

Mire használhatók a „szobatudósok jóslatai”?

# Klímamodell-eredmények, új adatbázisok, erdészeti alkalmazásuk

Dr. Pájer-Gálos Borbála – egyetemi docens, SOE EMK Környezet- és Földtudományi Intézet

**Az éghajlatváltozás várható hatásainak becsléséhez, az alkalmazkodást segítő erdészeti stratégiák kidolgozásához nélkülözhetetlen a várható klimatikus tendenciák ismerete. A rendelkezésre álló klíma-előrebecslések eredményeinek szakmailag megfelelő feldolgozása, értelmezése, erdészeti döntéstámogató folyamatba integrálása azonban a jelenleginél hatékonyabb együttműködést követelne meg az erdészeti kutatás/gyakorlat és a klímaadat-szolgáltatók között.**

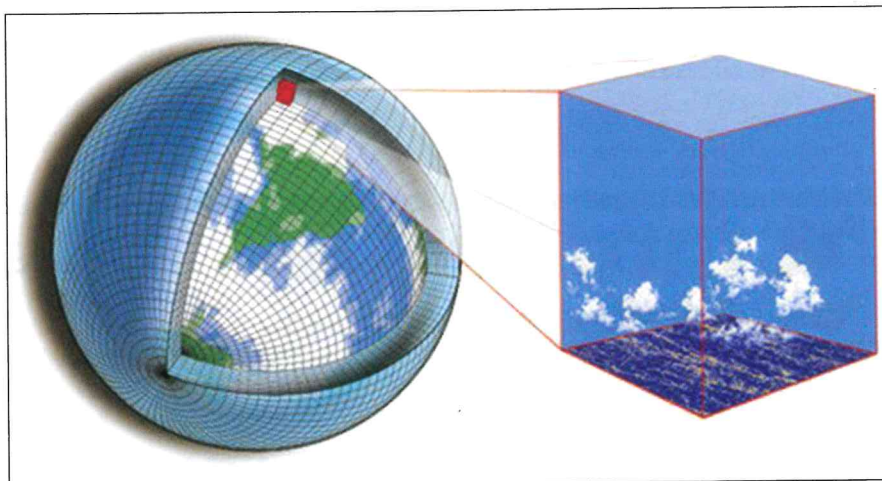
A cikksorozat záró részének célja bemutatni a jövőre vonatkozó előrebecslések eredményeit tartalmazó főbb klímaadatbázisokat, valamint erdészeti vonatkozású példákat adni az adatok lehetséges és szakszerű felhasználására, a klímainformáció helyes értelmezésére.

## A „szobatudósok játékszere”: a klímamodell

Mivel a jövőre nem állnak rendelkezésre mért adatok, modellszimulációk segítségével kell becsléseket végezni. A modellezés nem pusztán „időjóslás”. A légkördinamikai modellek a légköri folyamatokat kormányzó fizikai törvényeket (a hőmérséklet, nedvesség, szélsébség, légnyomás, stb. tér- és időbeli változását) írják le matematikai egyenlegek segítségével (1. ábra).

Az éghajlati rendszer rendkívül összetett, a folyamatok nem lineárisak. A jövőben olyan jelenségek, vagy jelenségkombinációk is megjelenhetnek, amilyenekre a múltban nem volt példa. A jövő klimatikus viszonyainak előrejelzése ezért nem egyszerűen a múltban előfordult jelenségek statisztikai módszerekkel történő extrapolációjával történik.

Ahogy egyetlen másik modell sem képezi le tökéletes pontossággal a valóságot, a klímamodellektől sem elvárás, hogy eredményeik teljes egyezést mutassanak a mért adatokkal. Ennek egyik oka, hogy nem ismerjük a klímarendszer összes folyamatát kellőképpen. A modellfejlesztéshez és ered-



1. ábra. A klímamodell rácsbálója (Forrás: <https://phys.org/news/2018-12-climate-built-ground.html>)

ményeinek ellenőrzéséhez nem áll rendelkezésre elegendő mért adat, nem tudunk minden völgyre, patakpartra, erdőrésztetre vonatkozó, megfelelő sűrűséggel és megbízhatósággal 20–30 éven át folyamatosan méréseket végezni.

Mikor elvárásokat fogalmazunk meg a klímamodellek pontosságával kapcsolatban, nem szabad megfeledkeznünk arról sem, hogy a klímamodellzés célja a nagyobb térbeli kiterjedésű légköri folyamatok, hosszú távú éghajlati tendenciák szimulálása, nem az egyes erdőrésztetek mikroklímájának (állományklímájának), lokális folyamatainak leírása (1. táblázat).

## A klíma-előrevetítés feltételezései, bizonytalanságának forrásai

A klíma előrebecslése számtalan feltételezéssel él, mivel 100 évre előre nincs megbízható információnk az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának, és az azt befolyásoló folyamatoknak az alakulásáról.

Csupán különböző feltételezéseink vannak a népességnövekedés üteméről, a technológiai fejlődés irányáról, a földhasználat változásáról, az üvegházhatású gázok kibocsátásával járó társadalmi-gazdasági folyamatok alakulásáról. (És amellet, hogy a fenti folyamatok fontos hatótényezők az éghajlati rendszerben, a klímaváltozás is folyamatosan hatással van rájuk).

1. táblázat. A klímamodellel szemben támasztható elvárások

A klímamodellek feladata:		Nem várható el a klímamodellektől:	
Hosszú távú éghajlati tendenciák előrejelzése		Rövid távú időjárás-előrejelzés	
Időben	Változások szimulálása 30 éves klímaperiódusok között	Adott nap időjárásának mért értékekkel egyező szimulálása	
	Szélsőséges események gyakoriságának visszaadása (pl. 30 év)	Szélsőséges esemény megfelelő évben történő szimulálása (pl. a 2003-as aszály a modellben is 2003-ban legyen)	
Térben	Regionális klíma (makroklíma), légköri folyamatok szimulálása	Mikroklíma (pl. erdőállomány klímája, vertikális hőmérséklet- és szélprofil)	
	A modell felbontásához igazodóan térbeli mintázat szimulálása	A modell felbontásánál finomabb léptékű folyamatok szimulálása	
	Ugyanaz a modell több térségre is alkalmazható legyen	Adott meteorológiai állomáson mért értékekkel való egyezés	

Ezért a jövőben lehetséges alternatívákat különböző – optimistább és pesszimistább – forgatókönyvekkel írják le. Az egyes forgatókönyvek feltételezésével többféle klímamodellel szimulálják a várható éghajlati tendenciákat. A nagyszámú modellfuttatás eredményeinek *együttes elemzésével* számszerűsíthető a jövőre vonatkozó becslések bizonytalansága, és a várható változások valószínűsége.

### Jövőre vonatkozó előrebecsléseket tartalmazó klímaadatbázisok

Az elvárásokkal ellentétben nem létezik egy egységes, minden felhasználói igényt egyaránt kielégítő klímaadatbázis. Fejlesztés alatt állnak olyan adatbázisok (pl. Copernicus), amelyek ezt tűzték ki célul, az összes elérhető adat rendelkezésre bocsátásával. De ezek egyelőre még nem felhasználóbarátok, a megfelelő adatok leszűrése klimatológiai és programozási előismereteket követel (2. táblázat).

Az elvárások megfogalmazásakor azt is fontos tudnunk, hogy sem a meteorológiai adatokat, sem a klímamodellel eredményeket nem speciálisan erdészeti célokra, hatáselemzésre állítják elő, hanem sokkal általánosabb célokra, szélesebb felhasználói réteg számára.

Ha a rendelkezésre álló adatok első ránézésre „használatlanok” tűnnek, azért nem a meteorológus a hibás, aki- nek a feladata az adatok létrehozása és nem a szolgáltatás.

Ugyanígy a hatásvizsgálatot végző és gyakorlati kérdésekben a döntő erdész-

től/kutatótól sem kívánható, hogy jártas legyen a nyers klímaadatok megfelelő feldolgozásában. Ezért lenne szükség a Meteorológiai Szolgálat munkáját kiegészítő klímaadat és -információ szolgáltató központokra, melynek munkatársai ellátják az adatigénylőkkel való szakértői konzultációt.

### Gyakorlati példák a szakszerű adatfeldolgozásra és a klímainformáció értelmezésére

A különböző modelleknek egymástól jelentősen eltérő szisztematikus hibája van. Ezért nem a szimulált jövőbeli abszolútértékeket adjuk meg (pl. 15 °C lesz az éves átlaghőmérséklet, 6 aszály lesz), hanem a várható *változás mértékét* a múltbeli referencia-időszakhoz képest. Pl. az éves átlaghőmérséklet 2061–2090-re átlagosan 3 °C-kal emelkedhet az 1981–2010-es időszak átlagához képest, az aszályok gyakorisága kétszeresére növekedhet. Így a közelmúltra végzett modellfuttatások szisztematikus hibái nem jelennek meg a 21. századra előállított klímascenáriókban.

A) *Hőmérséklet- és csapadékváltozás meghatározása, pl. 30 éves átlagidőszakokra*

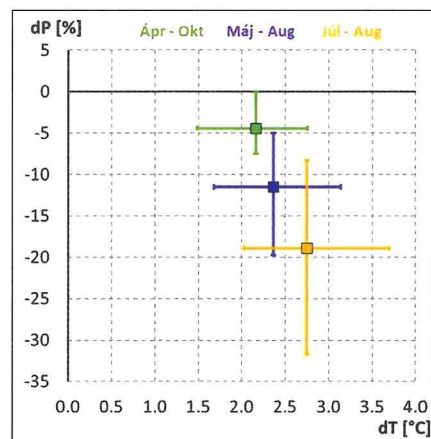
- A vizsgálat céljához igazodó 30 éves időszakokra hőmérsékletátlagokat és átlagos csapadékösszegeket képezzünk, az elérhető összes modell eredményéből és összes éghajlati forgatókönyvre.

- Számítjuk a jövő- és a múltbeli 30 éves referencia-időszak közti hőmérséklet- és relatív csapadékváltozást (pl. 2041–2070 vs. 1981–2010). Fontos, hogy minden modellszimuláció jövőre vonatkozó eredményét ugyanannak a modellnek a múltira vonatkozó eredményéhez hasonlítsuk, és a modellek szisztematikus hibája miatt ne a mért adatainkhoz viszonyítsuk.
- A modellek által jelzett változásokat átlagoljuk, és meghatározzuk a *valószínű változás tartományát*, mely a modelleredmények 66%-át tartalmazza (Mastrandrea et al., 2010), és számszerűsíti a klíma-előrevetítések szórását, szükségszerű bizonytalanságát (2. ábra).

Az erdészetben/erdészeti kutatásban adatot igénylők általában egyetlen konkrét számot várnak, és nehezen kezelik a valószínűségeket, bizonytalanságokat. Ha az eredményeknek bizonytalansága, szórásstartományja van, az nem azt jelenti, hogy használhatatlanok, vagy rosszul dolgozik a meteorológus. A bizonytalanságok a sok modellszimuláció eredményeinek együttes értékelésével nem megszüntethetők (mivel a jövő pontosan nem előrejelezhető), de számszerűsíteni lehet és kell is őket.

2. táblázat. Az elérhető klímaadatbázisok főbb előnyei és korlátai

	Előnyei	Korlátai
<b>EURO-CORDEX projekt adatbázisa</b>	Egész Európára több regionális klímamodell eredménye, több éghajlati forgatókönyv alapján, 0,11°×0,11° felbontás (~10 km)	Az adatok letöltése, előfeldolgozása megfelelő szoftverkörnyezetet, programozási ismereteket, szakértői segítséget igényel
<b>Copernicus Climate Data Store</b>	Globálisan, szabadon letölthető adatok + szektoronkénti információ, részletes dokumentáció, kész ábrák, mintaprogramok	Egyelőre nem felhasználóbarát, kevés regionális klímamodell-eredmény hozzáférhető
<b>Climate EU adatbázis</b>	Európára akár 1 km × 1 km-es felbontás + bioklimatológiai változók	Globális modellek statisztikai leskálázásával hozták létre, megbízhatósága hazánkra nincs ellenőrizve
<b>Nemzeti Alkalmazkodási Térinformatikai Rendszer (NATÉR)</b>	Hatásvizsgálat és alkalmazkodás orientált döntéstámogató alkalmazások	A klímaadat-hozzáférés nem felhasználóbarát, a legfrissebb klímaadatok még nem teljeskörűen hozzáférhetőek
<b>KlimAdat projekt adatbázisa</b>	10 km × 10 km-es felbontású regionális klímamodell eredmények + városokra finomabb felbontás	2 modell eredményei; az utófeldolgozott adatokat tartalmazó webes térinformatikai adatbázis még fejlesztés alatt áll



2. ábra. A vegetációs időszak (ápr.–okt.), a fő növekedési szakasz (máj.–aug.) és a kritikus hónapok (júl.–aug.) átlaghőmérsékletének (dT) és csapadékösszegének (dP) várható változása 2041–2070-re, az 1981–2010-es referenciaperiódushoz képest. Régió: Nyugat-Zselic. Pontok: a modellszimulációk eredményeinek átlaga. Hibásávok: a valószínű változás tartományja (Gálos-Fübrer, 2018)

A 2. ábra alapján a fajok számára meghatározó hónapok átlaghőmérséklete az 1981–2010-es időszakhoz képest szignifikáns növekedést mutat.

A gyertyános tölgyes klímakategóriájú Nyugat-Zselic térségében 2041–2070-re a kritikus hónapok (július–augusztus) hőmérséklete emelkedik a legjobban a mai körülményekhez képest.

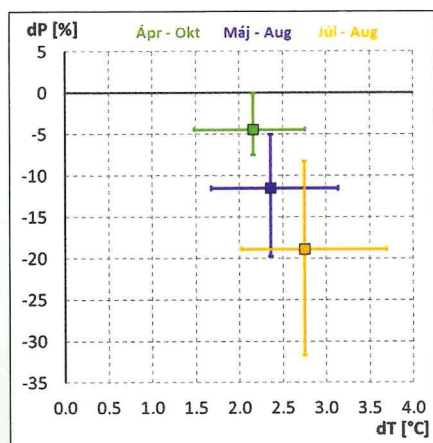
Csapadék esetén az eredmények szórása nagy, viszont 1981–2010-hez képest a modellek többsége szárazodó tendenciára utal. A legnagyobb csapadécsökkenés itt is a kritikus hónapokban várható (Gálos–Fübrer, 2018).

Amennyiben a jövőben várható abszolútértékekre van szükségünk egy adott erdőrészletre, a modellek által arra a térségre szimulált változásokat (szórástartománnyal együtt) egyszerűen hozzáadhatjuk az erdőrészletben mért 30 éves adatsorunk átlagához.

### B) Hosszú távú tendenciák meghatározása, pl. éves átlaghőmérséklet változása

- A vizsgált területre az elérhető összes modell eredményéből és összes éghajlati forgatókönyvre számítjuk minden egyes év és a múltbeli 30 éves referencia-időszak közti éves átlaghőmérséklet-különbséget, és meghatározzuk a trendet.
- A modellek által jelzett trendeket átlagoljuk, és meghatározzuk a valószínű változás tartományát (3. ábra).

A század első harmadáig mindkét forgatókönyv szerint 1–2 °C-kal magasabb hőmérsékletek várhatók, mint az 1971–2000-es átlag (3. ábra). A század második felében a „pesszimistább” (RCP8.5) scenárió esetén az elemzésbe bevont modellek több mint 80%-a szerint a hőmérséklet növekedése már 2060-ra meghaladja a 2 °C-ot, a kisebb



3. ábra. Az országos éves átlaghőmérséklet-változás (dT) várható tendenciái két forgatókönyv (RCP4.5, RCP8.5) alapján. Referencia: az 1971–2000 időszak átlaga. Színes tartományok: a modelleredmények 66%-a (Gálos–Somogyi, 2017)

felmelegedést feltételező forgatókönyv (RCP4.5) esetén ez az érték a század végére várható (Gálos–Somogyi, 2017).

### C) Szélsőséges események gyakoriságának meghatározása, pl. szélsőséges aszályok relatív gyakorisága

- Számítjuk a választott aszályindex értékét minden évre, az elérhető összes modell eredményéből és összes éghajlati forgatókönyvre.
- Meghatározzuk, hogy a vizsgált 30 éves időszakok hány százalékában fordult elő a szélsőséges aszályra utaló index érték (pl. vizsgáljuk, hogy a múltban 3-szor – tehát a referencia-időszak 10%-ában – előforduló aszályok a jövőbeli 30 éves időszak hány százalékában fognak előfordulni).
- A modellek által adott értékeket átlagoljuk, és meghatározzuk a valószínű változás tartományát.

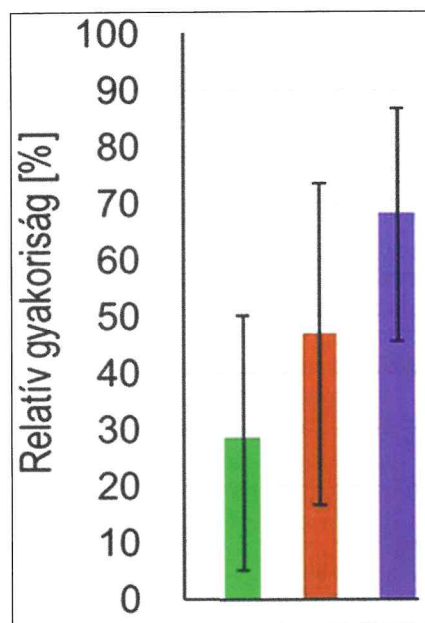
A 4. ábra alapján a század végére gyakoribbá válnak az aszályok, az alkalmazott forgatókönyvtől és modelltől függetlenül. Azok a szélsőséges aszályok, melyek átlagos visszatérési gyakorisága 10 év volt, a 21. század végére a „legpesszimistább” forgatókönyv átlagos becslése alapján az időszak kétharmadában megjelenhetnek. A legkisebb változást mutató scenárió esetén is a múltban 3-szor előforduló esemény 2070–2099-ben átlagosan 6–8-szor következhet be.

### Leggyakoribb adatfeldolgozási hibák és tévhitek

„A jövőbeli klimatikus viszonyokat megtudjuk, ha a mért adatok idősorát meghosszabbítjuk a modellekből származó idősorokkal. A klímaváltozás nagyságát pedig, ha a jövőre vonatkozó modellszimuláció eredményét viszonyítjuk a meteorológiai állomáson mért adatokhoz” – a modellek szisztematikus hibája miatt mindkét eljárás hibás eredményt ad.

„Válasszuk ki a jó modell eredményét”. Egyetlen modell eredménye nagy bizonytalanságot hordozhat. Több forgatókönyv alapján futtatott sok modell alapján, nagyobb térségekre és hosszabb időszakok átlagára vagy trendekre vonatkozóan megbízhatóbb következtetéseket vonhatók le.

„A finomabb felbontás pontosabb eredményt ad”. Ami technikailag lehetséges, az nem feltétlenül helyes szakmailag és nem feltétlenül van valóság-tartalma! Bármekkora térbeli léptékre interpolálhatók az eredmények, azon-



4. ábra. A referencia-időszakban átlagosan 10 évente előforduló szélsőségesen meleg és száraz időszakok relatív gyakorisága 2070–2099-ben, az erdészeti szárazsági index (FAI; Fübrer, 2010) alapján.

Színezett oszlopok: a modelleredmények átlaga a vizsgált 3 forgatókönyvre. Hibaszávok: a valószínű változás tartománya

ban a fizikai háttér nem áll rendelkezésre a modell térszkálájánál finomabb felbontással, így ez valójában részlete-sebb többletinformációt nem szolgáltat. (pl. egy durvább felbontásban nem létező hegy felhő- és csapadékképződésre gyakorolt hatását nem lehet interpolációval generálni). Nem utolsósorban a finom felbontású ábrák az alapadatok pontosságát tekintve félrevezetik a felhasználót.

„A modellnek egyezni kell a valósággal, ezért a hibás modelleredményeket korrigálni kell.” Viszont egyetlen korrekciós módszer alkalmazása sem ad tökéletes eredményt minden meteorológiai változóra, minden tér- és időbeli léptékben (és a korrekció alapjául szolgáló mért adatok sem hibátlanok). A tökéletesnek vélt múltbeli adat nem vonja maga után a jövő tökéletes előrejelzését.

Összességében, a modell eredeti térbeli léptékének finomítása, valamint a korrekciós módszerek alkalmazása növeli, és nem csökkenti a szimulált eredmények bizonytalanságát.

### A cikksorozat három részének fő következtetései

Jó alkalmazkodási stratégiák kialakításához megbízható klímainformáció szükséges. Ennek előállításához az elemzéseink céljához igazodó helyszí-

neken, hitelesített eszközökkel és megfelelő módszertannal kell mérni.

A jövőre vonatkozó előrebecslések-nél a klímaadat-kínálat és az erdészeti kutatás/gyakorlat igényeinek összehangolása, valamint a klímamodell-eredmények megfelelő kezelése jelenti a legnagyobb kihívást, melyre az erdészeti célú klímahatás-vizsgálatok és döntéstámogatás során még nincs kidolgozott módszer.

Az adatigény hatásvizsgálat-specifikus meghatározását, a megfelelő adatbázis kiválasztását, az adatok célzott előfeldolgozását, a bizonytalanságok kezelését és a klímainformáció helyes értelmezését az erdésznek/kutatónak szakértő bevonásával javasolt végezni.

A klímaváltozással kapcsolatos döntések meghozatalához jobban hozzájárulunk akkor, ha számszerűsítjük, megjelenítjük, kommunikáljuk a bizonytalanságot a klímaelemzések és a hatáselemzések (valamint döntéstámogatás) minden lépése során, mint ha annak látszatát keltjük, hogy egyetlen helyes adat van. A rendelkezésre álló adatok és módszerek bizonytalansága nem lehet akadálya annak, hogy elkezdjük az éghajlatváltozáshoz történő alkalmazkodást az erdészeti szektorban is.

### Köszönetnyilvánítás

A cikk a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj (BO/00678/20/4) támogatásával készült.

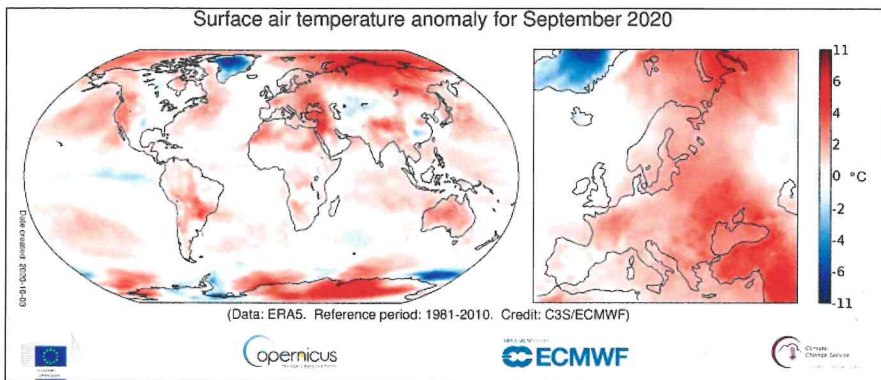
### Hivatkozott szakirodalom

- Führer E. (2010): A fák növekedése és a klíma. „Klíma 21” füzetek 61:98–107.
- Gálos B. – Führer E. (2018): A klíma erdészeti célú előrevetítése. Erdészettudományi Közlemények 8(1):43–55.
- Gálos B. – Somogyi Z. (2017): Új klímascenáriók – fellélegezhetnek bükköseink? Erdészettudományi Közlemények 7(2):85–98
- Mastrandrea, M. D. – Field, C. B. – Stocker, T. F. – Edenhofer, O. – Ebi, K. L. – Frame, D. J. – Held, H. – Kriegler, E. – Mach, K. J. – Matschoss, P. R. – Plattner, G.-K. – Yohe, G. W. – Zwiers, F. W. (2010): Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). ❁

## Honlapjaink:

[www.oeo.hu](http://www.oeo.hu)  
[www.vandorgyules.hu](http://www.vandorgyules.hu)  
[www.azevfaja.hu](http://www.azevfaja.hu)  
[www.erdokhete.hu](http://www.erdokhete.hu)  
[www.erdeivandor.hu](http://www.erdeivandor.hu)

# Az idei volt az eddigi legmelegebb szeptember



## Az idei volt az eddig mért legmelegebb szeptember a világon – jelentette be szerdán az Európai Unió Copernicus Légkörfigyelő Szolgálat (CAMS).

Az idei szeptember 0,05 Celsius-fokkal volt melegebb az előző év azonos időszakánál – írja a BBC hírportálja. A Copernicus szerint Szibéria északi-sarkí partvidékén továbbra is jóval átlag felett maradt a hőmérséklet. A szakemberek továbbá megerősítették, hogy a műholdas megfigyelések kezdete óta idén mérték az északi-sarki tengeri jég második legkisebb kiterjedését.

Várhatóan az idei lesz a valaha mért legmelegebb év Európában, még akkor is, ha a hőmérséklet mostantól valamelyest csökken.

A megemelkedett hőmérséklet hozzájárult a Kaliforniát és Ausztráliát sújtó tüzekhez, az amerikai Death Valleyben mért eddigi legforróbb, 54,4 Celsius-fokos naphoz, valamint a Franciaország déli részét mindössze egy nap alatt több mint félméternyi vízzel elárasztó heves esőzésekhez.

A francia meteorológiai szolgálat szerint ehhez hasonló felhőszakadás

100 évente egyszer szokott előfordulni, idén egy hét alatt kétszer is bekövetkezett.

*Az éghajlat és az időjárás rendkívül változékony. Tekintettel azonban a klímára gyakorolt hatásunkra előre tudtuk, hogy ilyen jelenségek következhetnek be* – mondta Samantha Burgess, a Copernicus munkatársa.

Nagy-Britanniában idén mérték az eddigi legnaposabb tavaszt, augusztusban rekordszámú olyan nap volt, amikor a hőmérséklet meghaladta a 34 Celsius-fokot, a délkelet-angliai Reading pedig történetének legcsapadékosabb 48 óráját élte meg.

Évtizedek óta mondjuk, hogy az egyre több és több üvegházhatású gáz egyre nagyobb mértékű melegedéshez fog vezetni – mondta Ed Hawkins, a Readingi Egyetem munkatársa. A szakember szerint a szóban forgó jelenségek a hosszú távú átlaghoz képest mindössze 1 Celsius-foknyi globális melegedés nyomán következtek be, márpedig a világ jelenleg a 3 Celsius-fokos emelkedés irányába tart.

Forrás: BBC/MTI, Origo/Tudomány  
 Kép: ECMWF-Copernicus

## Szabadon hozzáférhető ECMWF adatok

Az Európai Unió nyílt adatpolitikát elrendő célként kitűző 2019. július 16-i irányelve alapján mind az ECMWF, mind az ECMWF tag és társult tagállamainak meteorológiai szolgálatai komoly lépéseket tesznek a nyílt adatpolitika megvalósítása irányába. E folyamat részeként 2020. október 7. óta az ECMWF közép- és hosszú távú előrejelzési térképei és grafikonjai is szabadon hozzáférhetők.

A szabad hozzáférés nemcsak azt jelenti, hogy a felhasználók ingyene-

sen elérhetik az információkat, de az eredeti forrás feltüntetésével maguk is terjeszthetik, illetve átdolgozhatják azokat.

Az ECMWF 2014 óta aktív résztvevője az Európai Unió Copernicus Földmegfigyelési programjának, s az általa koordinált éghajlati és levegőkörnyezeti alprogramok keretében előállított produktumok kezdettől fogva szabadon elérhetők.

Forrás: OMSZ