

(Por) Száraz tények...

A közelmúltban Mészáros Péter, a Pilisi Parkerdő Zrt. szóvivője, egy az InfoRádióknak adott interjúban többek között megemlítette, hogy jelenleg legalább egy évszaknyi csapadékmennyiség hiányzik erdeink talajából, a téli csapadék, a tartós téli hótakaró gyakorlatilag teljes hiánya miatt. A nem túl biztató képet érdemes tovább árnyalni azzal, hogy valójában nem egy, hanem legalább kettő évszaknyi már az aktuálisan érzékelhető csapadékhiány, mivel 2024 őszén csak a szeptember eleji Boris-ciklon okozott jelentősebb csapadékmennyiséget egy, ne felejtjük el, forrós és aszályos nyarat követően.

Az őszi folytatásában az ország legtöbb pontján – jelentős területi különbségek és szélsőséges eloszlás mellett – 10 mm feletti napi csapadékösszegek jóval ritkábban, vagy egyáltalán nem voltak mérhetőek.

2024/2025 tele pedig rendkívül száraz, már-már kijelenthetjük, hogy aszályos. Az Alsó-Ipoly-menti Térség hivatalos, szinoptikus meteorológia mérőállomáson, a Börzsöny északnyugati hegylábjánál mért három havi (november-december-január) csapadékösszeg alig 38 mm!

Ehhez járul, hogy 2024 nyara forró és hosszú hőség-periódusokat okozott, és valójában erdeink még a 2022. évi extrém nyári időjárás sokkját sem heverték ki, a mélységi talajrétegek vízutánpótlása terén sem.

Erről egy frissen készült, nem teljesen szerencsés beállítású, de annál árulkodóbb fotó is beszédes képet mutat. A képen a Kis-Hanta-patak (a Börzsöny hegység 3. legnagyobb vízgyűjtőterületű kisvízfolyása) egy mederkanyarulata látható, ahol a



hóolvadások, tartós esőzések, heves zivatarok idején levonuló legnagyobb vízszintek fősodorvonala, szinte feltáró talajszelvényként definiálható függőleges mederfalat alakított ki.

Ahogy, azt a mellékelt fénykép, egy túrabot segítségével a valós méretarányokat is jelezve mutatja, a kb. 140-150 cm mély patakmeder(!) oldalfala, teljes keresztmetszetében, szó szerint porszáraz. Nem csak a külső felülete! Februárban...

Az alábbi, a Hungaromet Zrt. meteorológusai által készített tanulmány ennek az egyre kumulálódó, erdei talajainkban, a mélyebb talajrétegekben is „kézzel fogható” csapadékhiánynak a globális klimatológiai okait igyekszik közérthetően bemutatni, 2024 nyarának elemzésével.

Tanulságul annak, hogy ezen a téren sem (!) vagyunk mentesek a nagytérégi rendszerek működése és azok negatív vagy pozitív anomáliái terén.

Szöveg és kép: **Nagy László**, főszerkesztő

A forráság meteorológiája

2024 nyarának globális okai és okozatai

Horváth Ákos, Breuer Hajnalka, Simon Csilla¹

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 a 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 nagytérsgű (légköri – a szerk.) cirkulációban beállt anomáliákra vezethető vissza. Jelen írás egyrészt a szélsőségek mögött álló cirkulációs hátteret, másrészt annak tükrében a nyári hőhullámok időjárási sajátosságait próbálja bemutatni.

A szárazság és a nagy csapadék közös háttere

A globális légköri cirkuláció egy hatalmas hőerőgépnél tekinthető, amelyet az alacsonyabb szélességi övekben meghatározó napsugárzás (rövidhullámú besugárzás) okozta energiatöbblet, illetve a magasabb szélességi körökön domináló kisugárzás (hosszúhullámú kisugárzás) hajt meg.

Az így létrejövő hőmérséklet-különbség kiegyenlítését szolgáló szélrendszereket azonban nagymértékben befolyásolja a légáramlásokkal együtt mozgó víz jelenléte, illetve annak fázisváltozása [1]. A déli óceánokról elpárolgó víz – gőzzé alakulva – maga is energiát szállít, amely a magasabb földrajzi szélességeken koncentráltan kicsapódva látens hő formájá-

¹ Hungaromet Zrt.

ban felfüti a légkört, ilyen módon többek között hozzájárul a ciklonok erősödéséhez [2] [12].

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 [13]. 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 [1] [3]. 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 [4] [14]. 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 koncentrálna egy kisebb területre, így könnyebben létrejönnek az árvizet okozó ciklonok [5].

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 légkörben a telítetlen vízgőz mennyisége. Az ősszel kezdődő lehűlés során az így felgyülemlett légköri energia felszabadulása segítette a mérsékelt égövben létrejövő ciklonok, illetve a trópusi hurrikánok kialakulását [6]. *A magasabb hőmérsékleten zajló vízkörforgás egyaránt felelős a szárazsáért és a heves csapadékért* [15].

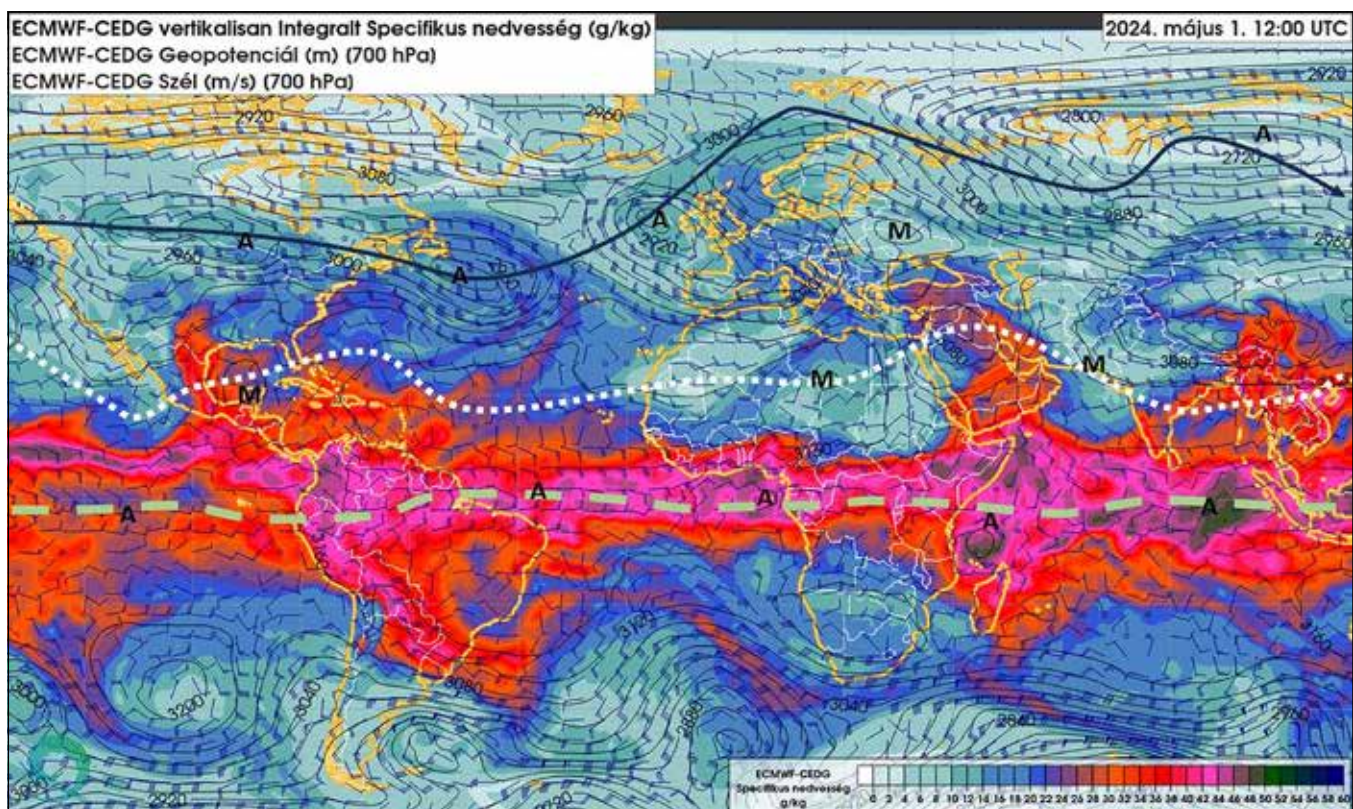
A globális cirkulációs körülmények

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.

Az 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 [7].

Mindez jól látható az alsó troposzféra nedvességeloszlásából a trópusok feletti erősen nedves, illetve a sivatagok feletti erősen száraz területek szerint (*1. ábra*).

Az *1. ábra* alapján a nyári félvég 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.



1. ábra Globális cirkulációs helyzet 2024. május 1. 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 (trópusi összeáramlási zóna) hozzávetőleges helyzetét, a fehér pontozott vonal a tartós, nagy területet érintő leáramlás középvonalát, a fekete vonal a Rossby-öv tengelyét jelzi.

A relatív nedvesség eloszlását tekintve 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 [16].

A globális hőmérsékleti viszonyokat tekintve látható, hogy az északi féltekén az alsó troposzférában a legmelegebb területek a Szahara fölött találhatók. A keleties paszszátszállal a forró sivatag felett áramló levegő nyugat felé haladva egyre melegebbé vált (2. ábra). A forró levegő ilyen módon való felhalmozódása hozzájárult a későbbiekben Európát is elérő hosszán tartó hőhullámok kialakulásához.

A nyár közepére a trópusi összeáramlási öv északabbra tolódott, ennek megfelelően a Hadley-cella leszálló ága is a Földközi-tengerig terjeszkedett. 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. Ez főként a Földközi-tenger medencéjét érintette, ahol a délről terjeszkedő sivatagi áramlások mellett a felhőzet hiányában zavartalan napsütés is növelte a forróságot.

A földközi-tengeri hőség a Kárpát-medence időjárására is erős hatással volt, ebből a térségből jövő hőhullámok voltak a közvetlen kiváltói a magyarországi forró és száraz időjárási periódusoknak.

A globális hőmérséklet területi eloszlásában ugyancsak megfigyelhető a nyáron szokásos kettős maximum kialakulása: a szaharai mellett az Arab-félsziget és a Perzsa-öböl térsége is rendkívül felmelegedett. *A hosszán 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 a felhalmozódott meleg, trópusi levegő a Szahara felett feláramlott Európa fölé. 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 hurrikánszezon beindulásával a trópusi viharok is számottevő nedvességet kezdtek szállítani a nyugati szelek övébe, aminek következtében az atlanti ciklonok aktivitása is megnövekedett.

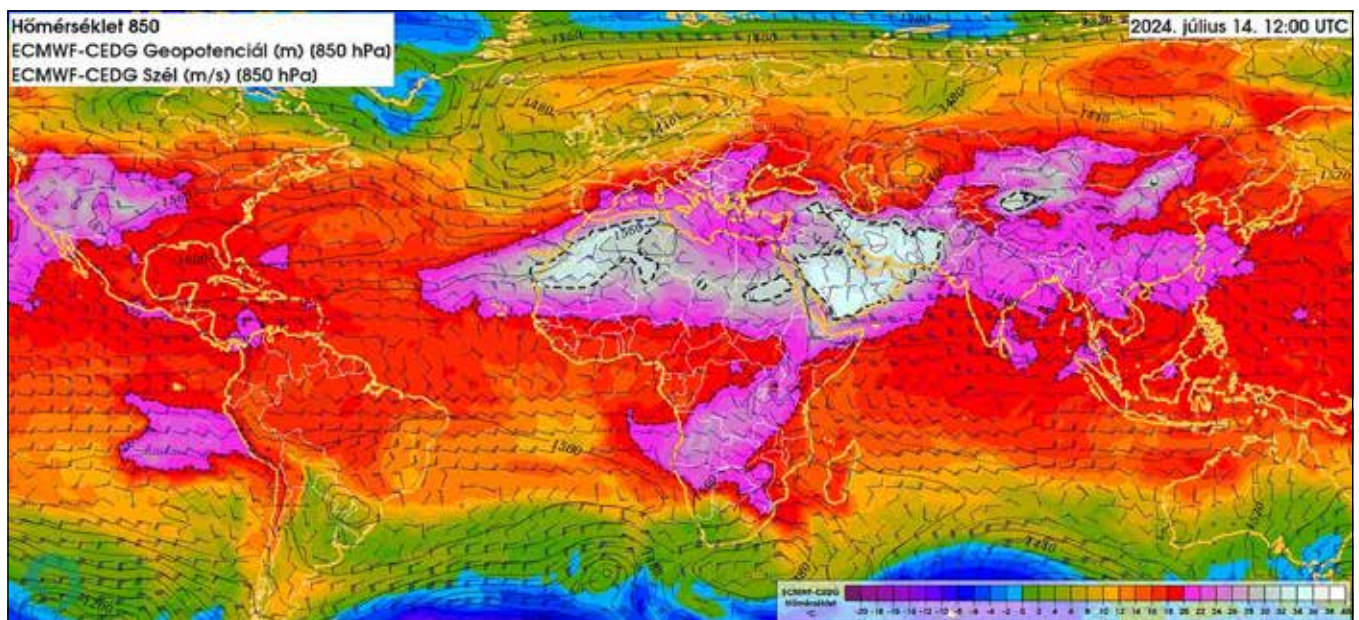
Hőhullámok a Kárpát-medencében

A térség hőhullámjainak alakulása jól követhető a felszín közeli szabad légkör, a 850 hPa (kb. 1500 m) magassági szint hőmérsékletének ábrázolásával (3. 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. kép Tartós forróság, nagy párolgási veszteség, hosszú, csapadégmentes aszályos periódus, élénk, szárító hatású délkeleti szelek okozta, méteres mélységű talajrepedés (ABET), zárt lombosított cseres erdőállomány alatt



2. ábra Globális cirkulációs helyzet 2024. július 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. (A fehérral színezett területek a két trópusi sivatag – a szaharai és az arab-félszigeti – felett kialakult forró centrumok területét jelöli ki, melyekből az északra áramló levegő „harapófogóba” zárta a Kárpát-medencét és Európa jó részét – lilával színezett területek – a szerk.)

Ha az egy-két napos rövid időszakoktól eltekintünk, akkor három 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 egy nagyon hosszú, augusztus 11-től szeptember 10-ig tartó meleg periódus alakult ki.

Következtetések

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

Egyrészt szerepet játszott az az öngerjesztő folyamat, amely során a már kezdetben is meleg, majd tovább melegező 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 melegíti 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 melegeedés a cella sivatagi, azaz leszálló ágát erősítette. A Hadley-cella leszálló ágára jellemző magasnyomású területek a Földközi-tenger térségébe húzódtak, a sivatag irányából nemcsak 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-övének az északabbra húzódsát 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 (például hidegbetörés) gyors kicsapódásnak indul, amely jelentősebb csapadékhulláshoz vezet. Erre volt példa a szeptember eleji közép-európai árvizet okozó ciklon is.

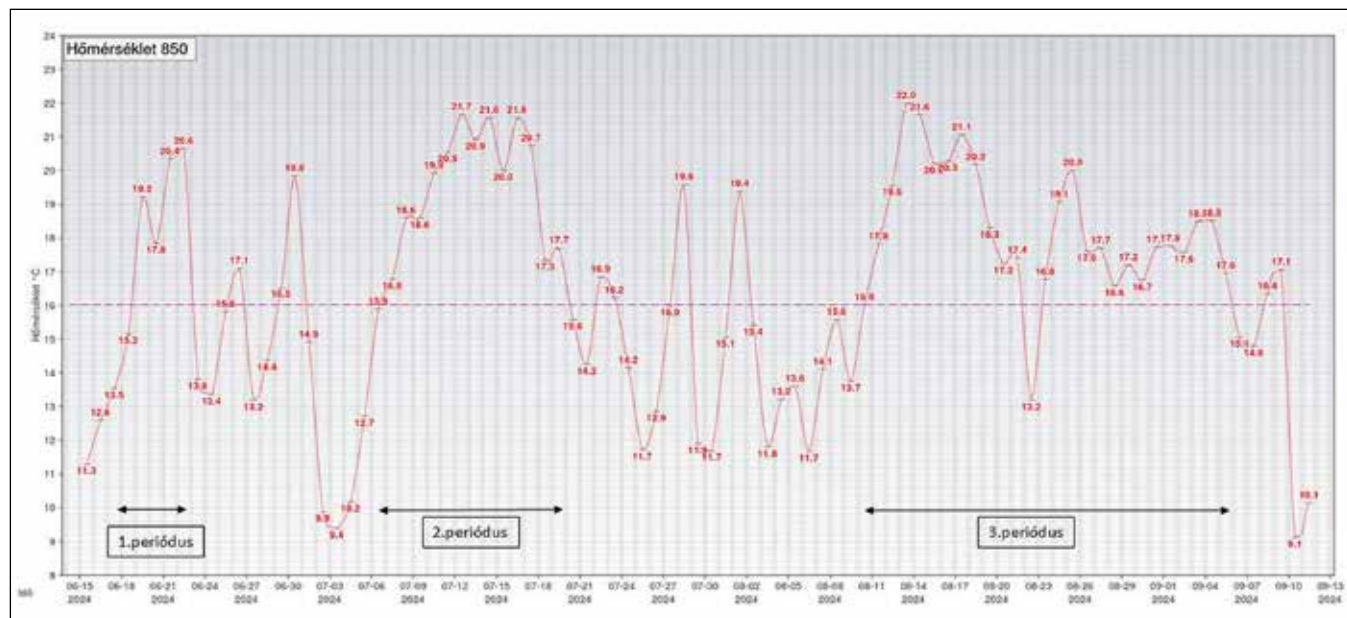


3. kép A tartós forróságtól, a nagy fokú csapadékhánytól, a légköri aszálytól, a magas UV-sugárzástól, a száraz, tartósan fújó keleti szelektől és a 20 Celsius-fok feletti minimum hőmérsékletű, ún. „trópusi éjszakák” sorozatától felperzselődött bükklevél, egy borszőnyi bükkös állományban

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

Felhasznált irodalom

- [1] Holton, J., and G. Hakim, 2013: An Introduction to Dynamic Meteorology, International Geophysics Series, Vol. 88. 5th ed., Elsevier Science, doi.org/10.1016/C2009-0-63394-8
- [2] Robert Houze, J., 2014: Cloud Dynamics, International Geophysics Series, Vol. 104. 2nd ed., Elsevier Science, 496 pp., doi.org/10.1016/B978-0-12-374266-7.00011-1
- [3] met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/id=3200&hir=A_2022-es_rendkivuli_szarazsag_fizikai-meteorologiai_hattere
- [4] met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/id=3212&hir=A_viz_korforgalma_a_legkorben_a_rendkivuli_aszaly_idojarasi_hattere



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

- [5] 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, doi.org/10.1175/1520-0469(1987)0442.0.CO
- [6] O. Shapiro, M. A., and D. Keyser, 1990: Fronts, jet streams and the tropopause. *Extratropical cyclones*, Springer, 167–191.
- [7] John M. Wallace, David S. Battisti, David W. J. Thompson, Dennis L. Hartmann, 2023: *Atmospheric General Circulation*, Cambridge University Press, március 2023.
- [8] met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=3351
- [9] met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/id=3057&hir=Julius_9-i_zivataros_hidegfront_idojarasi_hattere
- [10] met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/id=3186&hir=Szupercellak_jegesovel
- [11] met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/id=3476&hir=A_2024._szeptemberi_rendkivuli_dunai_arviz_meteorologiai_hattere
- [12] 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., doi.org/10.1175/JAS-D-22-0251.1
- [13] 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., doi.org/10.5194/hess-28-2123-2024
- [14] 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., doi.org/10.1038/s41561-022-00912-7
- [15] 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., doi.org/10.1016/j.hydroa.2024.100181
- [16] 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., doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103070
- [17] met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=5820&m=2&hir=Rekord_elotte_rekord_jott_vele_(2024.06.22.)
- [18] Simon, Cs., 2021: Hőhullám kategóriák és trendek Magyarországon. Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Budapest (témavezető: Lakatos Mónika, Kis Anna), nimbus.elte.hu/tanszek/docs/MSc/2021_2/Simon_Csilla_2021.pdf
- [19] met.hu/rolunk/hirek/id=3451&hir=Az_otodik_legmelegebb_juni_us_es_a_legmelegebb_elso_felev
- [20] met.hu/rolunk/hirek/id=3461&hir=A_legmelegebb_es_a_hetedik_legszarazabb_julius_1901_ota
- [21] wmo.int/media/news/july-sets-new-temperature-records
- [22] met.hu/rolunk/hirek/id=5909&m=2&hir=Orszagos_es_fovarosi_rekordok_(2024.08.17.)
- [23] met.hu/rolunk/hirek/id=3467&hir=A_masodik_legmelegebb_augusztus_1901_ota
- A tanulmány elkészítését az MTA Fenntartható Fejlődés és Technológiák Nemzeti Program (FFT NP FTA) támogatta.

Forrás: **Hungaromet Zrt./Tanulmányok**
(https://www.met.hu/ismeret-tar/erdekessegek_tanulmanyok/index.php?id=34990)

Ábrák: **Hungaromet Zrt.**

Fotók: **Nagy László/Erdészeti Lapok**

Szerkesztette, referálta: **Nagy László/Erdészeti Lapok**

Szárazságtűrő csemetékkel a klímaváltozás ellen

Az erdők klímaváltozáshoz történő alkalmazkodásának megsegítésére indított közös szlovák-magyar projektet az Erdészeti és Energetikai Szaporítóanyag Terméktanács. Ennek keretében őshonos fajok déli származású, vagyis a jövőben várható klímához már adaptálódott magjából új technológiával, burkolt gyökerű facsemetéket nevelnek, és országsszerte, illetve Szlovákiában is több helyszínen kísérletet indítanak növekedésük nyomon követésére.



A terméktanács szerint a projekt időszerűségét az is mutatja, hogy a klímaváltozás a növényvilág és benne az erdei fajok számára követheetlen sebességgel zajlik. Ráadásul ez egy olyan folyamat, amelyben a humán tevékenységek idézik elő a termőhelyi adottságok gyors változását. Ezeket a legtöbb fajfaj képtelen spontán szelekciós folyamatokkal ellensúlyozni, így Közép-Európa erdőborítottságának fenntartása soha nem látott kihívások elé néz.

Az erdészeti szaporítóanyag kulcsfontosságúvá vált az erdők fennmaradásában. A terméktanács szerint az ember által segített szaporítóanyag-mozgatás a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásban akár ötven évnyi időt is képes áthidalni, míg a facsemeték kedvező feltételek között történő előnevelése és földlabdával történő ültetése a kezdeti növekedési időszak nehézségeit segít átvészelni.

A projekt fafajait az állami erdészeti társaságok igényei alapján határozták meg, így a lehangsúlyosabb a kocsánytalan tölgy, a kocsányos tölgy, illetve a cser lesz. Mellettük a projekt részeként elegy fafajokat is telepítenek.

Azzal, hogy a csemeték tálcás, burkolt gyökerű formában kerülnek az erdészetekhez, az utóbbiak munkáját könnyítik meg. Ezek ugyanis nagyon hosszú időszakban ültethetők, míg a szabad gyökerűek csak akkor, amikor nyugalmi állapotban van a csemete, és ez az időszak egyre rövidül. Az ültetési időszak hossza mellett a burkolt gyökerű csemeték mellett szól az is, hogy ezeknek a megmaradása 95 százalékos.

Kelemen Zoltán/Világgazdaság, Fotó: EESZT