



A forróság meteorológiája - A 2024-es nyár időjárási okai és okozatai

Horváth Ákos, Breuer Hajnalka, Simon Csilla

HungaroMet Nonprofit Zrt. Siófoki Viharjelző Obszervatórium, horvath.a@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2025.1.1

Globális skálán tekintve 2024 nyara volt a mérések kezdete óta a legmelegebb nyár, és ez Magyarország időjárásában is szélsőségekben nyilvánult meg. A valaha mért ötödik legmelegebb júniust a legmelegebb július követte. 2024 augusztusa a mérések kezdete óta második legmelegebb volt, mindössze 0.01 fokkal lemaradva 1992 augusztusától. A júliusi és augusztusi forróságot hosszú száraz időszakok kísérték. A szeptemberbe áthúzódó nyarat Közép-Európában egy rendkívül csapadékos időszak zárta le, súlyos árvizeket okozva. A hosszú száraz és rövid nedves, de minden esetben az átlagosnál melegebb időjárási periódusokkal lefedett nyárnak jól kirajzolódó globális háttere van, amely a nagytérségű cirkulációban beállt anomáliákra vezethető vissza. Jelen írás egyrészt a szélsőségek mögött álló cirkulációs hátteret, másrészt annak tükrében a nyári hőhullámok időjárási sajátosságait próbálja bemutatni.

Meteorology of the heat - causes and effects of the summer weather of 2024

On the global scale, the summer of 2024 was the hottest summer since measurements began, and this contained extremes in Hungary's weather, too. The fifth warmest June on record was followed by the warmest July ever. August 2024 was the second warmest, just 0.01 degrees behind August 1992. The heat in July and August was accompanied by long dry periods. The summer in Central Europe, which lasted into September, ended with an extremely rainy period, causing severe floods. The summer, covered by long dry and short wet, but warmer than average weather periods in all cases, has a well-defined global background, which can be traced back to anomalies in the large-scale circulation. This paper presents the circulation background behind the extremes on the one hand, and the weather characteristics of summer heat waves in light of it on the other.

A szárazság és a nagy csapadék közös háttere

A globális légköri cirkuláció egy hatalmas hőerőgépek tekinthető, amely az alacsonyabb szélességi övekben meghatározó napsugárzás (rövidhullámú besugárzás)

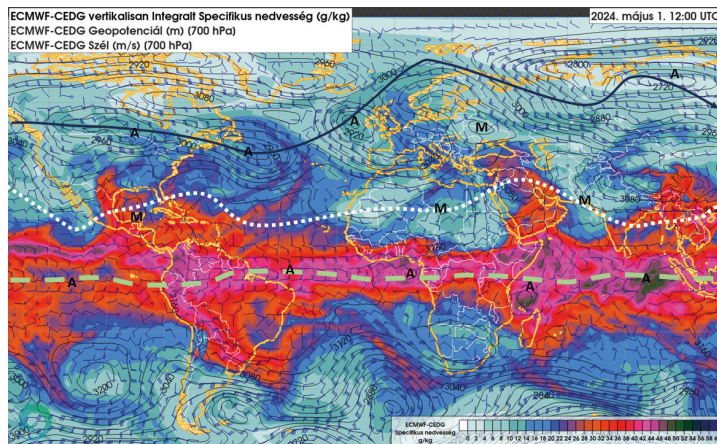
okozta energiatöbblet, illetve a magasabb szélességi körökön domináló kisugárzás (hosszúhullámú kisugárzás) hajt meg. Az így létrejövő hőmérsékletkülönbség kiegyenlítését szolgáló szélrendszereket azonban nagymértékben befolyásolja a légáramlásokkal együtt mozgó víz jelenléte, illetve annak fázisváltozása

(Holton and Hakim, 2013) A déli óceánokról elpárolgó víz – gőzzé alakulva – maga is energiát szállít, amely a magasabb földrajzi szélességeken koncentráltan kicsapódva látens hő formájában felfűti a légkört, ilyen módon többek között hozzájárul a ciklonok erősödéséhez (Robert Houze, 2014; Demirdjian et al., 2023). A víznek viszont meghatározó szerepe van a rövidhullámú besugárzás szabályozásában, hiszen a kondenzáció nyomán létrejövő felhőzet a napsugárzás egy jelentős részét visszaveri a világűrbe. A felhőképződéshez azonban a vízgőz kondenzációja szükséges, és minél melegebb a légkör, annál több vízgőzt képes felvenni telítődés nélkül (Wan et al., 2024). A térségünkben tapasztalt szélsőségesen száraz időjárásban nagy szerepe van annak, hogy a melegedő levegő több nedvességet tud felvenni, mint amennyit a felszín párologtatni képes. A párolgás mértéke ugyanis közel lineárisan változik a hőmérséklettel, míg a légkör vízgőz megtartó képessége tízes hatvány szerint növekszik (Holton and Hakim, 2013) [1]. Mindez azzal jár, hogy melegebb légtömegben nehezebben alakul ki a felhőzet, illetve a meleg, száraz levegő nagyon gyorsan kiszárad a felszínt. A nyári időszakban a telítetlen meleg levegőben felhőzet hiányában növekszik a besugárzás, amely tovább növeli a levegő hőmérsékletét, így még nehezebben alakul ki a felhőzet, beindul egy pozitív visszacsatolás [2] (Schumacher et al., 2022) Ugyanakkor ez fordítva is működik, mivel, ha egyszer mégis hűlni kezd a nagy nedvességgel rendelkező meleg légtömeg – legkésőbb ősszel –, akkor jóval több csapadékot képes produkálni. A csapadékképződés látens hő felszabadulásával is jár, segítve a ciklonok kialakítását, a ciklonokban létrejövő összeáramlás pedig még több nedves levegőt koncentrálnak egy kisebb területre, így könnyebben létrejönnek az árvíz okozó ciklonok (Rotunn and Emanuel, 1987). Mindez kisebb skálán, a zivatarok skáláján is megmutatkozik: melegebb levegőben nehezebben jönnek létre a konvektív rendszerek, azonban, ha egyszer kialakulnak, akkor nagyobb energiával rendelkeznek, vagyis hevesebbek lesznek.

2024 nyarán a globálisan felmelegedett légkör kevesebb felhőzetet produkált az északi féltekén, ami tovább növelte a besugárzás mértékét. Részben ennek hatására is Európában jelentős hőhullámok alakultak ki, a tengerek felszíne is jobban felmelegedett és egyidejűleg megnövekedett a telítetlen légkörben a vízgőz mennyisége. Az ősszel kezdődő lehűlés során az így felgyülemlett légköri energia felszabadulása segítette a mérsékelt égövben létrejövő ciklonok, illetve a trópusi hurrikánok kialakulását (Shapiro and Keyser, 1990). A magasabb hőmérsékleten zajló vízkörforgás egyaránt felelős a szárazsáért és a heves csapadékért (Kim et al., 2024).

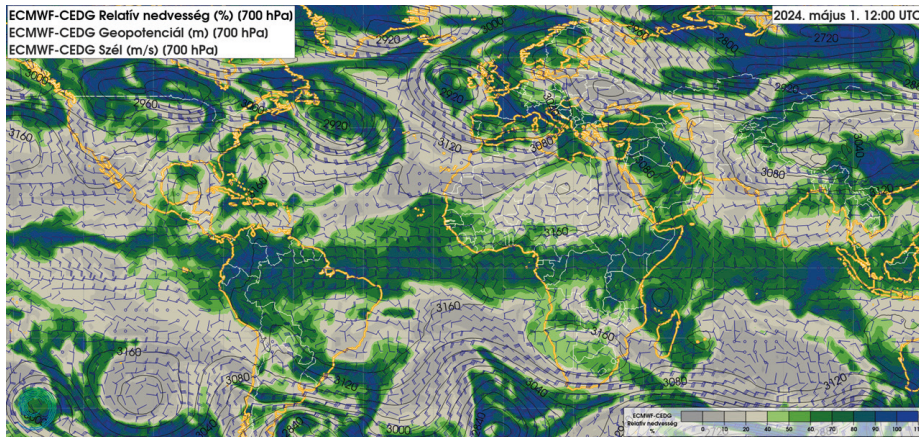
A globális cirkulációs körülmények

A globális cirkuláció oldaláról tekintve Európa időjárását döntően a nyugati szelek övének (vagy más néven a Rossby-övének) az áramlási körülményei határozzák meg. Ebben a zónában a periodikusan átvonuló ciklonok, illetve a hozzájuk tartozó időjárási frontok, illetve a köztük felépülő anticiklonok a legjellemzőbb légköri rendszerek. Ettől délre elterülő mérsékelt övi sivatagi zóna már a Hadley-cella cirkulációs rendszeréhez tartozik, vagyis a trópusi feláramlási zóna, illetve a sivatag feletti leáramló mozgások áramlási rendszeréhez (Wallace et al., 2023).

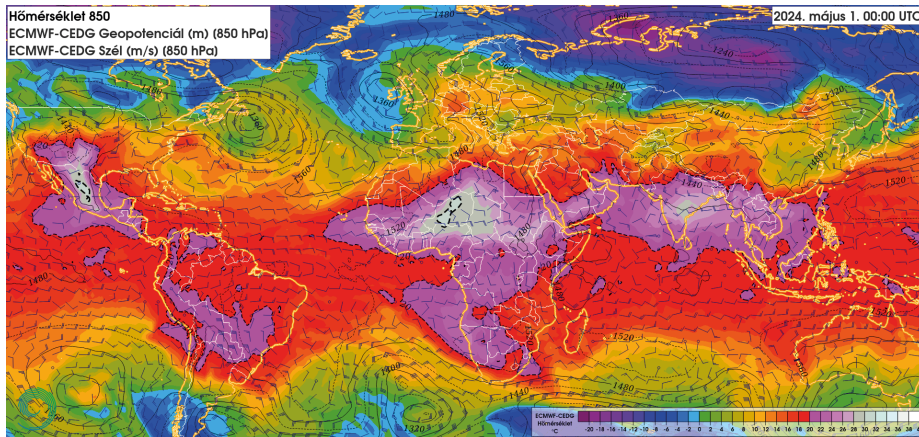


1.a. ábra. Globális cirkulációs helyzet 2024.05.01. 12 UTC-kor az ECMWF analízise alapján. A színezett területek az integrált specifikus nedvesség eloszlását, a folytonos vonalak a 700 hPa geopotenciál értékeit, a szélvonalak a 700 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szürke szaggatott vonal az ITCZ hozzávetőleges helyzetét, a fehér pontozott vonal a tartós, nagy területet érintő leáramlás középvonalát, a fekete vonal a Rossby öv tengelyét jelzi.

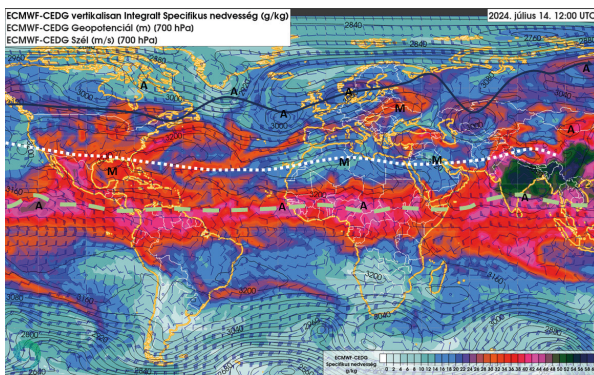
Mindez jól látható az alsó troposzféra nedvesség eloszlásból a trópusok feletti erősen nedves, illetve a sivatagok feletti erősen száraz területek szerint (1.a. ábra). Az ábrán a trópusi összeáramlási zóna (ITCZ) kijelölése a 850 hPa nyomásszinti konvergencia alapján történt. A leszálló mozgások övének tengelye ugyancsak a 850 hPa-os nyomási szint trópusokat övező divergens területei alapján került meghatározásra. A Rossby-öv tengelye a mérsékelt égövi alacsony nyomású területek, illetve ciklonok összekötésével lett kijelölve. Az alkalmazott ábrázolási mód azonban csak nagyvonalú, vannak területek, ahol az egyes zónák nem határozhatóak meg egyértelműen. A légkör egyfajta integrált nedvességi eloszlását a 850, 700 és 500 hPa nyomásszintek specifikus nedvességének összegével lehet szemléletesen bemutatni. A vezető áramlást a 700 hPa szél és áramlási viszonyai mutatják.



1.b. ábra. Globális cirkulációs helyzet 2024.05.01. 12 UTC-kor az ECMWF analízise alapján. A színezett területek a 700 hPa relatív nedvességét mutatják, a folytonos vonalak a 700 hPa geopotenciál mezőjét, a szélászlók a 700 hPa szint szélviszonyait ábrázolják.



1.c. ábra. Globális cirkulációs helyzet 2024.05.01. 00 UTC-kor az ECMWF analízise alapján. A színezett területek a 850 hPa hőmérsékletét, a folytonos vonalak a 850 hPa geopotenciál mezőjét, a szélászlók a 850 hPa szint szélviszonyait ábrázolják.

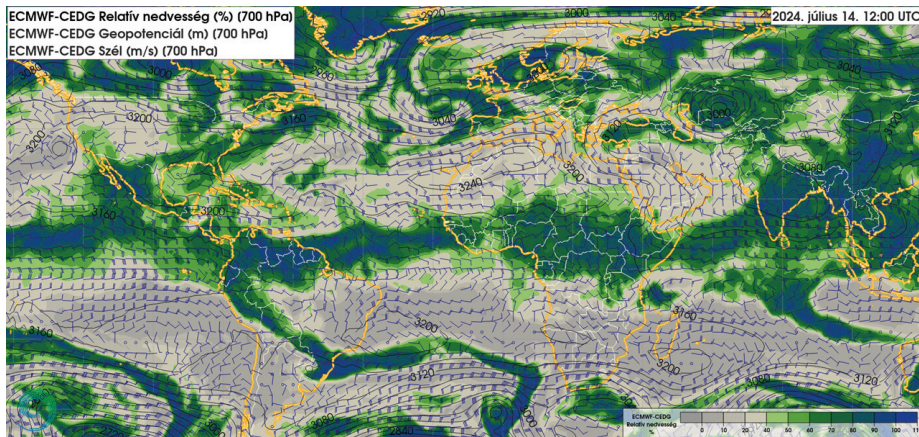


2.a. ábra. Globális cirkulációs helyzet 2024.07.14. 12 UTC-kor az ECMWF analízise alapján. A színezett területek az integrált specifikus nedvesség eloszlását, a folytonos vonalak a 700 hPa geopotenciál értékeit, a szélászlók a 700 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szürke szaggatott vonal az ITCZ hozzávetőleges helyzetét, a fehér pontozott vonal a tartós, nagy területet érintő leáramlás középvonalát, a fekete vonal a Rossby-öv tengelyét jelzi.

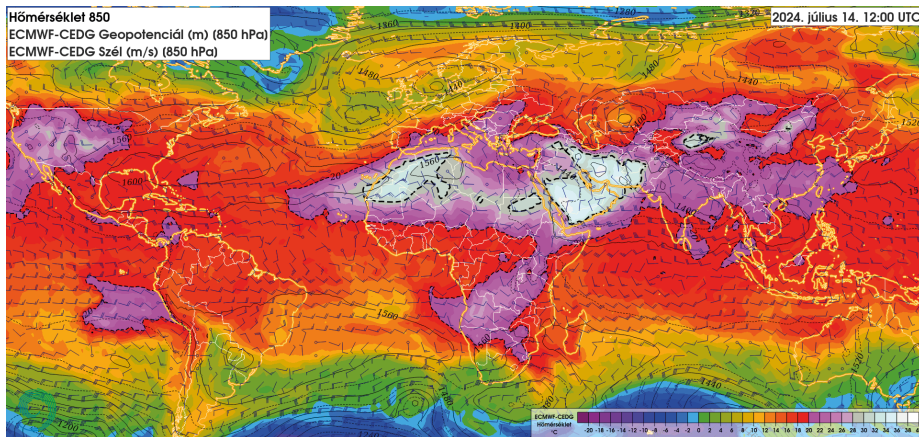
Az 1.a. ábra alapján a nyári félév elején a Rossby-öv, illetve a trópusi öv abszolút nedvességi mezői leginkább a Szahara felett válnak szét erősen. Ugyanakkor látható, hogy a Rossby-övben jóval kevesebb az abszolút nedvesség a trópusi területekhez képest, ami az alacsonyabb hőmérséklet egyenes következménye. A relatív nedvesség eloszlását tekintve (1.b. ábra) már az egész északi hemiszférán látható a nyugati áramlási öv és az ITCZ körüli térség elkülönülése. A Rossby-övben a párolgás hosszabb időtartamot tekintve nem tudja pótolni a kihulló csapadékot, ezért időnként a trópusokról kap "betáplálást". Ilyen trópusokról induló nedves szállítószalag figyelhető meg leggyakrabban az Atlanti-óceán közepén (Gimeno Presa et al., 2020). Az 1.a. és 1.b. ábrán is látható az Arab-félsziget felett északra felnyúló nedvességi híd, amely rendkívülinek számít és kapcsolatba hozható a pár nappal korábbi Perzsa-öböl menti árvizekkel. A globális hőmérsékleti viszonyokat tekintve látható, hogy az északi féltekén az alsó troposzférában a legmelegebb területek a Szahara fölött találhatók. A keleties passzátszéllel a forró sivatag felett áramló levegő nyugat felé haladva egyre melegebbé vált (1.c. ábra). A forró levegő ilyen módon

való felhalmozódása hozzájárult a későbbiekben Európát is elérő hosszán tartó hóhullámok kialakulásához.

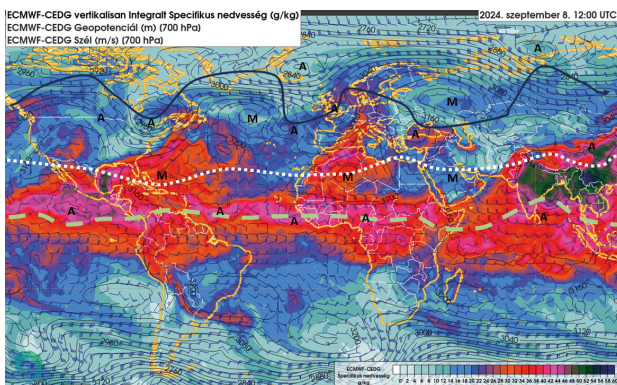
A nyár közepére a trópusi összeáramlási öv északra toltódott, ennek megfelelően a Hadley-cella leszálló ága is a Földközi-tengerig terjeszkedett (2.a. ábra). Az északi féltekén a magasabb hőmérséklet hatására a párolgás mértéke is növekedett, azonban az egyre melegedő légkör ezt a nedvességet telítetlen formában képes volt felvenni, így az alacsony relatív nedvességű területek nagysága egyre nagyobb lett (2.b. ábra). Ez főként a Földközi-tenger medencéjét érintette, ahol a délről terjeszkedő sivatagi áramlások mellett a felhőzet hiányában zavartalan napsütés is növelte a forróságot (2.c. ábra). A földközi-tengeri hőség a Kárpát-medence időjárására is erős hatással volt, ebből a térségből jövő hóhullámok voltak a közvetlen kiváltói a magyarországi forró és száraz időjárás



2.b. ábra. Globális cirkulációs helyzet 2024.07.14. 12 UTC-kor az ECMWF analízise alapján. A színezett területek a 700 hPa relatív nedvességét mutatják, a folytonos vonalak a 700 hPa geopotenciál mezőjét, a szélzászlók a 700 hPa szint szélviszonyait ábrázolják.



2.c. ábra. Globális cirkulációs helyzet 2024.07.14. 12 UTC-kor az ECMWF analízise alapján. A színezett területek a 850 hPa hőmérsékletét, a folytonos vonalak a 850 hPa geopotenciál mezőjét, a szélzászlók a 850 hPa szint szélviszonyait ábrázolják.



3.a. ábra. Globális cirkulációs helyzet 2024.09.08. 12 UTC-kor az ECMWF analízise alapján. A színezett területek az integrált specifikus nedvesség eloszlását, a folytonos vonalak a 700 hPa geopotenciál értékeit, a szélzászlók a 700 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szürke szaggatott vonal az ITCZ hozzávetőleges helyzetét, a fehér pontozott vonal a tartós, nagy területet érintő leáramlás középvonalát, a fekete vonal a Rossby-öv tengelyét jelzi.

periódusoknak. A globális hőmérséklet területi eloszlásában ugyancsak megfigyelhető a nyáron szokásos kettős maximum kialakulása: a saharai mellett az Arab-félsziget és Perzsa-öböl térsége is rendkívül felmelegedett. A hosszan tartó hazai augusztusi hőhullámban ez a második meleg centrum is szerepet játszott, így Európa a két sivatag forró harapófogójába került.

A nyár végén az északi félteke hőmérséklete is csökkenni kezdett, ami jelentős fordulatot eredményezett a cirkulációs viszonyokban. Az egész nyáron növekvő abszolút nedvesség mellett a hűlés miatt a légkör kezdett telítetté válni. A Hadley-cella leszálló ága Afrika felett erősen meggyöngült és felhalmozódott meleg, trópusi levegő a Szahara felett feláramlott Európa-főlé (3.a. és 3.b. ábrák). Ez a nedves meleg szállítószalag jelentős csapadékot okozott a Száhel-övezetben is, valamint meghatározó szerepet játszott a Közép-Európában rendkívüli árvíz okozó Boris-ciklon kialakulásában. A hurrikán szezon beindulásával a trópusi viharok is számottevő nedvességet kezdtek szállítani a nyugati szelek övébe, aminek következtében az atlanti ciklonok aktivitása is megnövekedett.

Az alsó troposzféra (850 hPa), hőmérsékleti mezőjének globális alakulását a nyár folyamán az 1. videón, az integrált nedvességet a 2. videón lehet követni. A fenti paraméterek részletesebb, euro-atlanti kivágaton a 3. videón illetve a 4. videón láthatóak.

Hőhullámok a Kárpát-medencében

A térség hőhullámjainak alakulása jól követhető a felszín közeli szabad légkör, a 850 hPa (kb. 1500 m) magassági szint hőmérsékletének ábrázolásával (4. ábra). Amennyiben nyáron a 850 hPa hőmérséklete 16 fok fölé emelkedik, akkor nagy valószínűséggel sokfelé 30 fok fölé alakul a legmagasabb nappali hőmérséklet, azaz teljesül a hőségnap kritériuma.

1. videó



2. videó

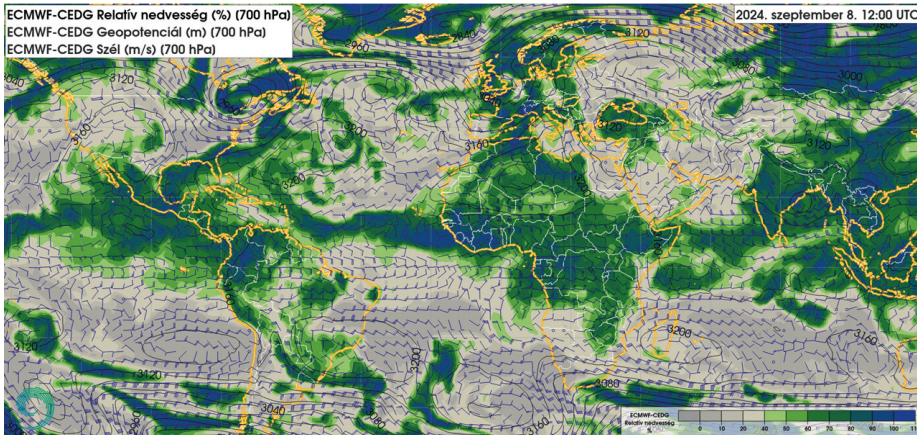


3. videó



4. videó





3.b. ábra. Globális cirkulációs helyzet 2024.09.08. 12 UTC-kor az ECMWF analízise alapján. A színezett területek a 700 hPa relatív nedvességet mutatják, a folytonos vonalak a 700 hPa geopotencial mezőjét, a szélzászlók a 700 hPa szint szélviszonyait ábrázolják.

egy nagyon hosszú, augusztus 11-től szeptember 10-ig tartó meleg periódus alakult ki.

Az első hőhullám júniusban (június 18–23.)

Az első jelentősebb hőhullám június közepén érkezett az országba. Sok tekintetben klasszikus meleg időjárás helyzetnek számított az atlanti partoknál lévő ciklon előoldalában feláramló afrikai eredetű légtömeg (5.a. ábra). A mediterrán térség zavartalan napsütésének hatására Nyugat-Afrikától Közép-Európa fölé sodródó levegő nem vesztett a magas

hőmérsékletéből, a magyarországi területeket a 20 fokos izoterma is elérte. A Nyugat-Európa felett hullámzó hidegfront több napig szinte egy helyben maradt, így a délnyugati áramlási rendszer is tartósan fennmaradt, nagy mennyiségű szaharai eredetű port szállítva a Kárpát-medence térségébe. A légszennyezési küszöbértéket is meghaladó por a Napot is elhomályosította, ami az 5. videón is jól követhető.

5. videó



Az első hőhullámot június 22-én megérkező hidegfront zárta (5.b. ábra), amely a keleti országrészben pusztító zivatarrendszereket okozott, helyenként rendkívül intenzív csapadékkal (6. videó).

6. videó



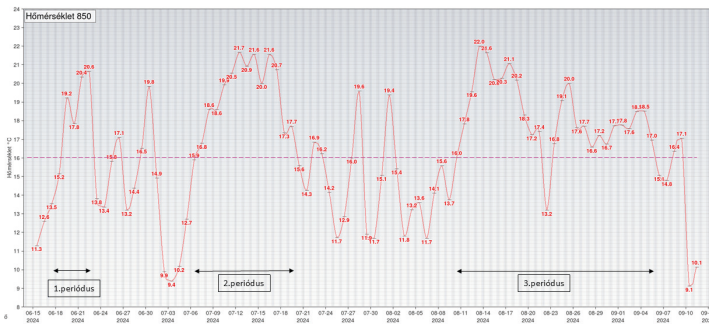
A hidegfront előterében a déli és a keleti ország-részben – ahová a lehűlés csak később érkezett meg a nap folyamán – a hőmérséklet még 30 °C fölé emelkedett, ezáltal új napi legmagasabb maximum-hőmérsékleti rekordot regisztráltak: Derekegyháza 37,7 °C-ig melegedett a levegő hőmérséklete, ami 0,1 °C-kal haladta meg a korábbi rekord értékét. A hidegfront érkezésével kialakuló intenzív csapadéktervékenység hatására június 22-én új napi csapadékrekord is született, Tokaj állomáson 121,3 mm-t mértek [7].

Meg kell még említeni a június utolsó napján kialakult rendkívüli meleget, amit rövid életű, de nagyon intenzív Szahara felől jövő áramlás hozott létre. Ezúttal egy gyorsan áthelyeződő frontrendszer előtt sodródott az afrikai forró levegő viszonylag keskeny sávja Közép-Európa fölé és a 20 fokos 850 hPa hőmérséklete ismét elérte Magyarország területét (6. ábra). A dinamikus zajló időjárási folyamatok során az ismét megjelenő szaharai port a fronttal érkező heves zivatarok söpörték ki (7. videó).

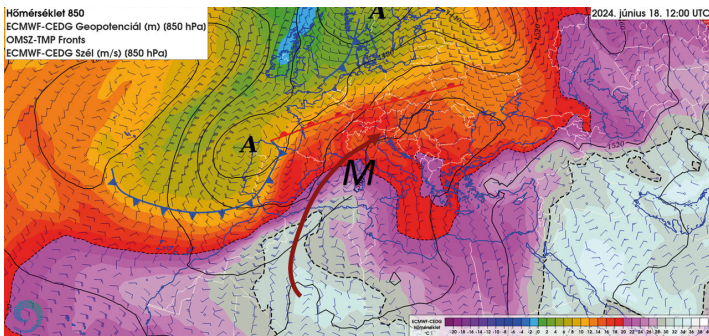
7. videó



A rövid ideig tartó, de intenzív melegadvekiótiót jól tükrözi, hogy június 30-án a napi középhőmérséklet országos átlaga 26,73 °C lett, ami 5,87 °C-kal meghaladja

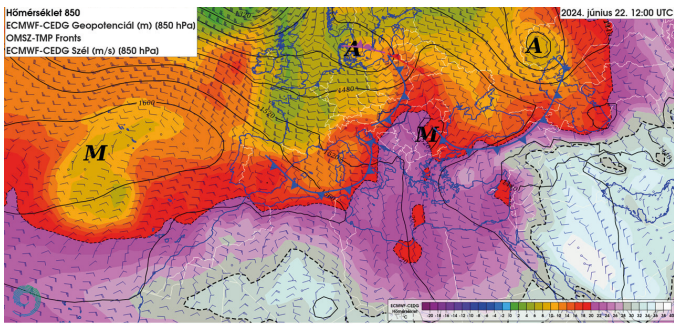


4. ábra. A 850 hPa nyomásszint hőmérséklete Baja felett az ECMWF analízise alapján. A hőseperiódusok a 16 fok feletti értékek alapján lettek definiálva.

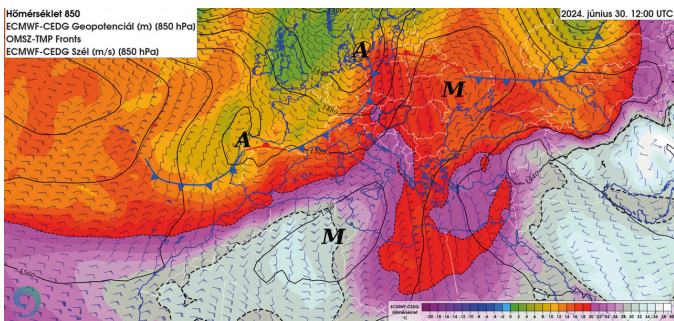


5.a. ábra. Időjárási helyzet 2024.06.18. 12:00 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa geopotencialis magasságát, a színezett területek a 850 hPa nyomási szint hőmérsékletét, a szélzászlók a 850 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szaggatott vonalak a 20, illetve 30 fokos izotermákat jelölik.

Ha az egy-két napos rövid időszakoktól eltekintünk, akkor 3 fő periódust különböztethetünk meg. Az első hőhullám június 18–22. között zajlott, majd ezt követte a több hőmérsékleti csúccsal rendelkező július 7–20. közötti forró időszak, végül a nyár második felében



5.b. ábra. Időjárási helyzet 2024.06.22. 12:00 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa geopotenciális magasságát, a színezett területek a 850 hPa nyomási szint hőmérsékletét, a szelzáslók a 850 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szaggatott vonalak a 20, illetve 30 fokos izotermát jelölik.

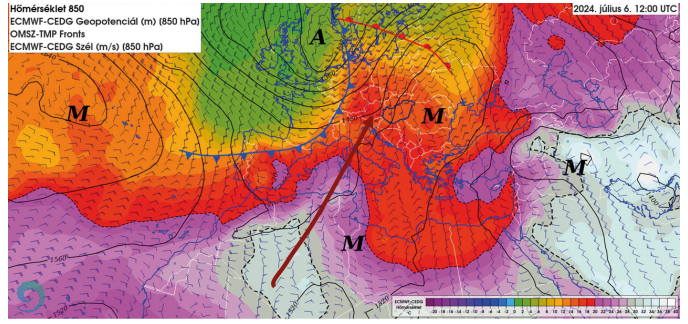


6. ábra. Időjárási helyzet 2024.06.30. 12:00 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa geopotenciális magasságát, a színezett területek a 850 hPa nyomási szint hőmérsékletét, a szelzáslók a 850 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szaggatott vonalak a 20, illetve 30 fokos izotermát jelölik.

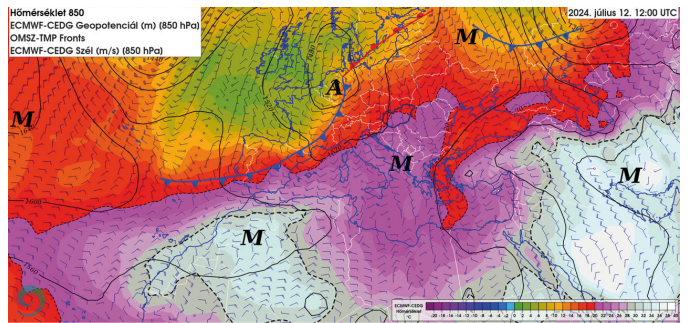
az ugyanerre a napra vonatkozó, 1991–2020-as klíma-átlagot. Budapest belterület állomáson a júniusi hóhulám az alkalmazott (Simon Cs., 2021) definíció alapján 13 napig (június 18-tól 30-ig) tartott, amely épp június 30-án tetőzött 28,6 °C-os középhőmérséklettel. A nyár folyamán korán megjelenő hőségperiódusok hozzájárultak ahhoz, hogy a 2024-es június a HungaroMet mérései alapján az ötödik legmelegebbnek adódott 1901 óta: országos átlagban 21,6 °C-os középhőmérséklete 1,8 °C-kal haladta meg az 1991–2020-as éghajlati normál értékét [8].

A júliusi legmelegebb periódus (július 6–17.)

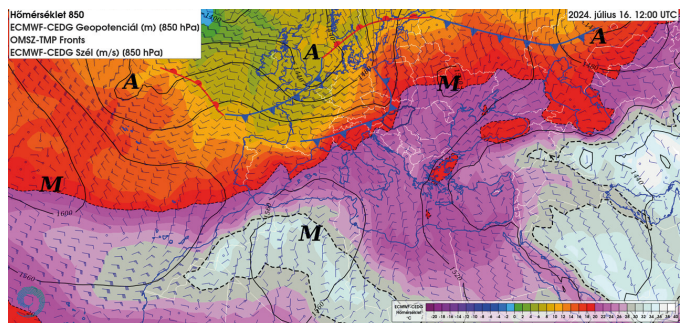
A magas napállás és a már felmelegedett légkör együttes hatására általában júliusban alakul ki a nyár legforróbb periódusa, és ez történt 2024-ben is. Egyrészt a száraz, felhőmentes légkörben Észak-Afrikában, majd a mediterrán térségben különösen felmelegedett a levegő. Másrészt a Rossby-öv légörvényei,



7.a. ábra. Időjárási helyzet 2024.07.06. 12:00 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa geopotenciális magasságát, a színezett területek a 850 hPa nyomási szint hőmérsékletét, a szelzáslók a 850 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szaggatott vonalak a 20, illetve 30 fokos izotermát jelölik.



7.b. ábra. Időjárási helyzet 2024.07.12. 12:00 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa geopotenciális magasságát, a színezett területek a 850 hPa nyomási szint hőmérsékletét, a szelzáslók a 850 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szaggatott vonalak a 20, illetve 30 fokos izotermát jelölik.



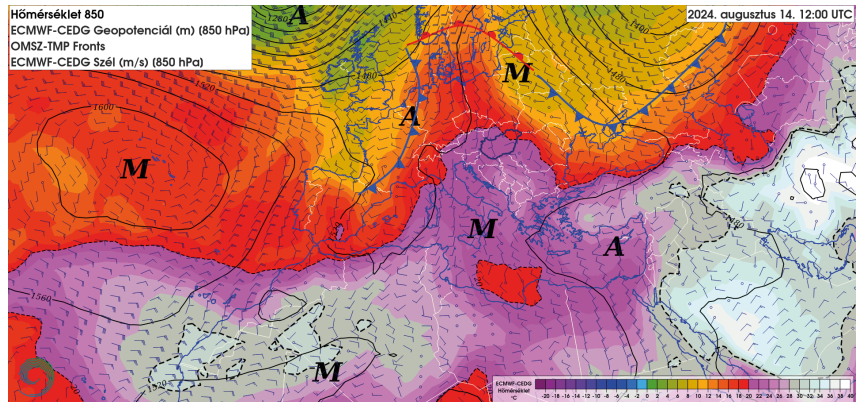
7.c. ábra. Időjárási helyzet 2024.07.16. 12:00 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa geopotenciális magasságát, a színezett területek a 850 hPa nyomási szint hőmérsékletét, a szelzáslók a 850 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szaggatott vonalak a 20, illetve 30 fokos izotermát jelölik.

illetve a hidegfrontok nem tudtak a déli területek felé betörni, mivel a száraz levegővel keveredve gyorsan kiszáradtak, a napsütés hatására pedig rövid időn belül felmelegedett az alsó légrétegekben beszívargó hideg levegő. Ennek az lett a következménye, hogy a ciklonok öve északabbra húzódtott, és a légörvények előoldali

áramlásaival az afrikai és mediterrán légtömegek folyamatosan sodródtak Közép-Európa fölé (7.a. ábra). Ez a nyitott melegszektor okozta délies áramlás jellemezte az egész időszakot, amikor a 850 hPa hőmérséklete több napon keresztül 20 fok fölött volt a magyarországi területek felett (7.b. ábra). A meleg időszak azonban egyáltalán nem volt eseménymentes, több alkalommal is előfordult, hogy egy-egy gyenge hidegfront elérte a Kárpát-medence északnyugati területeit, azonban legfeljebb néhány zivatart, vagy átmenetileg északnyugatra forduló szelet tudott produkálni. A Németország, illetve a Baltikum térségében hullámozó frontrendszer előtt kialakult az ilyenkor szokásos viharzóna, az a terület, ami a korábbi években tőlünk délre, majd tavaly többször felettünk jött létre és okozott heves konvektív viharokat [3][4][5]. A rendkívül meleg időszaknak végül egy betörő hidegfront vetett véget, amely főleg az ország déli és keleti területein okozott heves zivatarokat, zivatarrendszereket (7.c. ábra).

A júliusi hóhullámos időszak alatt sorra dőltek meg nem csak a napi legmagasabb maximum-, hanem a napi legmagasabb minimum-hőmérséklet rekordjai is. Július 9. és 17. között minden nap történt rekorddöntés; hét új napi országos és két fővárosi melegrekord született. Érdemes kiemelni, hogy nyolc napon a legmagasabb minimum-hőmérsékletre vonatkozóan is új rekordokat jegyezhetünk fel – tehát ebben az időszakban a délutáni forróságot követően az éjszakák sem hoztak érdemi felfrissülést. A hóhullám során a legmagasabb napi maximum-hőmérsékletet (41,6 °C-ot) Kelebián mérték július 16-án, míg a legmagasabb hajnali értéket, 27,4 °C-ot Pécs Egyetem állomáson regisztrálták július 17-ére virradó éjszaka. A teljes hónap középhőmérsékletének országos átlaga 24,53 °C volt, ami szintén rekordot jelentett, hiszen a mérések kezdete óta az ideiglett a legmelegebb július Magyarországon, 3 °C-kal meghaladva az 1991–2020-as átlagot. A forrósághoz aszály is társult, ugyanis országos átlagban vett 22,2 mm-es csapadék összegével a hetedik legszárazabb július lett 1901 óta [9].

A hónap folyamán hóhullám sújtotta a Mediterráneumot is, az Ibériai-félsziget középső táján napokon keresztül 40 °C feletti csúcsertékek fordultak elő. Magyarországon kívül Görögországban,

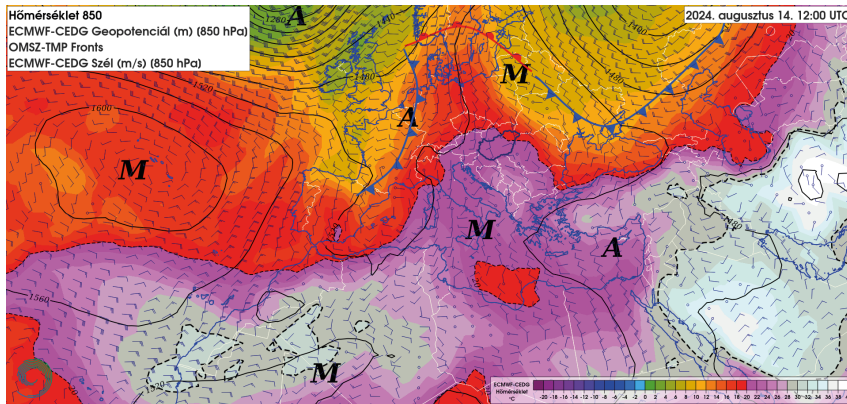


8. ábra. Időjárási helyzet 2024.08.14. 12:00 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa geopotenciális magasságát, a színezett területek a 850 hPa nyomási szint hőmérsékletét, a szélvonalak a 850 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szaggatott vonalak a 20, illetve 30 fokos izotermákat jelölik.

Szlovéniában, Horvátországban és Bulgáriában is rekordmeleg júliust regisztráltak [10]. Európa északi részén, Finnországban az északi szélesség 70. fokán fekvő Utsjoki Kevo állomáson több napon keresztül 30 °C feletti maximum-hőmérsékletet mértek, ezáltal a déli, part menti területek helyett Lappföldön volt a legmelegebb az országban.

Az augusztusi hosszú meleg periódus (augusztus 6. – szeptember 4.)

A nyár harmadik jelentős meleg periódusa rendkívül hosszú ideig tartott, és a meteorológiai háttér is sokban különbözött az előzőektől. Egy rövid időszaktól (augusztus 21–22.) eltekintve végig 16 fok felett volt a 850 hPa nyomási szint hőmérséklete, azonban ezúttal nem csak a saharai eredetű levegő szerepe volt a meghatározó. A hóhullám csúcán (augusztus 14.) a meleg gerinc kialakulásánál a nyugatról közeledő hidegfront előtt sodródó meleg levegő mellett az északkeletről jövő hidegfront előtt torlódó és Kis-Ázsia irányából jövő légtömegek is szerepet játszottak (8. ábra). Átmeneti rövid lehülés és egy – augusztus 20-t is meghatározó – zivataros időszakot követően a Kárpát-medencében ismét gyorsan visszamelegedett a levegő. Az időszak második felében a hőség elhúzódásában egyre nagyobb szerepet kapott a kelet-délkeletről jövő meleg levegő, amely az Arab-félsziget, illetve Szíria térségéből, a felforrósodott Kis-Ázsián keresztül érkezett a Kárpát-medence fölé (9. ábra). A szeptember első napjaiig elhúzódó melegnek egy markáns lehülés vetett véget, amely a meleg levegőben tárolt nedvesség kondenzációjához és a rendkívüli árvizet okozó Boris ciklon kialakulásához vezetett [6].



8. ábra. Időjárási helyzet 2024.08.14. 12:00 UTC-kor. A folytonos vonalak a 850 hPa geopotenciális magasságát, a színezett területek a 850 hPa nyomási szint hőmérsékletét, a szélvonalok a 850 hPa nyomási szint szélviszonyait mutatják. A szaggatott vonalak a 20, illetve 30 fokal izotermákat jelölik.

Az augusztus elején kezdődő hőségperiódus során is sok új hőmérsékleti rekord született. Négy napon dőlt meg a legmagasabb maximum-hőmérséklet országos rekordja, ezek közül a legmagasabb értéket, 40,7 °C-ot augusztus 13-án, Kelebián mérték. Ennek a hőhullámnak a jelentősége abban rejlett, hogy éjszakánként egyre kevésbé tudott felfrissülni a levegő – 12 napon regisztráltak új országos legmagasabb napi minimum-hőmérsékleti rekordot, amelyek közül a legmagasabb értéket (27,7 °C-ot) Pécs Egyetem állomáson mérték augusztus 17-ére virradó éjszaka [11]. Az augusztusi középhőmérséklet a Dél-Alföldön néhol a 26 °C-ot is meghaladta, az országos átlag pedig 24,53 °C-nak adódott (vagyis megegyezett a júliusi középhőmérséklettel). Ezzel az idei augusztus a második legmelegebb lett 1901 óta, mindösszes 0,01 fokkal lemaradva 1992 augusztusától, 3,4 °C-kal meghaladva az 1991–2020-as átlagot [12]. A szeptember elejére is átnyúló hőhullám Szeged külterület állomáson az alkalmazott kritériumok alapján időtartamát és intenzitását (utóbbit a napi középhőmérsékletek 25 °C feletti hőösszegével fejezzük ki) tekintve is rekordot döntött: 32 napig tartott, és 68,5 °C-os intenzitás értékkel rendelkezett.

Következtetések

A 2024-es hazai forró nyár kialakulásának 3 fő okát lehet megjelölni.

Egyrészt szerepet játszott az az öngerjesztő folyamat, amely során a már kezdetben is meleg, majd tovább melegedő levegő több nedvességet képes felvenni, mint amennyi a felszíni párolgás során rendelkezésre áll. Ennek következtében a nyár kezdetén a gyorsan melegedő légkörben csökken a felhőzet, még több

lesz a napsugárzás és ez tovább melegeíti a légkört.

Másrészt a fenti folyamat elsősorban a trópusi és sivatagi övet meghatározó Hadley-cellára is hatással volt, azaz arra a cirkulációs rendszerre, amely a trópusokon a levegő feláramlását, a sivatagi övben pedig a kompenzáló leáramlást hozza létre. A gyorsuló kiszáradás, illetve melegedés a cella sivatagi, azaz leszálló ágát erősítette. A Hadley-cella leszálló ágára jellemző magasnyomású területek a Földközi-tenger térségébe húzódtak, a sivatag irá-

nyából nem csak vissza a trópusok felé, hanem északi irányba is gyakran elmozdultak a légtömegek, létrehozva Európában a hőhullámokat.

A harmadik okként a nyugati szelek övének, a Rossby-övinek az északabbra húzódását lehet megjelölni, ami ugyancsak következménye az első két hatásnak. A Hadley-cella megerősödő leáramlási öve erőteljesen elszigetelte a trópusi és a nyugati szelek övét, így a trópusi nedvesség a kontinens fölött nem tudott északra feljutni, ezzel jelentősen csökkent a ciklonok aktivitása.

A nyár folyamán a légkörben felhalmozódott, de telítetlen állapotban lévő nedvesség alacsonyabb hőmérsékletű légtömeg érkezésével (pl. hidegbetörés) gyors kicsapódásnak indul, amely jelentősebb csapadékhulláshoz vezet. Erre volt példa a szeptember elejei közép-európai árvíz okozó ciklon is.

Végső következtetésként elmondható, hogy a magasabb hőmérsékleten zajló légköri vízforgalom a hosszan tartó forró és száraz, valamint a rövidebb, de intenzív csapadékos időjárási helyzetek kialakulásának egyaránt kedvez. Az ilyen jellegű szélsőséges időjárásra 2024 nyara jó például szolgál.

Irodalomjegyzék

- Demirdjian R., Doyle J.D., Finocchio P.M. and Reynolds, C.A., 2023. Preconditioning and Intensification of Upstream Extratropical Cyclones through Surface Fluxes. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 80(6), 1499-1517. <https://doi.org/10.1175/JAS-D-22-0251.1>
- Gimeno Presa, L., Vázquez, M., Eiras Barca, J., Sorí, R., Stojanovic, M., Algarra, I., Nieto, R., Ramos, A.M., Durán Quesada, A.M. and Dominguez, F., 2020: Recent progress on the sources of continental precipitation as revealed by moisture transport analysis. *Earth-Science Reviews*, 201,

103070. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103070>
- Holton J., and G. Hakim, 2013: An Introduction to Dynamic Meteorology, *International Geophysics Series*, Vol. 88. 5th ed., Elsevier Science, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374266-7.00011-1>
- Houze R. J., 2014: Cloud Dynamics, *International Geophysics Series*, Vol. 104. 2nd ed., Elsevier Science, 496 pp., <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374266-7.00011-1>
- Kim S., Wasko C., Sharma A. and Nathan R., 2024.: The role of regional water vapor dynamics in creating precipitation extremes. *Journal of Hydrology X*, 24, p.100181. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2024.100181>
- Rotunno R., and K. Emanuel, 1987: An air–sea interaction theory for tropical cyclones. part ii: Evolutionary study using a nonhydrostatic axisymmetric numerical model. *J. Atmos. Sci.*, 44, 542–561, [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1987\)044<0542:AA-ITFT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1987)044<0542:AA-ITFT>2.0.CO;2)
- Shapiro 0. M. A., and D. Keyser, 1990: Fronts, jet streams and the tropopause. Extratropical cyclones, *Springer*, 167–191.
- Schumacher, D.L., Keune, J., Dirmeyer, P. and Miralles, D.G., 2022: Drought self-propagation in drylands due to land–atmosphere feedbacks. *Nature Geoscience*, 15(4), 262–268. <https://doi.org/10.1038/s41561-022-00912-7>
- Simon Cs., 2021: Höhullám kategóriák és trendek Magyarországon. Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Budapest (témavezető: Lakatos Mónika, Kis Anna), https://nimbus.elte.hu/tan-szek/docs/MSc/2021_2/Simon_Csilla_2021.pdf
- Wallace J. M., Battisti D. S., Thompson D. W. J., Hartmann D. L., 2023: Atmospheric General Circulation, Cambridge University Press, március 2023.
- Wan N., Lin X., Pielke Sr R.A., Zeng X. and Nelson A.M., 2024. Global total precipitable water variations and trends over the period 1958–2021. *Hydrology and Earth System Sciences*, 28(9), 2123–2137. <https://doi.org/10.5194/hess-28-2123-2024>
- [3] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3351
- [4] https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3057&hir=Julius_9-i_zivataros_hidegfront_idojarasi_hattere
- [5] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3186&hir=Szupercellak_jegesovel&gl=1*1ir0txu*_ga*ODA5NTk4MzQ4LjE3MDkzMDgzMTU.*_ga_7LBGNNHF2R*MTcyOTc3NzM2MC4zOS4xLjE3Mjk3Nzc2MzguMC4wLjA
- [6] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3476&hir=A_2024_szeptemberi_rendkivuli_dunai_arviz_meteorologiai_hattere
- [7] [https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5820&m=2&hir=Rekord_elotte_rekord_jott_vele_\(2024.06.22.\)](https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5820&m=2&hir=Rekord_elotte_rekord_jott_vele_(2024.06.22.))
- [8] https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3451&hir=Az_otodik_legmelegebb_junius_es_a_legmelegebb_első_felev
- [9] https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3461&hir=A_legmelegebb_es_a_hetedik_legszarazabb_julius_1901_ota
- [10] <https://wmo.int/media/news/july-sets-new-temperature-records>
- [11] [https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5909&m=2&hir=Orszagos_es_fovarosi_rekordok_\(2024.08.17.\)](https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5909&m=2&hir=Orszagos_es_fovarosi_rekordok_(2024.08.17.))
- [12] https://met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3467&hir=A_masodik_legmelegebb_augusztus_1901_ota

Videók

- <https://youtu.be/w97ZhM-RHsA>
- <https://youtu.be/0ixDTiAtXb8>
- <https://youtu.be/RAXyMgdfcgM>
- <https://youtu.be/b1KyGi5KOGc>
- <https://youtu.be/BGA181a9yoQ>
- <https://youtu.be/MtbQSZKD-kQ>
- <https://youtu.be/vNj3Hlw9UY8>

Internetes hivatkozások

- [1] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3200&hir=A_2022-es_rendkivuli_szarazsag_fizikai-meteorologiai_hattere
- [2] https://met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3212&hir=A_viz_korforgalma_a_legkorben_%E2%80%93a_rendkivuli_aszaly_idojarasi_hattere