



A Kárpátok éghajlati múltja és jövője: változások 1951 és 2100 között

Fritz Petra, Kis Anna

I HungaroMet Nonprofit Zrt, fritz.p@methu

DOI:10.56474/legkor.2025.3.3

A tanulmány célja a Kárpátok térségében 1951 és 2100 között végbemenő éghajlatváltozás elemzése. A múltban a hőmérséklet emelkedését detektálhattuk minden hónapban, a csapadék esetén pedig ősszel tapasztalhattunk nagyobb mértékű növekedést. A jövőre vonatkozóan három regionális klímamodell (HadGEM-RACMO22E, MPI-REMO2009-r1, IPSL-RCA4) szimulációja alapján vizsgáltuk a hőmérséklet- és csapadékváltozásokat két forgatókönyv (RCP4.5 és RCP8.5) esetén. Az eredmények szerint a hőmérséklet minden hónapban emelkedni fog, a legnagyobb változások télen és nyáron várhatók. A csapadék alakulása térben és időben erősen változó: télen jellemzően növekedés, nyáron csökkenés valószínűsíthető.

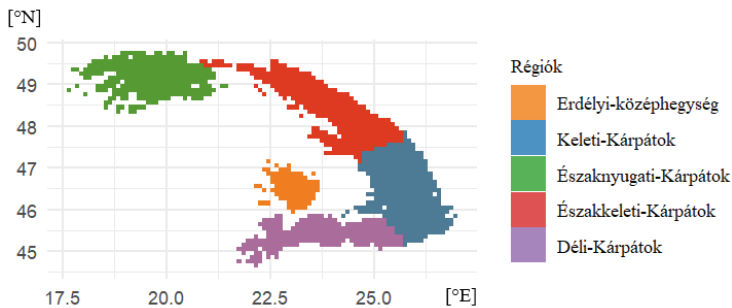
The past and the future of the Carpathians' climate: changes between 1951 and 2100

The aim of this study was to analyse climate change in the Carpathian Mountains between 1951 and 2100. Temperature increased in every month in the recent decades, while in the case of precipitation a greater increase occurred in autumn. Projected future changes of temperature and precipitation were also analysed, using three regional climate model simulations (HadGEM-RACMO22E, MPI-REMO2009-r1, IPSL-RCA4) under two different scenarios (RCP4.5 and RCP8.5). The results show a consistent temperature increase in all months, with the most pronounced changes projected for winter and summer. Precipitation patterns show strong spatial and temporal variability: winter is generally expected to become wetter, while summer may become drier.

A hegyvidéki területek különösen érzékenyek a felmelegedésre (Hock *et al.*, 2019; IPCC, 2021), hiszen az élőlények mozgástere függőleges irányban korlátozott, így a magasságfüggő élőhelyek fokozatos eltűnésével sok faj számára megszűnik az alkalmazkodás lehetősége. Emellett a változatos domborzat következtében a hótakaró, jég és permafroszt gyorsabban és érzékenyebben reagál a hőmérséklet-változásokra,

mint a síkvidéki térségeken. Tanulmányok szerint a hegyvidéki felmelegedés magasságfüggő, de ez nem minden esetben jelenti azt, hogy a hegyvidéki területek felmelegedése gyorsabb a síkvidékekhez képest, inkább arra utal, hogy rendszerszintű különbség következik be a felmelegedés mértékében a magasság emelkedésével (Pepin *et al.*, 2022).

Kutatásunk során a Kárpátokat érintő globális felmelegedés okozta változásokat vizsgáltuk. A Kárpátok Európa leghosszabb hegyvonulata, mely Közép-Európában húzódik, az Alpoktól a Balkán-hegységig, nyolc ország területét érintve, mintegy 1500 km-en keresztül. Az Eurázsiai-hegységrendszer tagjaként, az újidő harmadidőszakában gyűrődött fel. A hegység nagyrészt közrezárja a Kárpát-medencét (Futó, 1979). A magyar szakirodalom alapján négy fő részre tagolhatjuk a hegyláncot az eltérő szerkezeti, éghajlati és vízrajzi tulajdonságai alapján: Északnyugati-, Északkeleti-, Keleti- és Déli-Kárpátok (1. ábra). A Kárpátok részét képezi továbbá az Erdélyi-középhegység, amit a jelen tanulmányban külön nem vizsgáltunk. Az Északnyugati-Kárpátok a hegység legszélesebb része, melynek külső kristályos vonulatát jég által formált képződmények gazdagítják, és a gleccservájta völgyeket tengerszemek díszítik. Az Északkeleti-Kárpátok a legkeskenyebb része a hegységnek, központja igen csapadékos. Itt található például a Máramarosi-havasok, ami a egység legcsapadékosabb része. A Keleti-Kárpátok szabályosnak tekinthető vonulata ismét szélesebb, de az Északnyugati-Kárpátok szélességét nem éri el. A Déli-Kárpátok a legkevésbé tagolt része a hegységrendszernek; itt a legnagyobb az átlagmagasság, a hegycsúcsok legtöbbször 2000 m fölé magasodik (Balogh et al., 1975).



1. ábra. A Kárpátok alrégiói.

Fontos még megemlíteni, hogy a régió kiemelkedő a biológiai sokféleség szempontjából is, ami főként a nagy geodiverzitásnak köszönhető, illetve annak, hogy az elmúlt évszázadok során változott az éghajlat. Európa legnagyobb farkas és barnamedve populációi fedezhetők fel ezeken a területeken, illetve itt találhatók Nyugat- és Közép-Európa legnagyobb, érintetlen erdősegei is, számos endemikus fajnak (pl. zerge, vad-disznó, gímszarvas, eurázsiai hiúz) élőhelyként szolgálva (Gurung et al., 2009).

Adatok és módszertan

A kutatás keretében két múltbeli, 30 éves időszakra (1951–1980 és 1991–2020), valamint a jövőre (2071–2100) vonatkozó hőmérsékleti és csapadékviszonyokat vizsgáltuk. A múltbeli és jövőbeli változások számításához a szabadon felhasználható, Közép-Európa térségét lefedő FORESEE adatbázist használtuk (Dobor et al., 2014; Kern et al., 2024). A megfigyelt és projektált napi adatok az 1951–2100 közötti időszakra érhetők el, $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ -os rácson. 2023-ig megfigyelések alapján tartalmaz adatokat, a jövőre vonatkozóan pedig hibakorrigált regionális klímamodell-szimulációk alapján, melyek két szcenáriót használnak (RCP4.5 és RCP8.5; van Vuuren et al., 2011). A jelenlegi kutatásban a FORESEE adatbázis v4.2-es verzióját használtuk fel a múltbeli adatok feldolgozásához és a v4.0-s verziót a klímamodell-szimulációk elemzéséhez. A FORESEE múltira vonatkozó adatai az E-OBS adatbázisra (Cornes et al., 2018) épülnek, a jövőbeli projekciók pedig az EURO-CORDEX program (Jacob et al., 2014) keretében készült regionális klímamodell-szimulációkon alapulnak. A jövőbeli éghajlati viszonyok elemzéséhez a FORESEE adatbázis 14 hibakorrigált regionális klímamodell szimulációja közül hármat választottunk ki: a HadGEM2-RACMO22E (GCM: MOHC-HadGEM2-ES, RCM: KNMI-RACMO22E), az MPI-REMO2009-r1 (GCM: MPI-M-MPI-ESM-LR, RCM: MPI-CSC-REMO2009), valamint az IPSL-RCA4 (GCM: IPSL-IPSL-CM5A-MR, RCM: SMHI-RCA4) szimulációit, szakirodalmi értékelések alapján.

A jelen kutatás célterületét a következők szerint határoztuk meg, a szakirodalom figyelembevételével: lehatároltuk a hegységet lefedő téglalapot (é.sz. $43,1^\circ$; é.sz. $51,0^\circ$; k.h. $15,9^\circ$; k.h. $28,3^\circ$), majd figyelembe vettük a domborzatot, és az 500 m feletti pontokat válogattuk le. Így módon egy maszkot készítettünk a Kárpátok területére, amelynek segítségével a letöltött meteorológiai adatfájlokból lehatároltuk a célterületet.

Az elmúlt évtizedekben történt változások vizsgálatához az 1951–1980-as és az 1991–2020-as időszakot választottuk. Az átlagos hőmérsékleteket és csapadékösszegeket havi bontásban számítottuk ki a két 30 éves periódusra vonatkozóan, majd az átlagos értékeket, az éven belüli eloszlást, valamint a két tanulmányozott időszak különbségeit vizsgáltuk.

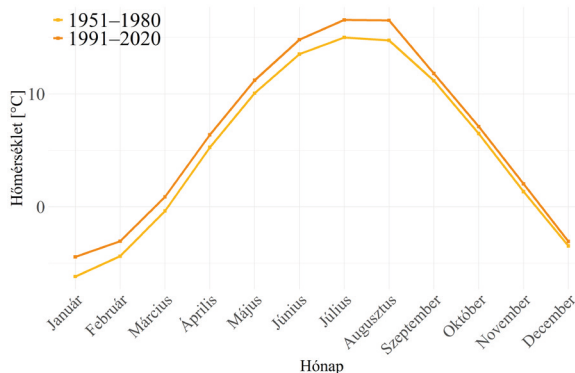
A jövőre vonatkozó vizsgálataink során a 2071–2100-as időszakot hasonlítottuk össze az 1991–2020-as referencia-időszakokkal. Az elemzés két kulcsfontosságú éghajlati paraméter – az átlaghőmérséklet és a csapadékmennyiség – várható alakulására fókuszált, a három

kiválasztott klímamodell-szimuláció alapján, két különböző scenárió (RCP4.5 és RCP8.5) esetén. Szignifikancia-vizsgálatot is végeztünk annak érdekében, hogy statisztikai szempontból is értékelhető legyen a jövőben várható változás. Ennek során a nemparaméteres Mann–Whitney-próba (MacFarland és Yates, 2016) került alkalmazásra, amely lehetővé teszi két független minta – jelen esetben a referencia-időszak (1991–2020) és a jövőbeli periódus (2071–2100) – mediánjainak összehasonlítását. A próba azt vizsgálja, hogy statisztikai szempontból szignifikáns különbség mutatható-e ki a két időszakra vonatkozó meteorológiai változók középértékei között.

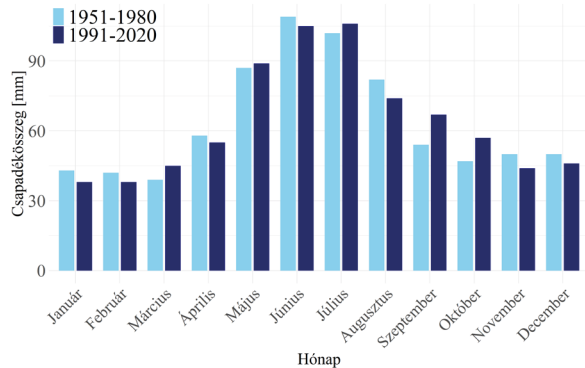
Eredmények

A múltban detektált változások

A hőmérséklet alakulását a mérsékelt övi kontinentális jelleg határozza meg, hideg telekkel és hűvösebb vagy meleg nyarakkal (Torma, 2019). A havi átlaghőmérsékleteket tekintve (2. ábra) az év minden hónapjában melegedés volt tapasztalható az 1951–1980-as és az 1991–2020-as időszakok között, különösen januárban, júliusban és augusztusban (rendre 1,7 °C; 1,5 °C; és 1,8 °C). A melegedés mértéke decemberben volt a legkisebb (0,4 °C). A görbe alakja nem változott jelentősen, de az egész éves hőmérséklet-profil megemelkedett, ami a globális felmelegedés regionális megnyilvánulására utal. A melegedés a hegység minden alrégiójában kimutatható, de legerősebben (2,2 °C augusztusban) az Északnyugati-Kárpátokban volt észlelhető. A változás mértéke szeptember és december között kisebbnek adódott, és a régiók közül a Keleti-Kárpátokban volt a legalacsonyabb (0,1–0,2 °C).



2. ábra. A havi átlaghőmérséklet [°C] a vizsgált két 30 éves időszakban a Kárpátok területén a FORESEE adatbázis alapján.

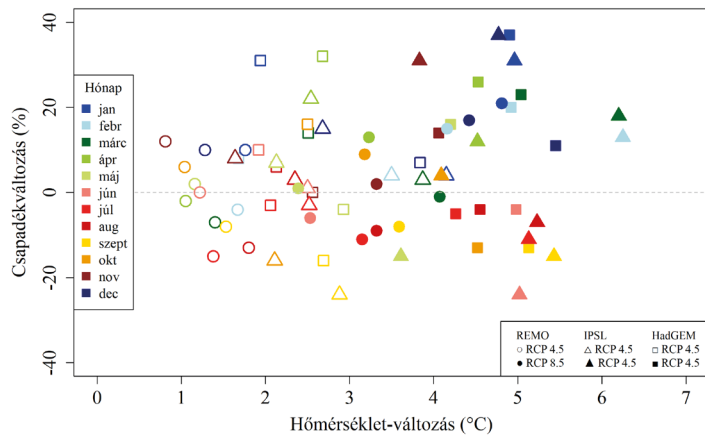


3. ábra. A havi átlagos csapadékmennyiség [mm] a vizsgált két 30 éves időszakban a Kárpátok területén a FORESEE adatbázis alapján.

A 3. ábra a havi csapadékösszegek átlagait hasonlítja össze a két vizsgált időszakra vonatkozóan. A csapadékeloszlás jellegzetesen nyári maximumot (június–július: 102–109 mm/hónap) és téli minimumot (december–január: 43–50 mm/hónap) mutat az 1951–1980-as periódusban. Korábbi kutatások is igazolták, hogy a hegységben nyáron jellemző a csapadékmáximum és télen a csapadékminimum (Torma, 2019). A csapadék szezonális nem változott jelentősen az 1991–2020-as időszakra, ugyanakkor több hónapban is csapadéknövekedés (kb. 10–50%) figyelhető meg (különösen szeptemberben és októberben), míg pl. augusztusban a csapadék jelentősebb csökkenése (15–20%) volt tapasztalható. A különböző régiók vizsgálata alapján a nyári csapadékmáximumok általánosságban enyhe csökkenést mutattak, a Keleti-Kárpátok kivételével. Az őszi hónapokban – különösen szeptemberben-októberben – több térségben is csapadéknövekedés volt megfigyelhető, de a Keleti- és a Déli-Kárpátokban novemberben kb. 20–35%-os csökkenés lépett fel. Az év első két hónapjában az Északnyugati- és Északkeleti-Kárpátokban több csapadék hullott az 1991–2020-as időszakban 1951–1980-hoz képest, míg a másik két alrégióban csökkenést figyelhetünk meg. Márciusban és áprilisban nem következett be jelentős változás a két időszak között, májusban pedig ellentétes előjelű volt a csapadékváltozás iránya az északabbra (növekedés), illetve délebbre fekvő (csökkenés) alrégiók között.

A jövőben várható változások

A 4. ábra a 2071–2100-as időszakra várható havi hőmérséklet- és csapadékváltozásokat mutatja be a három klímamodell szimulációja alapján, két különböző forgatókönyv (RCP4.5 és RCP8.5) szerint,



4. ábra. A 2071–2100-as időszakra várható havi hőmérséklet- és csapadékváltozás a Kárpátokban, a három klímamodell-szimuláció alapján, két forgatókönyv szerint (referencia-időszak: 1991–2020).

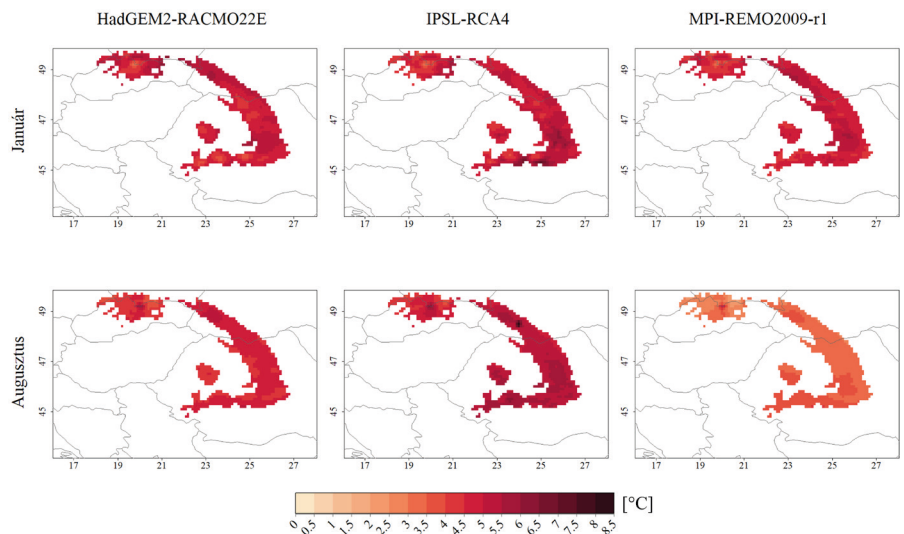
az 1991–2020-as referencia-időszakhoz képest. A hónapok különböző színekkel, a modellek és forgatókönyvek pedig különböző szimbólumokkal vannak kódolva.

A hőmérsékletnövekedés minden hónap, szimuláció és forgatókönyv esetében megfigyelhető, de a két forgatókönyv alapján kapott eredmények jól elkülöníthetők egymástól. A hőmérséklet emelkedése a legtöbb esetben 2–5 °C között változik, de az RCP8.5 scenárió esetén jellemzően magasabb, akár 5–6 °C-os növekedés is előfordulhat. A csapadékváltozás iránya és mértéke évszakonként és modellszimulációk szerint is jelentősen eltér. A nyári hónapokban nagyrészt csökkenő csapadékokat mutatnak az eredmények, akár 20% körüli értékekkel, főleg az RCP8.5 esetén. A téli hónapokban ugyanakkor a csapadékmennyiség növekedését láthatjuk; jellemzően 10–35% közötti a becslült változások mértéke.

Az MPI-REMO2009-r1 modellszimuláció az RCP4.5 scenárió alapján (üres körök) általában kisebb hőmérsékletváltozást valószínűsít, míg az IPSL-RCA4 és HadGEM-RACMO22E modellek az RCP8.5 scenárió mellett (kitöltött háromszögek és négyzetek) gyakran mutatnak kiugróan magas várható hőmérséklet-emelkedést. Az RCP8.5 forgatókönyv

szerint az IPSL-RCA4 modellszimuláció alapján a legnagyobb (> 5 °C) hőmérséklet-változások februárban, márciusban, valamint a nyári hónapokban várhatók. A HadGEM-RACMO22E modell esetében ezzel szemben a legtöbb hónapra jellemző, hogy a melegedés mértéke megközelíti (vagy egyes esetekben akár meghaladja) az 5 °C-ot a pesszimista scenárió szerint.

A szignifikancia-vizsgálat eredményei alapján az év mind a 12 hónapjában szignifikáns hőmérséklet-emelkedés várható valamennyi vizsgált modellszimuláció és scenárió esetén. Egyedül az MPI-REMO2009-r1 modellszimuláció novemberi értékeinél nem mutatkozott statisztikailag szignifikáns eltérés a múltbeli és a jövőben várható értékek között, az RCP4.5 scenárió esetében. A csapadékszimulációkat tekintve nagyobb a bizonytalanság, így a jövőre becslült változások csak néhány esetben bizonyultak szignifikánsnak. Nevezetesen, januárban mindhárom klímamodell-szimuláció szerint a csapadék szignifikáns növekedése valószínűsíthető az RCP8.5 esetén, sőt, a HadGEM2-RACMO22E alapján az RCP4.5 figyelembevételével is. Ugyanakkor a HadGEM2-RACMO22E alapján áprilisban is szignifikáns növekedés várható mindkét scenárió szerint, míg az MPI-REMO2009-r1 modellszimuláció februárra, az IPSL-RCA4 pedig novemberre és decemberre mutat szignifikáns változást az RCP8.5 esetén. Szignifikáns csökkenés csupán egyetlen esetben adódott: az IPSL-RCA4 szimulációja alapján, szeptemberben, az RCP4.5-ös forgatókönyvet tekintve.



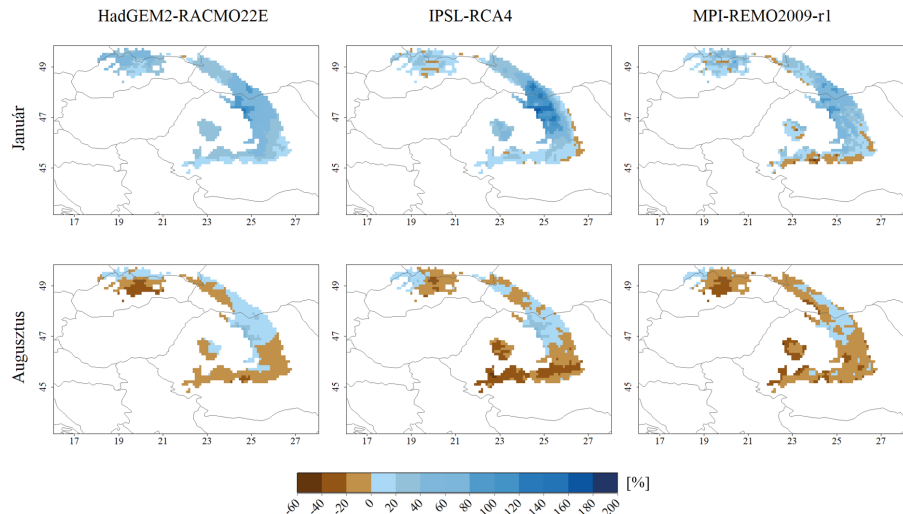
5. ábra. A januári és augusztusi középhőmérséklet-változás [°C] alakulása a 2071–2100-as időszakra (az 1991–2020-as referencia-időszakhoz képest) a három klímamodell-szimuláció alapján, az RCP8.5 forgatókönyv szerint.

Az 5. ábra a jövőben várható januári és augusztusi hőmérsékletváltozás területi eloszlását mutatja be az RCP8.5 forgatókönyv alapján az egyes klímamodell-szimulációk szerint, szemléltetve, hogy a Kárpátok különböző részeit milyen mértékben érintheti a felmelegedés. Januárban a valószínűsíthető hőmérséklet-emelkedés mértéke nagy területen meghaladja a 4–5 °C-ot, azonban például az Északnyugati-Kárpátok középső részén ez kevesebb (3–3,5 °C), valamint az Északkeleti-Kárpátok belső területein is mérsékeltebb a melegedés a többi területhez képest (3,5–4 °C). Augusztusra vonatkozóan a három modellszimuláció az előzőnél kisebb mértékű, helyenként csak mérsékelten megjelenő hőmérséklet-emelkedést valószínűsít a Kárpátok térségében. Az MPI-REMO2009-r1 modell alapján a változás nagy része 2–3,5 °C közötti, míg a HadGEM2-RACMO22E és az IPSL-RCA4 modellek eredményei lokálisan +4–5 °C-ot is meghaladó értékeket mutatnak, főként az Északkeleti- és Keleti-Kárpátok egyes részein. A modellszimulációk közötti eltérések augusztus esetében jelentősebbek, mint januárban.

A 6. ábrán látható, hogy a csapadékmennyiség jövőbeli várható változása hogyan jelenik meg a Kárpátok egészét tekintve január, illetve augusztus hónapban az RCP8.5 scenárió esetén. Míg a HadGEM2-RACMO22E alapján januárban a hegység teljes területén csapadéknövekedés figyelhető meg, az IPSL-RCA4 és az MPI-REMO2009-r1 alapján több területen is csapadékcsökkenés várható. Az északnyugati és déli területeken ez 50–25%-os változást is jelenthet. Augusztusban mindhárom modellszimuláció egyöntetűen a csapadékmennyiség kiterjedt csökkenését projektálja, különösen az Északnyugati- és Déli-Kárpátok, valamint az Erdélyi-középhegység egyes területein, ahol helyenként elérheti a 50–30% közötti értékeket.

Összefoglalás

Összefoglalásként elmondhatjuk, hogy a Kárpátokban várható éghajlati változások negatív következményekkel járhatnak, a térség a 21. század során komoly



6. ábra. A januári és augusztusi csapadékmennyiség-változás [%] alakulása a 2071–2100-as időszakra (az 1991–2020-as referencia-időszakhoz képest) a három klímamodell-szimuláció alapján, az RCP8.5 forgatókönyv szerint.

kihívásokkal nézhet szembe, a hőmérséklet-emelkedés, a csapadékeloszlás átrendeződése és az ezekhez kapcsolódó természeti és társadalmi hatások miatt.

Az eredmények alapján a térség egészét tekintve egyértelmű melegedés figyelhető meg. Az 1991–2020 közötti időszakban – az 1951–1980-as periódushoz képest – januártól márciusig, illetve júniustól augusztusig átlagosan 1,5–2 °C-kal magasabb havi középhőmérsékleteket detektálhattunk. Az alrégiókat is figyelembe véve a legnagyobb mértékű melegedés (2,2 °C) augusztusban jelentkezett az Északnyugati-Kárpátokban, míg a szeptembertől decemberig tartó időszakban minimális változás következett be a Keleti-Kárpátokban. A csapadékvizonyok tekintetében térben és időben változó tendenciák figyelhetők meg: a nyári maximumok enyhén csökkentek, míg az őszi hónapokban – különösen szeptemberben és októberben – több régióban is csapadéknövekedés volt tapasztalható.

A klímamodell-szimulációk alapján a Kárpátokban egyértelmű melegedés várható a 2071–2100-as időszakra, amelynek mértéke scenáriófüggő: az RCP4.5 esetén 2–3 °C körüli, míg az RCP8.5 esetén akár 5–6 °C-ot is elérhet egy-egy hónapban. A hőmérsékletemelkedés egy eset kivételével statisztikailag szignifikánsnak bizonyult. A csapadékprojekciók eredményei már nagyobb bizonytalanságot mutattak, azonban kirajzolódott néhány szezonális mintázat: télen általánosan csapadéknövekedés valószínűsíthető (ami az RCP8.5 esetén januárban szignifikánsnak bizonyult mindhárom szimuláció szerint), nyáron viszont a modellek nagyrészt csökkenést jeleztek.

A télen várható melegebb és csapadékosabb viszonyok következtében a havazás arányaiban csökkenhet, így az esőzések gyakoribbá válhatnak. Ez a változás hatással lehet az árhullámok kialakulásának idejére és esetlegesen az árvizek gyakoriságára is. Nyáron ugyanakkor a melegedéshez csökkenő csapadékmennyiség társul a szimulációk szerint, ami fokozza az aszály kockázatát – ez különösen érzékenyen érintheti a természetes vegetációt és az ökoszisztémák vízellátottságát. Ezen potenciális hatások megismeréséhez és az esetleges alkalmazkodási stratégiák kidolgozásához további, részletesebb vizsgálatok, hatástanulmányok szükségesek.

Irodalomjegyzék

- Balogh, B.A., Bencze, I., Benedek, E., Bora, Gy., Dudás, Gy., Enyedi, Gy., Jakucs, P., Katona, S., Lettrich, E., Miklós, Gy., Pécsi, M., Sárvalyi, B., Szegedi, N., Székely, A., Szilárd, J., and V. Tajti, E., 1975: Európa koszorúja: a Kárpátok. In: Európa. Gondolat Kiadó, Budapest. pp. 260–277.
- Cornes, R., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M., and Jones, P.D., 2018: An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets. *JGR Atmospheres*, 123 (17), 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
- Dobor, L., Barcza, Z., Hlásny, T., Havasi, Á., Horváth, F., Itzész, P., and Bartholy, J., 2014: Bridging the gap between climate models and impact studies: The FORESEE Database. *Geoscience Data Journal*, 2, 1–11. <https://doi.org/10.1002/gdj3.22>
- Futó, J., 1979: A Kárpátok. In: Kontinensek földrajza I. Tanácskönyvkiadó, Budapest. pp. 193–202.
- Gurung, A.B., Bokwa, A., Chelmeicki, W., Elbakidze, M., Hirschmugl, M., Hostert, P., Ibsch, P., Kozak, J., Kuemmerle, T., Matei, E., Ostapowicz, K., Pociask-Karteczka, J., Schmidt, L., van der Linden, S., and Zebisch, M., 2009: Global Change Research in the Carpathian Mountain Region. *Mountain Research and Development*, 29 (3), 282–288. <https://doi.org/10.1659/mrd.1105>
- Hock, R., Rasul, G., Adler, C., Cáceres, B., Gruber, S., Hirabayashi, Y., Jackson, M., Kääb, A., Kang, S., Kutuzov, S., Milner, A., Molau, U., Morin, S., Orlove, B., and Steltzer, H., 2019: High Mountain Areas. In: *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 131–202. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.004>
- IPCC, 2021: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J. B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O.B., Bouwer, L.M., Braun, A., Colette, A., Déqué, M., Georgievski, G., Georgopoulou, E., Gobiet, A., Menut, L., Nikulin, G., Haensler, A., Hempelmann, N., Jones, C., Keuler, K., Kovats, S., Kröner, N., Kotlarski, S., Kriegsmann, A., Martin, E., van Meijgaard, E., Moseley, C., Pfeifer, S., Preuschmann, S., Radermacher, C., Radtke, K., Rechid, D., Rounsevell, M., Samuelsson, P., Somot, S., Soussana, J.-F., Teichmann, C., Valentini, R., Vautard, R., Weber, B., and You, P., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Kern, A., Dobor, L., Hollós, R., Marjanovic, H., Torma, Cs.Zs., Kis, A., Fodor, N., and Barcza, Z., 2024: Seamlessly combined historical and projected daily meteorological datasets for impact studies in Central Europe: The FORESEE v4.0 and the FORESEE-HUN v1.0. *Climate Services*, 33, 100443. <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2023.100443>
- MacFarland, T.W., Yates, J.M., 2016: Mann–Whitney U Test. In: *Introduction to Nonparametric Statistics for the Biological Sciences Using R*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30634-6_4
- Pepin, N.C., Arnone, E., Gobiet, A., Haslinger, K., Kotlarski, S., Notarnicola, C., Palazzi, E., Seibert, S., Schöner, W., Terzago, S., Thornton, J.M., Vuille, M., and Adler, C., 2022: Climate Changes and Their Elevational Patterns in the Mountains of the World. *Reviews of Geophysics*, 60, e2020RG000730. <https://doi.org/10.1029/2020RG000730>
- Torma, Cs.Zs., 2019: Detailed validation of EURO-CORDEX and Med-CORDEX regional climate model ensembles over the Carpathian Region. *Időjárás*, 123 (2), 217–240. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2019.2>
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J.A., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A.M., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.-F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., and Rose, S., 2011: The Representative Concentration Pathways: An Overview. *Climatic Change*, 109, 5–31. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>