek esetében egyaránt tapasztalható volt az alacsony hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) csökkenése, és a magas hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése.

14. táblázat. *Hőmérsékleti mutatók változása március hónapban (1961–1990, 1991–2023)*

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
PÉCS	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < -10^{\circ}\text{C}$	2,268*	csökkenő	3,667	0,938	0,256
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < -5^{\circ}\text{C}$	2,818**	csökkenő	15,333	7,813	0,510
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < 5^{\circ}\text{C}$	2,124*	csökkenő	149,667	134,688	0,900
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < 10^{\circ}\text{C}$	3,015**	növekvő	64,333	82,500	1,282
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < -5^{\circ}\text{C}$	2,437*	csökkenő	2,667	0,313	0,117
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 5^{\circ}\text{C}$	4,841***	csökkenő	53,667	30,313	0,565
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 15^{\circ}\text{C}$	3,801***	növekvő	82,667	107,500	1,300
SZEGED	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < -10^{\circ}\text{C}$	2,214*	csökkenő	5,667	2,188	0,386
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < 5^{\circ}\text{C}$	2,725**	csökkenő	139,333	120,313	0,863
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < 10^{\circ}\text{C}$	1,967*	növekvő	49,667	60,313	1,214
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 0^{\circ}\text{C}$	2,658**	csökkenő	10,000	4,375	0,438
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 10^{\circ}\text{C}$	2,129*	csökkenő	78,667	65,938	0,838
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 15^{\circ}\text{C}$	1,989*	növekvő	94,000	107,188	1,140
	$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 20^{\circ}\text{C}$	2,293*	növekvő	65,333	79,063	1,210
KESZTHELY	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < -10^{\circ}\text{C}$	2,814**	csökkenő	4,667	0,937	0,201
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < -5^{\circ}\text{C}$	2,085*	csökkenő	19,333	12,812	0,662
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < -5^{\circ}\text{C}$	2,067*	csökkenő	1,333	0,000	0,000
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 5^{\circ}\text{C}$	4,522***	csökkenő	52,333	79,062	1,511
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 15^{\circ}\text{C}$	2,704**	növekvő	89,667	107,500	1,198
	$20^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}}$	2,311*	növekvő	12,667	20,000	1,579
	TÚRKEVE	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < -10^{\circ}\text{C}$	2,214*	csökkenő	5,667	2,188
$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < 5^{\circ}\text{C}$		3,163**	csökkenő	136,333	114,375	0,839
$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < 10^{\circ}\text{C}$		3,022**	növekvő	42,333	58,125	1,373
$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < 15^{\circ}\text{C}$		2,167*	növekvő	0,000	1,563	1,563
$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 0^{\circ}\text{C}$		2,124*	csökkenő	8,667	4,375	0,505
$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 10^{\circ}\text{C}$		2,244*	csökkenő	88,667	74,688	0,842
$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 20^{\circ}\text{C}$		2,683**	növekvő	59,333	75,000	1,264
SZOMBATHELY	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < 5^{\circ}\text{C}$	2,616**	csökkenő	155,667	137,188	0,881
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{min}} < 10^{\circ}\text{C}$	3,014**	növekvő	41,000	56,563	1,380
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 0^{\circ}\text{C}$	2,735**	csökkenő	10,667	4,688	0,439
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 5^{\circ}\text{C}$	4,895***	csökkenő	56,333	32,188	0,571
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 15^{\circ}\text{C}$	2,801**	növekvő	86,667	105,000	1,212
	$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}} < 20^{\circ}\text{C}$	2,657**	növekvő	52,333	67,188	1,284
	$20^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{max}}$	1,968*	növekvő	11,333	17,188	1,517

A 14. táblázat a következő oldalon folytatódik...

... a 14. táblázat folytatása

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
BUDAPEST	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	2,536*	csökkenő	7,333	2,812	0,383
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,267*	csökkenő	7,667	3,437	0,448
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	3,851***	csökkenő	45,333	27,812	0,613
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$	2,960**	növekvő	93,667	113,437	1,211
DEBRECEN	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	2,058*	csökkenő	140,667	126,250	0,897
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$	2,457*	növekvő	46,000	59,062	1,284
	$-5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$	2,205*	csökkenő	11,000	5,937	0,539
	$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 20^{\circ}\text{C}$	2,380*	növekvő	50,667	63,750	1,258
SOPRON	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	2,892**	csökkenő	16,000	8,125	0,508
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$	3,159**	növekvő	58,667	77,188	1,316
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	5,535***	csökkenő	60,333	32,500	0,539
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$	3,100**	növekvő	83,000	103,125	1,242
	$20^{\circ}\text{C} \leq T_{\max}$	3,151**	növekvő	10,333	20,000	1,935
MISKOLC	$T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$	2,067*	csökkenő	1,333	0,000	0,000
	$-15^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$	2,394*	csökkenő	5,000	1,562	0,312
	$-10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < -5^{\circ}\text{C}$	2,152*	csökkenő	26,667	18,750	0,703
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 15^{\circ}\text{C}$	2,010*	növekvő	0,667	2,812	4,219
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	2,737***	csökkenő	50,667	37,187	0,734
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 10^{\circ}\text{C}$	2,104*	csökkenő	94,667	81,250	0,858
NYÍREGYHÁZA	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$	2,021*	növekvő	95,000	108,437	1,141
	$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 20^{\circ}\text{C}$	2,796**	növekvő	49,333	64,687	1,311
	$5^{\circ}\text{C} \leq T_{\min} < 10^{\circ}\text{C}$	3,142**	növekvő	43,667	60,313	1,381
	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 5^{\circ}\text{C}$	2,833**	csökkenő	53,667	39,375	0,734
	$10^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 15^{\circ}\text{C}$	2,426*	növekvő	89,667	105,625	1,178
	$15^{\circ}\text{C} \leq T_{\max} < 20^{\circ}\text{C}$	2,389*	növekvő	48,333	61,250	1,267

Table 14. Changes in temperature indicators in March (1961–1990, 1991–2023)

A felmelegedés legmarkánsabb jelei az ország nyugati, északnyugati (Keszthely, Szombathely, Sopron) térségében voltak megfigyelhetők. Ezeken az állomásokon szignifikáns ($p < 0,05$) növekedés mutatkozott a 20°C -ot elérő, illetve azt meghaladó maximum hőmérsékletű napok előfordulásában. Kiemelendő továbbá az észak-északkeleti országrészben (Miskolc) tapasztalt hőmérsékletváltozás is, ahol megfigyelhető volt a 10°C -nál nem alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok számának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése, valamint a zord napok ($T_{\min} < -15^{\circ}\text{C}$) előfordulásának szignifikáns ($p < 0,05$) mérséklődése, illetve teljes eltűnése a közelmúltbeli éghajlati ciklusra (1991–2023). A felmelegedés jelei kimutathatók Túrkeve állomáson is, melyet a 10°C -nál nem alacsonyabb minimum hőmérsékletű napok közelmúltbeli éghajlati ciklusra (1991–2023) történő megjelenése és szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése támaszt alá.

A tartós napi fagyok száma (15. táblázat) március hónapban az ország számos térségében csökkent, mely a 0°C -ot meghaladó, jelentős napi hőingással

jellemezhető napok ($T_{\min} < 0$ °C és $T_{\max} \geq 5$ °C; $T_{\min} < 0$ °C és $T_{\max} \geq 10$ °C; $T_{\min} < 0$ °C és $T_{\max} \geq 15$ °C) előfordulásának szignifikáns ($p < 0,05$) növekedésében nyilvánult meg. Különösen erőteljes hőingás volt tapasztalható az ország nyugati országrészében (Keszthely, Szombathely), valamint keleti állomáson (Túrkeve), mely állomásokon a 15 °C-ot meghaladó napi hőingás előfordulása is szignifikáns ($p < 0,01$) növekedést mutatott a két vizsgált éghajlati ciklus (1961–1990, 1991–2023) összevetése alapján. Kivétel azonban az ország északi-északkeleti állomása, Miskolc, ahol a 15 °C-ot meghaladó jelentős napi hőingás előfordulása mérséklődött ($p < 0,01$) a közelmúltbeli éghajlati ciklusra (1991–2023).

15. táblázat. *A 0 °C-ot meghaladó, jelentős napi hőingással jellemezhető fagyos napok márciusi előfordulásának változása (1961–1990, 1991–2023)*

ÁLLOMÁSOK	Indikátorok	Z-érték	Változás iránya a két éghajlati ciklus között	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1961-1990)	Egy évtizedre vetített átlagos előfordulás (nap) (1991-2023)	Változás a két éghajlati ciklus között
PÉCS	$T_{\min} < 0$ és $10 \leq T_{\max}$	2,563*	növekvő	10,000	17,500	1,750
	$T_{\min} < 0$ és $5 \leq T_{\max}$	3,038**	növekvő	37,333	52,500	1,406
SZEGED	$T_{\min} < 0$ és $10 \leq T_{\max}$	3,303***	növekvő	39,333	56,250	1,430
	$T_{\min} < 0$ és $5 \leq T_{\max}$	2,605**	növekvő	76,667	93,125	1,215
KESZTHELY	$T_{\min} < 0$ és $15 \leq T_{\max}$	4,302***	növekvő	7,000	19,375	2,768
	$T_{\min} < 0$ és $10 \leq T_{\max}$	3,685***	növekvő	32,000	49,688	1,553
	$T_{\min} < 0$ és $5 \leq T_{\max}$	2,203*	növekvő	72,333	85,938	1,188
TÚRKEVE	$T_{\min} < 0$ és $15 \leq T_{\max}$	3,485***	növekvő	5,000	13,438	2,688
	$T_{\min} < 0$ és $10 \leq T_{\max}$	3,515***	növekvő	34,333	51,563	1,502
	$T_{\min} < 0$ és $5 \leq T_{\max}$	2,508*	növekvő	82,000	98,125	1,197
SZOMBATHELY	$T_{\min} < 0$ és $15 \leq T_{\max}$	2,989**	növekvő	7,333	15,313	2,088
	$T_{\min} < 0$ és $10 \leq T_{\max}$	4,595***	növekvő	27,333	48,750	1,784
	$T_{\min} < 0$ és $5 \leq T_{\max}$	3,272**	növekvő	62,000	81,563	1,316
BUDAPEST	$T_{\min} < 0$ és $10 \leq T_{\max}$	2,422*	növekvő	1,667	5,313	3,188
DEBRECEN	$T_{\min} < 0$ és $10 \leq T_{\max}$	2,098*	növekvő	28,333	37,500	1,324
MISKOLC	$T_{\min} < 0$ és $15 \leq T_{\max}$	2,687**	csökkenő	12,333	5,938	0,481

Table 15. Changes in the occurrence of frosty days in March, characterised by significant daily temperature fluctuations above 0 °C (1961–1990, 1991–2023)

A március hónapban tapasztalt erőteljes hőmérsékletemelkedés a csapadékatatok vizsgálata alapján (16. táblázat) nem járt együtt a csapadékmennyiség egyértelmű és általános (egész országra jellemző) megváltozásával.

Ugyanakkor az ország északnyugati országrészében (Szombathely, Sopron) – az intenzív felmelegedés mellett – tapasztalható volt a csapadékmennyiség és csapadékos napok számának szignifikáns ($p < 0,05$), valamint enyhén szignifikáns ($p < 0,1$) csökkenő irányú megváltozása. Míg Szombathelyen jellemzően a teljes

vizsgált időszakban (1961–2023), illetve a referenciaidőszakban (1961–1990) volt kimutatható a csapadékmutatók megváltozása, addig Sopron térségében jellemzően a közelmúltbeli éghajlati ciklusban (1991–2023).

16. táblázat. *Csapadékmutatók változása március hónapban (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023)*

Állomás (1)	Indikátor (2)	Időszak (3)	Változás iránya (4)	Mere- dekség (5)	Szórás (6)	Átlag (7)
Pécs	csap. napok száma	1961-1990	csökkenő	-0,08(+)	2,24	5,50
Túrkeve	csap. napok száma	1961-2023	csökkenő	-0,04(+)	2,76	4,35
Szombathely	csap. mennyiség	1961-2023	csökkenő	-0,23(+)	18,76	31,93
Szombathely	csap. napok száma	1961-2023	csökkenő	-0,04(*)	2,36	4,18
Szombathely	csap. mennyiség	1961-1990	csökkenő	-0,62(+)	16,06	34,29
Sopron	csap. mennyiség	1991-2023	csökkenő	-1,12(*)	24,82	38,87
Sopron	csap. napok száma	1991-2023	csökkenő	-0,08(+)	2,17	4,56

Table 16. Changes in precipitation indicators during March (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023). (1) Stations, (2) Indicators, (3) Period, (4) Direction of change, (5) Steepness, (6) Standard deviation, (7) Mean

Mindemellett Pécs és Túrkeve állomásokon a csapadékos napok ($R > 2$ mm) számának enyhén szignifikáns ($p < 0,1$) csökkenő irányú változása volt megfigyelhető, mely jelenség a csapadékmennyiség relatív változatlanságával a csapadékhullás intenzitásának mérsékelt növekedésére utal.

Összefoglalás és következtetések

Tanulmányunk célja annak feltárása volt, hogyan változtak a hőmérsékleti és csapadékjellemzők az elmúlt több mint két éghajlati ciklus (1961–1990, 1991–2023) során a nyugalmi időszakban (november–március). A vizsgálatot Magyarország tíz, térben jól elkülönülő és az ország megközelítőleg egészét reprezentáló mérőállomásainak adatai alapján végeztük, és az általunk meghatározott indikátorok térbeli és időbeli, statisztikailag kimutatható, szignifikáns ($p < 0,05$) változásaira fókuszáltunk.

A hőmérsékleti indikátorok vizsgálatával kapott eredményeink alapján igazolhatóvá vált, hogy a felmelegedés jelei a nyugalmi időszak hónapjaiban – sok esetben a nyugalmi időszak egészében – is tapasztalhatóak, ami nem csupán a téli, fagyos, és zord napok számának mérséklődésében vagy eltűnésében, tehát a nyugalmi időszak hőmérsékletének enyhülésében, hanem a magas, olykor extrém magas hőmérsékleti értékek megjelenésében, illetve gyakoribb előfordulásában is megmutatkozik. Továbbá megállapítható, hogy az egyértelmű, markáns melegedő tendencia – a magas, extrém magas hőmérsékleti értékek egyre gyakoribb megjelenése – alapvetően az általunk vizsgált állomások mindegyikén tapasztalhatóvá vált a nyugalmi időszakban (november-március) a közelmúltbeli éghajlati ciklus során (1991–2023), tehát igazolható, hogy a felmelegedés erőteljes és intenzív jelei nem csupán az ország déli területein mutatkoznak meg, hanem mostanra már Magyarország északi országrészében (Sopron, Miskolc, Nyíregyháza) is.

A hőmérsékleti indikátorok esetében tapasztalt változások felhívják a figyelmet azokra a felmelegedéshez kapcsolódó veszélyekre, melyek kialakulásához immáron Magyarországon is biztosítottak a hőmérsékleti feltételek, vagyis a hideghatás elmaradására, a tavaszi fagykockázat kialakulására, a kártevők és kórokozók áttelelésére, a fagyellenállóság mérséklődésére, valamint a vegetáció korábbi megindulására és ebből fakadó jelentősebb tavaszi fagykockázat esélyére (Cannell & Smih, 1986; Wittmann & Baylis, 2000; Luedeling et al., 2009, 2011; Debela, 2018; Bisbis et al., 2019; Pfleiderer et al., 2019; Holt et al., 2020; Hara et al., 2021; Sabir et al., 2025). Mindezekből fakadó veszélyeket erősíti, hogy a felmelegedés legerőteljesebb jelei alapvetően a kényszernyugalmi időszakban (január és február) voltak tapasztalhatóak, mely időszakban kimaradó fagyhatás többletkockázatot jelent különösen az áttelelő kultúrák (gyümölcsösök) esetében. Továbbá jellegzetes mintázat rajzolódik ki március hónapban a nyugati-, északnyugati országrészben (Keszthely, Szombathely, Sopron), ahol a 20 °C-nál nem alacsonyabb maximum hőmérsékleti értékek ($T_{\max} \geq 20$ °C) előfordulása szignifikánsan ($p < 0,05$) növekedett. Ez a tendencia arra enged következtetni, hogy e térségekben egyre nagyobb az esély a vegetáció korábbi megindulására, ami a tavaszi fagyok esetleges kialakulása miatt fokozott fagykockázatot eredményezhet.

A 0 °C-ot meghaladó, jelentős napi hőingással jellemezhető napok ($T_{\min} < 0$ °C és $T_{\max} \geq 5$ °C; $T_{\min} < 0$ °C és $T_{\max} \geq 10$ °C; $T_{\min} < 0$ °C és $T_{\max} \geq 15$ °C) előfordulásának növekedése a nyugalmi időszak több szakaszában is kimutatható volt. A nyugalmi időszak első felében (november, december) elsősorban az ország keleti és északkeleti térségeiben (Debrecen, Nyíregyháza) jelentkezett szignifikáns ($p < 0,05$) növekedés a 10 °C-nál nem kisebb napi hőingás gyakoriságában. Ezzel szemben a kényszernyugalmi időszakban (január, február) az ország nyugati részén (Keszthely, Szombathely), míg márciusban a nyugati és középső területeken (Keszthely, Szombathely, Túrkeve) volt megfigyelhető markáns, a 10-, illetve 15 °C-nál nem kisebb napi hőingás előfordulásának szignifikáns ($p < 0,05$) emelkedése.

A nyugalmi időszakban bekövetkező jelentős napi hőingás különösen problematikus, hiszen az év ezen időszakában a növényeknek (legyen az gabona- vagy évelőnövény) stabil nyugalmi állapotban kellene lenniük. A december és február között, tehát a mély-, és kényszernyugalmi időszakban kialakuló erőteljes napi hőingás képes gátolni a nyugalmi állapot során történő hidegfelhalmozódást, mely a rügyfakadás, virágzás, vagy akár az érési fenológiai fázis megzavarásához vezethet (Zhang et al., 2021). Wu et al. (2025) tanulmánya szerint a nyugalmi időszak során bekövetkező hideghatás csökkenése közvetlenül okozhatja az érintett növények termésvesztésének 7–12%-át, de Ma et al. (2025) tanulmányukban a szőlőre vonatkozóan azt is megállapítják, hogy az erőteljes napi hőingás képes fizikai stresszt okozni, mely a rügyezési arány 62%-os csökkenését, illetve sejtkárosodást okozhat. Hara et al. (2021) tanulmánya pedig alátámasztja, hogy az őszi vetésű gabonák, mint például az őszi búza a jelentős napi hőingás következtében fagykárt szenvedhet, mely a növény kondíciójának romlásához, vagy akár elpusztulásához vezethet.

Eredményeinkből megállapítható továbbá, hogy térben és időben is nagyfokú bizonytalanság és változékonyság jellemzi a csapadékatatok múltbéli (1961–2023, 1961–1990, 1991–2023) alakulását, mely a csapadékmutatók különböző irányú és eltérő ütemű megváltozásában fejeződik ki. Ugyanakkor az megállapítható, hogy az általunk vizsgált éven belüli időszakban kialakuló hőmérsékletemelkedés alapvetően nem jár együtt a csapadéktöbblet egyértelmű megjelenésével, így a nyugalmi időszakban bekövetkező szárazodással és a vegetációs időszakra kialakuló aszály fokozódásával kell számolnunk (Choi & Kim, 2018; Churchill et al., 2022), mely változás gazdasági

és vízgazdálkodási terhet, valamint kihívást okoz a gazdálkodók számára. Ez alól kivétel január hónap, mely időszak alatt az ország északkeleti részén (Miskolc, Nyíregyháza, Debrecen) a csapadékmennyiség szignifikáns ($p < 0,05$) növekedése volt megfigyelhető. Mindemellett a nyugalmi időszak különböző hónapjaiban és szakaszaiban az ország több pontján (Pécs, Szeged, Keszthely, Túrkeve, Szombathely, Nyíregyháza) enyhe növekedés mutatkozott a csapadékkintenzitásban is.

E megállapítások indokolják, hogy a csapadékadatok feldolgozása a jövőben még szélesebb körben, rövidebb vizsgálati időszavok kijelölésével és új indikátorok bevezetésével történjen meg.

Eredményeink azt jelzik, hogy Magyarországon a nyugalmi időszakban tapasztalt hőmérsékletemelkedés összhangban áll az Európában tapasztalt múltbéli hőmérsékleti trendekkel. Sulikowska & Wypych (2021) kimutatták, hogy a nyugalmi időszakban előforduló rendkívül magas hőmérsékleti értékek gyakorisága jelentősen növekedett, különösen Közép- és Kelet-Európa térségében 1950–2020 közötti vizsgált időszakban. Twardosz et al. (2021) eredményei alátámasztják, hogy Európában az elmúlt 70 év során (1951–2020) jelentős, statisztikailag is igazolható hőmérsékletemelkedés ment végbe, mely változás 1985 óta egyértelmű lineáris növekedést mutatott, és a változás Északkelet-Európában volt a legintenzívebb. Vizsgálataik arra is rámutattak, hogy a legnagyobb hőmérséklet-ingadozás a téli hónapokra volt a leginkább jellemző.

Kutatómunkánk során kapott eredményeink alapján megállapítható, hogy a nyugalmi időszakban kialakuló hőtöbblet és egyértelmű felmelegedés, valamint a tartós napi fagyok hiánya olyan, újfajta kihívásokat teremt az agrárium számára, melyekre a választ tudományterületeken átívelő, holisztikus megoldásokkal kell megtalálni, bevonva az agrotechnológia, vízgazdálkodás, növényvédelem és növénynevelés képviselőit, különös figyelmet fordítva a vegetáció korábbi megindulásából fakadó fagykockázatok kialakulására és az egyértelmű szárazodással járó vízgazdálkodási kihívásokra.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium EKÖP-24-4-1 kódszámú EGYETEMI KUTATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

IRODALOM

- Aalijahan, M., Karataş, A., Lupo, A. R., Efe, B. & Khosravichenar, A. (2023). Analyzing and modeling the spatial-temporal changes and the impact of GLOTI index on precipitation in the Marmara region of Türkiye. *Atmosphere*, 14(3), 489. <https://doi.org/10.3390/atmos14030489>
- Allaga-Zsebeházi, G. (2021). Future temperature and urban heat island changes in Budapest: a comparative study based on the HMS-ALADIN and SURFEX models. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 125(4), 675–692. DOI:10.28974/idojaras.2021.4.7
- Allona, I., Ramos, A., Ibáñez, C., Contreras, A., Casado, R. & Aragoncillo, C. (2008). Molecular control of winter dormancy establishment in trees: a review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 6, 201–210.
- Ashphaq, M., Srivastava, P. K. & Mitra, D. (2025). Advancing climate change Research: Robust methodology for precise mapping of sea level rise using satellite-derived bathymetry and the google Earth Engine API. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 38, 101557. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2025.101557>
- Bán, B., Szépszó, G., Allaga-Zsebeházi, G. & Somot, S. (2021). ALADIN-Climate at the Hungarian Meteorological Service: from the beginnings to the present day's results. *Időjárás/Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 125, 647–673. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2021.4.6>
- Bartholy, J., Pongrácz, R. & Gelybó, G. (2007). Regional climate change expected in Hungary for. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5(1), 1–17.
- Bartholy, J., Pongrácz, R., Pieczka, I. & Torma, C. (2011). *Dynamical downscaling of projected 21st century climate for the Carpathian Basin*. Climate Change-Research and Technology for Adaptation and Mitigation. DOI:10.5772/24707
- Baumann, F. (2018). The systemic challenge of global heating. *International Politics Reviews*, 4(2), 134–144.
- Bellard, C., Bertelsmeier, C., Leadley, P., Thuiller, W. & Courchamp, F. (2012). Impacts of climate change on the future of biodiversity. *Ecology letters*, 15(4), 365–377. DOI:10.1111/j.1461-0248.2011.01736.x
- Biella, R., Shyrokaya, A., Ionita, M., Vignola, R., Sutanto, S., Todorovic, A. & Tallaksen, L. M. (2024). *The 2022 drought needs to be a turning point for European drought risk management*. EGU sphere. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2024-2069>
- Biró, K. & Kovács, E. (2023). *Agro-climatic Analysis for Agricultural Adaptation in Hungary*. Periodica Polytechnica Social and Management Sciences. DOI: 10.3311/ppso.22482
- Bisbis, M. B., Gruda, N. S. & Blanke, M. M. (2019). Securing horticulture in a changing climate – A mini review. *Horticulturae*, 5(3), 56. DOI:10.3390/HORTICULTURAE 5030056

- Boboc, L., Dima, M., Vaideanu, P. & Ionita, M. (2025). Trends and variability of heat waves in Europe and the association with large-scale circulation patterns. *Weather and Climate Extremes*, 100794. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2025.100794>.
- Bradford, J. B., Schlaepfer, D. R., Lauenroth, W. K., Yackulic, C. B., Duniway, M., Hall, S. & Tietjen, B. (2017). Future soil moisture and temperature extremes imply expanding suitability for rainfed agriculture in temperate drylands. *Scientific reports*, 7(1), 12923. DOI:10.1038/s41598-017-13165-x
- Bujdos, A. (2019). Agricultural Irrigation in Hungary, with Special Regards to the Water Levy and Agricultural Water Supply Fee. *Pro Futuro*, 46. DOI:10.26521/profuturo/2019/4/6723
- Campoy, J. A., Ruiz, D. & Egea, J. (2011). Dormancy in temperate fruit trees in a global warming context: a review. *Scientia Horticulturae*, 130(2), 357–372. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.011>
- Cannell, M. G. R. & Smith, R. I. (1986). Climatic warming, spring budburst and forest damage on trees. *Journal of Applied Ecology*, 177–191.
- Choi, W. & Kim, K. Y. (2018). Physical mechanism of spring and early summer drought over North America associated with the boreal warming. *Scientific Reports*, 8(1), 7533. DOI:10.1038/s41598-018-25932-5
- Church, J. A., Monselesan, D., Gregory, J. M. & Marzeion, B. (2013). Evaluating the ability of process based models to project sea-level change. *Environmental Research Letters*, 8(1), 014051. DOI:10.1088/1748-9326/8/1/014051
- Churchill, A. C., Zhang, H., Fuller, K. J., Amiji, B., Anderson, I. C., Barton, C. V. & Power, S. A. (2022). Pastures and climate extremes: impacts of cool season warming and drought on the productivity of key pasture species in a field experiment. *Frontiers in Plant Science*, 13, 836968. doi: 10.3389/fpls.2022.836968.
- Debela, C. & Tola, M. (2018). Effect of elevated CO₂ and temperature on crop-disease interactions under rapid climate change. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 13(1), 1–7. DOI:10.19080/IJESNR.2018.13.555851.
- Deng, G., Zhang, H., Guo, X., Shan, Y., Ying, H., Rihan, W. & Han, Y. (2019). Asymmetric effects of daytime and nighttime warming on boreal forest spring phenology. *Remote Sensing*, 11(14), 1651. <https://doi.org/10.3390/rs11141651>
- Deutscher, J., Hemr, O. & Kupec, P. (2021). A Unique Approach on How to Work Around the Common Uncertainties of Local Field Data in the PERSiST Hydrological Model. *Water*, 13, 1143. <https://doi.org/10.3390/w13091143>
- Dong, B. & Sutton, R. T. (2025). Drivers and mechanisms contributing to excess warming in Europe during recent decades. *Climate and Atmospheric Science*, 8(1), 41. <https://doi.org/10.1038/s41612-025-00930-3>
- Ekele, J. U., Webster, R., Perez de Heredia, F., Lane, K. E., Fadel, A. & Symonds, R. C. (2025). Current impacts of elevated CO₂ on crop nutritional quality: a review using wheat as a case study. *Stress Biology*, 5(1), 34. DOI:10.1007/s44154-025-00217-w

- Erez, A. (2000). *Bud dormancy; phenomenon, problems and solutions in the tropics and subtropics*. [In: Temperate fruit crops in warm climates.] Dordrecht: Springer Netherlands. (pp. 17-48). https://doi.org/10.1007/978-94-017-3215-4_2
- Fadón, E., Fernandez, E., Behn, H. & Luedeling, E. (2020). A conceptual framework for winter dormancy in deciduous trees. *Agronomy*, 10(2), 241. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020241>
- Faust, M., Erez, A., Rowland, L. J., Wang, S. Y. & Norman, H. A. (1997). Bud dormancy in perennial fruit trees: physiological basis for dormancy induction, maintenance and release. *HortScience*, 32(4): 623-629.
- Feehan, C. J., Filbee-Dexter, K., Thomsen, M. S., Wernberg, T. & Miles, T. (2024). Ecosystem damage by increasing tropical cyclones. *Communications Earth & Environment*, 5(1), 674. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01853-2>
- Fernandez, E., Mohajid, H., Fadón, E., Rodrigo, J., Ruiz, D., Egea, J. A. & Luedeling, E. (2023). Climate change impacts on winter chill in Mediterranean temperate fruit orchards. *Regional Environmental Change*, 23(1), 7. <https://doi.org/10.1007/s10113-022-02006-x>
- Forzieri, G., Feyen, L., Rojas, R., Flörke, M., Wimmer, F. & Bianchi, A. (2014). Ensemble projections of future streamflow droughts in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(1), 85-108. doi:10.5194/hess-18-85-2014
- Hara, P., Piekutowska, M. & Niedbata, G. (2021). Selection of independent variables for crop yield prediction using artificial neural network models with remote sensing data. *Land*, 10(6), 609. DOI:10.3390/LAND10060609
- Hirpo, F. H. & Gebeyehu, M. N. (2019). Review on the effects of climate change variability on horticultural productivity. *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 17(4), 130-134. DOI:10.19080/ijesnr.2019.17.555969
- Holt, J. R., Bernaola, L., Britt, K. E., McCullough, C., Roth, M., Wagner, J. & Shorter, P. (2020). Synergisms in science: Climate change and integrated pest management through the lens of communication – 2019 student debates. *Journal of Insect Science*, 20(5), 31. DOI:10.1093/jisesa/ieaa077
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg2_full_report.pdf
- 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, 35-115, <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Juan, Y., Jiang, N., Tian, L., Chen, X., Sun, W. & Chen, L. (2018). Effect of freeze-thaw on a midtemperate soil bacterial community and the correlation network of its members. *BioMed Research International*, 2018(1), 8412429. DOI:10.1155/2018/8412429

- Kapazoglou, A., Tani, E., Papatotiropoulos, V., Letsiou, S., Gerakari, M., Abraham, E. & Bebeli, P. J. (2025). Enhancing abiotic stress resilience in Mediterranean woody perennial fruit crops: Genetic, epigenetic, and microbial molecular perspectives in the face of climate change. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(7), 3160. DOI:10.3390/ijms26073160
- Karjee, S. & Mahapatra, S. (2019). Physiological studies of ornamental bulb dormancy. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci*, 8(4), 2305–2314. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.804.269>
- Khattak, W. A., Abbas, A., Hameed, R., Balooch, S., Jalal, A., Zaman, F., Shafiq M. & Sun, J. (2024). *Climate change induced environmental adversities and their impact on agricultural productivity*. [In: Challenges and Solutions of Climate Impact on Agriculture.] Academic Press. 1–28. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23707-2.00001-5>
- Khoroshaev, D. A., Kurganova, I. N. & Lopes de Gerenyu, V. O. (2023). Heterotrophic soil respiration response to the summer precipitation regime and different depths of snow cover in a temperate continental climate. *Eurasian Soil Science*, 56(11), 1667–1682. DOI:10.31857/s0032180x23600749
- Kim, S. M. & Mendelsohn, R. (2023). Climate change to increase crop failure in US. *Environmental Research Letters*, 18(1), 014014. DOI 10.1088/1748-9326/acac41
- Kis, A., Pongrácz, R., Bartholy, J., Gocic, M., Milanovic, M. & Trajkovic, S. (2020). Multi-scenario and multi-model ensemble of regional climate change projections for the plain areas of the Pannonian Basin. *Időjárás/Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, 124(2). DOI:10.28974/idojaras.2020.2.2
- Kocsis, T. & Anda, A. (2018). Parametric or non-parametric: analysis of rainfall time series at a Hungarian meteorological station. *Időjárás/Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*, DOI:10.28974/idojaras.2018.2.6
- Kossin, J. P., Knapp, K. R., Olander, T. L. & Velden, C. S. (2020). Global increase in major tropical cyclone exceedance probability over the past four decades. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(22), 11975–11980. <https://doi.org/10.1073/pnas.1920849117>
- Kovács, A. & Jakab, A. (2021). Modelling the Impacts of Climate Change on Shallow Groundwater Conditions in Hungary. *Water*, 13(5), 668. DOI:10.3390/W13050668
- Kurpisz, B. & Pawtowski, T. A. (2022). Epigenetic mechanisms of tree responses to climatic changes. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21), 13412. <https://doi.org/10.3390/ijms232113412>
- Lakatos, L., Szóke, F., Szabó, Z., Soltész, M., Szalay, L. & Nyéki, J. (2012). Damages caused by winter frosts, their temporal variation and frequencies in the main fruit growing region of Transdanubia and of the East Tisza regions of Hungary. *International Journal of Horticultural Science*, 18(2), 89–97. DOI:10.31421/ijhs/18/2/1039
- Lakatos, M., Bihari, Z., Izsák, B., Marton, A. & Szentés, O. (2021). Megfigyelt éghajlati változások Magyarországon. *Légekör*, 66(3), 5–11.

- Lakatos, M. & Bokros, K. (2024). A hűtési és fűtési időszakot jellemző éghajlati klímaindexek változása Magyarországon. *Scientia et Securitas*, 4(3), 121–131.
- Lang, G. A., Early, J. D., Martin, G. C. & Darnell, R. L. (1987). Endo-, para-, and ecodormancy: physiological terminology and classification for dormancy research. *Hortic. Sci.* 22, 371–377.
- Luedeling, E. (2012). Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: a review. *Scientia Horticulturae*, 144, 218–229. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.011>
- Luedeling, E., Blanke, M. & Gebauer, J. (2009). Auswirkungen des Klimawandels auf die Verfügbarkeit von Kältewirkung (Chilling) für Obstgehölze in Deutschland. *Erwerbs-obstbau*, 51(3), 81–94. DOI:10.1007/s10341-009-0085-4
- Luedeling, E., Girvetz, E. H., Semenov, M. A. & Brown, P. H. (2011). Climate change affects winter chill for temperate fruit and nut trees. *PLoS one*, 6(5), e20155. DOI:10.1371/journal.pone.0020155
- Ma, Y., Yang, J., Wang, P., Cheng, G. & Sun, Q. (2025). Effects of Temperature Fluctuations on Cabernet Sauvignon Branches and Wine Grape Appellation Yields: An Analysis Based on the Standardized Temperature Adaptation Index. *Plants*, 14(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/plants14121886>
- Matisons, R., Schneck, V., Jansone, D., Bāders, E., Dubra, S., Zeltiņš, P. & Jansons, Ā. (2021). South-eastern Baltic provenances of Scots pine show heritable weather-growth relationships. *Forests*, 12(8), 1101. <https://doi.org/10.3390/f12081101>
- Medda, S., Fadda, A. & Mulas, M. (2022). Influence of climate change on metabolism and biological characteristics in perennial woody fruit crops in the Mediterranean environment. *Horticulturae*, 8(4), 273. DOI:10.3390/horticulturae8040273
- Moser, S., Kearney, N., Michel, F., Valerius, K. & Liechti, K. (2024). Understanding threat appraisal and protective action concerning forest fires in low-exposure regions: an application of the protective action decision model. *Journal of Risk Research*, 27(10), 1248–1272. <https://doi.org/10.1080/13669877.2024.2447256>
- Muir, D., Gunnarsdóttir, M. J., Koziol, K., von Hippel, F. A., Szumińska, D., Ademollo, N., Corsolini, S., De Silva, A., Gabrielsen, G., Kallenborn, R., Polkowska, Z., Krümmel, E. & Vorkamp, K. (2025). Local sources versus long-range transport of organic contaminants in the Arctic: future developments related to climate change. *Environmental Science: Advances*, 4(3), 355–408. <https://doi.org/10.1039/d4va00240g>
- Ni, H., Hu, H., Zohner, C. M., Huang, W., Chen, J., Sun, Y. & Crowther, T. W. (2024). Effects of winter soil warming on crop biomass carbon loss from organic matter degradation. *Nature Communications*, 15(1), 8847. DOI:10.1038/s41467-024-53216-2
- Nolan, C., Overpeck, J. T., Allen, J. R., Anderson, P. M., Betancourt, J. L., Binney, H. A. & Jackson, S. T. (2018). Past and future global transformation of terrestrial ecosystems under climate change. *Science*, 361(6405), 920–923. DOI: 10.1126/science.aan5360

- North, M. G. & Kovaleski, A. P. (2024). Time to budbreak is not enough: cold hardiness evaluation is necessary in dormancy and spring phenology studies. *Annals of Botany*, 133(2), 217–224. doi: 10.1093/aob/mcad182.
- Pfleiderer, P., Menke, I. & Schleussner, C. F. (2019). Increasing risks of apple tree frost damage under climate change. *Climatic Change*, 157(3), 515–525. DOI:10.1007/s10584-019-02570-y
- Rakovec, O., Samaniego, L., Hari, V., Markonis, Y., Moravec, V., Thober, S., Hanel, M. & Kumar, R. (2022). The 2018–2020 MultiYear Drought Sets a New Benchmark in Europe. *Earth's Future*, 10(3), e2021EF002394. <https://doi.org/10.1029/2021EF002394>
- Robinson, A., Lehmann, J., Barriopedro, D., Rahmstorf, S. & Coumou, D. (2021). Increasing heat and rainfall extremes now far outside the historical climate. *NPJ Climate and Atmospheric Science*, 4(1), 45. <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00202-w>
- Romeu, J. F., Monforte, A. J., Sánchez, G., Granell, A., García-Brunton, J., Badenes, M. L. & Ríos, G. (2014). Quantitative trait loci affecting reproductive phenology in peach. *BMC Plant Biology*, 14(1), 52. doi:10.1186/1471-2229-14-52
- Sabir, I. A., Hu, X., Khan, I. & Qin, Y. (2025). Regulatory Mechanisms of Bud Dormancy: Environmental, Hormonal, and Genetic Perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(6), 2517. <https://doi.org/10.3390/ijms26062517>
- Santos, J. A., Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., Dinis, L. T., Correia, C., Moriondo, M., Leolini, L., Dibari, C., Costafreda-Aumedes, S., Kartschall, T., Menz C., Moliter, D., Junk, J., Beyer, M. & Schultz, H. R. (2020). A review of the potential climate change impacts and adaptation options for European viticulture. *Applied Sciences*, 10(9), 3092. <https://doi.org/10.3390/app10093092>
- Schleypen, J. R., Mistry, M. N., Saeed, F. & Dasgupta, S. (2022). Sharing the burden: quantifying climate change spillovers in the European Union under the Paris Agreement. *Spatial Economic Analysis*, 17(1), 67–82. <https://doi.org/10.1080/17421772.2021.1904150>
- Schneider, L., Rebetez, M. & Rasmann, S. (2022). The effect of climate change on invasive crop pests across biomes. *Current Opinion in Insect Science*, 50, 100895. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2022.100895>
- Skendžić, S., Zovko, M., Živković, I. P., Lešić, V. & Lemić, D. (2021). The impact of climate change on agricultural insect pests. *Insects*, 12(5), 440. <https://doi.org/10.3390/insects12050440>
- Somfalvi-Tóth, K., Hoffmann, R., Percze, G. & Jócsák, I. (2023). How have thermal conditions changed in different phenological stages of apple (*Malus domestica*) in Northeastern Hungary? *Acta Agraria Debreceniensis*, 2, 137–142. DOI: 10.34101/actaagrar/2/13162
- Subedi, B., Poudel, A. & Aryal, S. (2023). The impact of climate change on insect pest biology and ecology: Implications for pest management strategies, crop production, and food security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 14, 100733. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100733>

- Stavi, I., Xu, C. & Argaman, E. (2024). Climate-smart forestry in the world's drylands: A review of challenges and opportunities. *The Anthropocene Review*, 11(1), 67–90. <https://doi.org/10.1177/20530196231182354>
- Stigant, C. E., Rajan, T., Barraclough, K. A. & Miller, F. A. (2023). The necessity of environmentally sustainable kidney care. *Canadian Journal of Kidney Health and Disease*, 10. <https://doi.org/10.1177/20543581231166484>
- Sulikowska, A. & Wypych, A. (2021). Seasonal variability of trends in regional hot and warm temperature extremes in Europe. *Atmosphere*, 12(5), 612. <https://doi.org/10.3390/atmos12050612>
- Szalay, L., Timon, B., Németh, S., Papp, J. & Tóth, M. (2010). Hardening and dehardening of peach flower buds. *HortScience*, 45(5), 761–765. DOI:10.21273/HORTSCI.45.5.761
- Tomczyk, A. M., Bednorz, E. & Szyga-Pluta, K. (2021). Changes in air temperature and snow cover in winter in Poland. *Atmosphere*, 12(1), 68. <https://doi.org/10.3390/atmos12010068>
- Trenberth, K. E., Fasullo, J. T. & Shepherd, T. G. (2015). Attribution of climate extreme events. *Nature Climate Change*, 5(8), 725–730. ISSN 1758-678X doi: 10.1038/nclimate2657
- Tsukanova, E. & Tkachev, E. (2019). Altered climate dynamics in the East-European forest-steppe incites fruit plants injury. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 226, 012034. IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/226/1/012034
- Twardosz, R., Walanus, A. & Guzik, I. (2021). Warming in Europe: recent trends in annual and seasonal temperatures. *Pure and Applied Geophysics*, 178(10), 4021–4032. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02860-6>
- URL1: WMO Global Annual to Decadal Climate Update 2025-2029. https://wmo.int/sites/default/files/2025-05/WMO_GADCU_2025-2029_Final.pdf (downloaded: 2025. 06. 04.)
- URL2: WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55°C above pre industrial level. <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level> (downloaded: 2025. 06. 04.)
- Venegas, R. M., Rivas, D. & Treml, E. (2025). Global climate-driven sea surface temperature and chlorophyll dynamics. *Marine Environmental Research*, 204, 106856. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2024.106856>
- WHO (2023). Climate change <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- Wittmann, E. J. & Baylis, M. (2000). Climate change: effects on Culicoides-transmitted viruses and implications for the UK. *The Veterinary Journal*, 160(2), 107–117. DOI:10.1053/TVJL.2000.0470
- Wu, S., Zikalala, P. G., Alba, S., Jarvis-Shean, K. S., Kisekka, I., Segaran, M. & Monier, E. (2025). Advancing the modeling of future climate and innovation impacts on perennial crops to support adaptation: A case study of California almonds. *Earth's Future*, 13(4), e2024EF005033. <https://doi.org/10.1029/2024EF005033>

- Xu, R., Yu, P., Abramson, M. J., Johnston, F. H., Samet, J. M., Bell, M. L. & Guo, Y. (2020). Wildfires, global climate change, and human health. *New England Journal of Medicine*, 383(22), 2173–2181. <https://doi.org/10.1056/NEJMs2028985>.
- Young, E. & Werner, D. J. (1984). Effects of rootstock and scion chilling during rest on resumption of growth in apple and peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 109(4), 548–551.
- Young, E. (1987). Effects of 6-BA, GA4+ 7, and IBA on growth resumption of chilled apple roots and shoots. *HortScience*, 22(2), 212–213. DOI: 10.21273/HORTSCI.22.2.212
- Zanini, E. & Freppaz, M. (2006). Influence of snow cover distribution on soil temperature and nutrient dynamics in alpine pedoenvironments. *Italian Journal of Agronomy*, 1(s3), 577–586. DOI:10.4081/ija.2006.s3.577
- Zhai, P., Pörtner, H. O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., Pirani, A. & Waterfield, T. (2018). *Global Warming of 1.5 C*. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty, 32.
- Zhang, N., Pathak, T. B., Parker, L. E. & Ostoja, S. M. (2021). Impacts of large-scale teleconnection indices on chill accumulation for specialty crops in California. *Science of the Total Environment*, 791, 148025. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148025>

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Füzi Tamás
SZE Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar
Alkalmazott Fenntarthatóság Tanszék,
Győr
Egyetem tér 1.
H-9026
fuzi.tamas@sze.hu

Dr. Wellmann Barna
SZE Deák Ferenc Állam- és Jogtudományi Kar
Munkajogi és Szociális Jogi Tanszék,
Győr
Áldozat u. 12.
H-9026

Dr. Ladányi Márta
MATE
Matematika és Természettudományi Alapok Intézet
Alkalmazott Statisztika Tanszék
Budapest
Villányi út 29-43.
H-1118

