



Hőmérsékleti extrémumok Európában várható alakulásának elemzése az Éghajlatváltzási Kormányközi Testület Interaktív Atlasza alapján

Divinszki Ferenc, Kis Anna, Pongrácz Rita

ELTE Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földrajz- és Földtudományi Intézet, Meteorológiai Tanszék, difeco01@gmail.com

DOI:10.56474/legkor.2024.1.4

Az ENSZ Éghajlatváltzási Kormányközi Testülete (IPCC) 2021–22-ben publikálta a klímaváltozással kapcsolatos 6. Értékelő jelentését. Ennek részeként elérhetővé vált az adatsorokat, scenáriókat egy helyen összegyűjtő Interaktív Atlasz is. Ennek segítségével cikkünkben a három európai IPCC-nagyrégióban hőmérsékleti extrémumok jövőben várható gyakoriságát vizsgáltuk. Az összehasonlított scenáriók és területek közül a forró napok számában a legnagyobb növekedést az RCP8.5 és a Mediterrán nagyrégió esetén kaptuk (átlagosan 29 nap a 2081–2100 időszakra az 1986–2005 referencia-időszakhoz képest). Összességében a kisebb sugárzási kényszer változások esetén, illetve az Észak-Európa nagyrégióban várhatók kisebb mértékű gyakoriság-növekedések, sőt, itt az RCP2.6 scenárió szerint nem is várható változás a 35 °C-ot meghaladó maximumhőmérsékletű napok évi számában.

The analysis of projected changes in temperature extremes across Europe based on the IPCC Interactive Atlas

The United Nations' Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) recently published its Sixth Assessment Report (AR6) in 2021–22. As an important part of AR6, an Interactive Atlas was provided, which collects the available datasets and scenarios used in climate research. We studied the projected changes in the frequency of temperature extremes in the IPCC WGI reference regions using this Atlas. The greatest increase in the frequency of temperature extremes is expected in the Mediterranean Region, following the RCP8.5 scenario (29 days on average in the annual number of very hot days by 2081–2100 compared to 1986–2005). In general, smaller increases are implied by the lower radiative forcing changes, and in the Northern Europe Region, namely, no changes are projected in the annual number of days with a maximum temperature exceeding 35 °C in the case of RCP2.6.

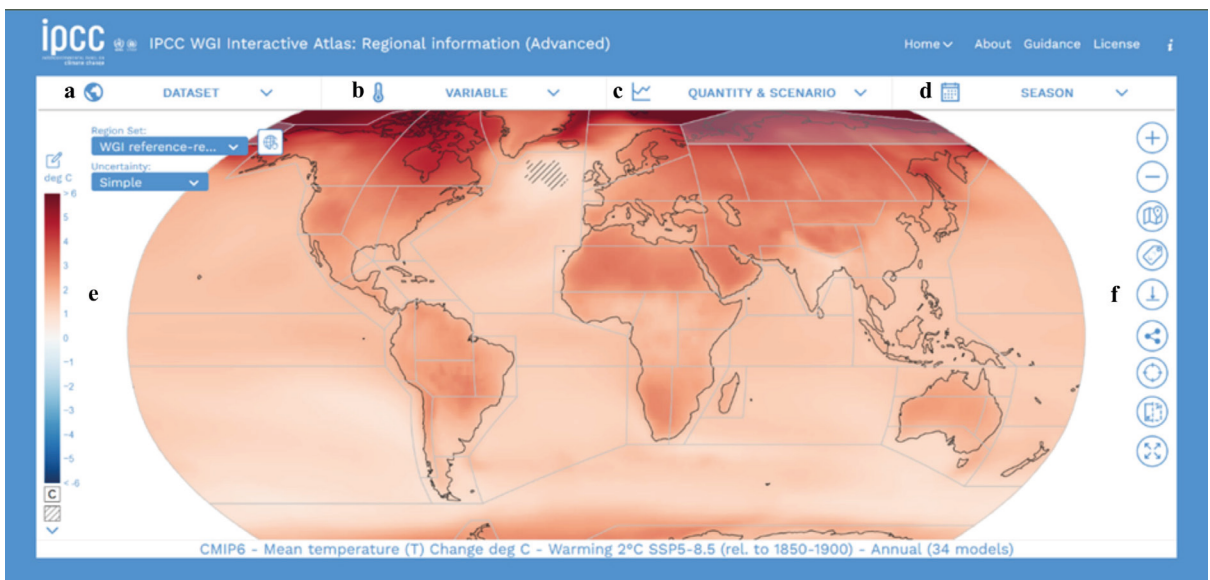
Bevezetés

A klímaváltozást leggyakrabban a globális átlaghőmérséklet növekedésével jellemezzük. Számunkra azonban mégsem a fokozatosan emelkedő hőmérséklet okozza az igazán komoly problémákat, hanem az olyan extrém hőmérsékletek (magas és alacsony egyaránt), amelyekre éppen az eddigi ritka előfordulásuk miatt nem vagyunk kellőképpen felkészülve. Ilyen esetekben a tájékozottság és az egészségügy felkészültsége kiemelten fontos, hiszen a hőmérsékleti extrémumok közvetlen egészségügyi kockázatot jelentenek, elsősorban az idősebbek, a kisgyermekek és a betegségben szenvedők körében. Márpedig a globális felmelegedés során egyre gyakrabban kell hőhullámokra készülnünk Európa-szerte (pl. *Seneviratne et al.*, 2021). 2022 a második legforróbb év volt Európában, a nyugati és déli területeken pedig a valaha detektált legmelegebb a megbízható mérések kezdete óta (*Copernicus Climate Change Service (CS3)*, 2023). Nagy-Britanniában július 19-én a hőmérséklet elérte a 40,3 °C-ot (*Yule et al.*, 2023), Írorszában 1887 óta nem mértek olyan magas hőmérsékletet, mint július 18-án. A hőhullámok Németországra és Svédországra is kiterjedtek. Az északi és a nyugati területek mellett délen is jelentős hőhullámok alakultak ki júniusban és augusztusban (*WMO*, 2023). Olaszországban, Rómában 2022. június elején és végén is több napon át 30 °C-ot meghaladó maximumhőmérsékleteket mértek, a legmagasabbat június 28-án (38,0 °C-ot). 2023-ban az előző évi La

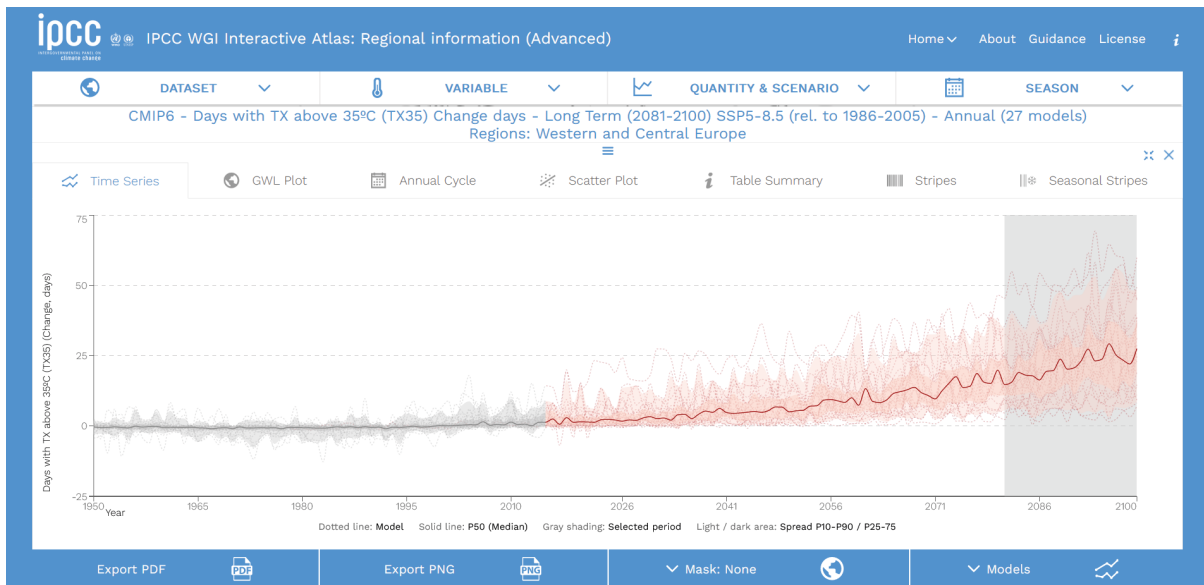
Niña fázist felváltó El Niño hatására [1] még jelentősebb hőmérsékleti extrémumok alakultak ki. Szicíliában több állomáson is 40 °C fölé kúszott a hőmérséklet júliusban [2]. Görögországban és Spanyolországban is hasonló hőmérsékletek uralkodtak, Görögországban több szigeten erdőtüzek súlyosbították a helyzetet. Ezeknek a közelmúltbeli eseményeknek a hatására felmerül a kérdés, milyen folyamatok, növekedési trendek várhatók Európában a század második felében a hőmérsékleti extrémumokban.

Az IPCC Interaktív Atlasza

A fentebb feltett kérdés megválaszolásában a legfontosabb eszközünk az IPCC új, Interaktív Atlasza volt [3], melyet a hatodik jelentésének részeként adott közre az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület 1. Munkacsoportja (*Gutierrez et al.*, 2021; *1. ábra*). A felhasználói felület könnyen kezelhető, és rengeteg lehetőséget biztosít a kutatásra. A múltira vonatkozó különböző, méréseken alapuló adatbázisok is elérhetők (*1. ábra*): például az E-OBS Európára. Az online atlasz jelentős része azonban inkább a jövőre összepontosít, és a vonatkozó legfrissebb, CMIP6 globális klímamodell szimulációs adatbázis mellett lehetőségünk van az ötödik IPCC jelentésben használt, CMIP5 keretében készült globális klímamodell szimulációkat (*Taylor et al.*, 2012), valamint a kontinenseket, nagyobb régiókat tartalmazó regionális klímamodell szimulációkat, azaz a CORDEX



1. ábra. Az IPCC Interaktív Atlaszának felhasználói felülete. A betűjelek a használathoz szükséges legfontosabb paneleket jelzik.



2. ábra. Az IPCC által definiált nagyrégiókra vonatkozó adatok egyik megjelenítési lehetősége. A grafikonon a modellszimulációk évi hőmérsékleti anomália idősorai láthatóak a Nyugat- és Közép-Európa nagyrégióra 1950 és 2100 között, referencia-időszak: 1986–2005.

adatbázisokat (Giorgi *et al.*, 2009) is vizsgálni. Ez utóbbiak még a CMIP5 modellszimulációk leskálázásával készültek. A szimulációk esetén választhatunk a rendelkezésre álló RCP (van Vuuren *et al.*, 2011) és a legújabb SSP scenáriók (Riahi *et al.*, 2017) közül is. Lehetőségünk van korrigált szimulációkat is választani, ebben az esetben azonban a scenáriók száma csökken, mivel az RCP scenáriók közül csak az RCP2.6 és RCP8.5 forgatókönyvek esetén történt meg a központosított hibakorrektúra.

Ezek alapján aztán többféle változó, index jövőbeni várható változását elemezhetjük. Főként a hőmérsékleten, illetve csapadékon alapuló mutatószámok közül választhatunk, például fagyos napok száma, forró napok száma, 5 nap alatt lehullott maximális csapadékmennyiség, vagy egymást követő száraz napok maximális száma, de vizsgálhatjuk a tengervíz változó hőmérsékletét, vagy akár a felszínközeli ózontartalmat is (1.b ábra). Az adatokat, modelledményeket három különböző 20 éves időszakra tudjuk lekérni a közeli jövőtől egészen a 21. század végéig (az Értékelő Jelentésben szereplő időszakokkal összhangban: 2021–2040, 2041–2060, 2081–2100), a változásokat pedig az általunk választott referencia-időszak (erre öt lehetőség áll rendelkezésre: 1850–1900, 1961–1990, 1981–2010, 1986–2005, 1995–2014) értékeihez tudjuk hasonlítani (1.c ábra). Amennyiben az adott index az év bizonyos szakaszában nem releváns, esetleg a vizsgálat csak bizonyos évszakokra terjed ki, leszűkíthetjük az évet

a nekünk megfelelő időszakra, akár egyetlen hónapra is (1.d ábra). A szemléletesség és összehasonlíthatóság érdekében a skálák egyenileg változtathatók (1.e ábra). A már szokásosnak mondható nagyítás, kicsinyítés vagy megosztás funkciók mellett nagyon hasznos része az atlasznak, hogy a képernyőn megjelenő adatok NetCDF, PNG és GeoTIFF formátumban is letölthetőek (1.f ábra). Így az atlasz által megjelenített térképek mellett lehetőségünk van elkészíteni a saját ábráinkat, illetve kisebb területekre szűkíthetjük a vizsgálatunkat (például csak a Magyarországot érintő rácspontok figyelembevételével). A GeoTIFF formátum azt is lehetővé teszi, hogy saját térinformatikai rendszerbe töltsük az adatokat és további feldolgozást végezzünk rajtuk.

Ahogy a felhasználói felületen is látszik, az atlasz fel van osztva az IPCC által meghatározott nagyrégiókra (Iturbide *et al.*, 2021). Az adatokat ezen régiókra specifikusan is meg tudjuk jeleníteni, azokra rákatintva. A felületen akár két térkép is kiválasztható egyszerre, és ezáltal összehasonlítható egymással. Vizsgálhatjuk az adott indexre és régióra vonatkozó modellek idősorait a század végéig (2. ábra), a változó évszakos menetét, vagy a területre vonatkozó, a modellek szimulációja által létrehozott klímacsíkokat. Az ábrázoláshoz számolt adatok ebben az esetben is külön lementhetők.

Elemzésünket az atlasz megjelenítési lehetőségeit, ábráit, diagramjait és táblázatait felhasználva készítettük el. Európát három IPCC-nagyrégió fedte le: az Észak-Európa nagyrégió (NEU), a Nyugat- és

Közép-Európa nagyrégió (WCE; ebben található Magyarország területe), illetve a Mediterrán nagyrégió (MED). A hőségindexek közül ebben a cikkben a 35 °C maximumhőmérséklet feletti napok (TX35, forró napok) éves számának változását vizsgáljuk, az 1986–2005-ös referencia-időszakhoz viszonyítva. A választható adatbázisok közül az EURO-CORDEX adatbázist használtuk fel, mely az elérhető legjobb rácsfelbontással (0,11°) rendelkezik a kontinensre (Jacob et al., 2014). Példaként a scenáriók közül az RCP2.6 azonnali, nagymértékű antropogén kibocsátás-csökkentéssel számoló és az RCP8.5 antropogén kibocsátás-csökkentés nélküli scenárió mellett az RCP4.5-öt használtuk fel (Moss et al., 2010; van Vuuren et al., 2011). Az eredményeket elsősorban a 2041–2060-as, illetve 2081–2100-as időszakra mutatjuk be részletesebben.

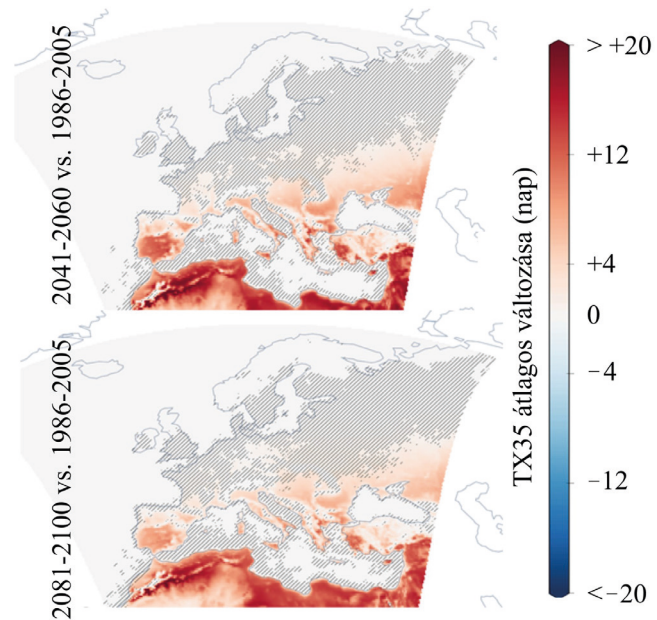
Eredmények

A referencia-időszakhoz viszonyított változások, tendenciák vizsgálatához először érdemes magát az 1986–2005-ös időszakot megfigyelni (3. ábra). A modellfuttatásokkal kapott eredmények alapján látható, hogy a TX35 index eloszlása már a múltban is jelentős területi eltéréseket mutatott az éghajlati különbségek miatt. Elsősorban egy észak-déli irányú növekedés figyelhető meg, míg az észak-európai területeken az index értéke 0 és 5 nap közötti, addig Dél-Európában már akár 35–40 nap is lehetett a 35 °C maximumhőmérséklet feletti napok éves száma. A zonalitás



3. ábra. A forró napok területi eloszlása Európában az 1986–2005-ös referencia-időszakban modellfuttatások alapján (forrás: [3])

mellett a másik fő meghatározó tényező a domborzat. A közbezárt medencékben, mint például a Pó medencéjében, vagy a Kárpát-medencében a környező területekhez képest magasabb, akár 10 napot meghaladó volt a TX35 átlagos éves értéke a referencia-időszakban.

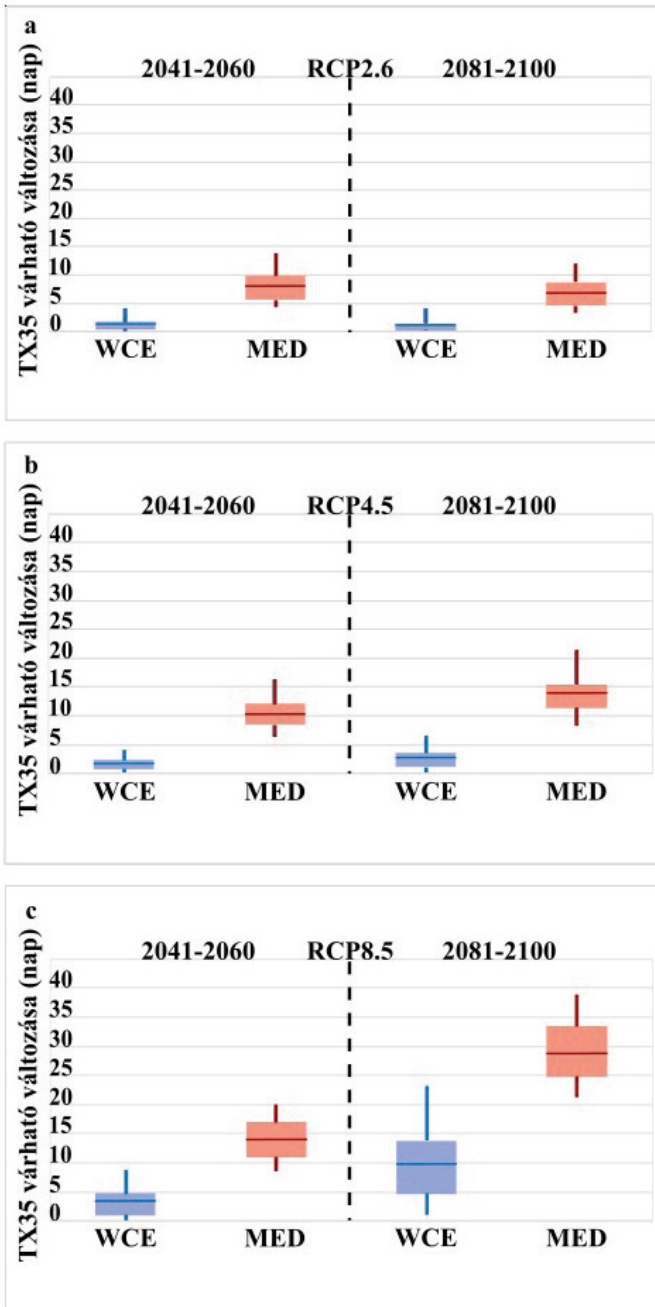


4. ábra. A forró napok várható változása az RCP2.6 scenárió esetén, [3] alapján. A csíkozás a bizonytalanságot jelöli, ezeken a területeken a modellszimulációk kevesebb mint 80%-a mutat ugyanolyan előjelű változást.

A hegyvidéki területeken (például az Alpokban vagy a Pireneusokban) viszont az előbbinél jelentősen kisebb növekedés tapasztalható.

Észak-Európa már a referencia-időszakban sem volt súlyosan érintett terület, ez pedig sem a 2041–2060-as, sem a 2081–2100-as időszakban nem fog változni. Az átlaghőmérséklet ettől függetlenül emelkedik ebben a régióban is (Christensen et al., 2019), de az index által meghatározott, kiugróan magas hőmérsékleti értékek a területi elhelyezkedésből fakadóan a jövőben is rendkívül ritkák maradnak, bármelyik scenáriót is vizsgáljuk.

Az RCP2.6 scenárió a legkisebb többlet sugárzási kényszerrel számoló forgatókönyv (lényegében a Párizsi Megállapodásban szereplő globális 2 °C-os küszöböt nem meghaladó melegedést feltételezi), így a legkisebb növekedés is itt várható a TX35 indexben az európai nagyrégiókban (4. ábra). A Nyugat- és Közép-Európa nagyrégióban, amelyben Magyarország is található, már jelentősebb változás várható, mint Észak-Európában. A növekedés mediánértéke a szimulációk alapján 1,4 nap középtávon és 1,2 nap hosszútávon (5.a ábra). Ennél magasabb a várható növekedés a régió délebben fekvő területein, Franciaországban, a Pó-völgyében, a Kárpát-medencében és Ukrajnában, míg az északabbra fekvő területeken nem lesz jelentős változás a referencia-időszakhoz képest. Ebből látható,

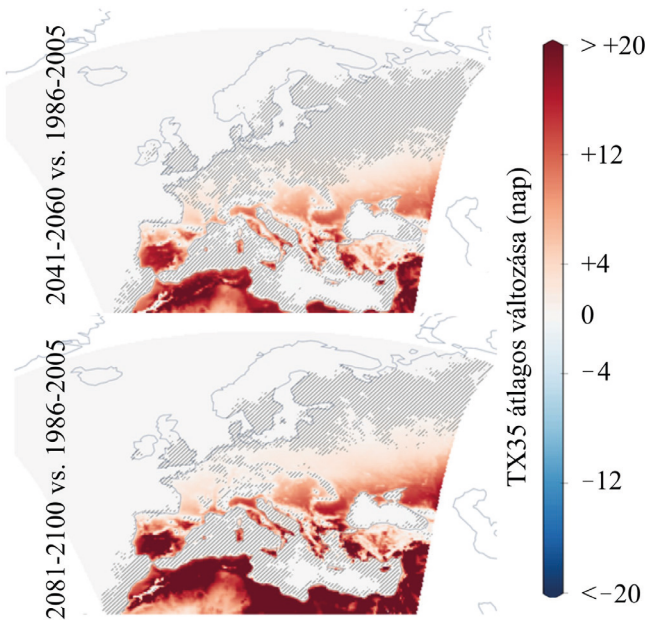


5. ábra. A modellszimulációk alapján várható változások a Nyugat- és Közép-Európa, illetve Mediterrán nagyrégióban az RCP2.6 (a), RCP4.5 (b) és RCP8.5 (c) szcenárió esetén, [3] alapján; referencia-időszak: 1986–2005. A dobozok az alsó- és felső kvartilis által határolt értékeket, míg a vonalak az 5. és 95. percentiliseket mutatják. A grafikonokat az Interaktív Atlaszból táblázatos formában letölthető adatokból készítettük.

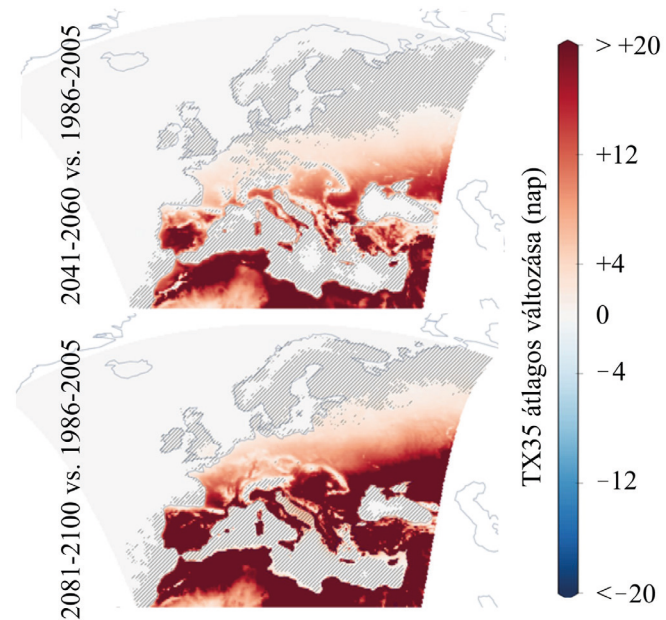
hogy a régió nem homogén, szemben az Észak-Európa nagyrégióval, ahol nem kaptunk jelentősebb területi különbségeket. A földrajzi elhelyezkedés és a domborzat hatásai ugyanis itt már jobban észrevehetőek. A legpesszimistább modellszimuláció alapján akár több mint négy napos növekedés is elképzelhető, ehhez képest a legoptimistább várakozások az éves átlagértékben csak minimális, 0,1 napos növekedést vetítenek előre. A szimulációk többsége azonban inkább jelentősebb növekedést jelez, a mediánértékek ugyanis mind a 2041–2060, mind a 2081–2100 időszakban a felső kvartilishoz közelítenek. Első pillantásra érdekes, hogy a szimulációk középtávon nagyobb növekedést mutatnak, mint hosszútávon. Ugyanakkor ez valójában mégsem meglepő, hanem a szcenárió jellegéből adódik: mivel az RCP2.6 szcenárión belül az éghajlati kényszer változásának irányában is feltételezünk fordulatot, azaz az évszázad során a sugárzásikényszer-többlet előbb 3 W/m²-re nő, majd a század végére 2,6 W/m²-re csökken.

A harmadik európai nagyrégió, a Mediterrán nagyrégió a másik két területhez képest még nagyobb emelkedésre számíthat a 35 °C maximumhőmérséklet feletti napok éves számában. A növekedés fő központja Dél-Olaszország, Görögország és az Ibériai-félsziget lesz, ezeken a területeken akár 14 nap növekedés is kialakulhat a század közepére, már az RCP2.6 szcenárió esetében is. Ez majdnem duplája a növekedés mediánjának, amely 8,1 nap, illetve 6,8 nap 2041–2060-ra, illetve 2081–2100-ra (5. a ábra). A szimulációk alapján azonban akár majdnem két héttel több forró napra lehet számítani 1986–2005-höz képest a területen mindkét vizsgált időszakban. Mivel már a referencia-időszakban is Európán belül a Földközi-tenger vidéke volt a hőmérsékleti extrémumokkal leginkább sújtott terület, és a többi régióhoz képest a várható növekedés is itt lesz a legnagyobb, így a hatalmas különbség Dél-Európa és a kontinens többi része között tovább fog nőni. Emellett az RCP2.6 szcenárió korábban említett speciális jellege is jobban kidomborodik a szimulációk értékeiben.

Az RCP4.5 szcenárióval futtatott CORDEX szimulációk egyfajta középútat jelentenek az RCP2.6 és RCP8.5 között, azt feltételezve, hogy a fosszilis energiahordozók felhasználását a 21. század közepe felé kezdjük el jelentősebben csökkenteni (6. ábra). Így egyik elvárásunk az volt, hogy a TX35 index növekedése a két véglet között fog alakulni. A másik pedig, hogy mivel az RCP2.6 szcenárióval ellentétben az RCP4.5 folyamatosan (bár lassuló ütemben) emelkedő sugárzási kényszerrel számol, a 2041–2060-as időszakban mutatott növekedésnek alacsonyabbnak kell lennie a 2081 és 2100 közöttinél.



6. ábra. A forró napok várható változása az RCP4.5 scenárió esetén, [3] alapján. A csíkozás a bizonytalanságot jelöli, ezeken a területeken a modellszimulációk kevesebb mint 80%-a mutat ugyanolyan előjelű változást.



7. ábra. A forró napok várható változása az RCP8.5 scenárió esetén, [3] alapján. A csíkozás a bizonytalanságot jelöli, ezeken a területeken a modellszimulációk kevesebb mint 80%-a mutat ugyanolyan előjelű változást.

A Nyugat- és Közép-Európa nagyrégióban már markáns növekedés várható az RCP2.6 scenárióhoz képest. A modellek alapján korábban is jelenlévő területi különbségek megmaradnak, azonban megnő azon területek aránya, ahol a TX35 növekedése kifejezetten jelentős lesz. Az RCP2.6 scenárió által is jelentősen érintett területek az RCP4.5 esetén is jobban érintettek lesznek (például a Kárpát-medence továbbra is ezek közé a területek közé fog tartozni), átlagosan akár 9 nappal is nőhet a forró napok éves száma, ami kiugróan magas ebben a nagyrégióban. Ennél sokkal alacsonyabb, 1,8, illetve 2,7 nap mértékű növekedésre lehet általánosan számítani az 2041–2060, illetve 2081–2100 időszakban, ha az egész nagyrégiót egyben nézzük (5.b ábra). Ez nem tűnik jelentősnek, de az RCP2.6 scenárió szerint a 2041–2060 időszakban várható 1,4 nap növekedésnek majdnem a duplája valószínű az RCP4.5 forgatókönyvet követve, igaz, csak a század végére. Ráadásul a bizonytalanság is megnő az RCP2.6-hoz képest. Bár mindkét scenárió legoptimistább modellszimulációi csupán 0,1 nap növekedést jeleznek, a legpessimistább modellszimuláció az RCP4.5 esetén több mint két nappal nagyobb változást vár, mint az RCP2.6 esetében. A modellszimulációk szórása tehát megnő, és a forró napok éves számának várható növekedése szélesebb tartományt fed le, mint az RCP2.6 esetén.

Ahogy az a Nyugat- és Közép-Európa nagyrégió esetében is elmondható, a Mediterrán nagyrégióban is növekedés várható a forró napok éves számában az RCP2.6 scenárióhoz képest. Más európai területekkel össze sem hasonlítható mértékű növekedés várható, amely Olaszország és Görögország tengerparti, illetve az Ibériai-félsziget belső területein akár 17 nap mértékű is lehet az évszázad végére az 1986–2005-ös időszakhoz viszonyítva. A környezetéhez képest várhatóan kisebb emelkedésre számító területek visszahúzódnak a Pireneusok, a Dinári-hegység és az Appenninek magasabb régióira. A növekedés mediánértéke az RCP2.6 esetén látott 8,1 és 6,8 napról 10,4 és 13,9 napra nő az RCP4.5 scenárió szerint (5.b ábra). Figyelemre méltó, hogy ezek a mediánok az RCP2.6 esetén a 2041–2060 időszakban a szimulációk felső kvartilisébe, a 2081–2100 időszakban pedig a felső 5%-ba tartoznának. A referencia-időszakhoz képest évente átlagosan akár 1–2 héttel több forró nap is kialakulhat középtávon, a század végére pedig, ha a legpessimistább szimuláció valósul meg, nem elképzelhetetlen a háromhetes növekedés sem.

Az RCP8.5 scenárió a CORDEX adatbázis legnagyobb sugárzásokényszer-változással számoló forgatókönyve, a feltételezett változás több mint háromszorosa az RCP2.6-nak és majdnem duplája

az RCP4.5-nek (7. ábra). Így azt várjuk, hogy a legnagyobb növekedés is e scenárió szerint alakul ki a referencia-időszakhoz képest.

A Nyugat- és Közép-Európa nagyrégióban egyértelműen megfigyelhető az elvárt, jelentős növekedés a másik két scenárióhoz képest. A régió egyik jellegzetessége, hogy a szimulációk időbeli előrehaladásával jól láthatóan csökkennek azok a területek, ahol a TX35 index megváltozása nem jelentős. Például a hűvösebb, északra fekvő részeken a 2041–2060-as időszakban még bizonytalan a forró napok éves számának növekedése a referencia-időszakhoz képest, míg 2081–2100-ra nemcsak, hogy egyértelmű, hanem jelentős is lesz az emelkedés. Utóbbi időszakban már csak az Alpok magasán fekvő vonulatai tűnnek ki a sötétvörös árnyalatból, jelezve, hogy a növekedés várhatóan nem lesz jelentős. Ezzel szemben a leginkább érintett térségekben, mint például a Kárpát-medencében, 2041–2060-ra akár két héttel is megnőhet a forró napok éves száma, 2081–2100-ra pedig a növekedés elérheti a három hetet is. A mediánértékekben is jelentős változás valószínűsíthető (5.c ábra). Középtávon a 3,4 nap mértékű emelkedés majdnem duplája az RCP4.5 forgatókönyv szerinti mediánnak. Ennél még inkább megdöbbentő, hogy az RCP8.5-ön belül, az évszázad végére a medián majdnem megháromszorozódik, és majdnem tíz nappal több forró nap várható éves átlagban, mint az 1986–2005 időszakban.

Végül a Mediterrán nagyrégió az RCP8.5 scenárió szerint továbbra is a leginkább érintett nagyrégió marad Európában. A környezetéhez képest kisebb növekedéssel számoló területek, különösen az évszázad végére, teljesen eltűnnek, mindössze a Pireneusok és a Dinári-hegység legmagasabb részein lesz mérsékelt a forró napok éves számának növekedése. Az alacsonyabb hegységek, mint például az Appenninek, mérséklő hatása viszont szinte teljesen eltűnik 2081–2100-ra. Ahogy már a Nyugat- és Közép-Európa nagyrégió esetében is említettük, a vizsgálati időszakok között jelentős különbségek mutatkoznak a növekedés mértékében, a középtávú értékekhez képest a hosszútávú szimulációs eredmények többszörösükre emelkednek (5.c ábra). Például a növekedés mediánja két hétről majdnem egy hónapra nő, a referencia-időszakhoz képest. A legpesszimistább modellek között is jelentős a különbség, a 2041–2060 időszakban a lehetséges legmagasabb növekedés 20 nap, míg a 2081–2100 időszakban már 38,8 nap. Ez a jelentős ugrás a két időpont között a szimulációkból számított többi percentilisen is megfigyelhető.

Összefoglalás

Elemzésünk azt jelzi, hogy a forró napok éves száma Európa-szerte, eltérő mértékben ugyan, de növekedni fog a 21. század során. A várakozásoknak megfelelően a gyors antropogén kibocsátás-csökkentést feltételező RCP2.6 scenárió szerint valószínűsíthető a legkisebb növekedés, és az eddigi ütemben folytatódó antropogén üvegházgáz-kibocsátással számoló RCP8.5 scenárió esetén a legnagyobb. Területileg az Észak-Európa nagyrégióban lesz a legkevésbé érzékelhető a változás a referencia-időszakhoz képest, ez elsősorban a terület földrajzi elhelyezkedéséből fakad, illetve abból, hogy a választott indexben szereplő napi maximumhőmérsékleti küszöbérték rendkívül magas, és a pólushoz közeledve ilyen jelentős hőmérsékleti extrémum nem jellemző. A meghatározó zonális különbségek miatt a legsúlyosabb helyzetben egyértelműen a Mediterrán nagyrégió lesz (ezt már 2022 és 2023 nyarán is tapasztalhattuk), ahol más európai területekhez képest sokkal nagyobb mértékben növekedhet majd a forró napok éves száma, főleg az RCP8.5 scenárió megvalósulása esetén, ami az üvegházhatású gázok antropogén kibocsátásának jelenlegi mértékű növekedését feltételezi. Ez is kiemeli a mitigáció fontosságát, azaz hogy globálisan és regionálisan is szükséges a fosszilis energiahordozók használatának jelentős visszafogása, minél előbbi, minél gyorsabb csökkentése.

Köszönetnyilvánítás

Kutatásainkat a PD-138023 és K-129162 NKFI projektek, valamint az RRF-2.3.1-21-2022-00014 Éghajlatváltozás Multidiszciplináris Nemzeti Laboratórium támogatta. Köszönet az IPCC Interaktív Atlasznak az adatok és az ábrák elérhetőségéért.

Irodalom

- Christensen, O.B., Kjellström, E., Dieterich, C., Gröger, M., Meier, H.E.M., 2022: Atmospheric regional climate projections for the Baltic Sea region until 2100. *Earth Syst. Dynam.* 13, 133–157.
<https://doi.org/10.5194/esd-13-133-2022>
- Copernicus Climate Change Service (C3S), 2023: European State of the Climate 2022.
<http://doi.org/10.24381/gvaf-h066>
- Giorgi, F., Jones, C., Asrar, G.R., 2009: Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *World Meteorological Organization (WMO) Bulletin* 58(3), 175.

- Gutiérrez, J.M., Jones, R.G., Narisma, G.T., Alves, L.M., Anjad, M., Gorodetskaya, I.V., Grose, M., Klutse, N.A.B., Krakovska, S., Li, J., Martínez-Castro, D., Mearns, L.O., Mernild, S.H., Ngo-Duc, T., van den Hurk, B., Yoon, J.-H., 2021: Atlas. In [eds. Masson-Delmotte, V. et al.]. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <http://interactive-atlas.ipcc.ch/>
- Iturbide, M., Gutiérrez, J. M., Alves, L.M., Bedia, J., Cerezo-Mota, R., Gimenez, E., Cofiño, A.S., Di Luca, A., Faria, S.H., Gorodetskaya, I. V., Hauser, M., Herrera, S., Hennessy, K., Hewitt, H.T., Jones, R.G., Krakovska, S., Manzanaras, R., Martínez-Castro, D., Narisma, G.T., Nurhati, I.S., Pinto, I., Seneviratne, S.I., van den Hurk, B., Vera, C.S., 2020: An update of IPCC climate reference regions for subcontinental analysis of climate model data: definition and aggregated datasets. *Earth Syst. Sci. Data* 12, 2959–2970. <https://doi.org/10.5194/essd-12-2959-2020>
- 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., You, P., 2014: EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Reg. Environ. Change* 14, 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0499-2>
- Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning, M.R., Rose, S.K., van Vuuren, D.P., Carter, T.E., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F.B., Nakicenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., Wilbanks, T.J., 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747–756. <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Riahi, K., van Vuuren, D.P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B.C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J.C., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humpenöder, F., Da Silva, L.A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eom, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Strefler, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J.C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campen, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., Tavoni, M., 2017: The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environ. Change* 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Seneviratne, S.I., Zhang, X., Adnan, M., Badi, W., Dereczynski, C., Di Luca, A., Ghosh, S., Iskandar, I., Kossin, J., Lewis, S., Otto, F., Pinto, I., Satoh, M., Vicente-Serrano, S.M., Wehner, M., Zhou, B., 2021: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In [eds. Masson-Delmotte, V., et al.] *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press. 1513–1766. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., Meehl, G.A., 2012: An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 93, 485–498. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J-F, Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., Rose, S.K., 2011: The representative concentration pathways: an overview. *Climatic Change* 109, 5. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>
- WMO, 2023: State of the Global Climate in 2022. WMO-No. 1316. ISBN: 978-92-63-11316-0
- Yule, E.L., Hegerl, G., Schurer, A., Hawkins, E., 2023: Using early extremes to place the 2022 UK heat waves into historical context. *Atmos. Sci. Lett.* 24(7), e1159. <https://doi.org/10.1002/asl.1159>
- [1] https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/enso_advisory/ensodisc.shtml
- [2] https://www.ogimet.com/display_synopsc2.php?lang=en&estado=Ital&tipo=ALL&ord=REV&nil=SI&fmt=txt&ano=2023&mes=07&day=01&hora=00&anof=2023&mesf=07&dayf=31&horaf=23&send=send
- [3] <https://interactive-atlas.ipcc.ch/>