

# Lejtőviharok modellezése

Az adriai bórától a balatoni bukószélig

KURCSICS MÁTÉ, HORVÁTH ÁKOS



ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT  
SIÓFOKI VIHARJELZŐ OBSZERVÁTORIUM

| 2022. NOVEMBER



A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE



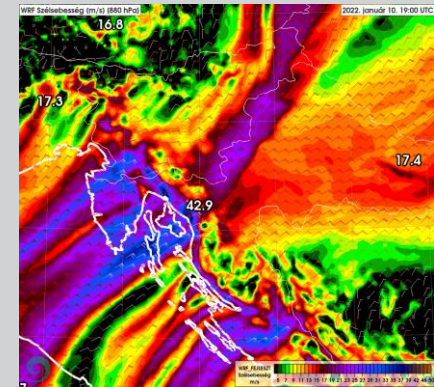
*Tudomány: út a világ megismeréséhez*

# Bóra

- Az Adriai partvidék jellegzetes ÉK-i szele
- Legtöbbször hideg szél, nagy lehűlést is okozhat
- Télen gyakoribb, erősebb, tartósabb, mint nyáron
- Legerősebb szellökések: 150 km/h felett
- Kedvező szinoptikus helyzet:
  - Ciklon az Adriai-tenger felett
  - Anticiklon Közép-Európa térségében
  - (Áthaladó hidegfront)
- Kialakulásának oka:
  - Erős, szélsőséges bóra: lee-oldali lejtővihar – **dinamikus ok**
  - Mérsékelt bóra: katabatikus szél – **termikus ok**
- Hasonló bukószelek:
  - nemere, misztrál, tátrai vihar (2004), bakonyi szél?



A szél keltette porzó víz

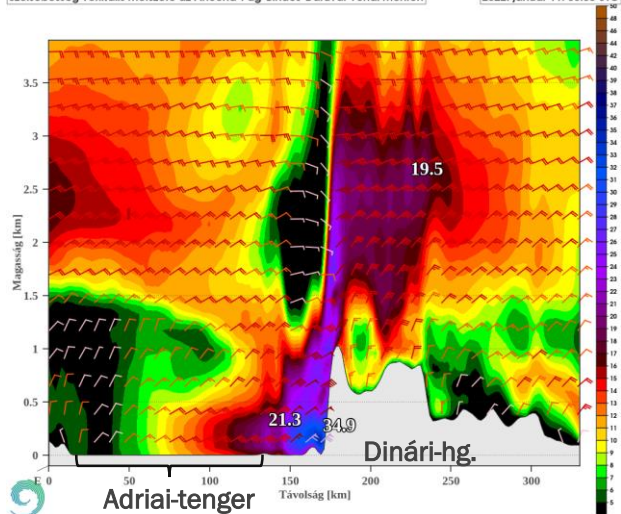


Számított szélmező a WRF modellben

# Az adriai bóra és a bakonyi bukószél

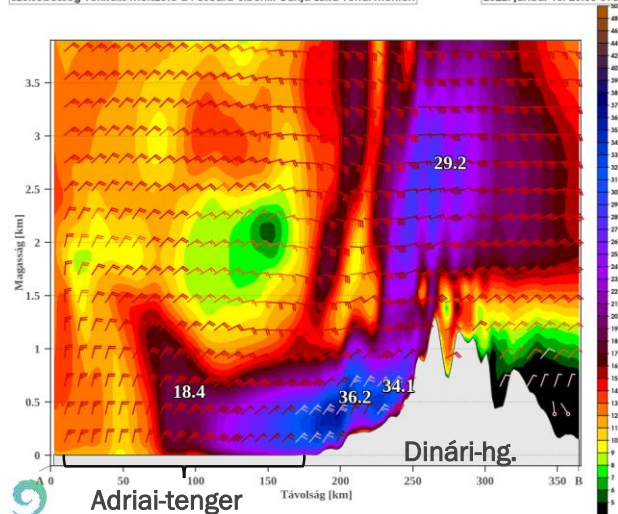
Szélesség vertikális metszete a WRF modellben

Szélesség vertikális metszete az Ancona-Pag-Bihács-Daruvár vonal mentén



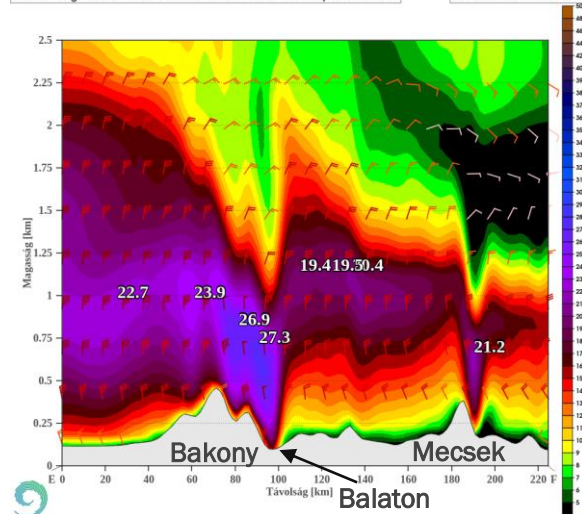
Bóra meredek hegyoldalnál

Szélesség vertikális metszete a Pescara-Sibenik-Banja Luka vonal mentén



Bóra lankásabb hegyoldalnál

Szélesség vertikális metszete a Csoma-Balatonzárszóró-Villány vonal mentén



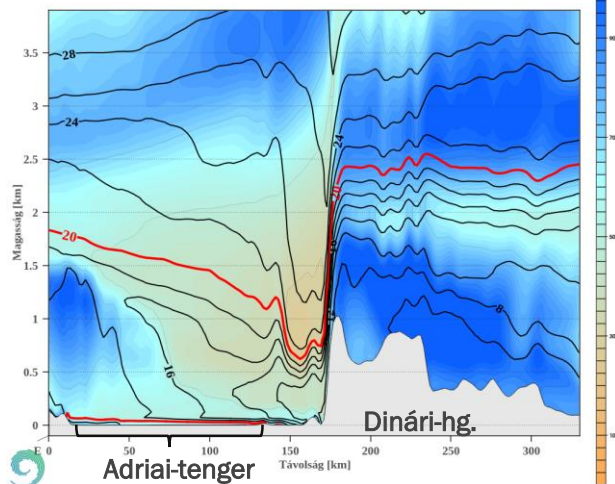
Bukószél a Balatonnál

# Az adriai bőra és a bakonyi bukószél

Relatív nedvesség és potenciális hőmérséklet vertikális metszete a WRF modellben

Relatív nedvesség vertikális metszete az Ancona-Pag-Bihács-Daruvár vonal mentén

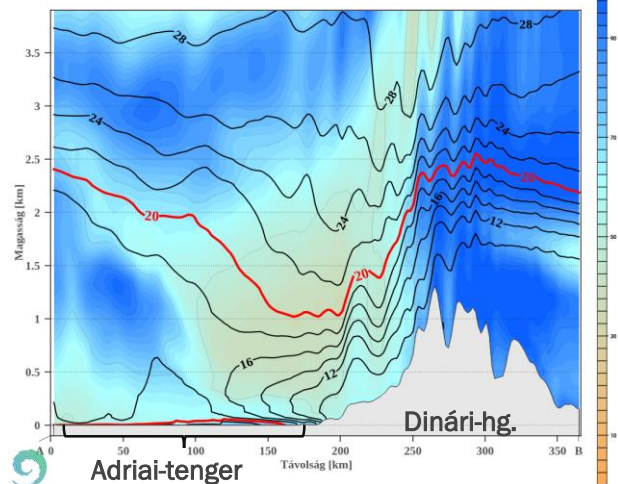
2022. január 11. 05:00 UTC



Bóra meredek hegyoldalnál

Relatív nedvesség vertikális metszete a Pescara-Sibenik-Banja Luka vonal mentén

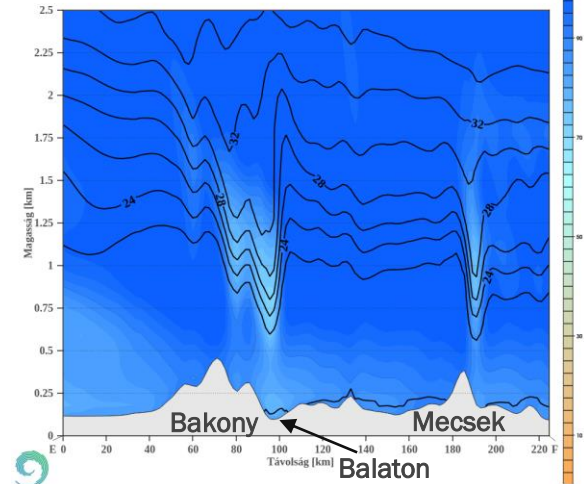
2022. január 10. 23:00 UTC



Bóra lankásabb hegyoldalnál

Relatív nedvesség vertikális metszete a Csoma-Balatonszászó-Villány vonal mentén

2020. október 13. 02:00 UTC



Bukószél a Balatonnál

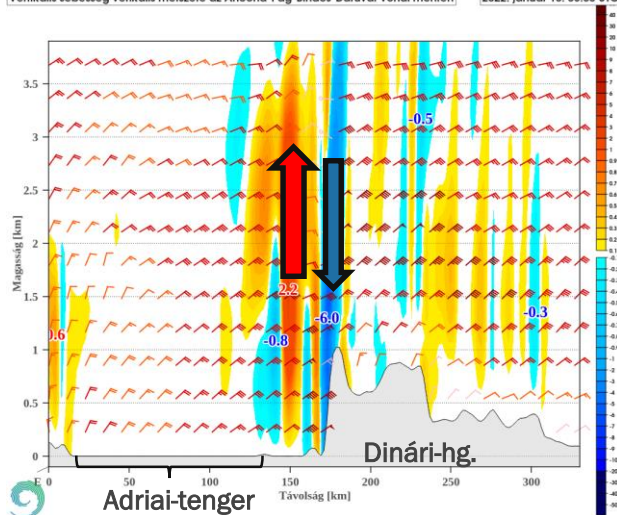


# Az adriai bóra és a bakonyi bukószél

Vertikális sebesség vertikális metszete a WRF modellben

Vertikális sebesség vertikális metszete az Ancona-Pag-Bihács-Daruvár vonal mentén

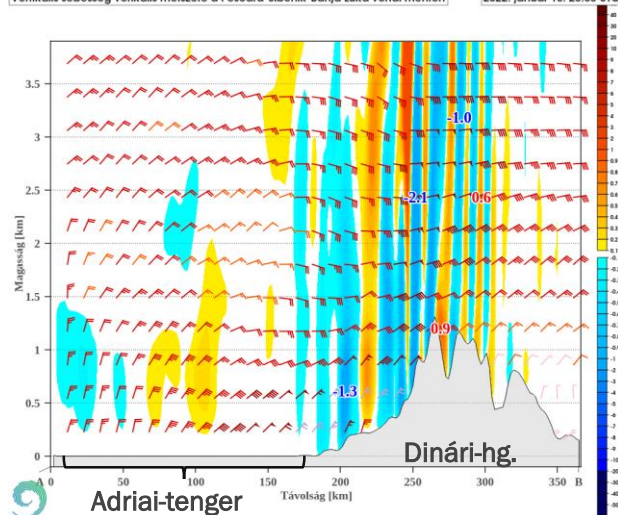
2022. január 10. 08:00 UTC



Bóra meredek hegyoldalnál

Vertikális sebesség vertikális metszete a Pescara-Sibenik-Banja Luka vonal mentén

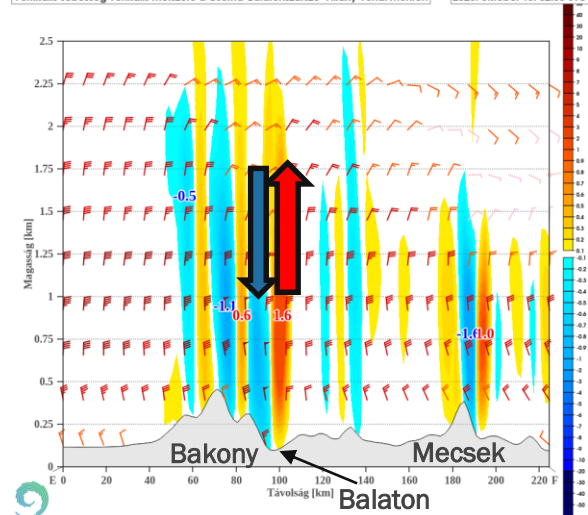
2022. január 10. 23:00 UTC



Bóra lankásabb hegyoldalnál

Vertikális sebesség vertikális metszete a Csoma-Balatonzárszö-Villány vonal mentén

2020. október 13. 02:00 UTC



Bukószél a Balatonnál

# A bakonyi „főszél”

„A Bakony fennsíkja meg a Veszprémi-fennsík felszínéről a levegő úgy zuhanik le a Balatonra, mint a vízesés vize.”

„A Bakony tetejéről a szél mintegy 300 métert bukik le amíg a Balatonra ér. Roppant erejű szél lesz belőle, különösen, ha már fenn a fennsíkon is erős szél volt. Minden fennsík déli oldalán ismerik ezt a tüneményt. A horvátországi és boszniai Karszt-felvidékről az Adriára lezuhanó szél a bóra, azt hiszem minden olvasóm hallott már ennek a szélnek borzasztó erejéről.”

„És éppen itt a legdühösebben, mert a felvidékről főn-jelleggel, vagy talán még helyesebben mondhatnók: bóra-jelleggel lezuhanó, még ma is jól ismert, s a balatoni halász nyelvén "fő-szélnek" (felső-szél, föl-szél, mert felülről jön,) nevezett vihar ma is itt tombol legerősebben.”

„Az igazi, francia és olasz Riviérán ezt a szelet misztrálnak nevezik. Ugyanaz, mint a mi balatoni főszelünk!”

(Cholnoky Jenő, 1914, 1936)

# Bukószél kialakulását meghatározó tényezők

$$N = \left( \frac{g}{\theta} \frac{\partial \theta}{\partial z} \right)^{\frac{1}{2}}$$

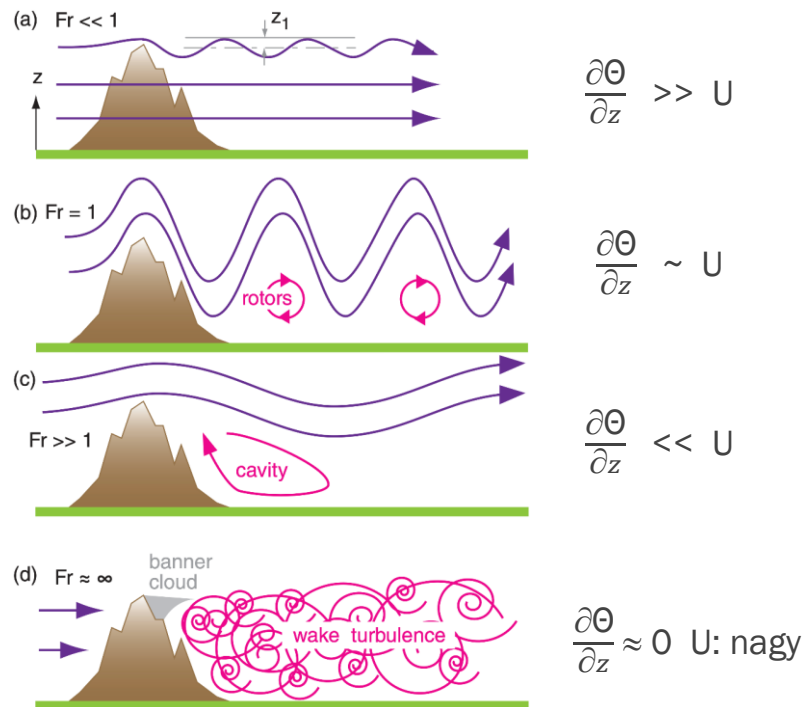
Gravity, Potential Temperature Difference, Perpendicular Wind Speed, Height of Mountain, Potential Temperature at Surface, Elevation Difference

$$F_r = \frac{U / h}{N}$$

1. **Stabilitás mértéke** (a hegycsúcs magasságában)
2. **Szélerősség** (a hegy vonulatára merőlegesen)
3. A hegy magassága

További tényezők:

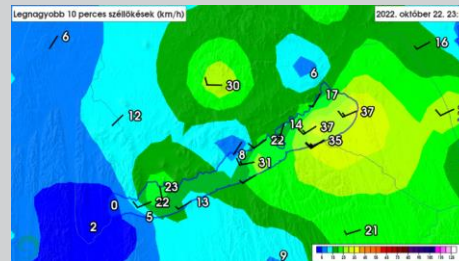
- A hegy szélessége
- Lee oldali lejtő meredeksége



# Szélesebesség módosulása a Balatonnál

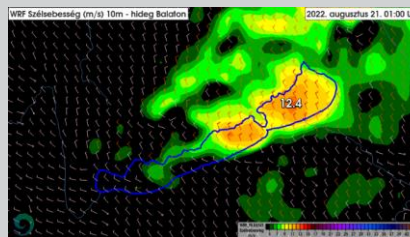
## 1. Szélnek kitettség, kis súrlódás

- Felgyorsuló áramlás a tó felett
  - Tengelyirányú szélnél (ÉK, DNy)
  - Hidegadvekciónál
  - Déli parton

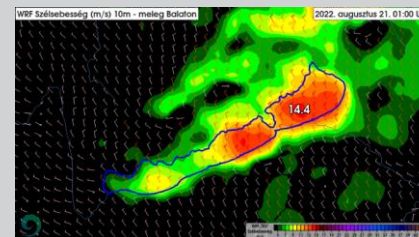


## 2. Vízhőmérséklet hatása

- Meleg víz – labilisabb rétegződés, könnyebb lekeveredés
- Hideg víz – hideg dóm



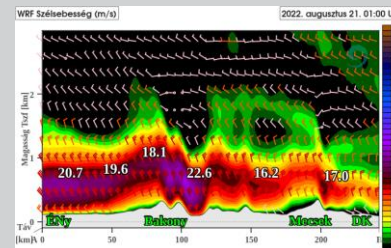
$T_{\text{víz}} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$



$T_{\text{víz}} = 24 \text{ } ^\circ\text{C}$

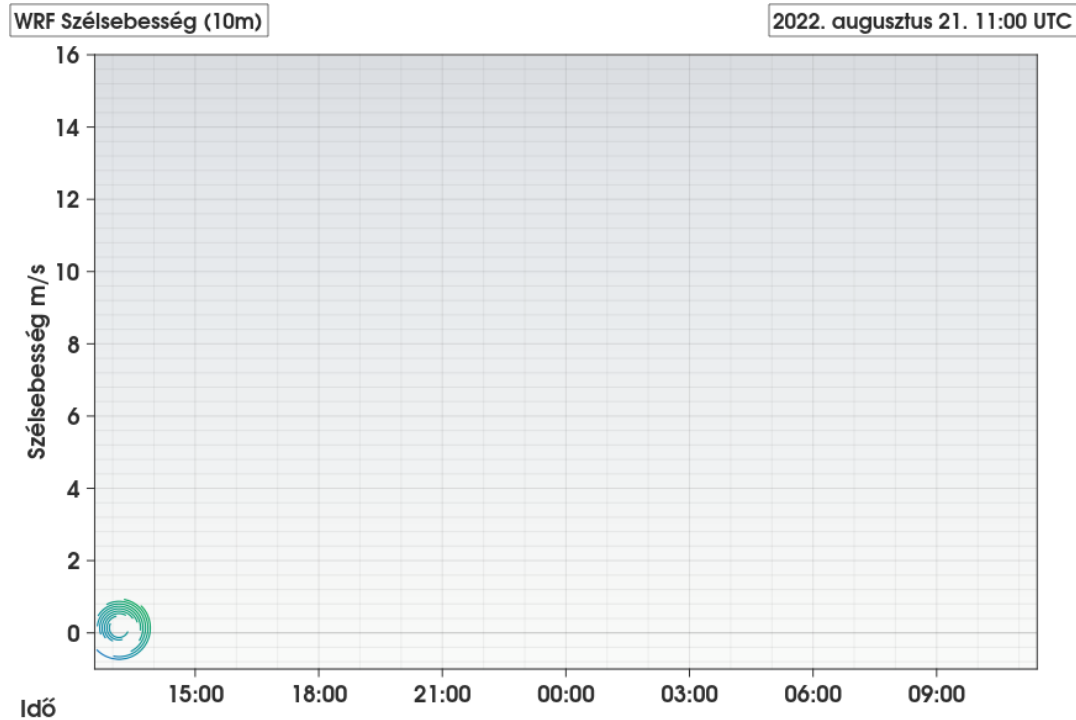
## 3. Orografikus hatások

- Szélcsatornáknak felgyorsuló áramlás
- **Bakonyi bukószél okozta szélerősödés**





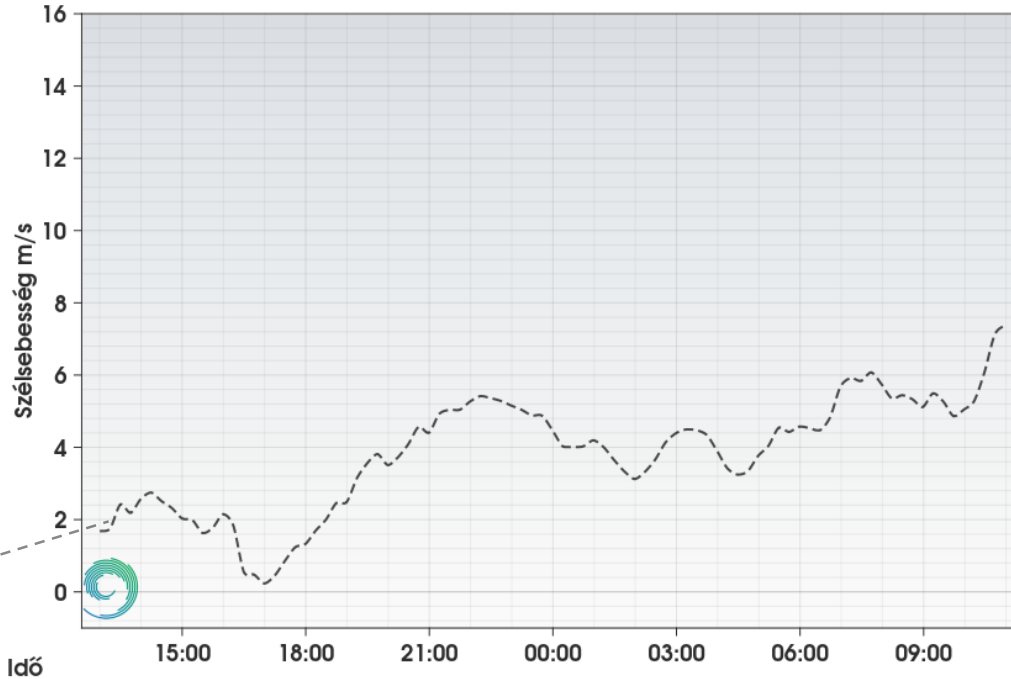
# A balatoni széltöbbslet felbontása a WRF alapján



# A balatoni széltöbbslet felbontása a WRF alapján

WRF Szélsébség (10m)

2022. augusztus 21. 11:00 UTC

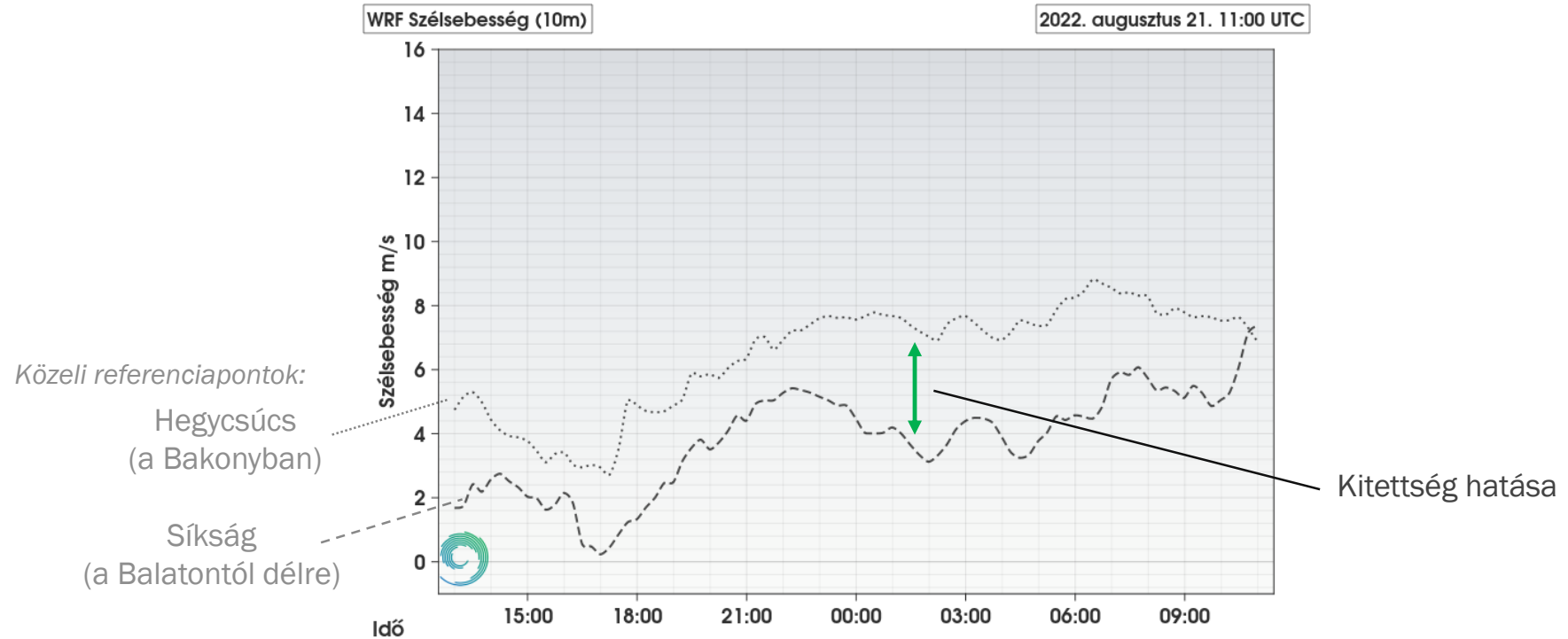


Közeli referenciapontok:

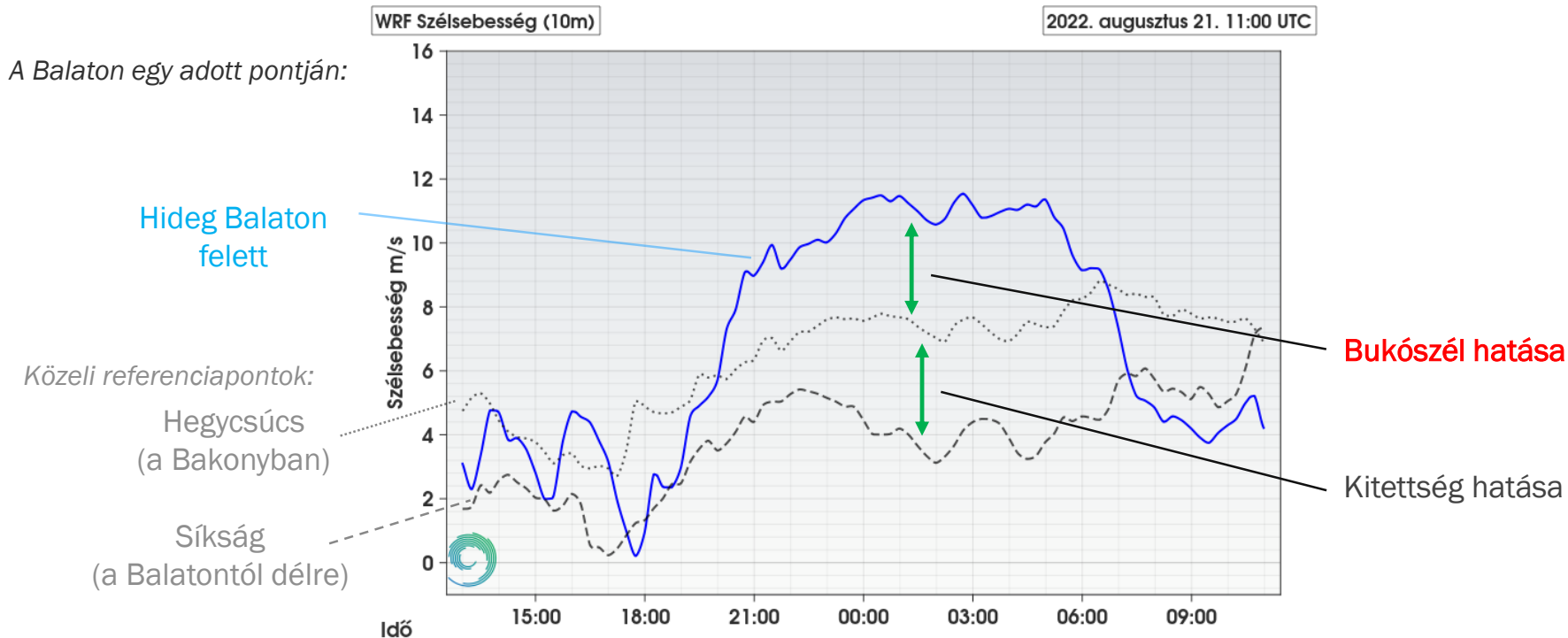
Síkság  
(a Balatontól délre)



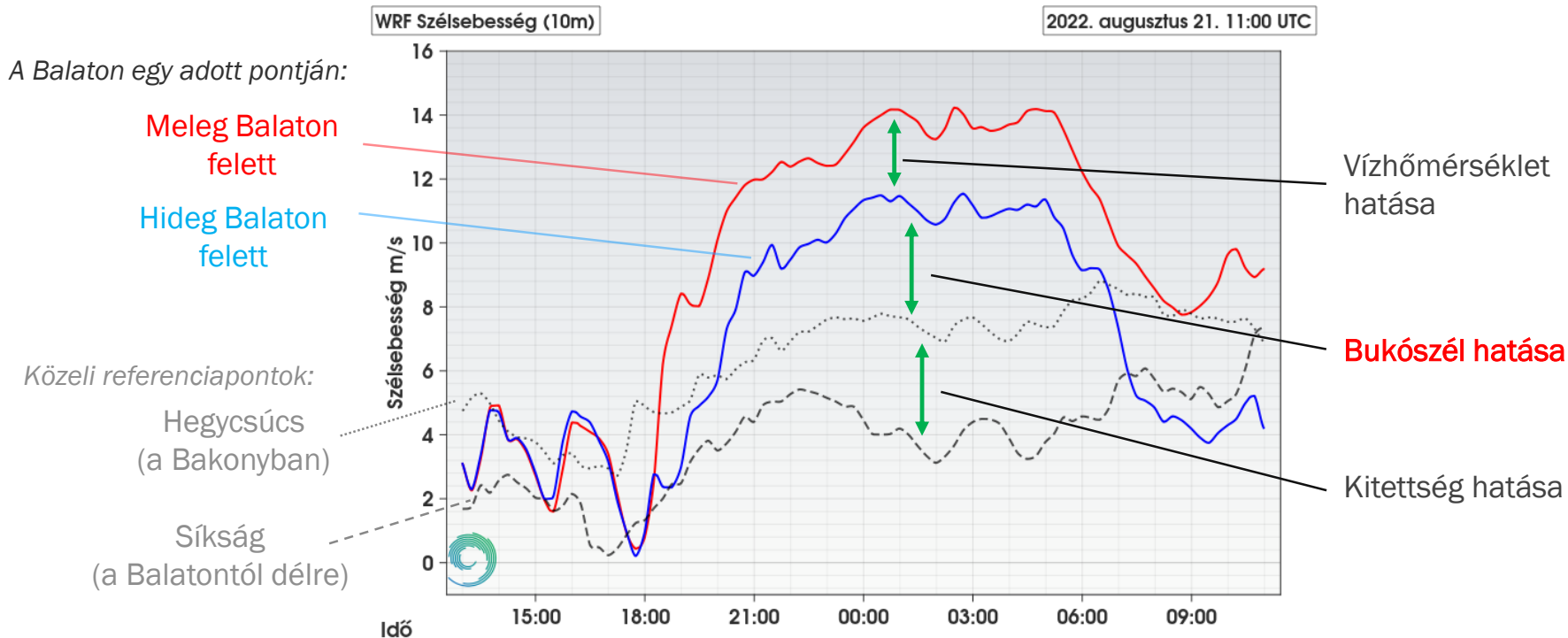
# A balatoni széltöbbslet felbontása a WRF alapján



# A balatoni széltöbbslet felbontása a WRF alapján



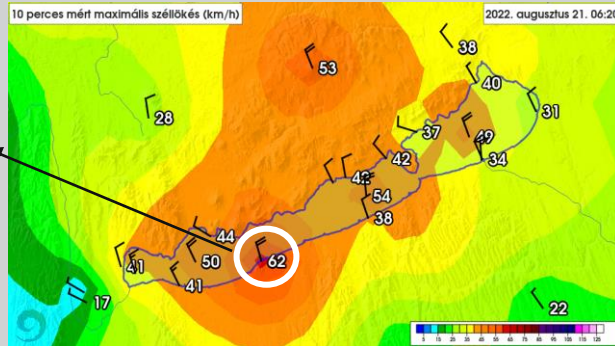
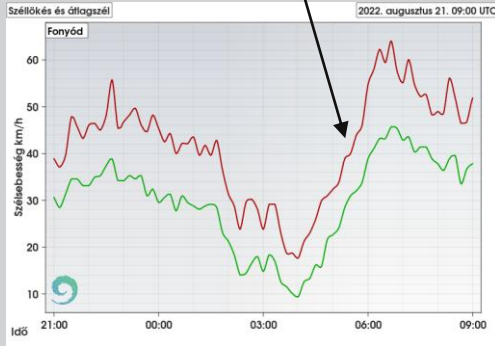
# A balatoni széltöbbslet felbontása a WRF alapján



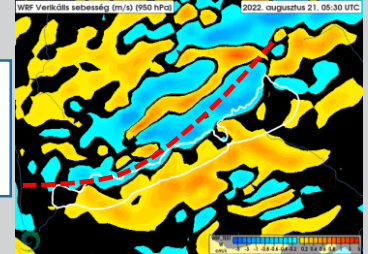


# Bukószelek bizonyítékai 1: hirtelen szélerősödés

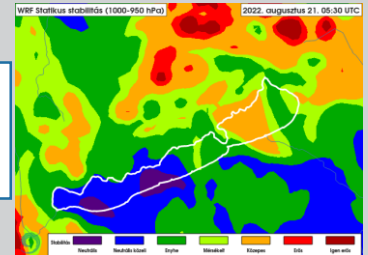
Fonyód: gyors, „frontszerű” szélerősödés jelentős hidegadvekción vagy PBL magasság változás nélkül



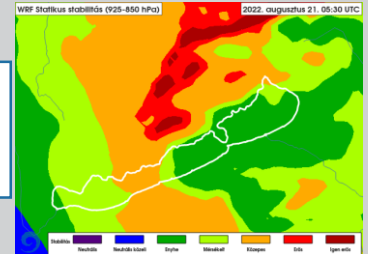
Rendezett le- és feláramlás



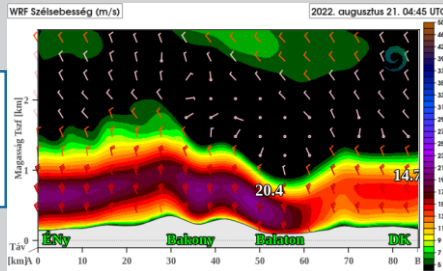
Felszín közelében labilitás



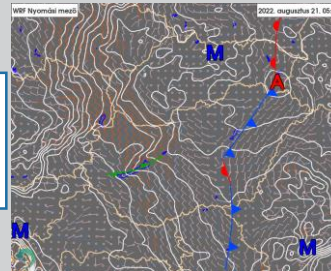
Magasabban (925-850) stabilitás



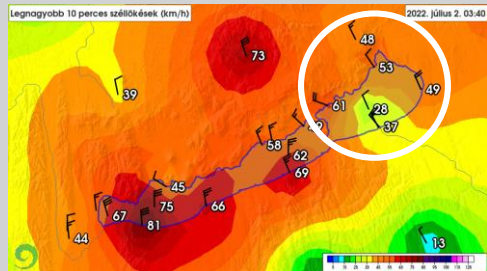
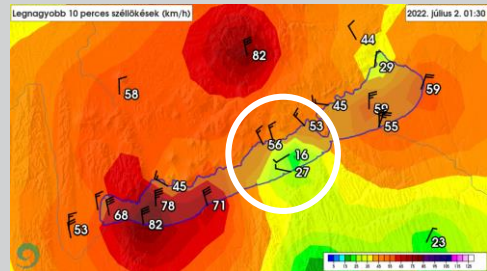
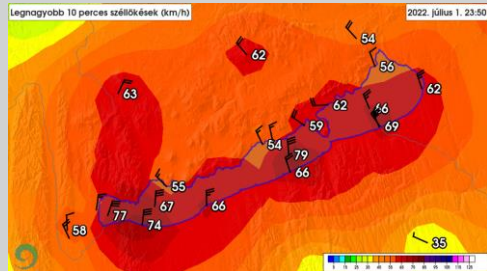
Szélerősödés a lee oldalon



Kedvező szinoptikus helyzet

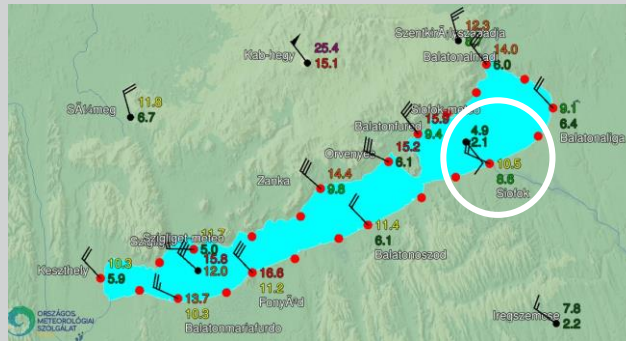
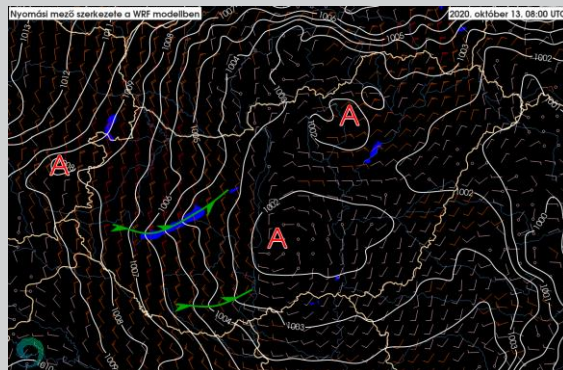
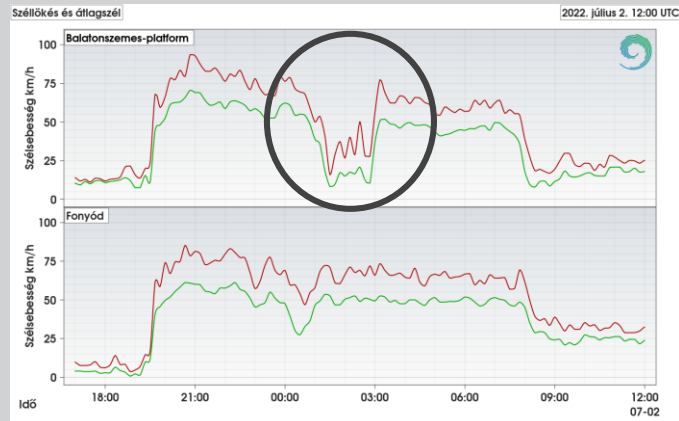


# Bukószelek bizonyítékai 2: átmeneti szélgyengülés



A le-feláramlási határon (hidraulikus ugrás) jelentős szélgyengülés alakulhat ki, a szél akár ellenkező irányba is fordulhat.

Például:  
Balatonfüred: 55-60 km/h – ÉNy-i  
Siófok-cölöp: 15-20 km/h – DK-i

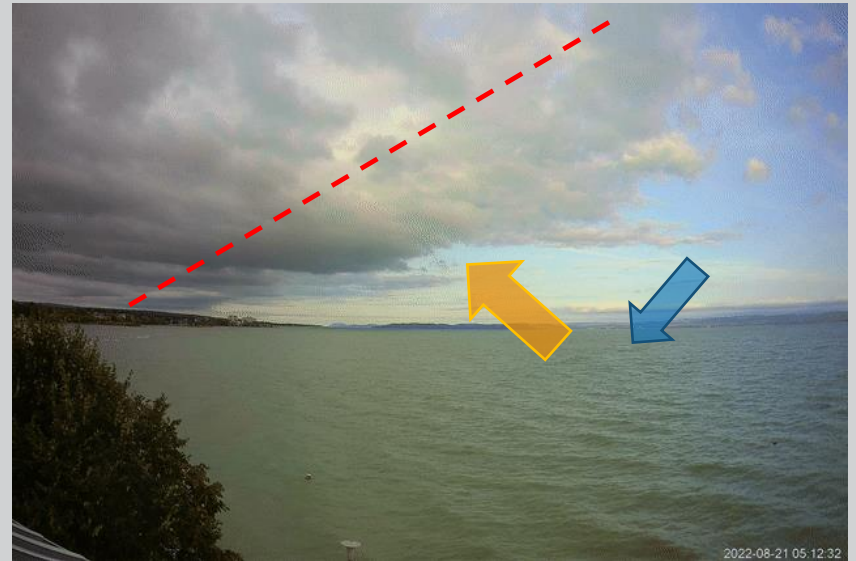


# Bukószelek bizonyítékai 3: álló léghullámok

2020. október 13.



2022. augusztus 21.

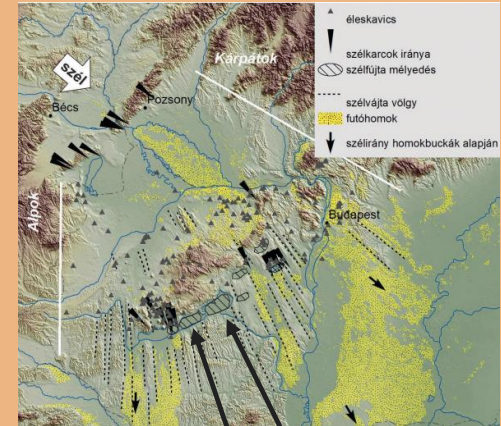




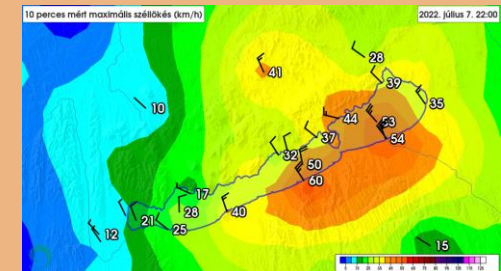
# Kitekintés: a Balaton kialakulása

A Bakonyon átbukó szeleknek döntő szerepe lehetett a Balaton medrének kialakításában

- Szemben álló (de egymást nem kizáró) elméletek:  
**árkos vetődés ↔ szél általi kifúvás (defláció)**
- Lóczy Lajos és Cholnoky Jenő eredményei (XX. sz. eleje):
  - Döntően tektonikus mozgások (vetők közti árkos besüllyedés)
  - Már ők is szerepet tulajdonítottak a szélnek is („bakonyi főszelel”)
- **Bukószelek mellett szóló érvek:**
  - A part mentén húzódó vetők léte nem igazolódott
    - Tektonikus mozgások azonban vannak: a Bakony emelkedik környezetéhez képest
  - Az elmúlt 1,5-2 millió évben az uralkodó szélviszonyok hasonlóak voltak
    - Eljegesedés alatt még erősebb is lehetett a szél
  - A Balaton 3-4 méteres átlagos mélysége a szél által kifújott tómedrek jellemzője
  - A lebukó légáramlás túlmélyíti a hegyláb alatti sávot – bukószelel, lejtővihar?
- Lehetséges kialakulási mechanizmus a pleisztocénben:
  - **Glaciális: száraz, sivatagi klíma – bukószelek medermélyítése**
  - Interglaciális: melegebb, csapadékosabb éghajlat – meder feltöltődése vízzel



Szél által kifújtt mélyedések  
(Sebe et al., 2020)



Balaton bukószelel



A MAGYAR TUDOMÁNY ÜNNEPE

Az MTA programsorozata



KÖSZÖNÖM  
A FIGYELMET!

[mta.hu](http://mta.hu)

