



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

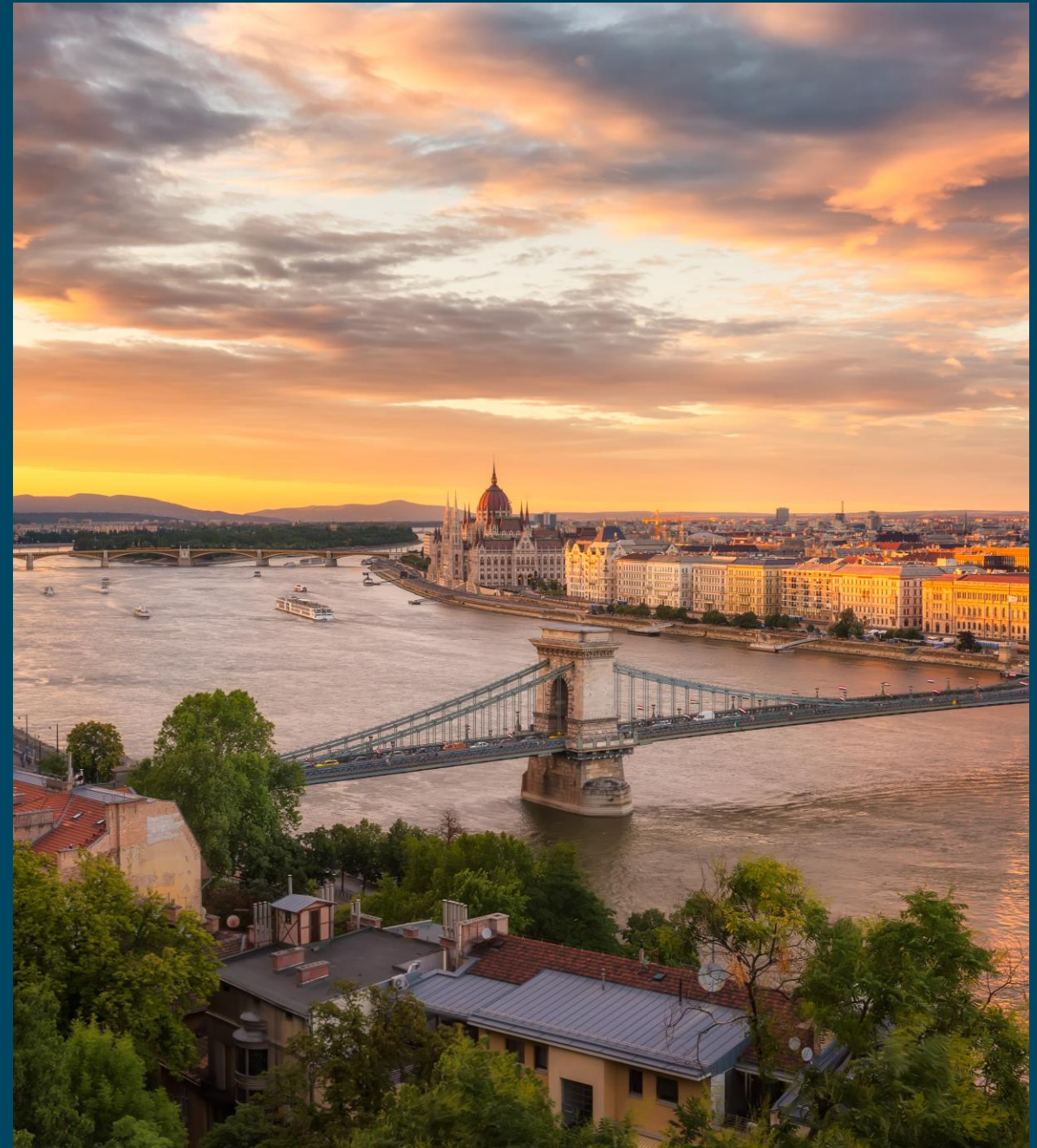
Légköri veszélyek az atlanti viharciklonoktól a balatoni viharokig

Horváth Ákos PhD

HungaroMet Zrt. Siófoki Viharjelző Obszervatórium

Breuer Hajnalka PhD

ELTE Meteorológiai Tanszék





A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA



Dinamikus meteorológiai háttér:
instabil perturbációk,
energiakaszád,
látens hő

Perturbációk



$$\frac{dU}{dt} = \overline{HTR}(U, \bar{x}, \bar{p})$$

Nem lineáris (zárt alakban nem felírható) rendszer ahol U a prognosztikai változók

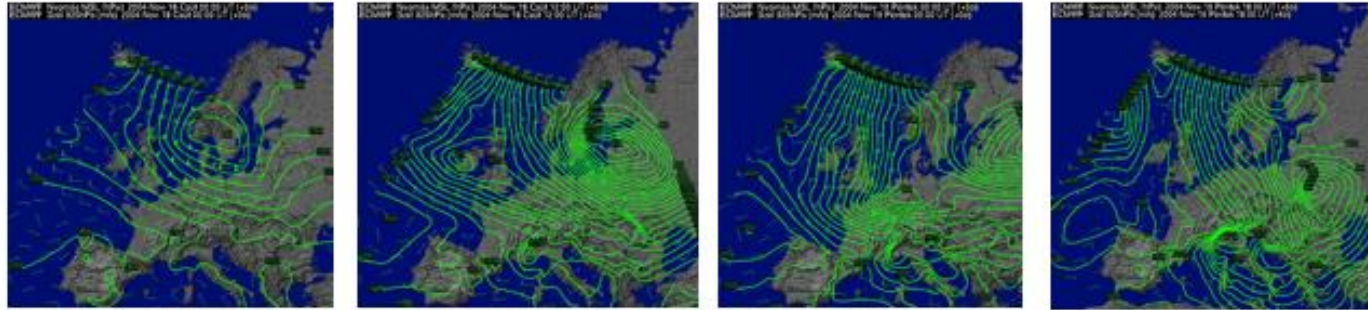
$$U = \bar{U} + U'$$

Az \bar{U} alapállapot legyen stacionárius, U' a ráakódó perturbáció

$$\frac{dU'}{dt} = L(U, \bar{x}, \bar{p})$$

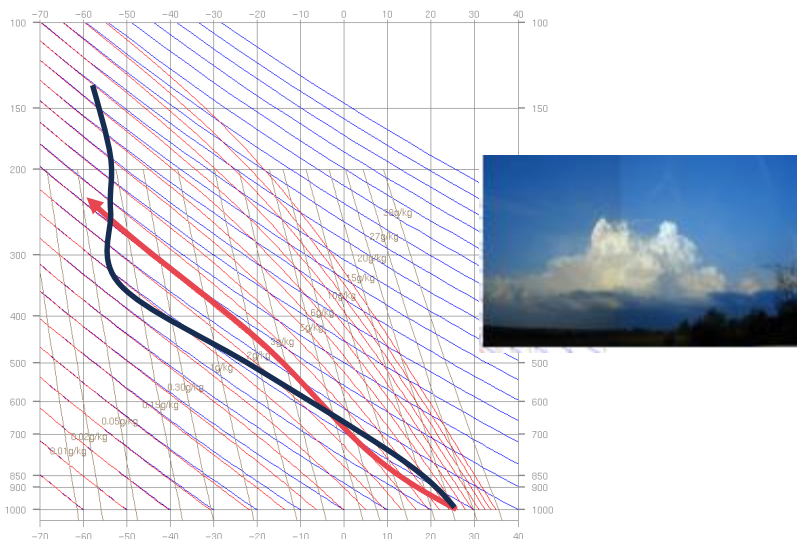
A perturbáció időbeli változása az adott alapállapot függvényében

Szinoptikus skálán példa a baroklin instabilitás:



Tátrai Vihar 2004. nov.19.
lejtővihar (még kisebb perturbáció)

Mezoeskálán példa a konvektív instabilitás:



Feltételezzük, hogy csak egy irányú az energiaáram:

$\bar{U} \rightarrow U'$ nincs visszacsatolás (sem áram, sem trigger formában)



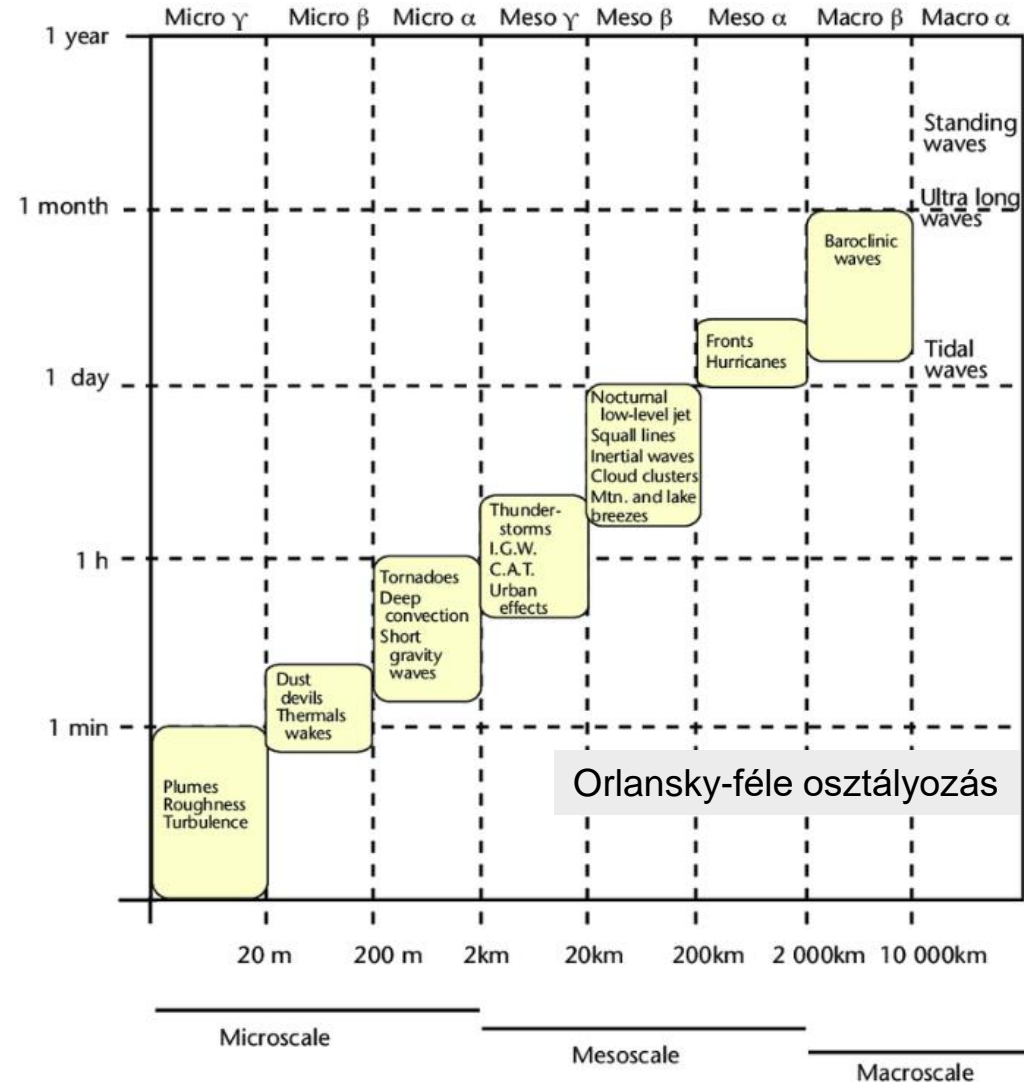
Energiakaszád és viharok



“Big whirls have little whirls,
That feed on their velocity;
And little whirls have lesser whirls,
And so on to viscosity.”

– Lewis Fry Richardson

Leskálázódás



Viharciklonok
Időjárási frontok (diszkontinuitás)
Mezoskálájú konvektív rendszerek
Zivatarcellák (szupercellák)
Légzuhatagok, kifutósél frontok
Porördögök

Trigger hatások



Felskálázódás („konvektív superponálódás”)

Hadley cella



hurrikánok
medikánok

Energia átvitel módja:

- hullámmozgás (gravitációs és inercia)
- advekción (horizontálisan és vertikálisan)
- látens hőáram (nedvesség szerepe meghatározó)



A légköri víz-vízgő szerepe

A melegedő levegő több nedvességet képes felvenni, mint amennyit a felszín párologtatni képes



A melegedő levegő több nedvességet képes felvenni, mint amennyit a felszín párologtatni képes



Csökken a felhőzet, növekszik a besugárzás, még melegebb lesz, még több vízgőz lesz (telítetlen formában) a légkörben ...



e_s : telítési gőznyomás: adott hőmérsékleten (t) ennyi lehet a maximális gőznyomás. A Tetens formula írja le:

$$e_s = 6.108 \cdot 10^{\frac{7.54t}{235+t}}$$

r_s : telítési keverési arány: adott nyomáson ennyi tömegű vízgőzt tartalmazhat 1 kg száraz levegő [kg/kg]

$$r_s = \frac{0.622e_s}{p}$$

→ A levegő által maximálisan befogadható vízgőz mennyisége adott nyomási szinten csak a hőmérséklet függvénye

$$r_s = \frac{0.622}{p} \times 6.108 \cdot 10^{\frac{7.54t}{235+t}}$$

Magasabb hőmérsékleten jóval több nedvességet képes szállítani a légkör



1 fokos hűlés hatására jóval több vízgőz kondenzálódik a melegebb levegőben mint hidegebb levegőben, így több látens hő szabadul fel



Azok a folyamatok, amelyekben a vízgőz szerepet játszik intenzívebbek lesznek.
→ Hevesebb zivatarok, gyorsabban fejlődő ciklonok, hurrikánok



Magasabb hőmérsékleten zajló nedvesség forgalom növeli a szélsőséges időjárás esélyét: forró száraz terminusok vs. intenzívebb csapadékrendszerek

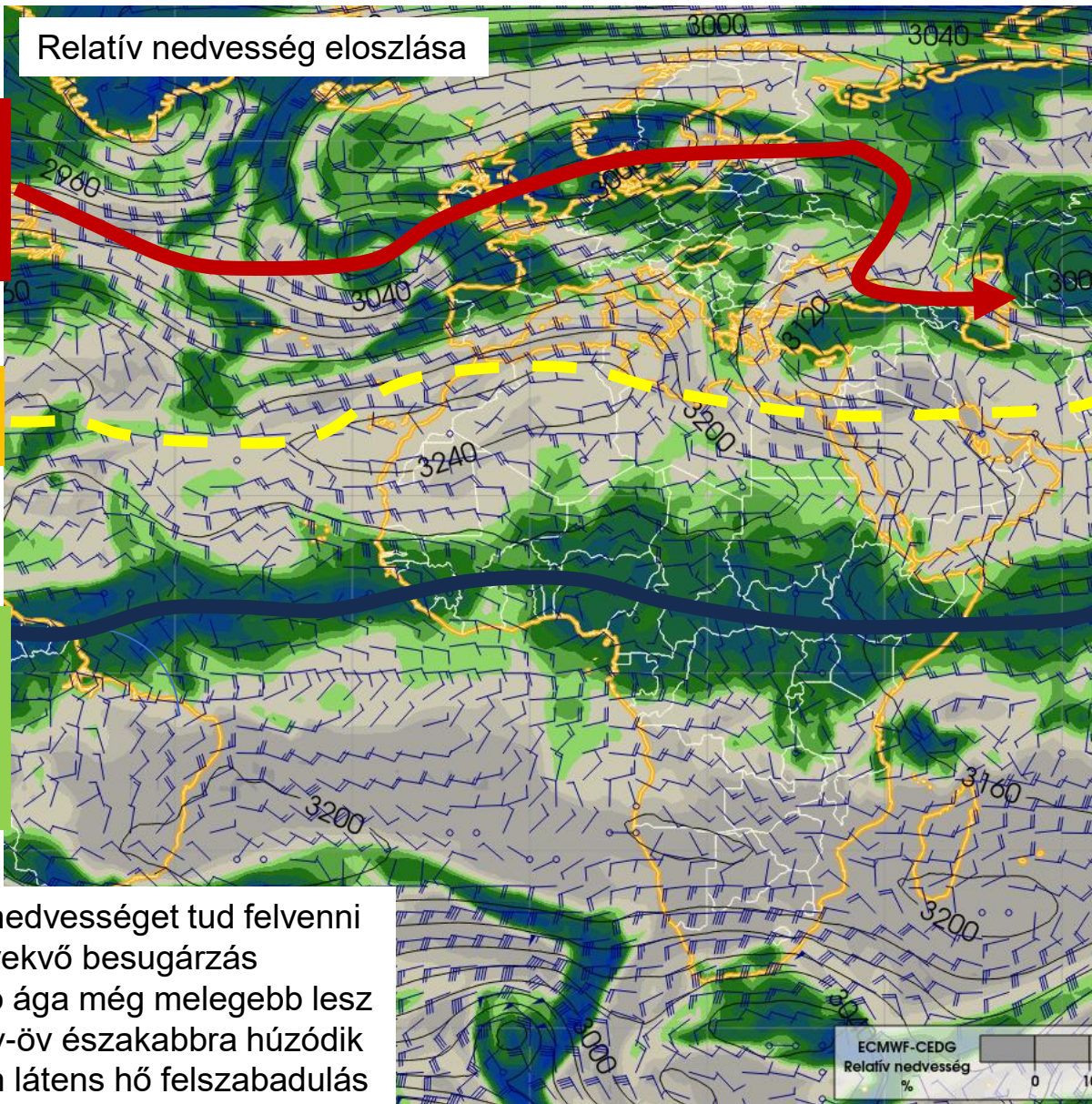


A globális cirkuláció szerepe





Relatív nedvesség eloszlása



Rossby-öv nedveség nyelő:
nagyobb a csapadék mint a párolgás

divergencia:
száraz záró zóna

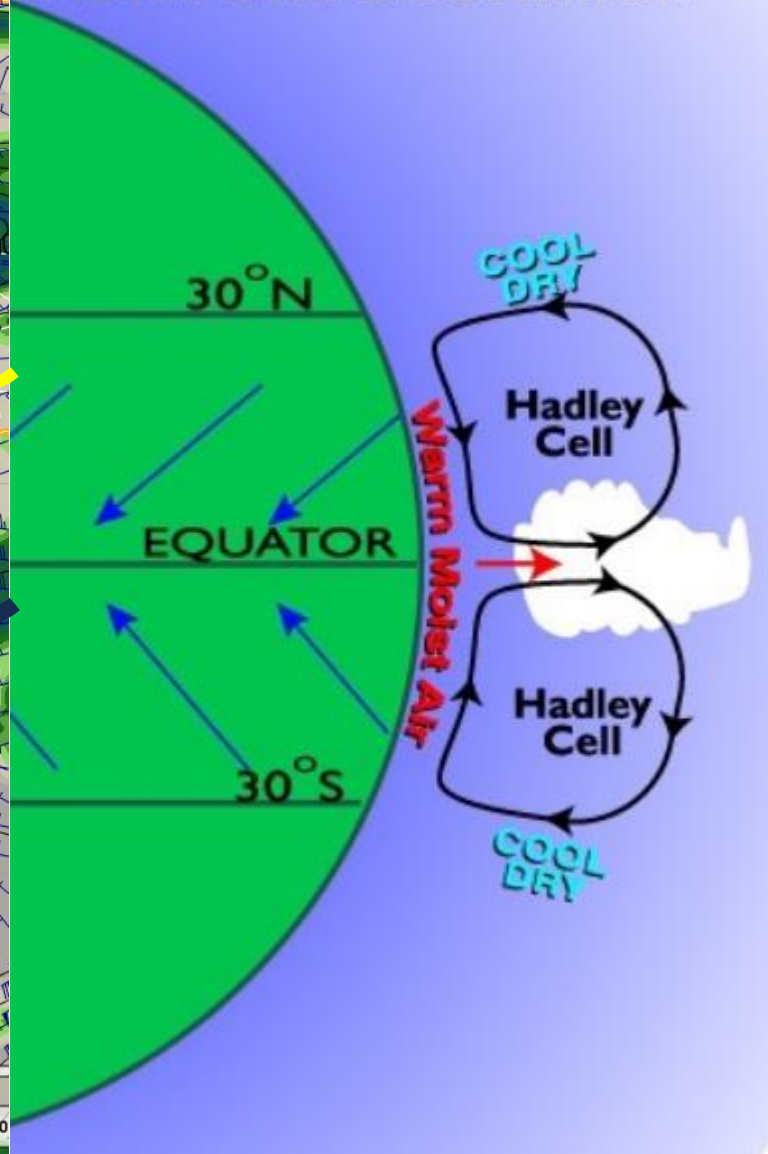


Látens hőáram

ITCZ: a globális légköri nedvesség meghatározó forrása

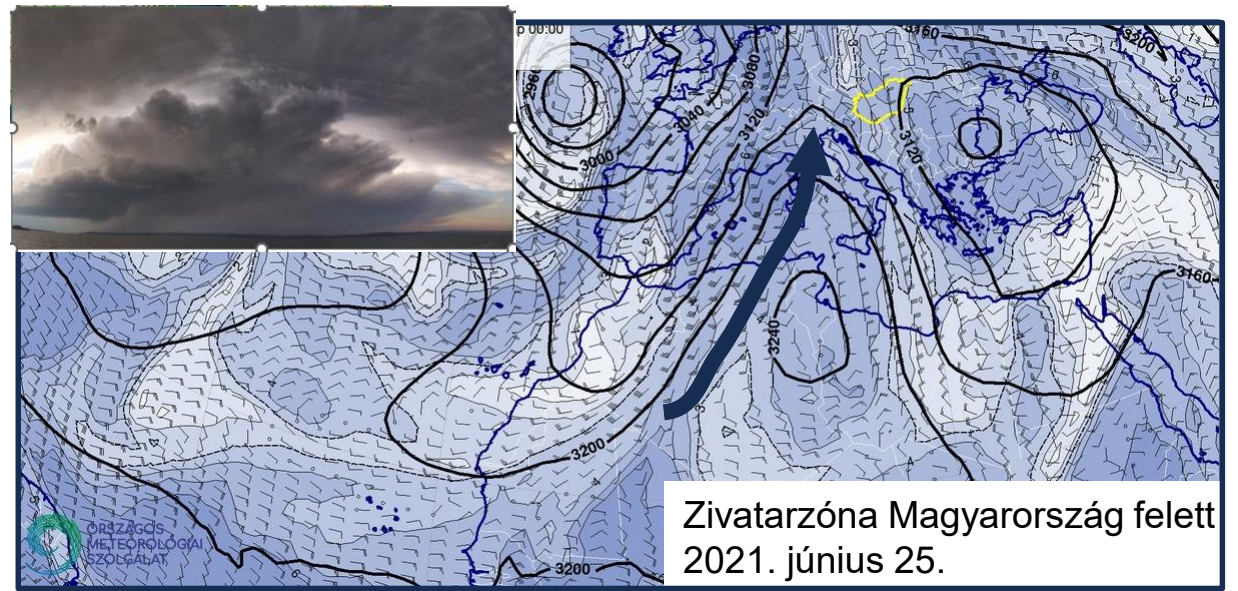
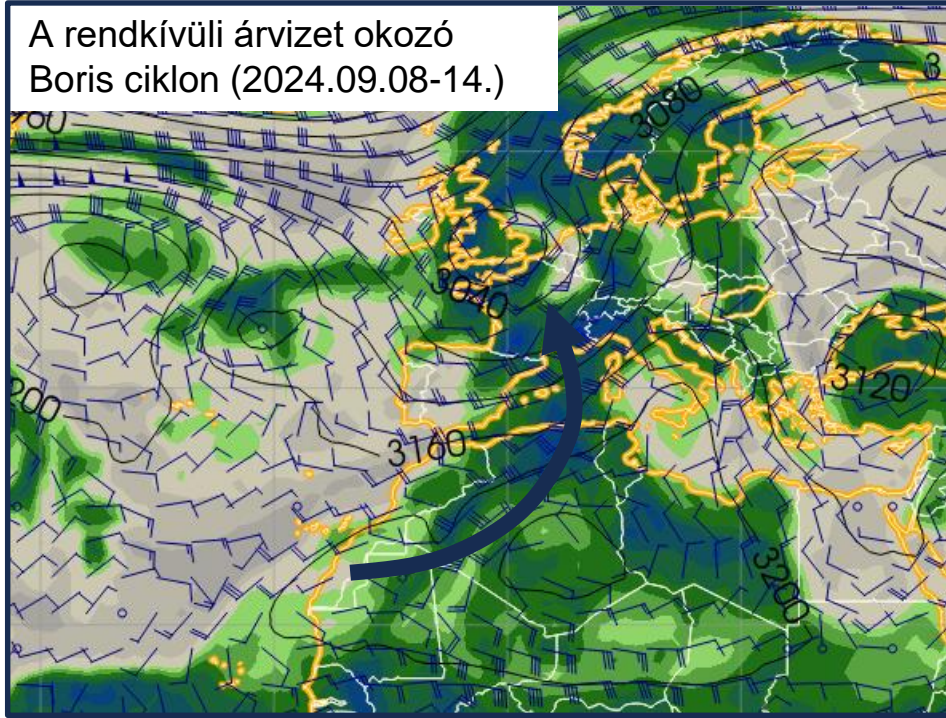
- Melegebb légkör több nedvességet tud felvenni
- Kevesebb felhő, növekvő besugárzás
- Hadley-cella leszálló ága még melegebb lesz
- Hőhullámok, Rossby-öv északabbra húzódik
- Hűlés esetén extrém látens hő felszabadulás

HADLEY CELL CIRCULATION

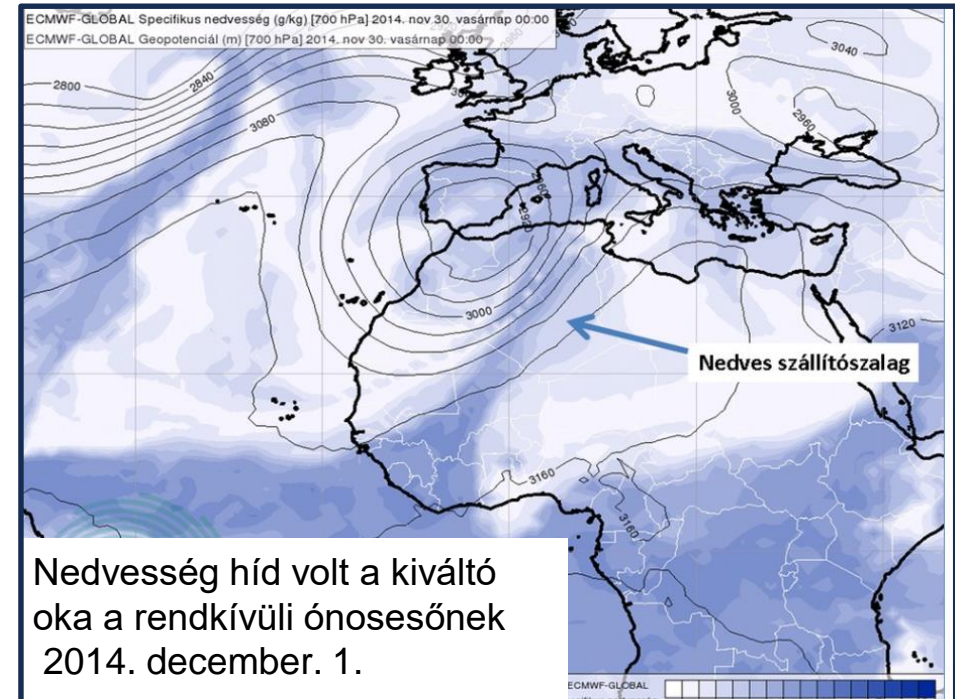


Példák a trópusi eredetű nedvesség hidakra

A rendkívüli árvízet okozó Boris ciklon (2024.09.08-14.)



Zivatarzóna Magyarország felett
2021. június 25.



Nedvesség híd volt a kiváltó
oka a rendkívüli ónosesőnek
2014. december. 1.

Veszélyes időjárási folyamatok

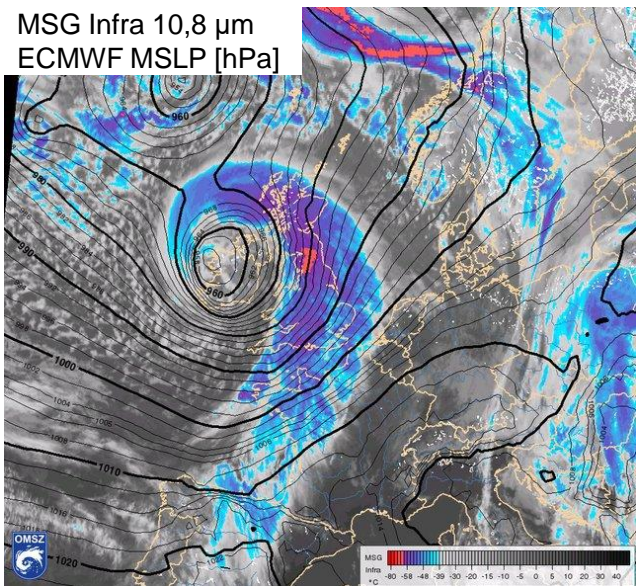




Atlanti viharciklonok-1

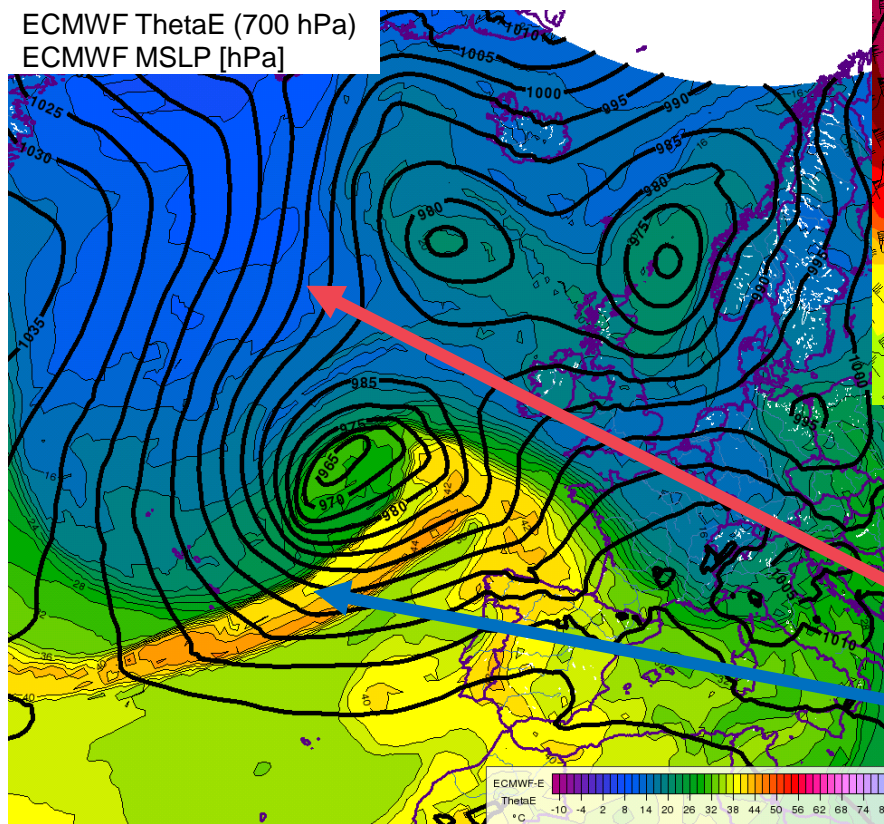
- Gyorsan mélyülő ciklonok (24 hPa/24 óra a 60. szélességi körre normálva)
- Jellegzetes felhőzet (többszörösen okkludált frontok)
- Keyser-Shapiro-féle ciklogenetikus folyamatok (a legtöbb esetben)

MSG Infra 10,8 μm
ECMWF MSLP [hPa]

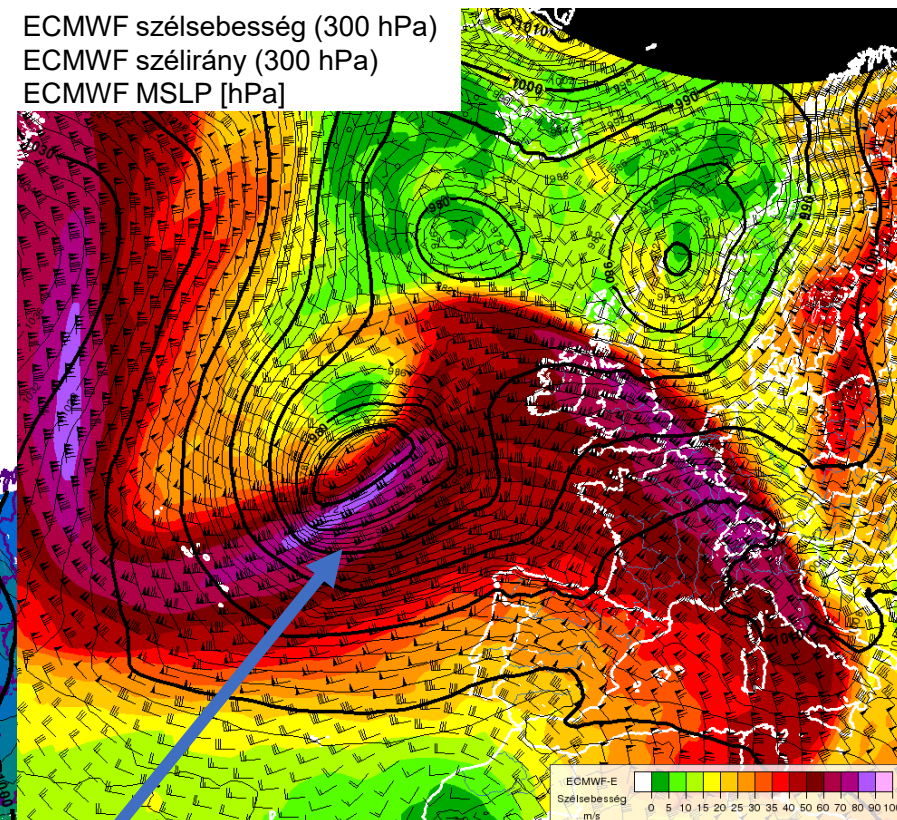


2014.02.12.

ECMWF ThetaE (700 hPa)
ECMWF MSLP [hPa]



ECMWF szélessesség (300 hPa)
ECMWF szélirány (300 hPa)
ECMWF MSLP [hPa]



- **Jet stream** (kinetikus energia)
- **Hőmérséklet gradiens** (belső energia)
- **Nedvesség (trópusokról jövő nedvesség-híd) (látens hőenergia)**



Atlanti viharciklonok-2

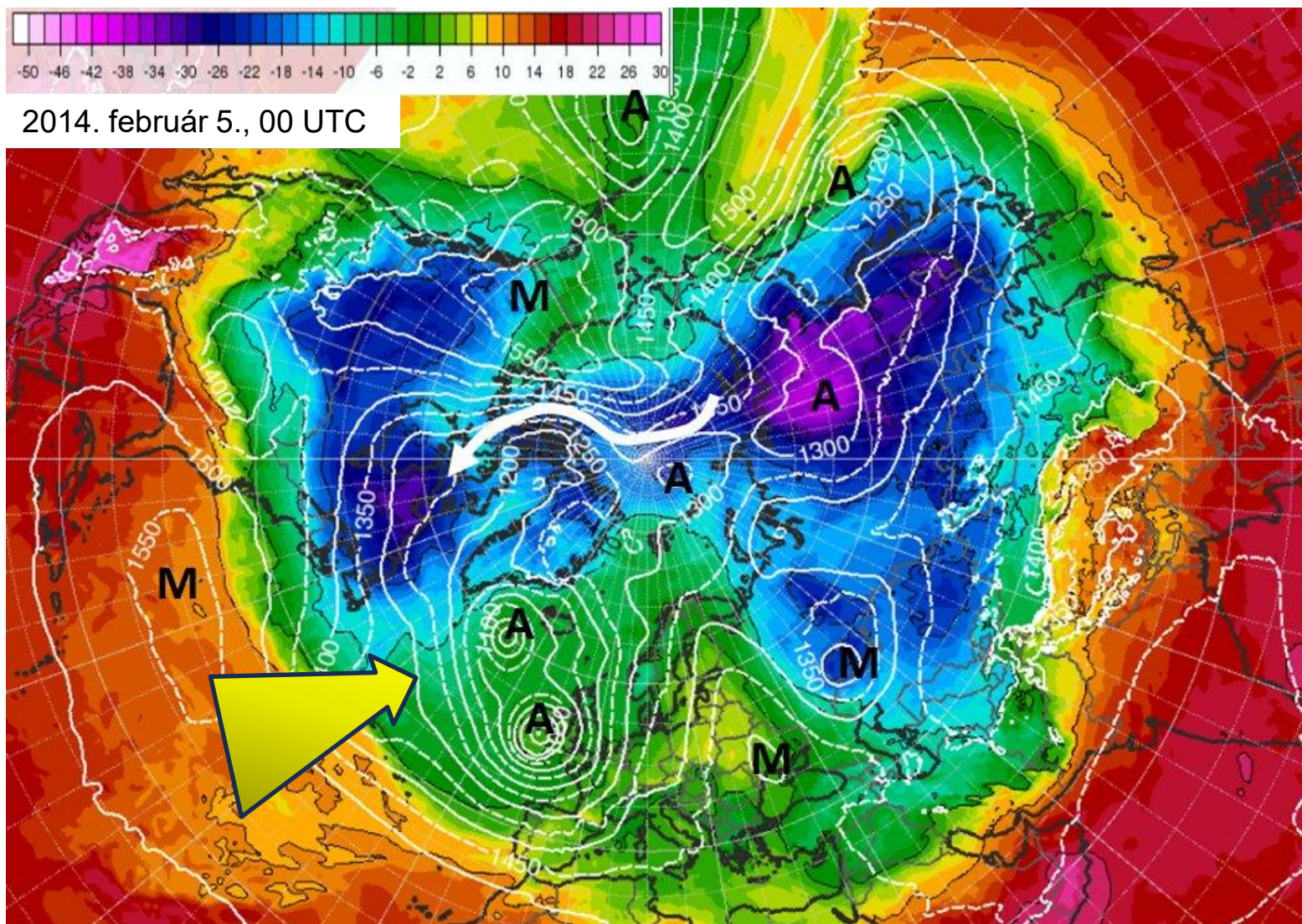
Globális háttér

Kanadai-hideg pólus erősítést kap a szibériaitól: nagy hőmérsékleti gradiens

A jet-stream felerősödik a polárfront mentén

Planetáris hullám előoldalán trópusi eredetű nedvesség

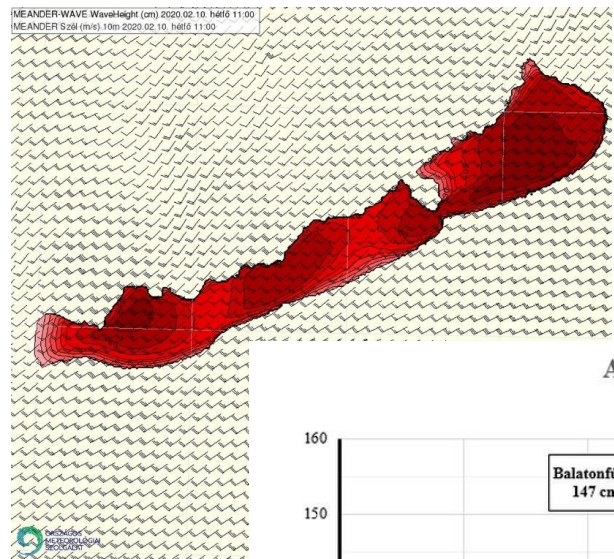
- Jelentős látens hőenergia kerül a trópusokról a poláris területekre, felfűtik az atlanti-európai régiót.
- Jelentős édesvíz a tengerfelszínre: nagyságrendileg összemérhető az olvadó gleccserek hatásával



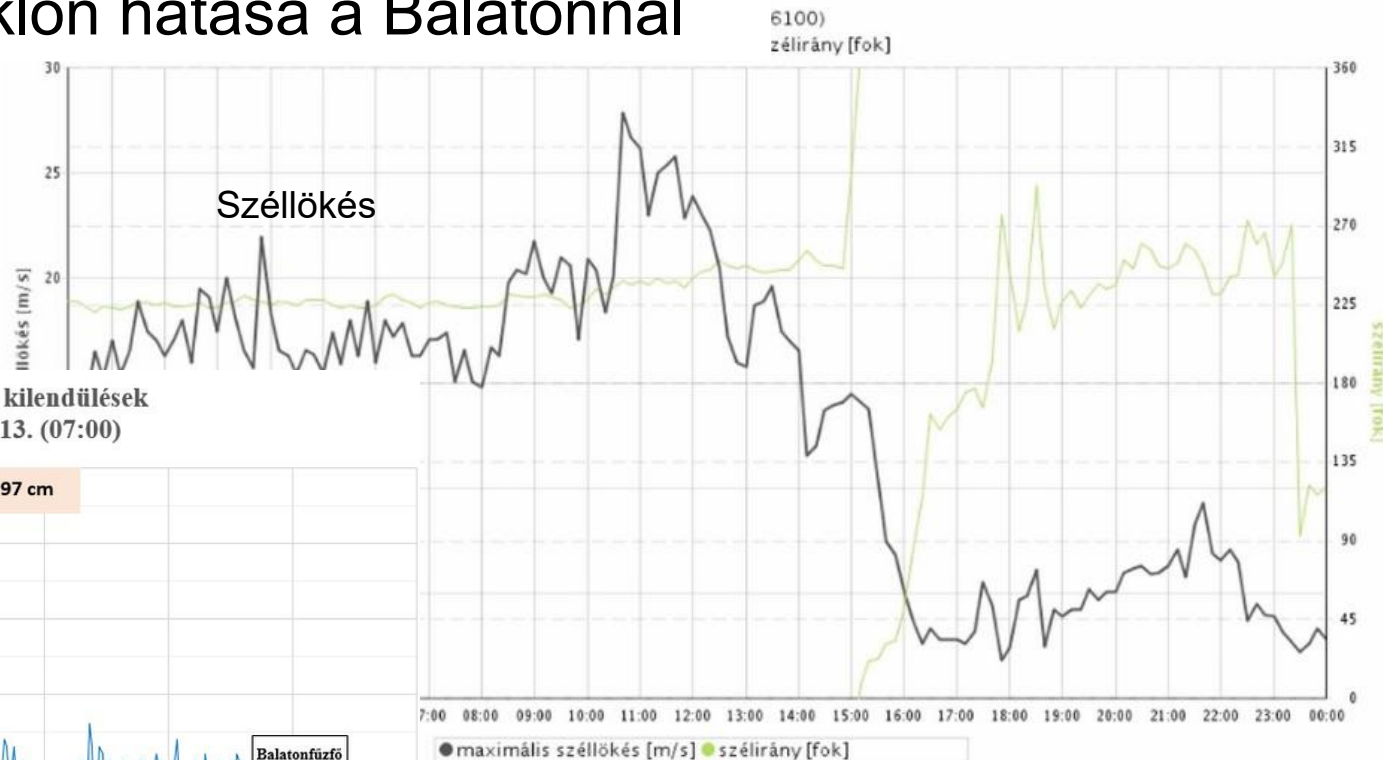
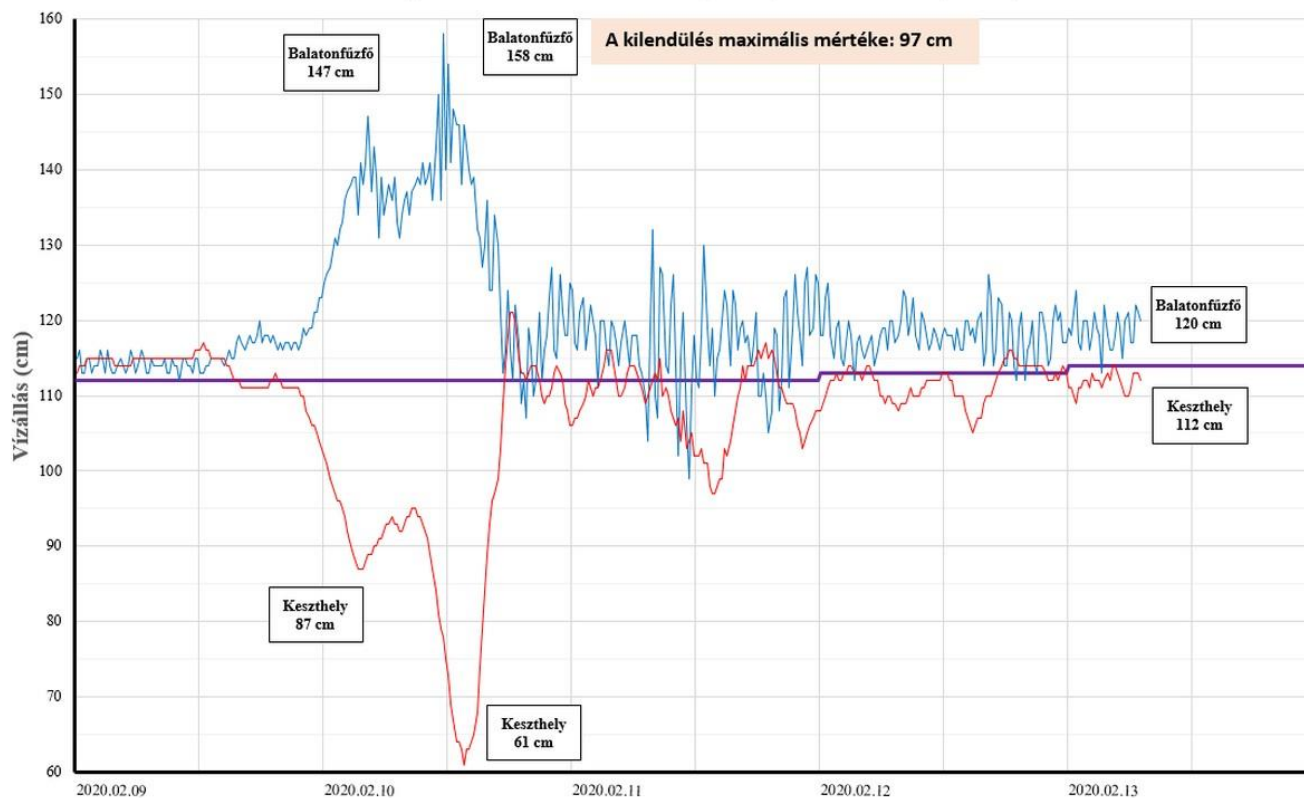


Atlanti viharciklonok-3

A Ciara vihar ciklon hatása a Balatonnál



A Ciara ciklon hatása a Balatonra - hosszirányú kilendülések
vizsgált időszak: 2020.02.09. (00:00) - 2020.02.13. (07:00)

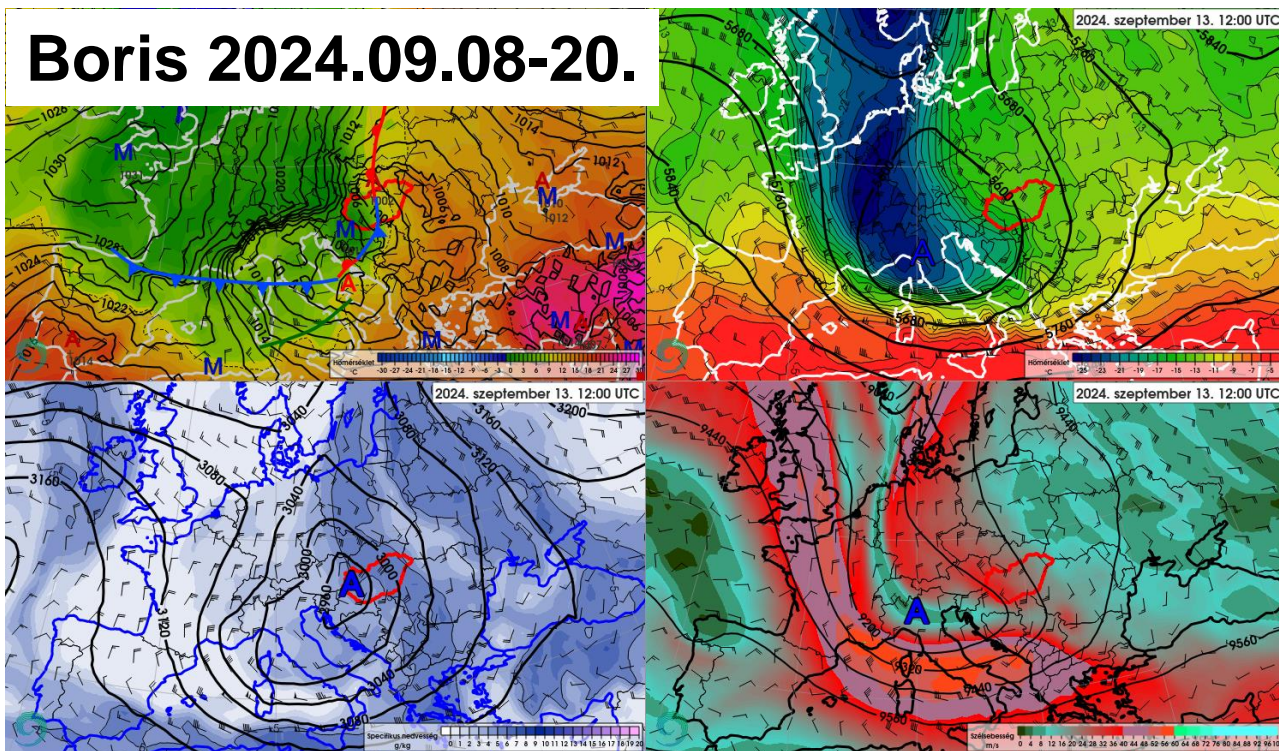




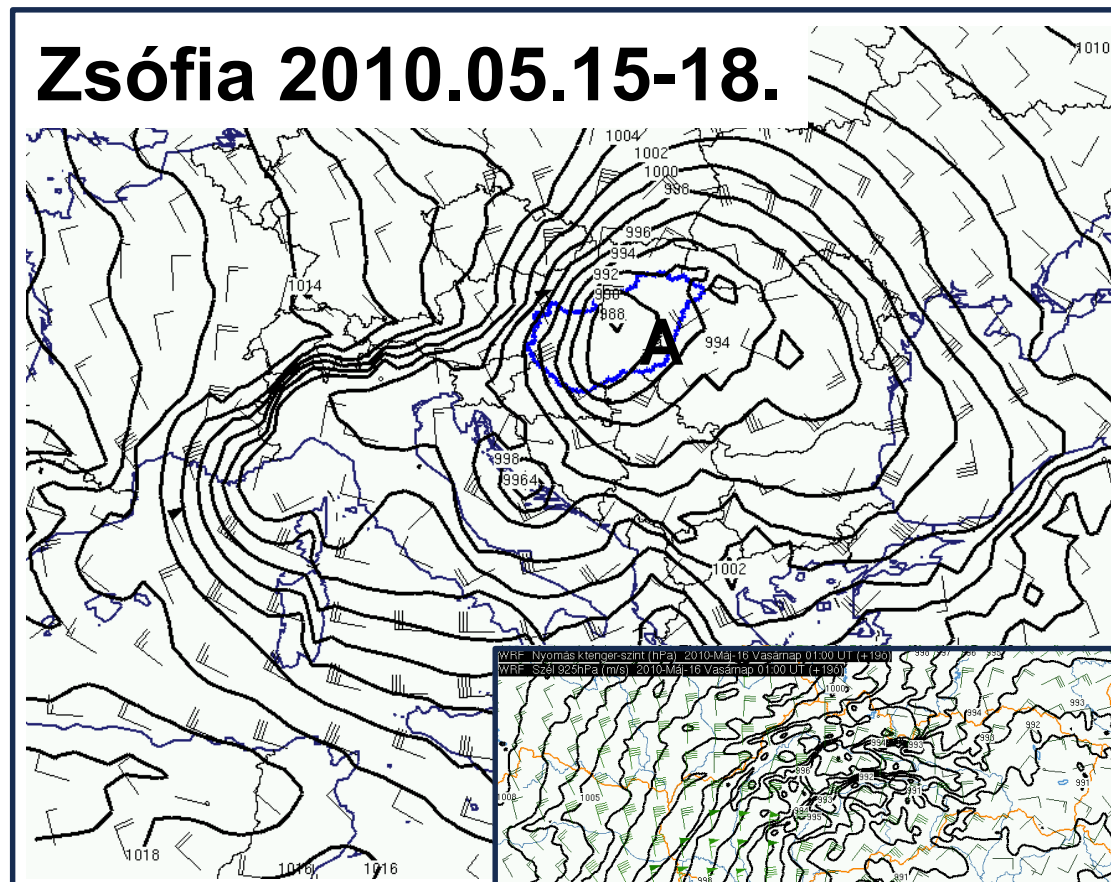
Közép-Európai cut-off ciklonok

- Rendszerint mediterrán eredetű ciklogenezisek (gyakran Genovai ciklon)
- Lassú mozgású: hosszan tartó konvergencia, leszakadó hidegmag, karokba koncentrálódó nedvesség
- Növekvő konvektív instabilitás (a nyári félévben)
- Háttérben Szahara fölött átnyúló nedvességi híd

Boris 2024.09.08-20.



Zsófia 2010.05.15-18.



Szél: Kab-hegy: 45 m/s
Csapadék ~ 50 mm



Medikánok

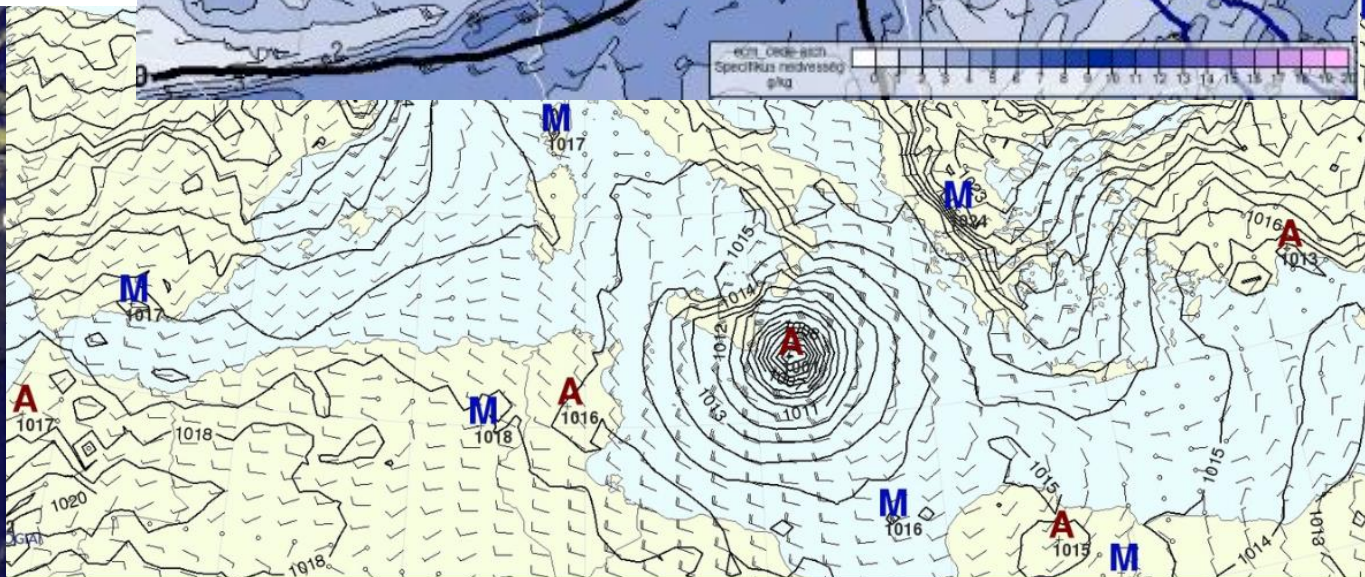
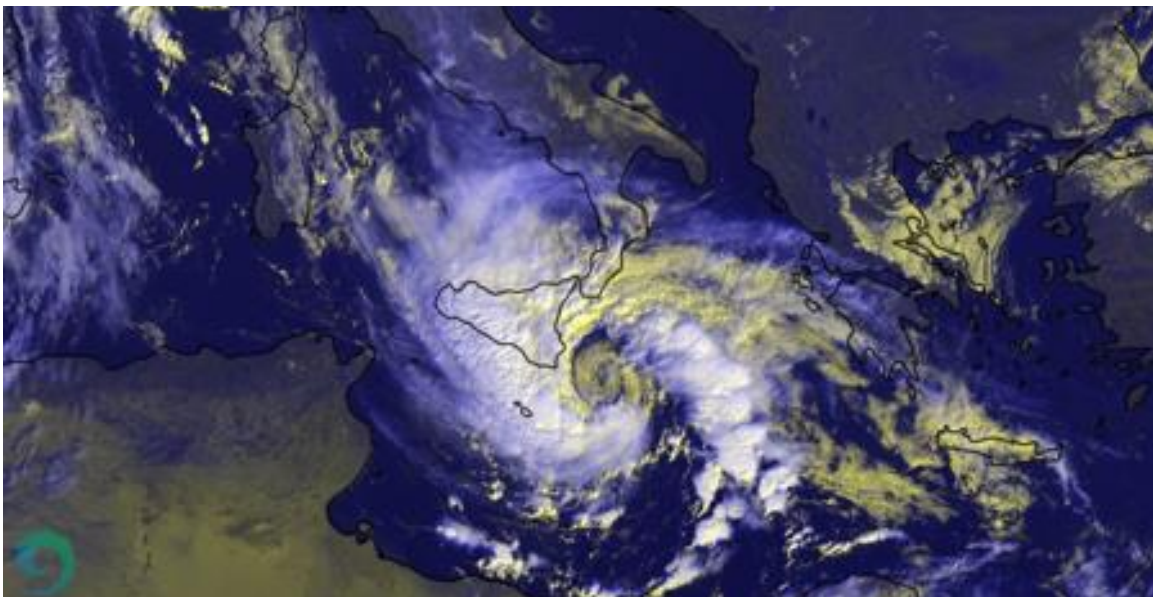
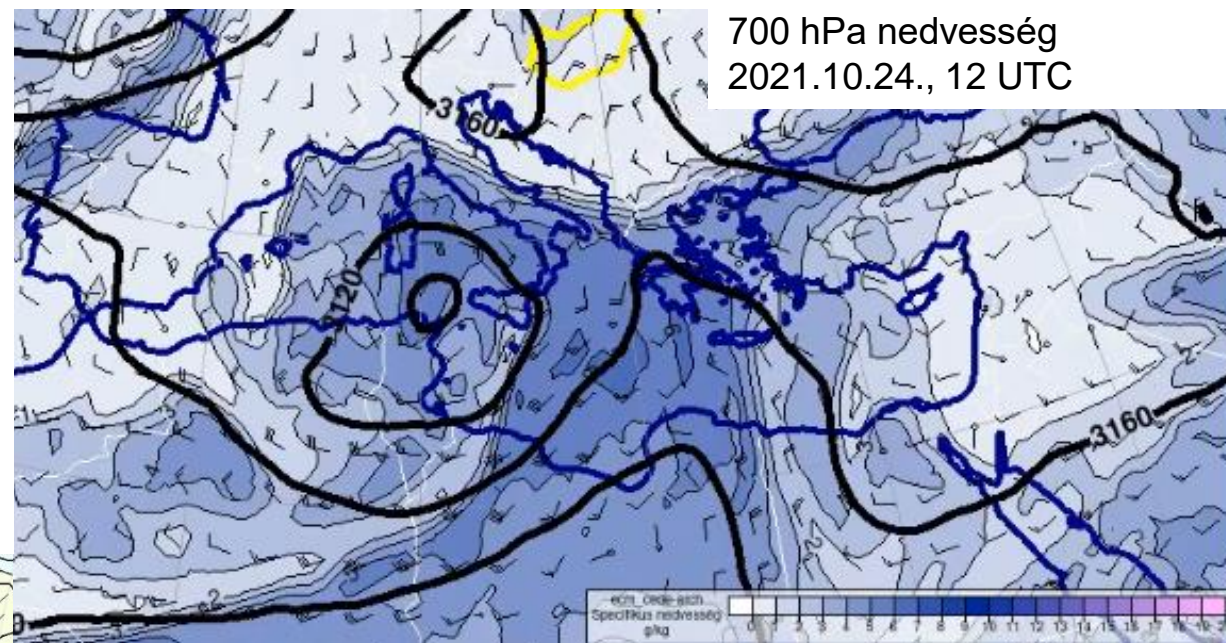
Kialakuláskor meghatározóan baroklin cut-off jelleg

→ Meleg Földközi-tenger és hideg mag→

→ Konvektív instabilitás mértéke megközelíti a baroklin instabilitást $d(PV)/dt > 0$

→ Ha van nedvességi híd tovább erősödik (önmagában a Földközi-tenger nem elegendő a hurrikán kategória fenntartásához)

Σ : az energiakaszád alacsonyabb szintjén lévő konvekció visszahat a magasabb szinoptikus skálára





Konvektív rendszerek

Konvektív komponensek



Konvektív instabilitás (szabad konvekció):

Instabil vertikális rétegződés + látens hő
Termikektől a multicellás zivatarokig
→ Légkör belső termikus energiája alakul át kinetikus és potenciális energiává



Konvergencia (kényszerkonvekció)

Diszkontinuitási felületek mentén torlódás okozta feláramlás. Zivataros hidegfrontok
→ Kinetikus energia alakul át potenciális energiává

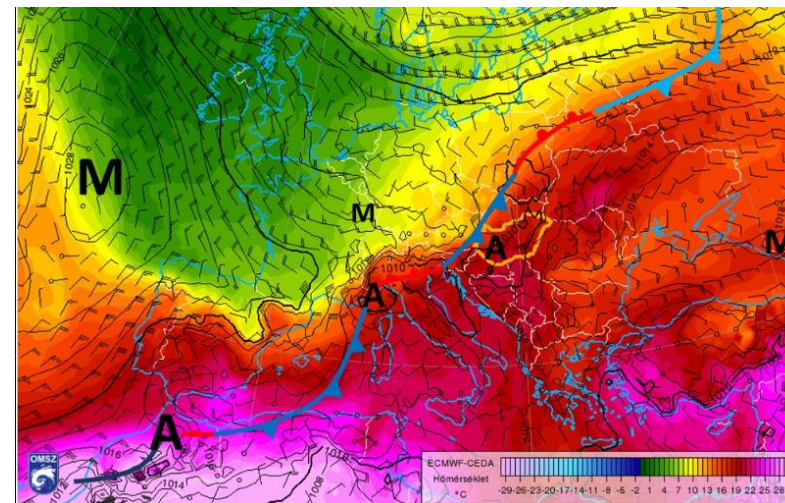


Szélnyírás (főként vertikális)

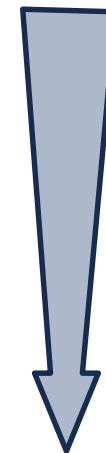
Főleg aktív ciklonokban, heves konvekció és szupercellás konvekció kiváltója
→ Kinetikus energia alakul át potenciális energiává

Viharzóna:

- **Prefrontális labilitás**
 - **Frontok torlasztó hatása**
 - **Jet stream okozta szélnyírás (+emelés)**
- Több napon át ismétlődő heves konvekció



Energia
kaszád



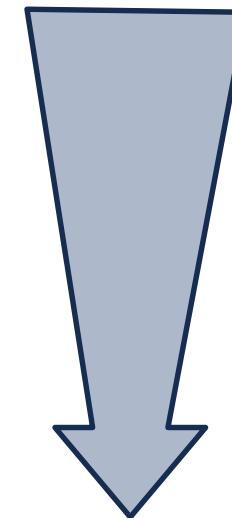
A szinoptikus skálájú folyamatok a 3 konvektív komponensnek adják át az energiát, amely együttesen hevesebb zivatarokat tud kelteni mint a trópusi zivatarok.



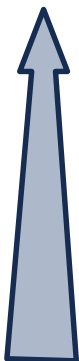
Konvektív folyamatokhoz kapcsolódó mezo-, gamma- és mikroskálájú rendszerek



Energiakaszka



porördög



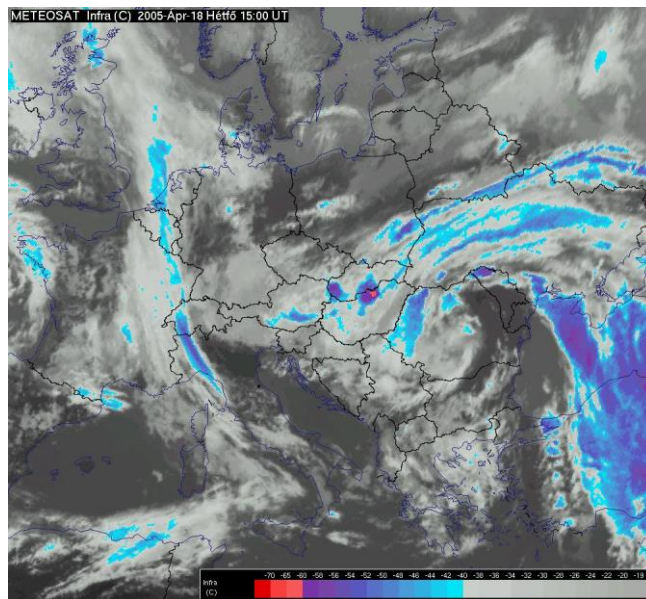
2007 Budapest (Pestszentlőrinc)
Légvár tragédia...



Konvekcióhoz kapcsolódó villámárvizek

1. Lassú mozgású zivatar vonalak mentén:

ciklon nedves konvergencia rendszerére ráépülnek a zivatarok

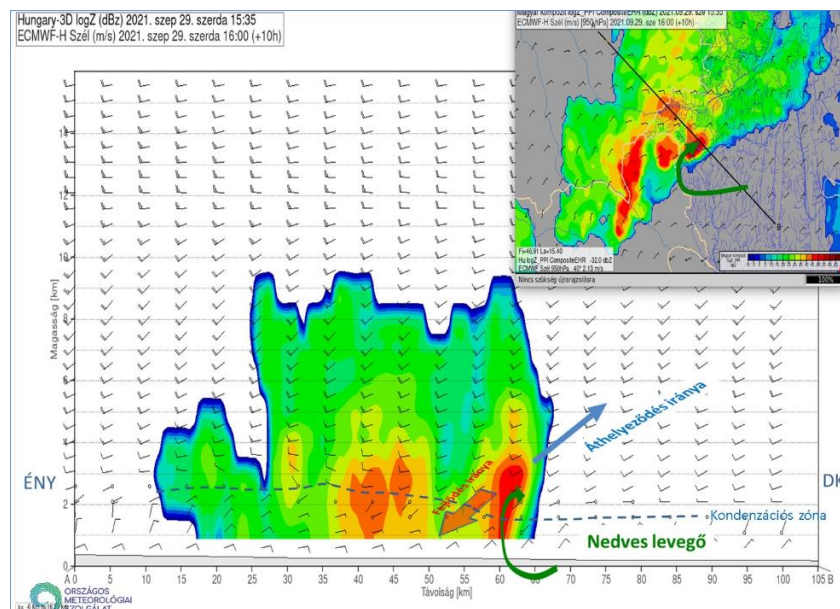


Villámárvíz Mátrakeresztes

2005. április 18.
(ilyen volt Valencia 2024 is)

2. Stacionárius cella alatt:

A cella fejlődése a vezető áramlással ellentétes irányba történik



2021. szeptember 29., Óriszentpéter cc. 110 mm

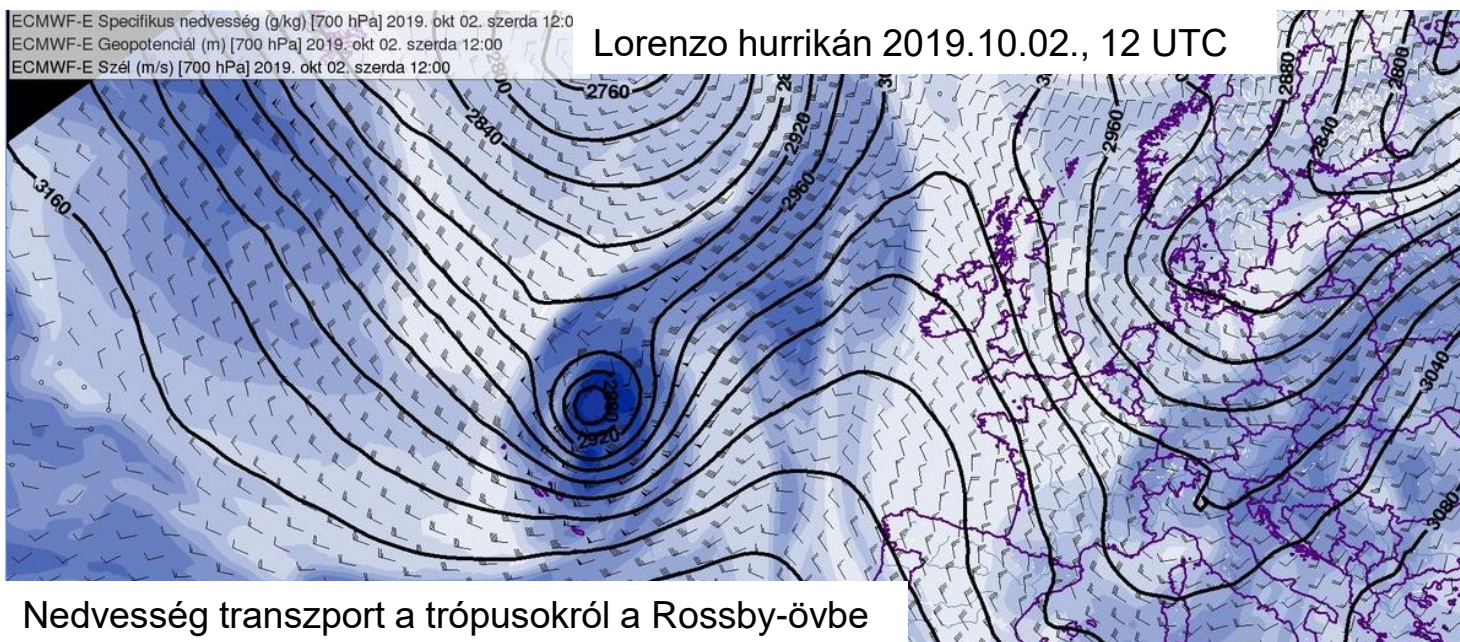


Hurrikánok

Energiakaszkáddal szemben: kisebb skálájú konvektív rendszerek (zivatarok) építenek fel egy közel-szinoptikus skálájú rendszert



Tengerből vesz fel hatalmas mennyiségű nedvességet és ezzel latens hőenergiát vesz fel





Időjárási veszélyjelzés, és a 90 éves Balatoni Viharjelzés





Időjárási veszélyjelzések Magyarországon

Országos Veszélyjelzés : viszonylag magas „ingerküszöb”, nagy területre

Repülésmeteorológia

Balatoni Viharjelzés

Alacsony érzékenységi küszöb
Konkrét felelősségi és felhasználói kör, speciális terület

A 90 éves Balatoni Viharjelzés napjainkban

I. fok: 12-17 m/s mezo-béta skála

II. fok: > 17 m/s

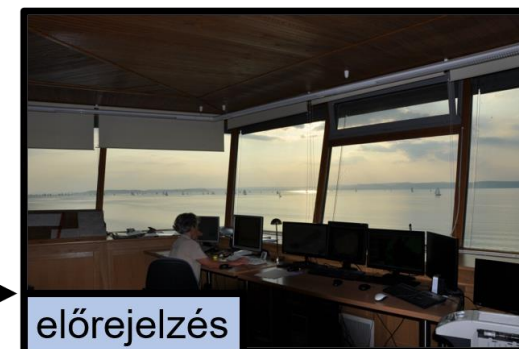
} „hivatalos” jelzések

III. fok. Rendkívüli időjárás esetén egy regionális döntéshozói kör felé

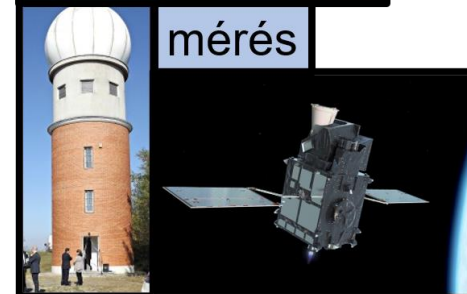
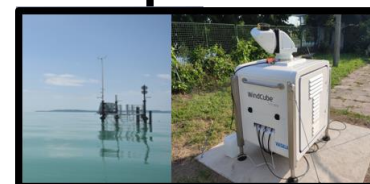
0.fok. Különleges események biztosítása, pl. Balaton Átúszás, vagy Kékszalag



számítás



előrejelzés



mérés



viharjelzés

A viharjelző meteorológus „két tűz között” : életvédelem vs. túlbiztosítás

Irodalomjegyzék

- Algarra et al. 2020, Significant increase of global anomalous moisture uptake feeding landfalling Atmospheric Rivers, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18876-w>
- Dolores-Tesillos & Pfahl 2024, Future changes in North Atlantic winter cyclones in CESM-LE – Part 2: A Lagrangian analysis, <https://doi.org/10.5194/wcd-5-163-2024>
- Gimeno et al. 2020, Recent progress on the sources of continental precipitation as revealed by moisture transport analysis, <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.103070>
- Gimeno-Sotelo et al. 2024, The increasing influence of atmospheric moisture transport on hydrometeorological extremes in the Euromediterranean region with global warming, <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01787-9>
- Li & Ding 2024, A global poleward shift of atmospheric rivers, <https://doi.org/10.1126/sciadv.adq0604>
- Liu et al. 2024, A Systematic Local View of the Long-Term Changes of the Atmospheric Energy Cycle, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-24-0106.1>
- Patel et al. 2024, Rise in water vapour driven by moisture transport facilitates water availability for the greening of global deserts, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174111>
- Priestley et al. 2017, The role of cyclone clustering during the stormy winter of 2013/2014, <https://doi.org/10.1002/wea.3025>
- Qiu et al. 2023, Winter Subtropical Highs, the Hadley Circulation and Baroclinic Instability, <https://doi.org/10.1029/2023JD039604>
- Ruff & Pfahl, 2023, What distinguishes 100-year precipitation extremes over central European river catchments from more moderate extreme events?, <https://doi.org/10.5194/wcd-4-427-2023>
- Sinclair et al. 2020, The characteristics and structure of extra-tropical cyclones in a warmer climate, <https://doi.org/10.5194/wcd-1-1-2020> de Vries 2021, A global climatological perspective on the importance of Rossby wave breaking and intense moisture transport for extreme precipitation events, <https://doi.org/10.5194/wcd-2-129-2021>
- Wernli & Gray 2024, The importance of diabatic processes for the dynamics of synoptic-scale extratropical weather systems – a review, <https://doi.org/10.5194/wcd-5-1299-2024>
- Horváth & Breuer 2022, A 2022-es rendkívüli szárazság fizikai-meteorológiai háttere
www.met.hu/ismeret-tar/erdekesssegek_tanulmanyok/A_2022-es_rendkivuli_szarazsag_fizikai-meteorologiai_hattere
- Bowen 1926, The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. Physical Review. 27 (6): 779–787.
- Horváth 2006, A Légekőri konvekció. OMSZ kiadvány
- Holton 2004, An Introduction to Dynamic Meteorology. Elsevier, pp. 228-268.
- Ahmadi-Givi et al. 2006, The dynamics of a midlatitude cyclone with very strong latent-heat release, <https://doi.org/10.1256/qj.02.226>
- Payne et al. 2020, Responses and impacts of atmospheric rivers to climate change, <https://doi.org/10.1038/s43017-020-0030-5>
- González et al. 2016, Detecting moisture transport pathways to the subtropical North Atlantic free troposphere using paired H₂O-δD in situ measurements, <https://doi.org/10.5194/acp-16-4251-2016>
- Ramseyer & Miller 2021, Historical trends in the trade wind inversion in the tropical North Atlantic Ocean and Caribbean, <http://hdl.handle.net/10919/104587>
- Shawand & Pauluis 2012, Tropical and Subtropical Meridional Latent Heat Transports by Disturbances to the Zonal Mean and Their Role in the General Circulation <https://doi.org/10.1175/JAS-D-11-0236.1>
- Liu et al. 2020, Global atmospheric moisture transport associated with precipitation extremes: Mechanisms and climate change impacts, <https://doi.org/10.1002/wat2.1412>
- Aemisegger et al. 2021, How Rossby wave breaking modulates the water cycle in the North Atlantic trade wind region, <https://doi.org/10.5194/wcd-2-281-2021>
- Bottyán et al. 2017, Moisture source diagnostics and isotope characteristics for precipitation in east Hungary: Implications for their relationship, <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1358450>
- Tuinenburg et al. 2020, High-resolution global atmospheric moisture connections from evaporation to precipitation, <https://doi.org/10.5194/essd-12-3177-2020>
- Stojanovic et al. 2016, Tracking the origin of moisture over the Danube river basin using a Lagrangian approach, <https://doi.org/10.3390/atmos7120162>
- López-Parages et al. 2016, ENSO influence on the North Atlantic European climate: A non-linear and non-stationary approach, <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2951-0>
- Kamil et al. 2017, Multidecadal changes in the relationship of storm frequency over euro-mediterranean region and ENSO during boreal winter, <https://doi.org/10.1007/s41748-017-0011-0>
- Hirata et al. 2019, Significant impact of heat supply from the Gulf Stream on a “superbomb” cyclone in January 2018. <https://doi.org/10.1029/2019GL082995>



A MAGYAR
TUDOMÁNY
ÜNNEPE

MTA

Köszönöm
a figyelmet!

2024. november 14.

MTA

