



Fövényi Attila

Kutatások és fejlesztések az OMSZ Repülésmeteorológiai Osztályán



Alapítva: 1870





Termik előrejelzések készítése

A látástávolság előrejelzése



Természetesen az OMSZ RMO-n nem csak a termik és a látástávolság előrejelzésével kapcsolatban folytak/folynak kutatások és fejlesztések, hanem sok egyéb, a repülésre veszélyes időjárási jelenséggel, pl. a horizontális és a vertikális szélnyírásból eredő tiszta levegő turbulenciával, a jegesedéssel, a zivatarokkal, a jégesőkkel a téli csapadék halmazállapotával (hó, havas eső, eső, ónos eső, fagyott eső) stb. kapcsolatban is.



Termik előrejelzések készítése

Start előtt az őcsényi repülőtéren – Fotó: Fövényi





A termik előrejelzés magyar történelme

A 70-es évek végén, 80-as évek elején Szalma János, Katkó Bertalan és Sándor Valéria vitorlázó repülőgépek barográf szalagjainak elemzésével kidolgozott egy 10 változóból álló módszert a termik erősségének előrejelzésére.

Ezt a módszert a rendelkezésre álló UKMO, majd ALADIN modellhez adaptálta és bővítette Fövényi Attila a 90-es években. Az ebből készült előrejelzések hosszú ideig fenn voltak az OMSZ honlapján (1994-2006).

A 2000-es években Gyöngyösi Zénó, a WRF modellre adaptált egy termik előrejelző módszert, ami az ELTE honlapján (meteor24.elte.hu) jelszóval most is elérhető.



A Szalma-Katkó-Sándor-Fövényi féle döntési táblázat

A termik program által használt döntési táblázat :

Átlagos emelés (m/s)	0.2	0.3-1.3	1.3-1.8	1.8-2.3	2.3-2.8
Maximális emelés (m/s)	0.3	0.7-1.7	1.75-2.25	2.3-2.8	2.85-3.35
1. 15 UTC-ig beérkező globálsugárzás (J/cm ²)	<700	700-1300	1300-1600	1600-2000	>2000
2. Látástávolság (km)	<=5	5-10	10-15	15-20	>20
3. Talajállapot (párolgási hő)		1-4. kategória	5-8. kategória	9-10. kategória	11-12. kategória
4. Átlagos gradiens (°C/100m)	>-0.4	-0.40, -0.45	-0.45, -0.55	-0.55, -0.65	<-0.65
5. Termik indulása (UTC)		>11	10-11	9-10	<9
6. Harmatpont (°C)		>15	12.5-15	10-12.5	<10
7. D ₈₅₀ +D ₇₀₀ (°C)	<5	5-8	8-10	>14	10-14
8. A kondenzációs szint (m)	<700	700-1200	1200-1400	1400-1800	>1800
9. Advekciónál 850 hPa-on (°C/12h)	> +6	+6, +3	+3, +1	+1, -1	< -1
10. ∇ ² (P) (10 ⁻⁵ hPa/km ²)		<-10 >+10	-10, -7 +6, +10	-7, -3 +2, +6	-3, +2
11. Szinoptikus helyzet		1-6. kategória	7-10. kategória	11-13. kategória	14-15. kategória

Modell/Szin.
Modell/Szin.
Szinoptikus
Modell
Modell
Modell
Modell
Modell
Modell
Szinoptikus



Az OMSZ 1994-2006 közötti előrejelzése

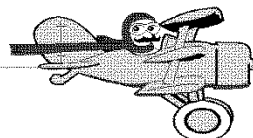


AZ ORSZÁGOS METEOROLÓGIAI SZOLGÁLAT AUTOMATIKUS TELEFAX SZOLGÁLTATÁSA

Az Országos Meteorológiai Szolgálat fax-bankjában általános időjárási, repülésmeteorológiai, éghajlati és agrometeorológiai adatok érhetők el, szöveges és térképes formában. A lekérhető információkról és hívószámaikról a fax-bank tartalomjegyzéke ad felvilágosítást.

A tartalomjegyzék hívószáma: **06-90-304-100**

Termik előrejelzés Magyarország területére



Érvényes: 1996. 08. 19.

Szinoptikus helyzet: Hazánk fölött magassági hidegcsepp található. Emiatt továbbra is kialakulhatnak záporok, zivatarok, de az előző napokhoz képest kevesebb helyen. Az északkeleti szél élénk, főleg zivatarok közelében időnként erős lesz. A Kisalföld térségében várható legkevesebb Ac felhőzet, ezért ott lesznek a legerősebb termikiek.

Figyelmeztetés: Cb, zivatar és 12 mps feletti széllokés az országban bárhol előfordulhat.

Speciális jelenségek: Főleg a keleti és déli országrészben az Ac és Cu összeállások miatt nem várható folyamatos termik tevékenység.

Távolabbi kilátások: A magassági hidegcsepp tovább gyengül, és egyre szárazabb levegő érkezik fölénk, ezért kevesebb helyen lesz zápor, zivatar, és erősödnek a termikiek.

Hőmérsékleti gradiensek a 00 UTC-kor mért értékek alapján

Budapest		Bécs		Zágráb		Ungvár		Szeged	
töréspontok (m)	gradiens (°C/100m)	töréspontok (m)	gradiens (°C/100m)	töréspontok (m)	gradiens (°C/100m)	töréspontok (m)	gradiens (°C/100m)	töréspontok (m)	gradiens (°C/100m)
139-278	0.719	209-269	1.656	128-171	3.738	118-195	1.549	83-219	0.440
278-1317	-0.789	269-339	0.000	171-611	-0.409	195-1793	-0.639	219-633	-0.048
1317-2368	-0.876	339-506	-0.837	611-2714	-0.742	1793-2997	-0.888	633-2089	-0.728
2368-2834	-0.729	506-686	0.223	2714-3049	-0.537	2997-6503	-0.599	2089-2491	-0.598
2834-3139	0.000	686-943	-0.935					2491-3194	-0.640
		943-1026	0.000						
		1026-1653	-0.670						
		1653-2705	-0.913						
		2705-3152	-0.649						

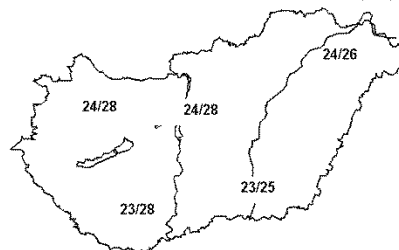
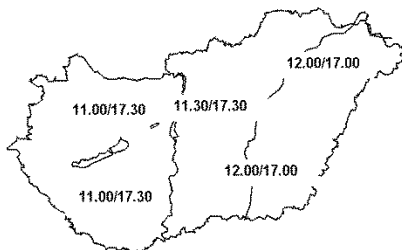
Az egykori előrejelzés egyes elemei ma is fellelhetők a metnet.hu oldalon



Termik aktivitás

Kihasználható termik kezdete/vége (LT)

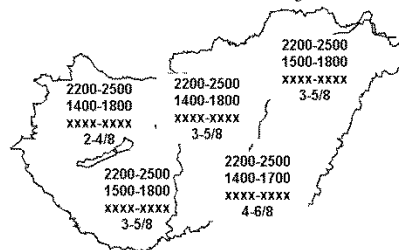
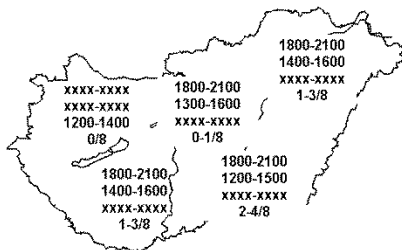
Termik kiváltó hőmérséklet/
maximum hőmérséklet (°C)



Cu felhő teteje(m)
Cu felhő alapja(m)
Száraz termik teteje(m)
Cu felhő mennyisége

Termik kezdetekor

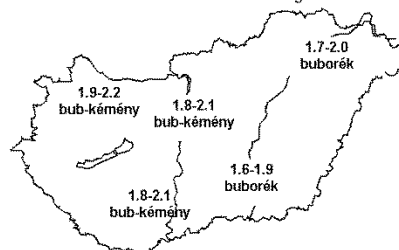
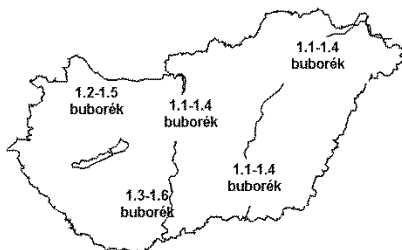
Maximum idején



Várható emelés (m/s)
Termik jellege

Termik kezdetekor

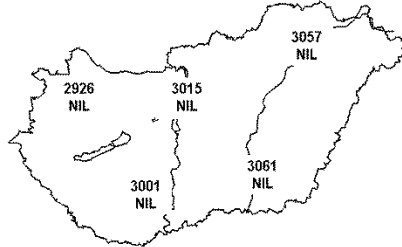
Maximum idején



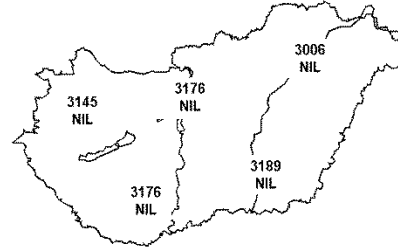
Egyéb időjárási jellemzők

0 °C izoterma magassága (m) Lezáró inverzió vagy stabil réteg alapja (m)

06 UTC-re előrejelzett

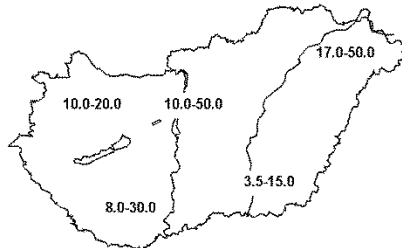


12 UTC-re előrejelzett

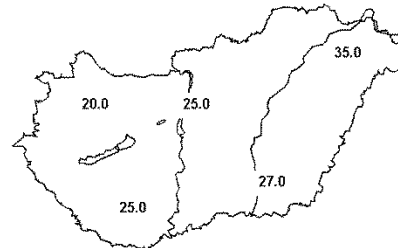


Látástávolság (km)

05 UTC-s észlelés

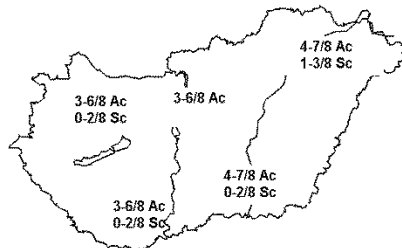


12 UTC-re előrejelzett

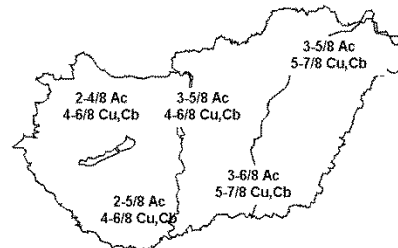


Egyéb felhőzet

06 UTC-s észlelés



12 UTC után

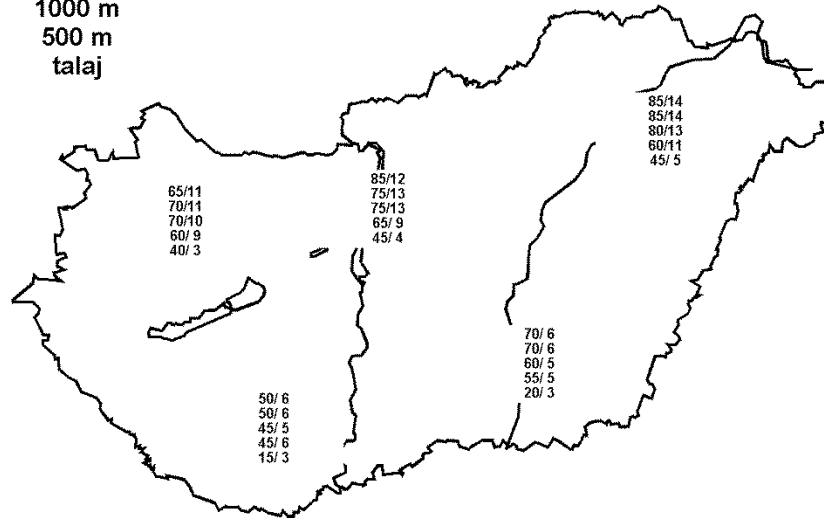




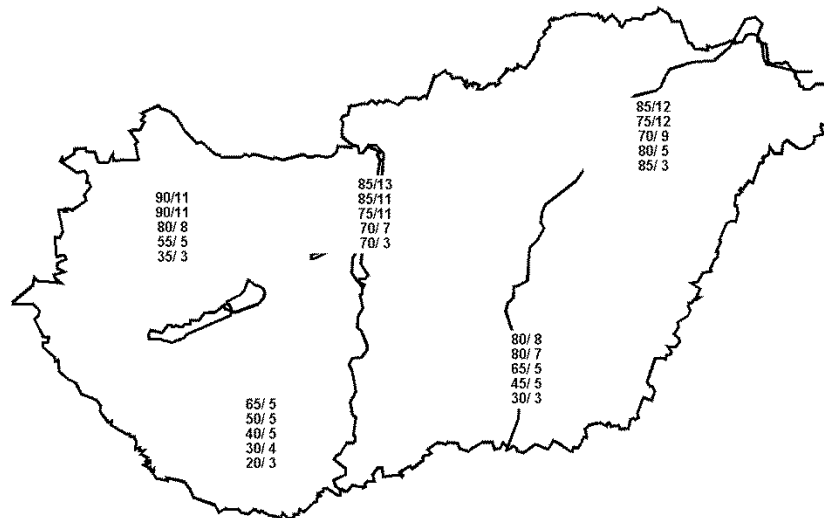
Széladatok (m/s)

2000 m
1500 m
1000 m
500 m
talaj

06 UTC



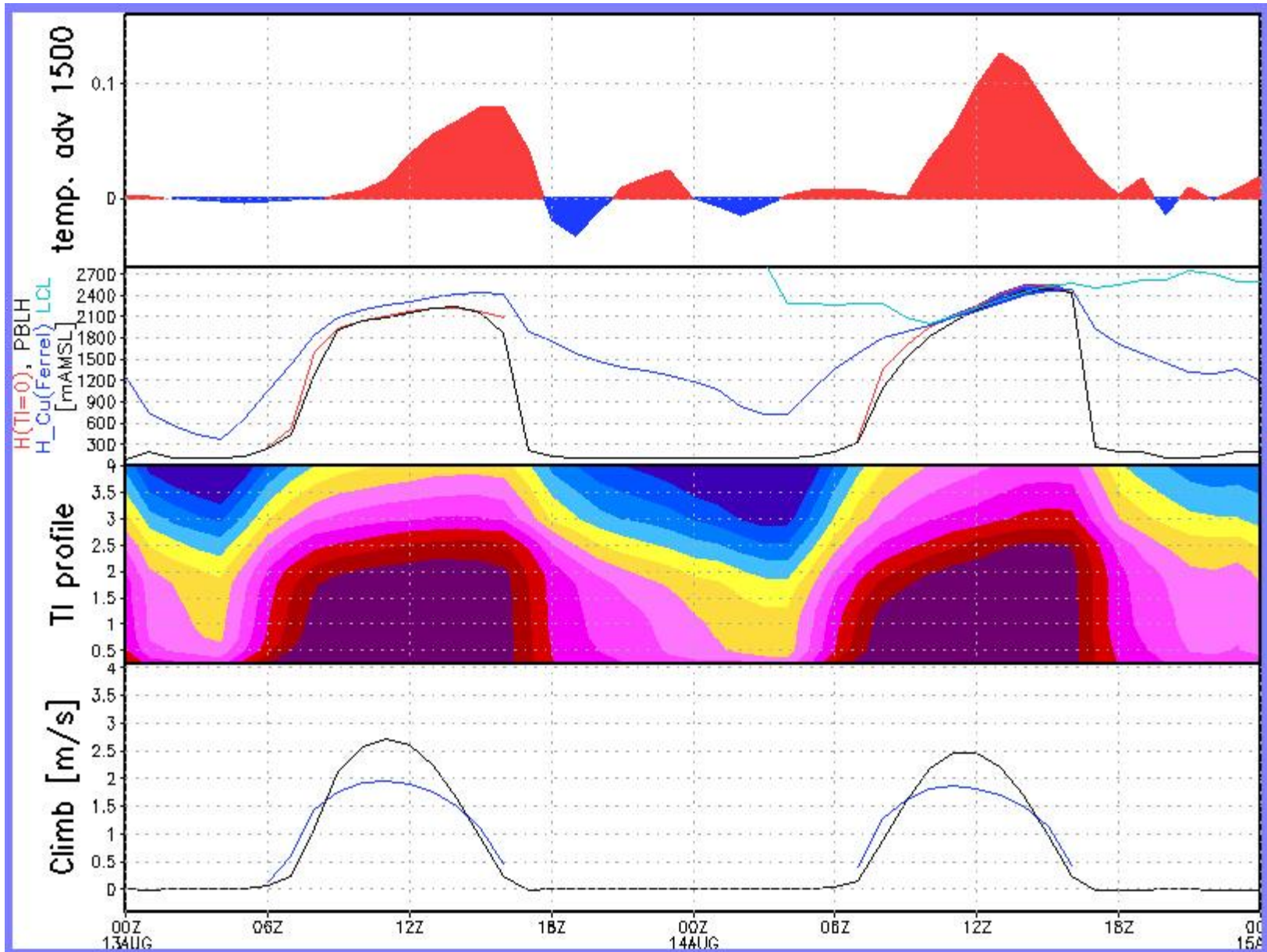
12 UTC-re előrejelzett



Készítette: Fövényi Attila



A WRF modellből készülő meteor24.elte.hu előrejelzés





Az új termik előrejelzések

2011-ben új kutatás kezdődött, és 2013 óta rendelkezésre áll a modellekből készült automatikus előrejelzés, amely az új Repülésmeteorológiai honlapon is elérhető.

A módszer 4 verseny (2 dunaújvárosi, 1 ócsényi, 1 szegedi) verseny logger (gps) adatain alapul. Először kiválasztottuk azokat a termikeket, amikor a termik teteje fölött a gradiens -0.6 vagy az alatti (szabad termik) volt (összesen 867 eset). Ezekből meghatároztuk a maximális emeléseket (a teljes tekerés legerősebb 60-70%-a) a termik tető (keveredési réteg vastagsága) függvényében.

A függvény formája: $A+B \cdot X$,

ahol **X** a termik tető magassága (keveredési réteg vastagsága).

Ezután azokban az esetekben határoztuk meg a maximális emeléseket, amikor inverziós réteg volt a termikek fölött (301 eset). Itt meghatároztuk, hogy az emelés hányad része annak az emelésnek, ami inverzió nélkül lett volna, azonos termik tető esetén.

Amennyiben a termik teteje fölött a gradiens 0 és -0.6 között volt (162 eset), akkor lineárisan interpoláltuk a két érték (inverziós/szabad termik) közé a gradiens függvényében.



Az átlagos emelés kiszámításához a következő képletet használtuk:

$$\text{Átlagos emelés (m/s)} = 1(\text{m/s}) * \text{Termik tető(m)} / 1000(\text{m})$$

(amerikai-német irodalom alapján)

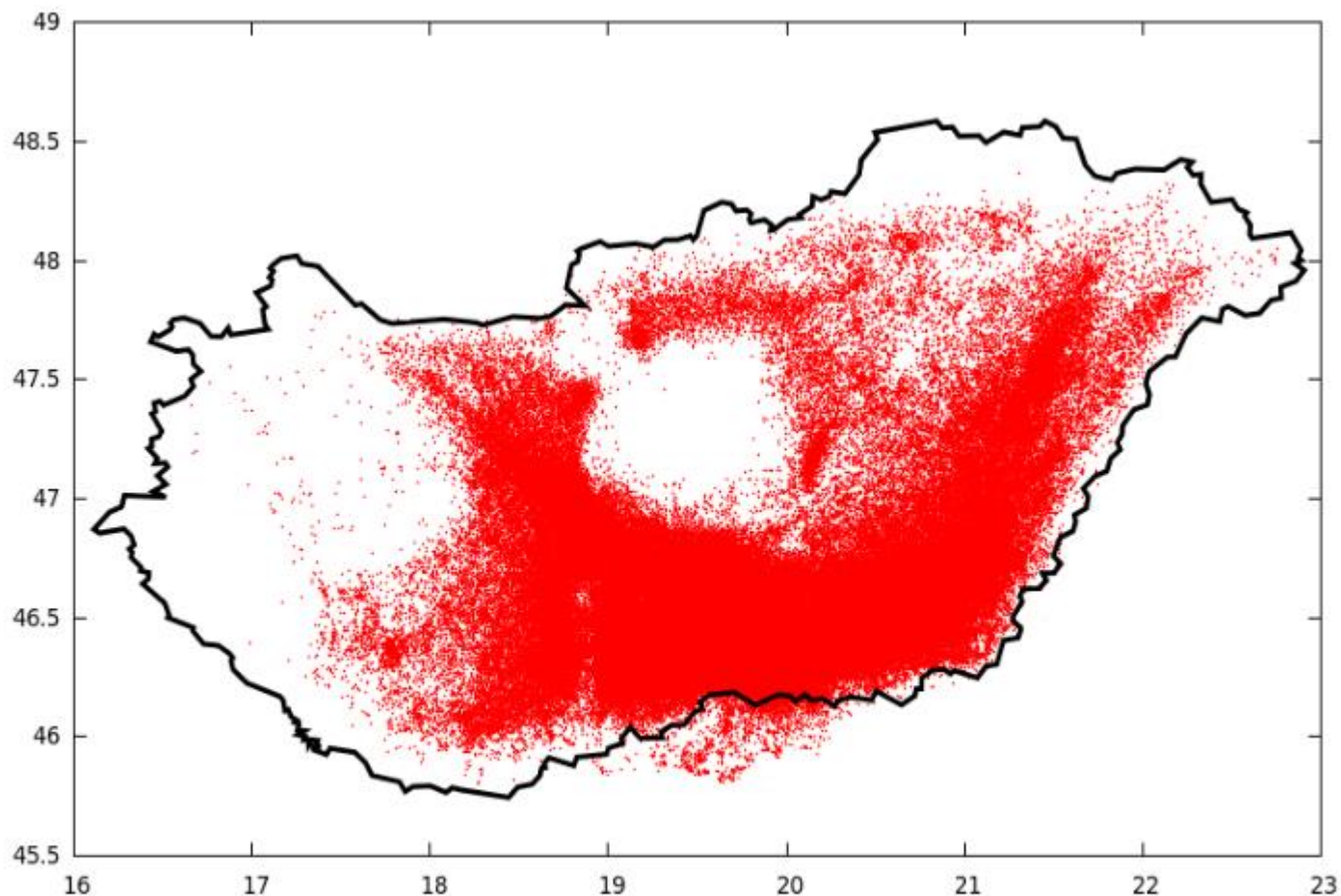
Ezt módosítottuk a maximális emelésre kiszámolt inverziós korrekcióval.

Ezek mellett a CCL (Cumulus Condensation Level) szint és a termik tető magasságának függvényében meghatároztuk a Cumulus megjelenés valószínűségét is.

Kezdetben 4 modellt teszteltünk (ALADIN.HU, AROME, WRF, ECMWF), de egyértelműen az AROME bizonyult a legjobbnak, ezért az AROME modell felhasználásával készült térképek találhatóak meg a honlapon.



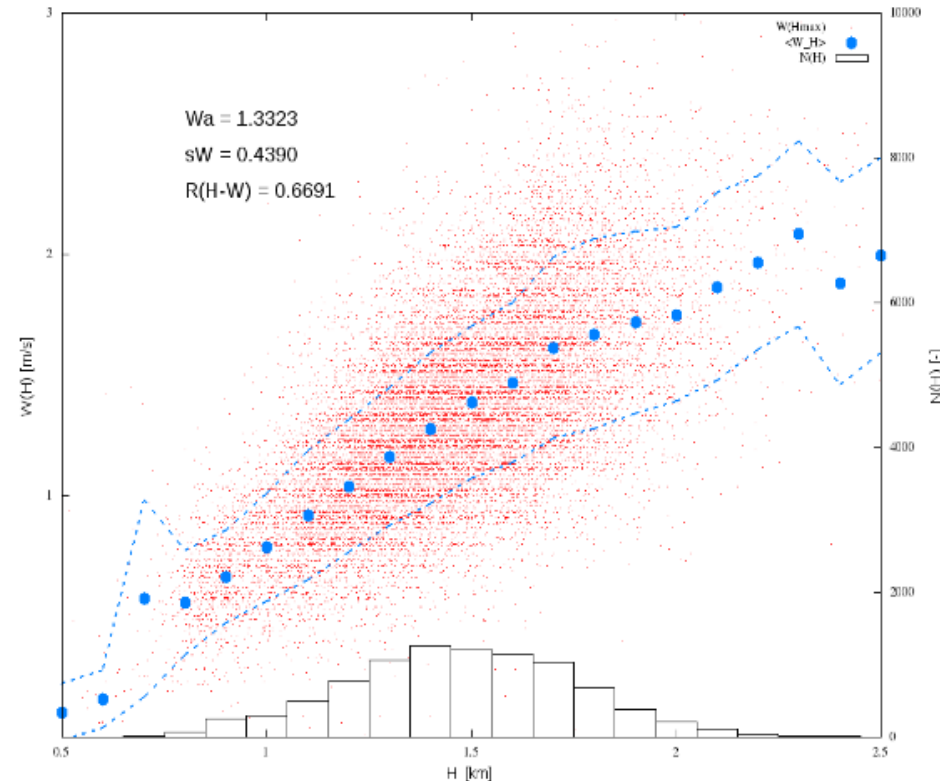
Magyarországi termikék elhelyezkedése 15 év (kb. 30000 db.) adatai alapján (Szabó Andor)



1.5. ábra. Az új adatbázisból származó körülbelül 30000 termik elhelyezkedése.

Az átlagos emelések kb. 30000 adat alapján (Szabó Andor)

Átlagos emelés ~ 0.87 m/s/1000 m

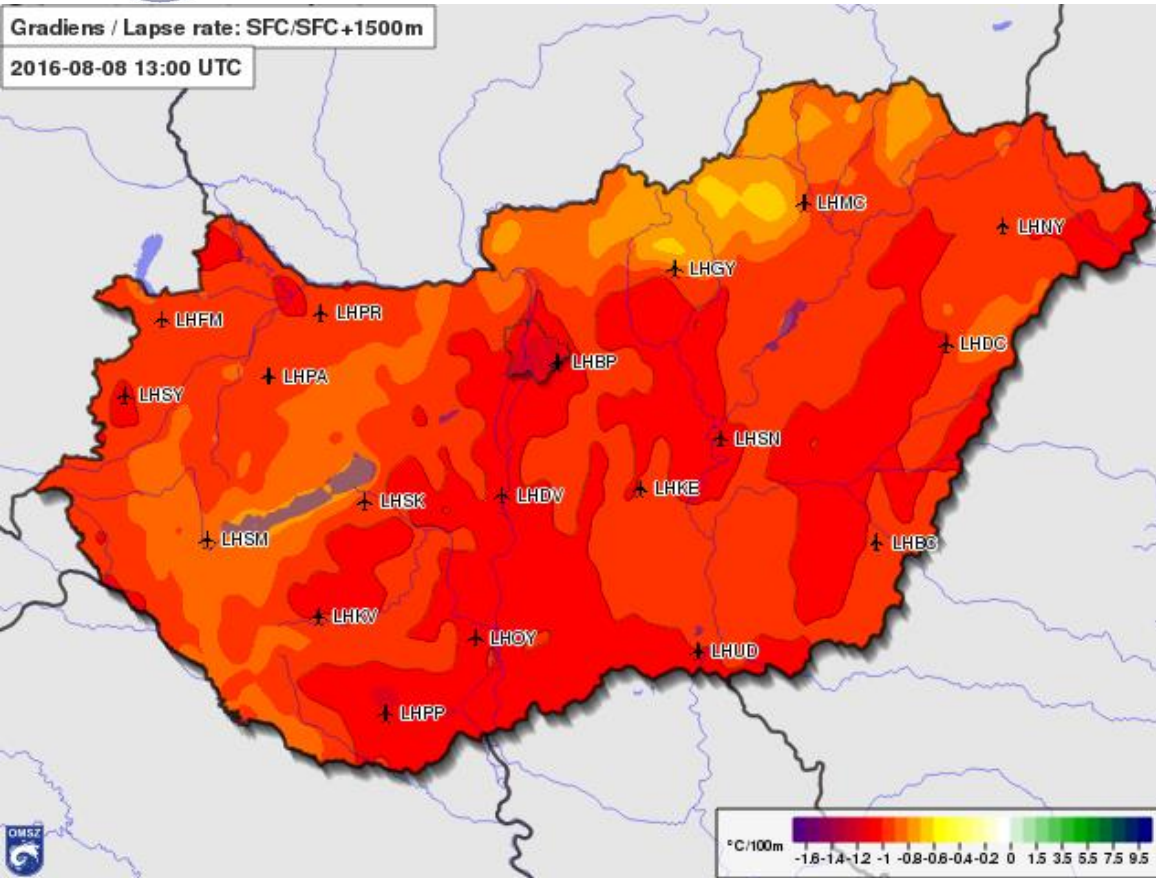


3.3. ábra. Repülési adatokból származó átlagos határreteg vastagsághoz tartozó átlagos feláramlási sebességek (piros pontok), ezekre vonatkozó átlagos értékpárok (kék pontok), valamint az átlagos értékek körüli (One-Pass Parallel módszerrel (Pébay, P. 2008) meghatározott) szórások (kék szaggatott vonal) és az egyes kategóriák gyakorisága (fekete oszlopok).



Mi található az új termik előrejelzésben az aviation.met.hu-n?

- Gradiensek a talaj és 6 különböző magassági szint között
- Gradiensek a magasban különböző szintek (6 db) között
- Az emelési kondenzációs szint (LCL) magassága a talajtól
- A Cumulus kondenzációs szint (CCL) magassága a talajtól
- A Cu kialakulásának valószínűsége %-ban
- A termik (keverési réteg) teteje a talaj fölött
- Átlagos és maximális emelés a termikben
- Hőmérséklet deficit térképek (5 db. – Hány fokot kell melegednie a talajon lévő levegőnek, hogy az adott magasságig fel tudjon emelkedni?)
- A modell (AROME) által számolt 2 méteres hőmérséklet
- Széltérképek 12 különböző magassági szintre
- A legalsó és a legfelső 0 fokos szint magassága



- SFC/SFC+600 m
- SFC/SFC+900 m
- SFC/SFC+1250 m
- SFC/SFC+1500 m
- SFC/2000 m AMSL
- SFC/2400 m AMSL

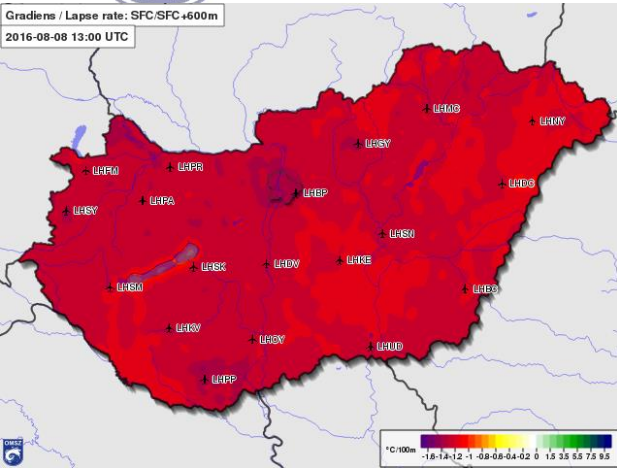
Piros – lila terület: Gradiens $\leq -1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$

Zöld – kék terület: Gradiens $>0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (inverzió)

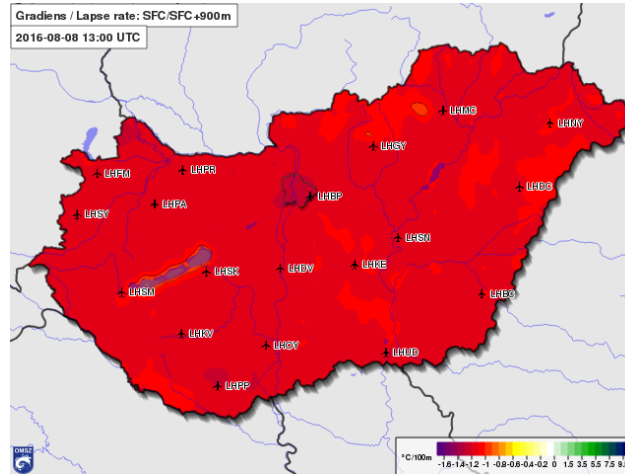


Gradiensek a talajtól számítva

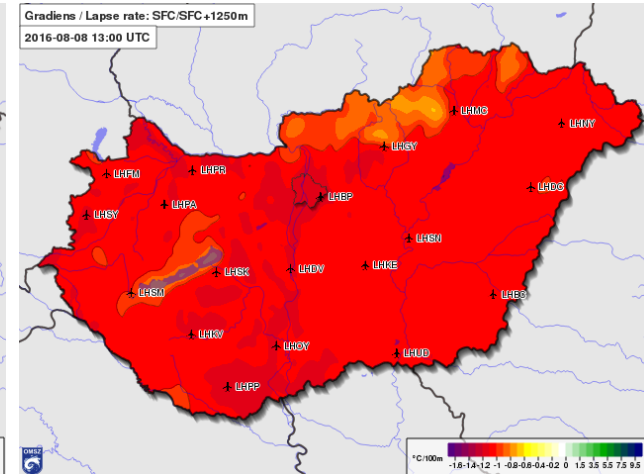
SFC/SFC+600 m



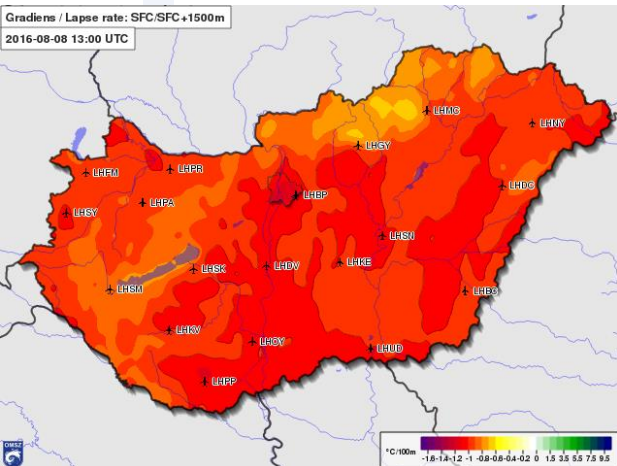
SFC/SFC+900 m



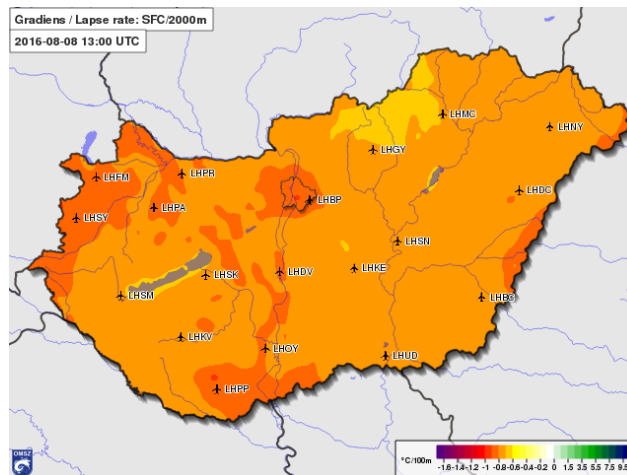
SFC/SFC+1250 m



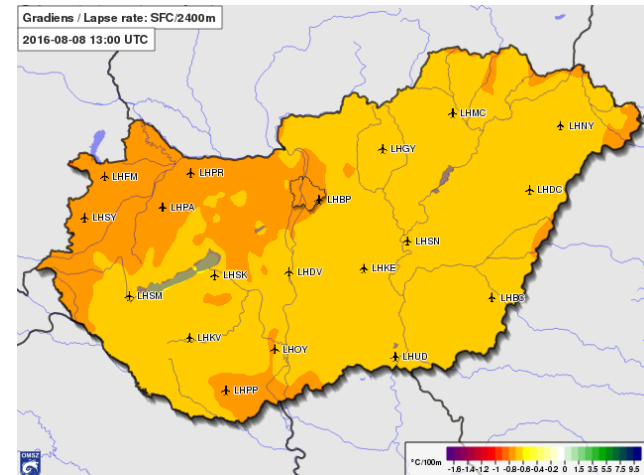
SFC/SFC+1500 m

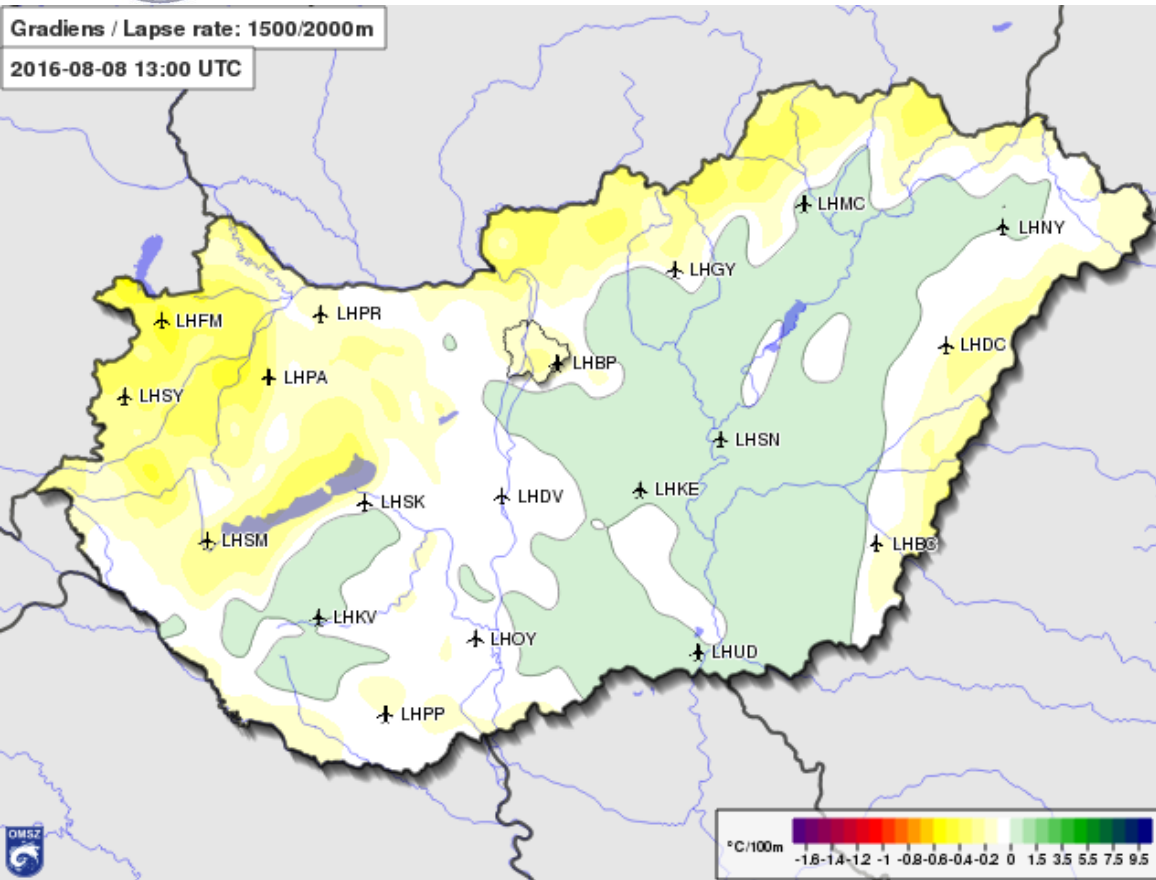


SFC/2000 m AMSL



SFC/2400 m AMSL





- SFC+600 m/SFC+900 m
- SFC+900 m/SFC+1250 m
- SFC+1250 m/SFC+1500 m
- 1500 m AMSL/2000 m AMSL
- 2000 m AMSL/2500 m AMSL
- 2500 m AMSL/3000 m AMSL

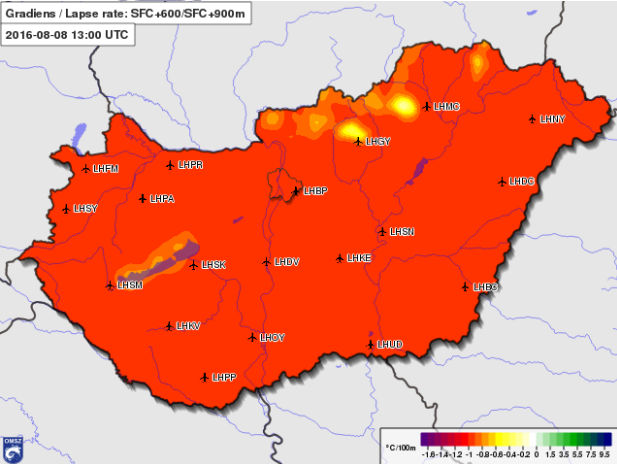
Narancs – piros – lila terület: Gradiens $\leq -0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$

Zöld – kék terület: Gradiens $>0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (inverzió)

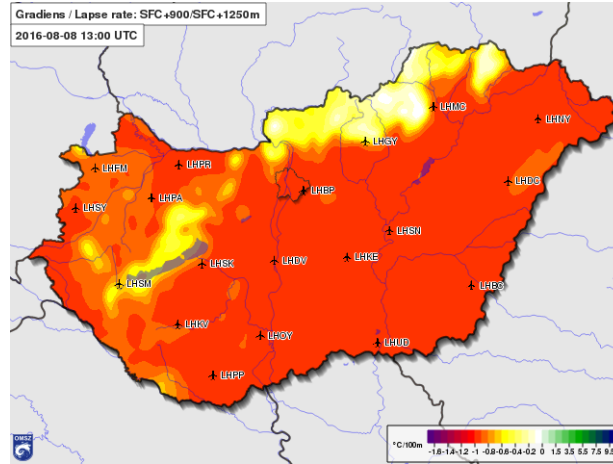


Gradiensek a magasban

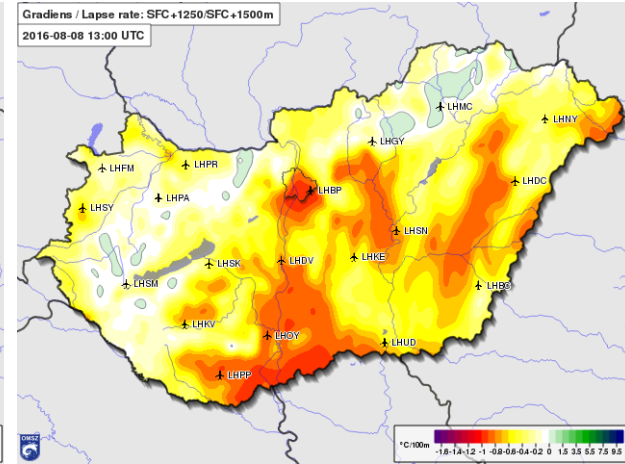
SFC+600-SFC+900 m



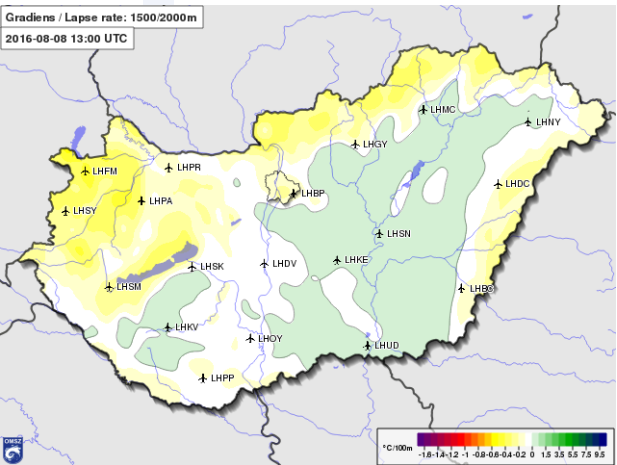
SFC+900-SFC+1250 m



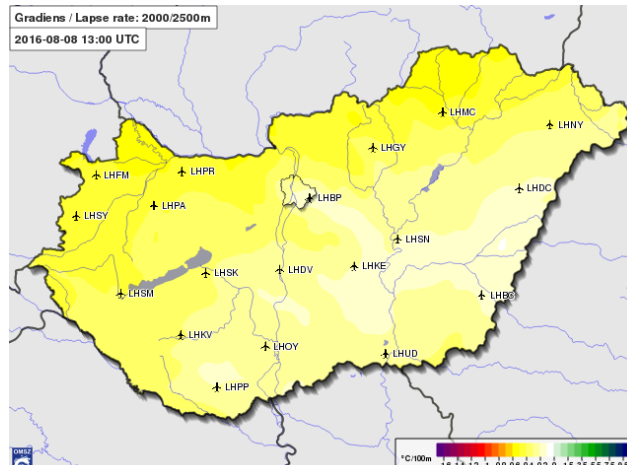
SFC+1250-SFC+1500 m



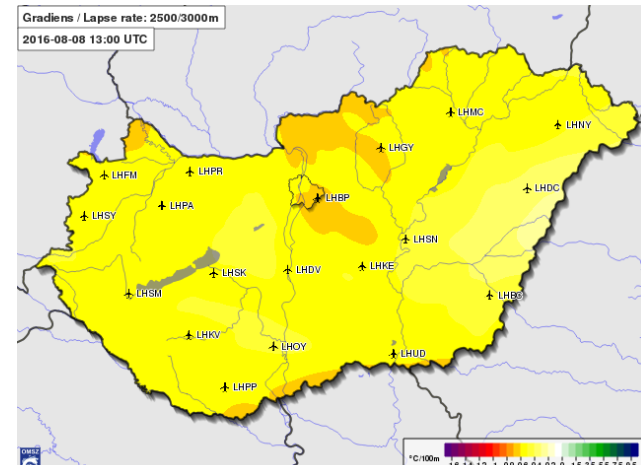
1500-2000 m AMSL

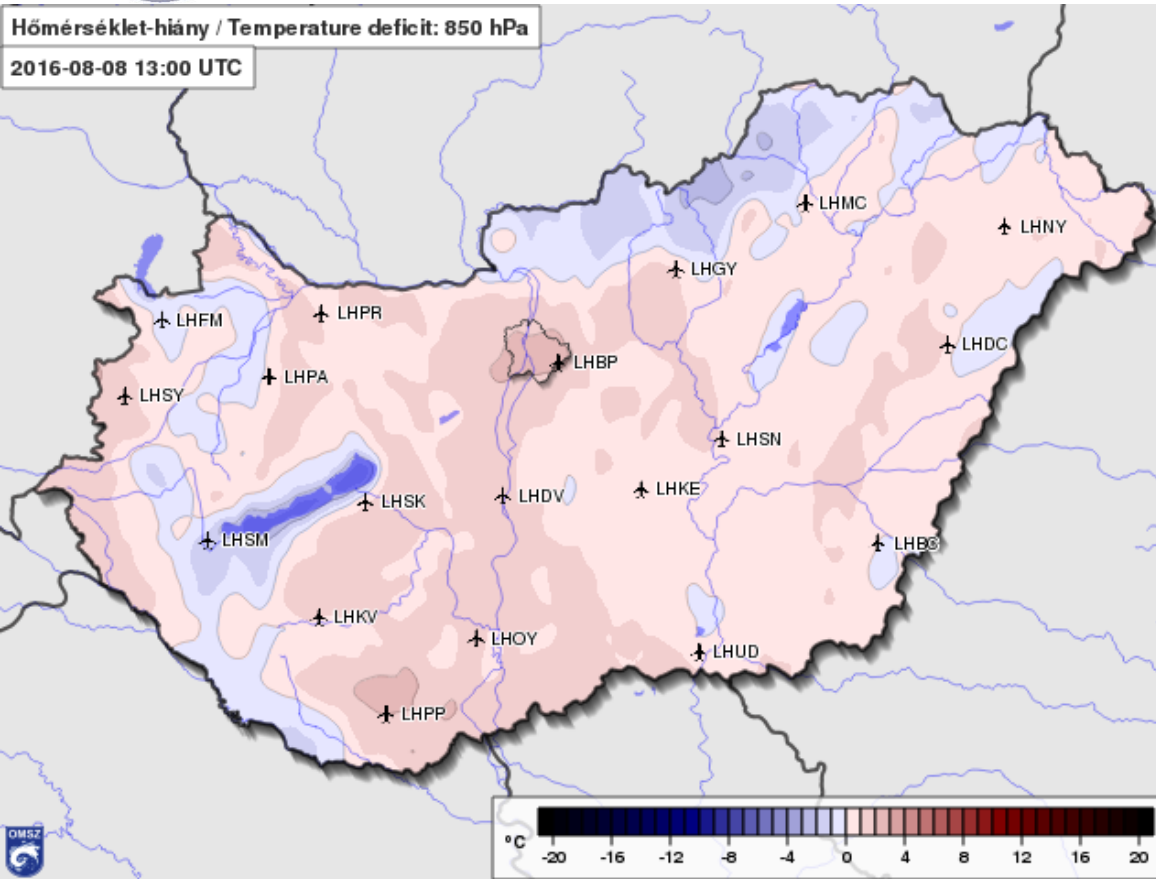


2000-2500 m AMSL



2500-3000 m AMSL





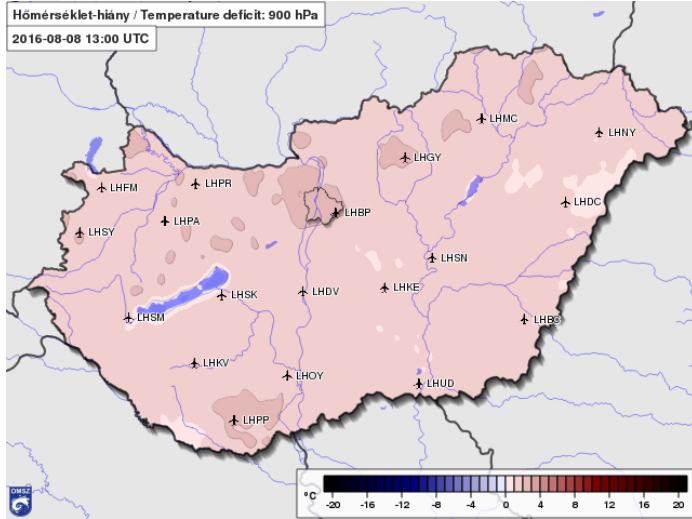
- 900 hPa (cca. 1000 m AMSL)
- 850 hPa (cca. 1500 m AMSL)
- 800 hPa (cca. 2000 m AMSL)
- 750 hPa (cca. 2500 m AMSL)
- 700 hPa (cca. 3000 m AMSL)

Rózsaszín – piros terület – már fel tud emelkedni a levegő az adott szintig
Kék terület – Még nem tud felemelkedni a levegő az adott szintig

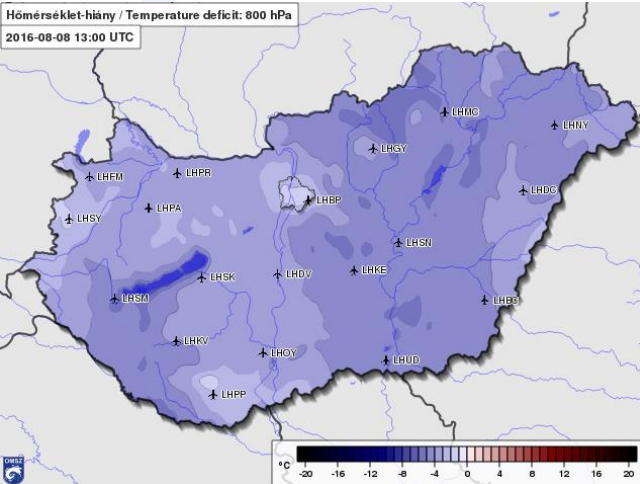
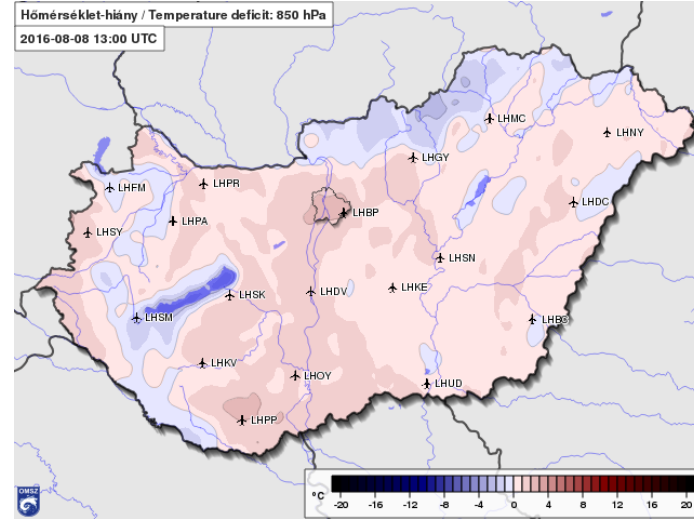


Hőmérséklet deficit térképek

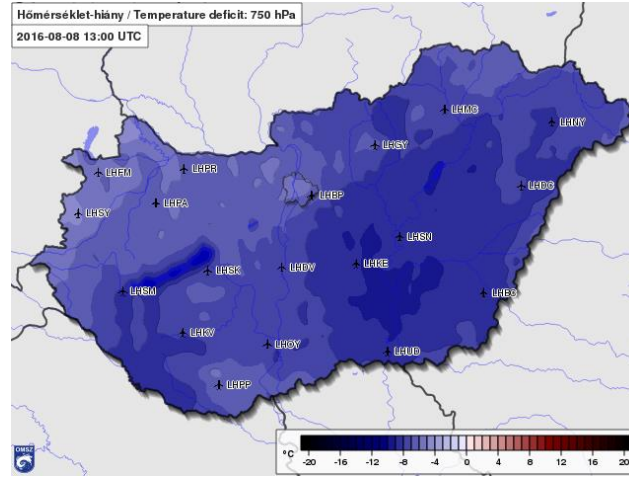
900 hPa



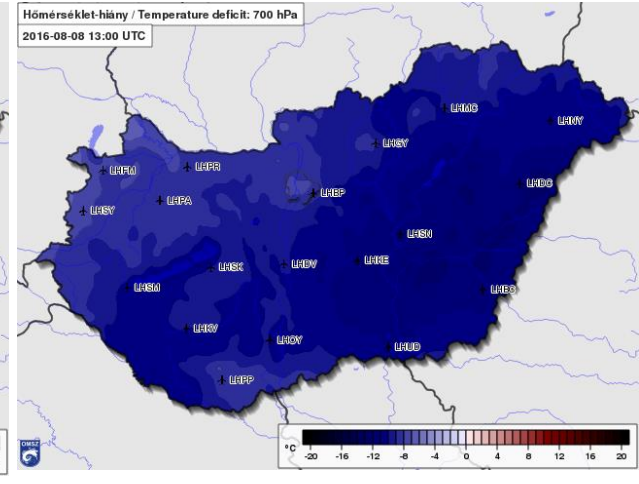
850 hPa



800 hPa



750 hPa



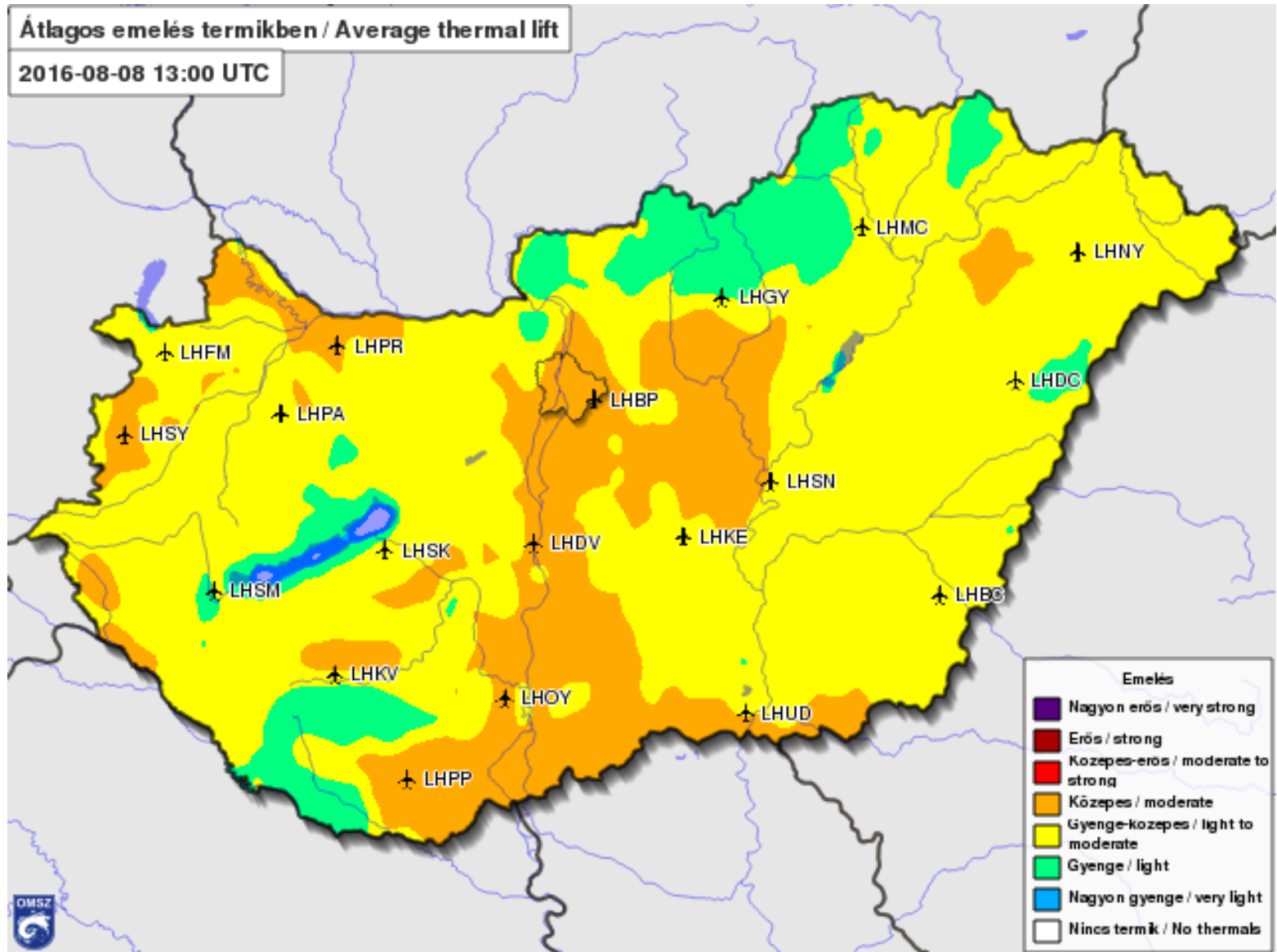
700 hPa



Átlagos emelés termikben

Átlagos emelés termikben / Average thermal lift

2016-08-08 13:00 UTC



- >3 m/s
- 2.5-3 m/s
- 2-2.5 m/s
- 1.5-2 m/s
- 1-1.5 m/s
- 0.5-1 m/s
- 0.2-0.5 m/s
- <0.2 m/s

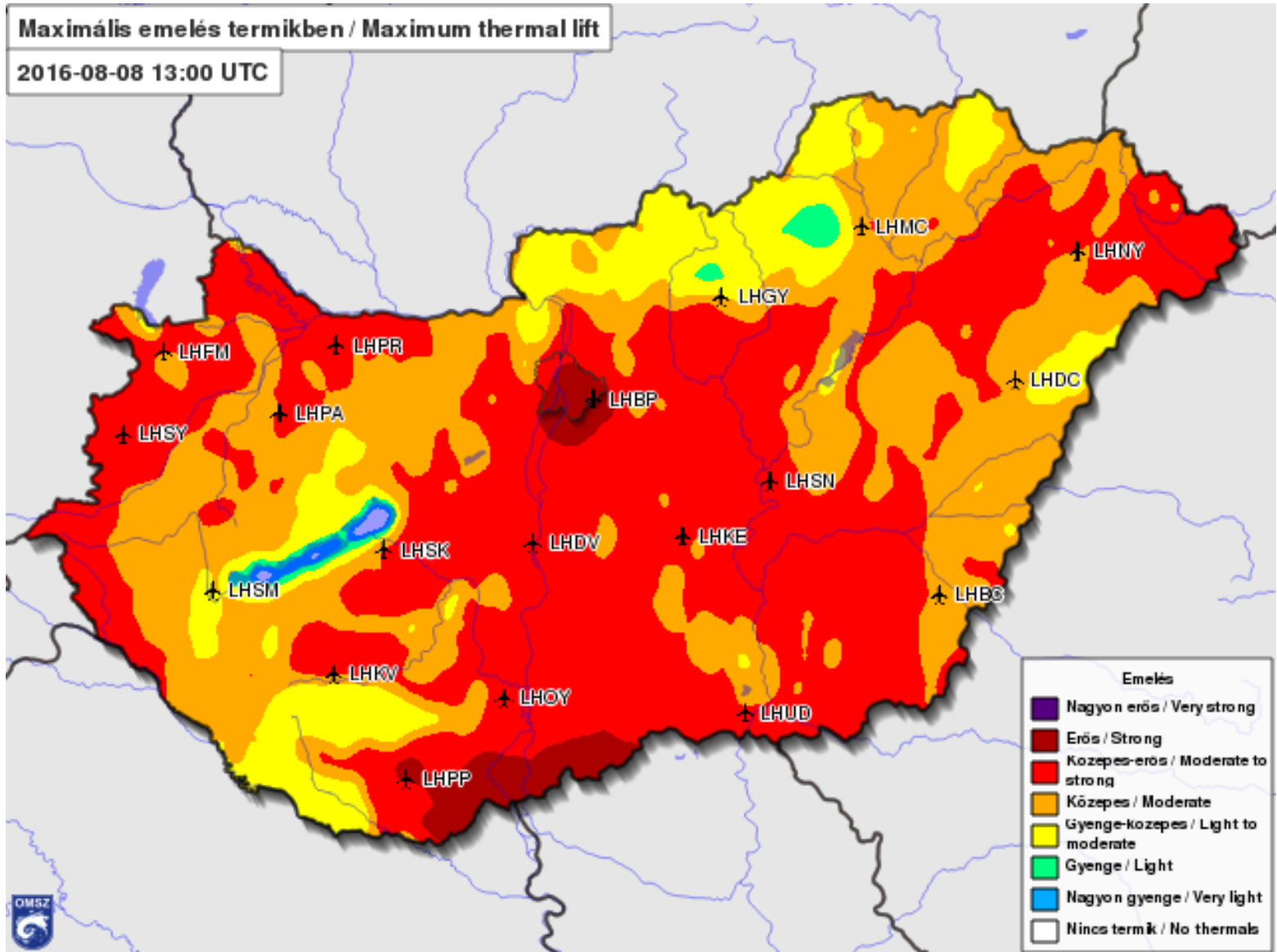




Maximális emelés termikben

Maximális emelés termikben / Maximum thermal lift

2016-08-08 13:00 UTC



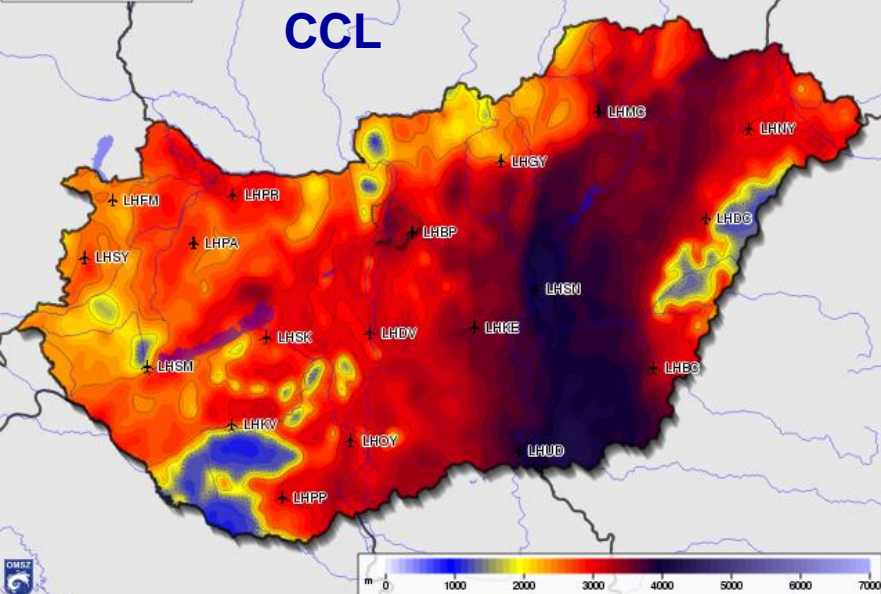
- >3 m/s
- 2.5-3 m/s
- 2-2.5 m/s
- 1.5-2 m/s
- 1-1.5 m/s
- 0.5-1 m/s
- 0.2-0.5 m/s
- <0.2 m/s



CCL, termik tető, LCL, Cu valószínűség

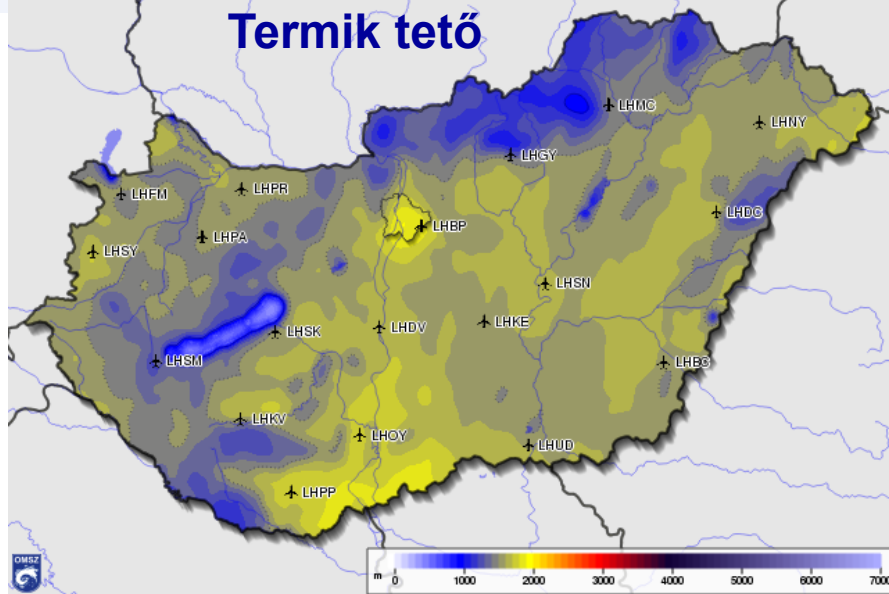
CCL - Cu kondenzációs szint a talajtól / Convective Condensation Level (m)

2016-08-08 13:00 UTC



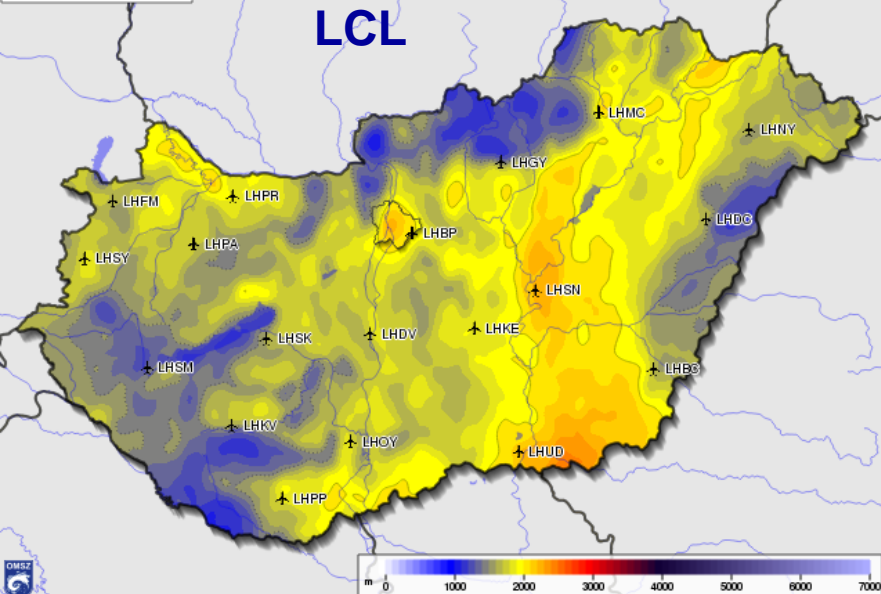
Termik tető a talajtól / Thermal top (m)

2016-08-08 13:00 UTC



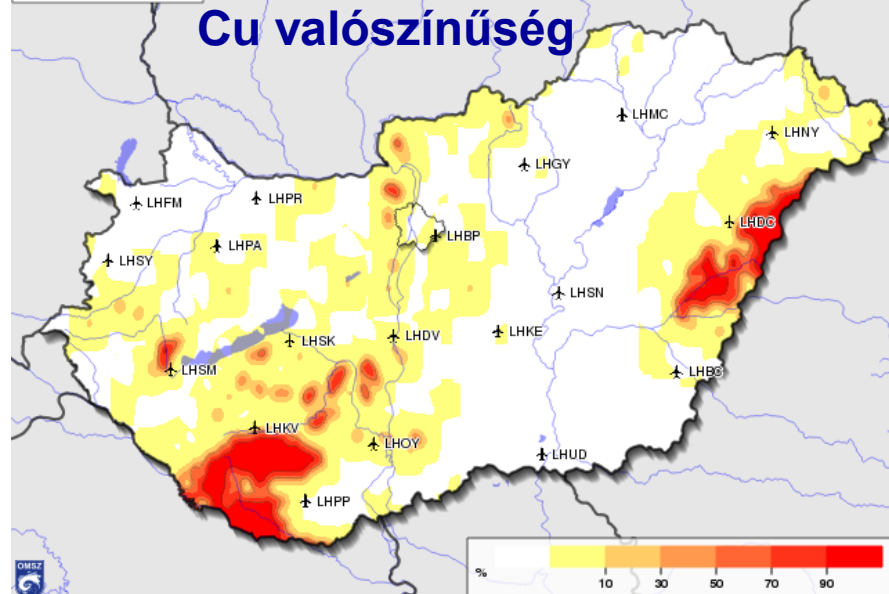
LCL - Emelési kondenzációs szint a talajtól / Lifted Condensation Level (m)

2016-08-08 13:00 UTC



Talajról induló Cu valószínűsége / Cu cloud probability (%)

2016-08-08 13:00 UTC





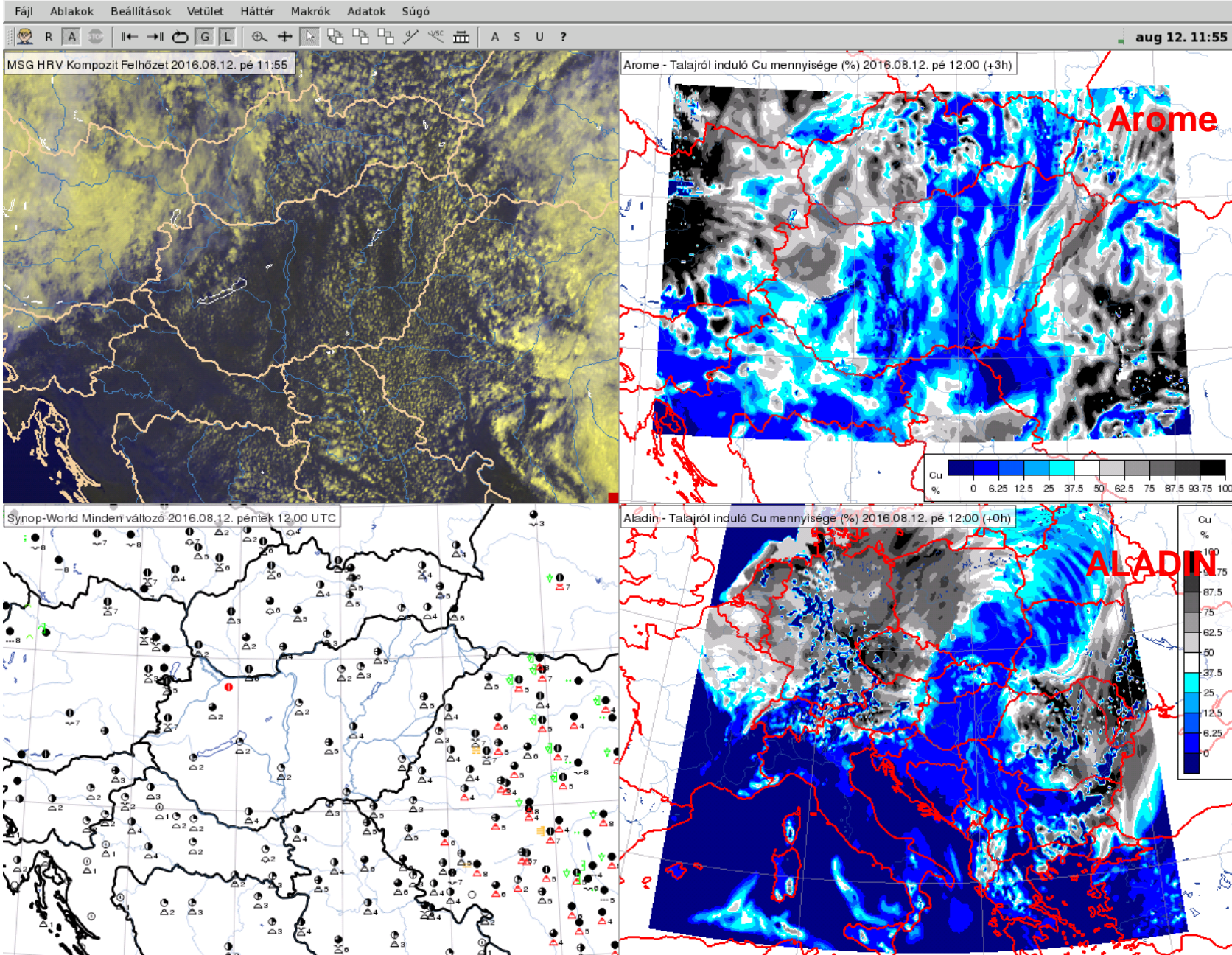
Cu mennyiség előrejelzése

Jelenleg még nem szerepel a honlapon, de a terveink szerint jövőre már a talajról induló Cu mennyiségének az előrejelzési térképe is megtalálható lesz.

A térkép a talajról induló Cu mennyiségét jelzi előre, tehát amennyiben összeállítás van, vagy zápor, zivatar alakul ki, akkor a korábbi térképen lévő szürke-fekete terület (5-8 okta Cu) sötétkékké válik (0 okta), hiszen a Cu-t létrehozó feláramlást leáramlás váltja fel!!!



Cu mennyiség előrejelzése





Cu mennyiség előrejelzése – Beválás

Normális időjárási szituációkban az AROME modell jelezte előre legjobban a Cu mennyiséget és elhelyezkedését, de frontátvonulások idején, vagy olyankor, amikor ciklon volt a Kárpát-medence felett, akkor az ALADIN bizonyult jobbnak!

Télen a Cu előrejelzés kevésbé használható, hiszen a talajról felemelkedő ködöt is Cu-nak adja a modell!



A termik előrejelzések beválása

A termik előrejelzéseinket 2015-ben éles próbával teszteltük. Sándor Valéria kolléganőnk használta a miskolci és a hajdúszoboszlói versenyen.

Összesen 17 alkalommal küldte el a véleményét a beválásról, a modell által előre jelzett és a tényleges (logger) emelés 13 esetben egyezett, 3 esetben a modell felülbecsülte az emelést, 1 esetben pedig alulbecsülte.

A 3 felülbecslés közül 2 esetben a versenyzők nagy kiterjedésű zivatarfelhők között repültek, elképzelhető, hogy a Cb felhők elszívták az energiát a köztes területről, vagy a belőlük kiáramló hideg levegő gyengítette a termikeket.

Ezek alapján valószínűleg használhatóak lesznek az előrejelzések!



A látástávolság előrejelzése

Sajnos a modellekben nincs (vagy ha van, akkor nagyon rossz, pl. ECMWF vagy WRF) látástávolság előrejelzés, ezért kiegészítő módszereket dolgoztunk ki. Ezekben a talaj közeli relatív nedvesség és/vagy a folyékony víz tartalom, a szélesebbesség, a csapadék halmazállapota és intenzitása, a keveredési réteg vagy az inverzió vastagsága szerepel.

Köd: Arome, Aladin, WRF – Fövényi Attila, Horváth Ákos, Kolláth Kornél

Látástávolság: 6 város – Aladin – Fövényi Attila

1 város – ECMWF – Wantuch Ferenc

Térképes – Aladin, Arome, WRF, ECMWF

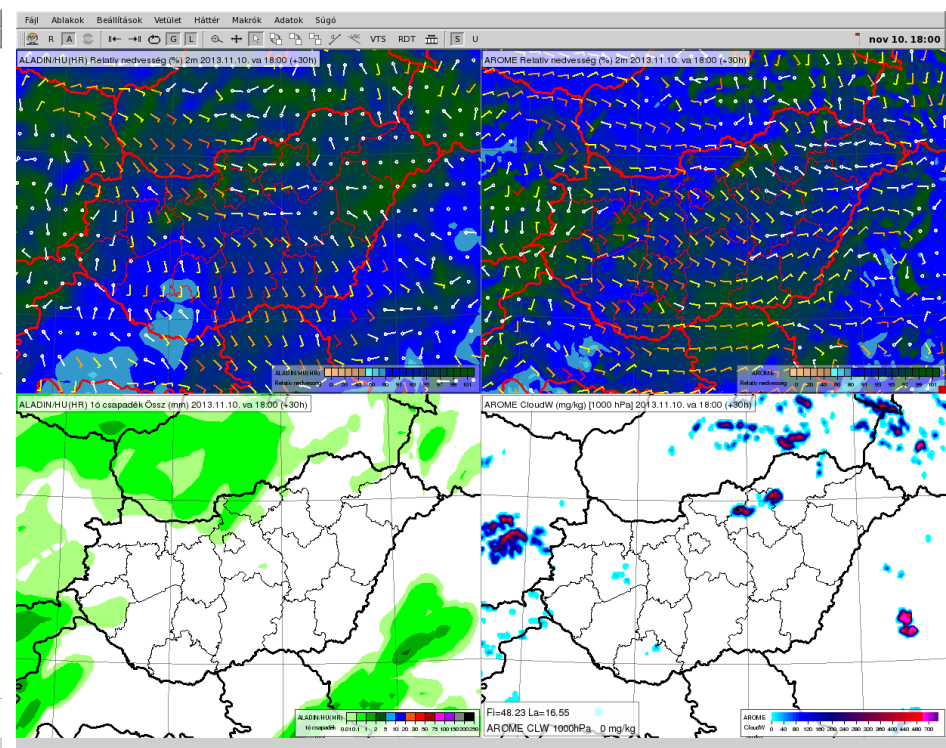
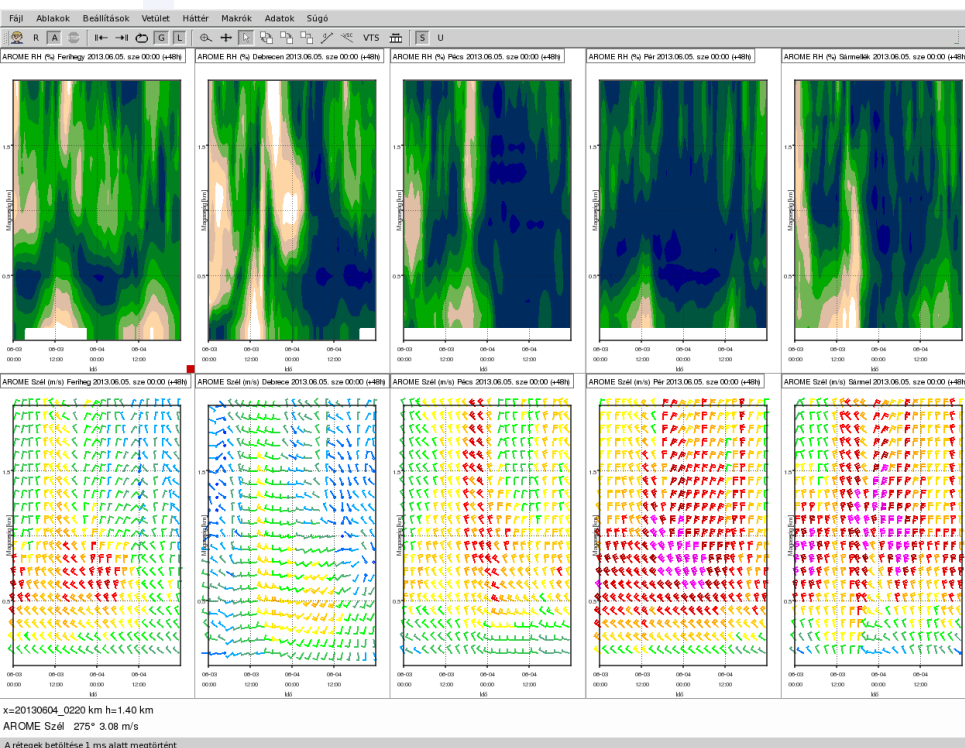
(Fövényi Attila)

Látás csapadékban: Arome, Aladin, WRF, ECMWF – Fövényi Attila



Köd előrejelzése (régí módszer)

A korábbiakban a relatív nedvesség, a folyékony víz tartalom és a 10 méteres szélesség figyelembe vételével próbáltuk meg meghatározni azokat a területeket, ahol pára, köd alakulhat ki. Ez eléggé pontatlan volt!





Látástávolság kategóriás előrejelzése (Fövényi)

A látástávolság előrejelzéséhez az 1975-2000 évek között Budapest-Pestszentlőrinc állomáson mért rádiószondás hőmérsékleti (Talaj-talaj+300 m közötti emelési munka), 2 m-es relatív nedvesség, 10 m-es szélesebbesség és látástávolság adatait használtuk fel.



Emelési munka számítása

A talaj és talaj+300 m közötti rétegre kiszámítjuk a tényleges hőmérsékleti görbe és a 300 m-es adiabatikus görbe közötti terület ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}$).

Ha a terület negatív, akkor a légköri gradiens kisebb, mint az adiabatikus gradiens. Mennél negatívabb, annál inverziósabb a légkör.

Ha a terület nulla, akkor adiabatikus a légkör az alsó 300 m-ben, ha pozitív, akkor pedig überadiabatikus (szuperadiabatikus).





Relatív nedvesség és látástávolság

Meghatároztuk a nyári és a téli időszakra azokat a relatív nedvesség értékeket, amikor előfordult

1 km alatti (Nyár: 92-100%, tél: 72-100%),

1-5 km közötti (Nyár: 39-100%, tél 35-100%),

5-10 km közötti (Nyár: 30-100%, tél: 24-100%) látás is, illetve azt az értéket, aminél kisebb relatív nedvesség esetén

csak 10 km feletti látás (Nyár: 30%, tél: 24%) volt.

Ezek az értékek csapadékmentes esetre vonatkoznak!!!



Látástávolság kategóriák valószínűségének a számítása

A+B*X formátumban kerestük, ahol

X – Az emelési munka és a relatív nedvesség szorzata osztva a 10 méteres szélesebséggel.

A és **B** függ a relatív nedvességtől, illetve attól, hogy melyik kategóriát (<1km, 1-5km, 5-10km, 10+) számoljuk.

Hogy ne jöjjön ki 100% feletti eredmény, ezért 1 kategória úgy van számolva, hogy 100% mínusz a többi kategória összege. Ez a kategória az 1-5 km (4 esetén), 5-10 km (3 esetén), és 5-10 km (2 esetén).

Télen két különböző esetben számoltuk a ködöt, 90% feletti és 70-90% közötti relatív nedvesség esetén, mert így jobb lett a regresszió a többi kategóriára.



Látástávolság előrejelzése csapadékban

- **Csapadékban: $Vis(m) = a \cdot X^b$**
- **X = csapadék intenzitás (mm/h)**
- **$a = 15113$ $b = -0.7165577$ eső esetén**
- **$a = 1070$ $b = -0.9904820$ hó esetén**
-
- **Ehhez ismerni kell a csapadék intenzitását és fajtáját (halmazállapot valószínűségi előrejelzés – Fövényi)**
- **A fagyott esőt és a havas esőt részben hónak, részben esőnek vettük, és így a látás a fenti képlet szerint**
- **$P(\text{hó}) \cdot Vis(\text{hó}) + P(\text{eső}) \cdot Vis(\text{eső})$**



Látástávolság előrejelzése méterben

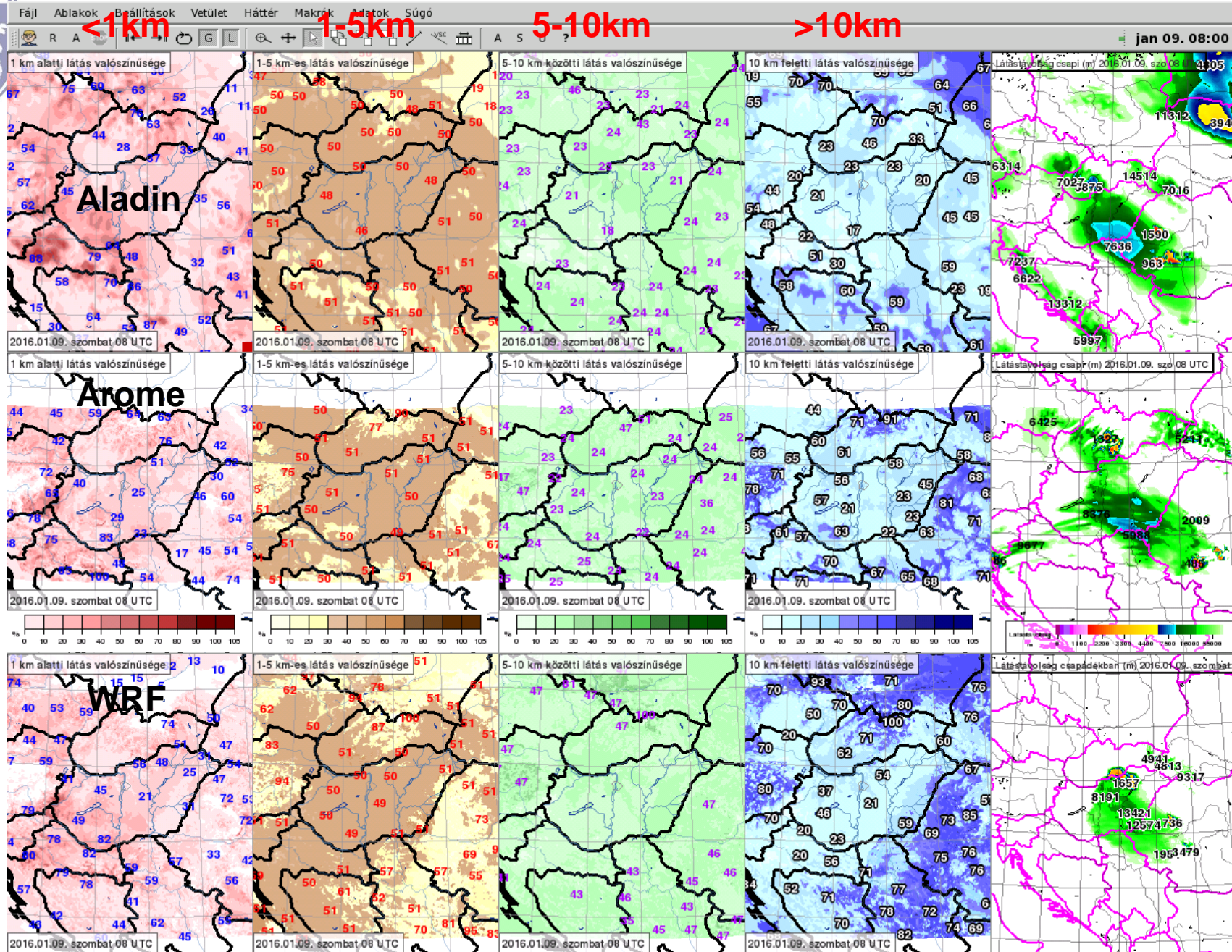
Amennyiben megvan a látástávolság kategóriák valószínűsége, akkor:

$$\text{Vis(m)} = 0 * P(<1\text{km}) + 3000 * P(1-5\text{km}) + 7500 * P(5-10\text{km}) + 12000 * P(>10\text{km})$$

(Így a látás csak akkor megy 1 km alá, ha a köd valószínűsége meghaladja a 80%-ot, illetve akkor megy 10 km fölé, ha az meghaladja a 90%-ot)

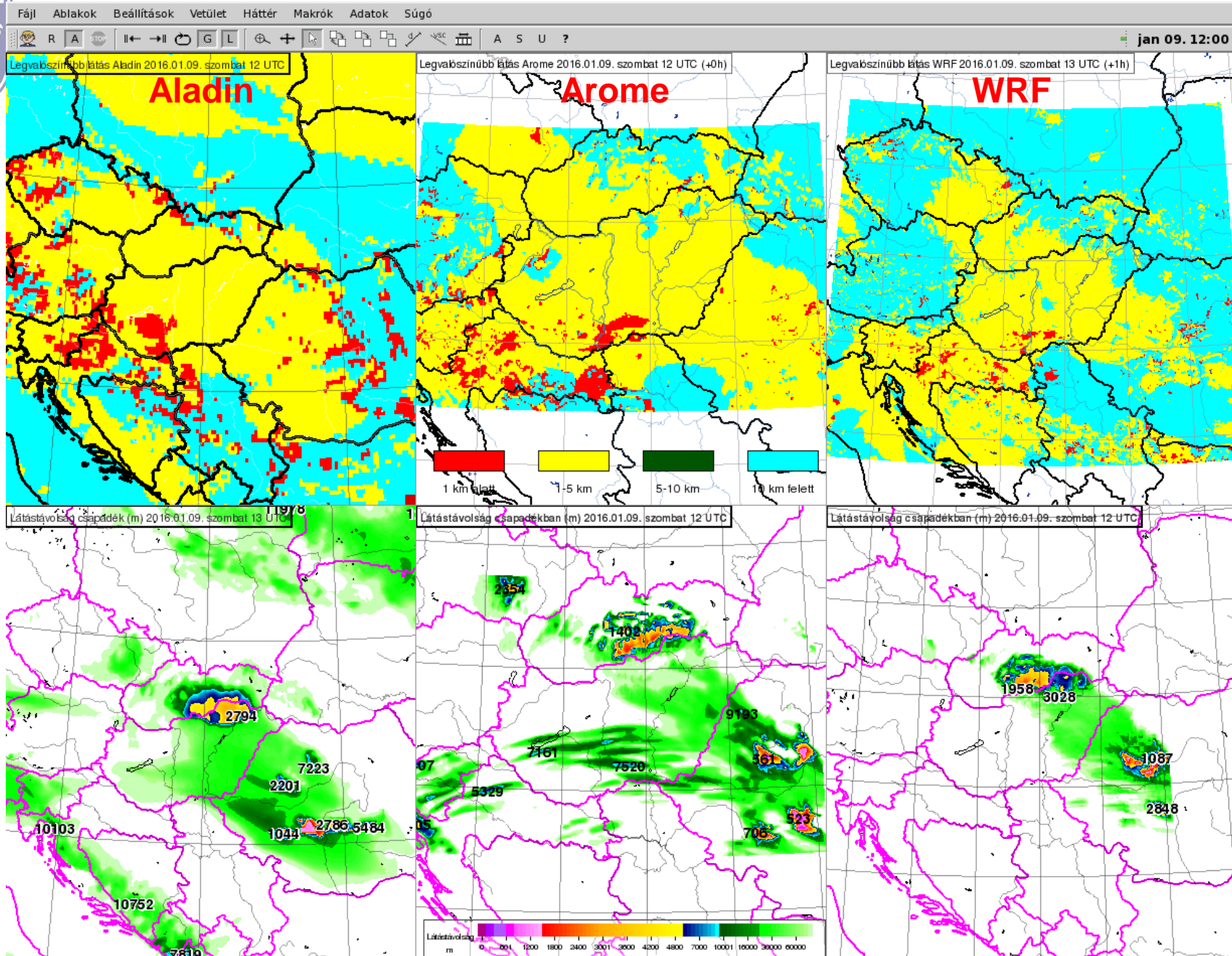
Amennyiben a csapadékbeli látás kisebb, mint a Vis(m) , akkor $\text{Vis(m)} = \text{Vis}(\text{csapadékbeli})$

Látás valószínűsége + csapadékbeli látás 2016.01.09. 06 UTC



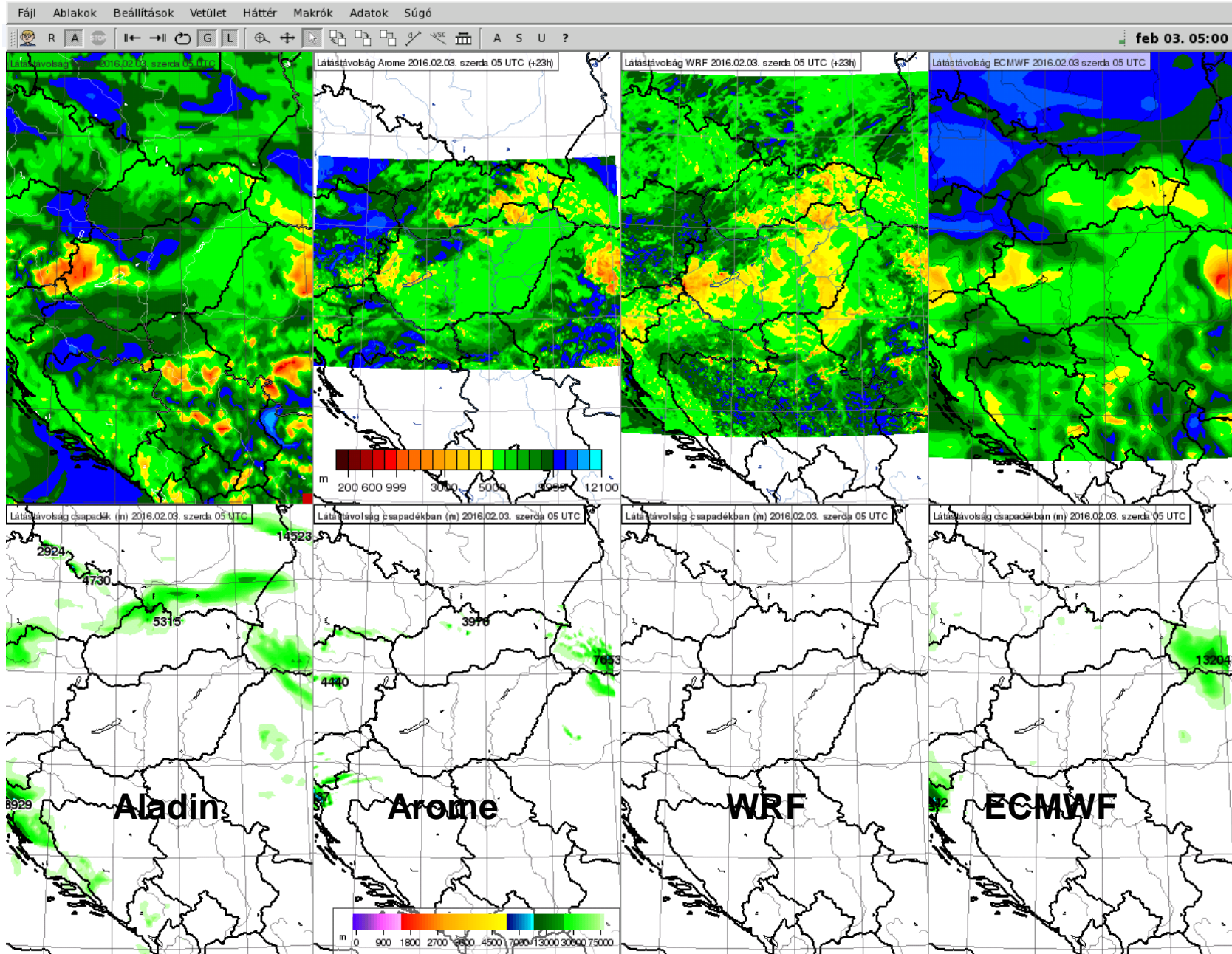


Legvalószínűbb és csapadékbeli látás – 2016.01.09. 12 UTC



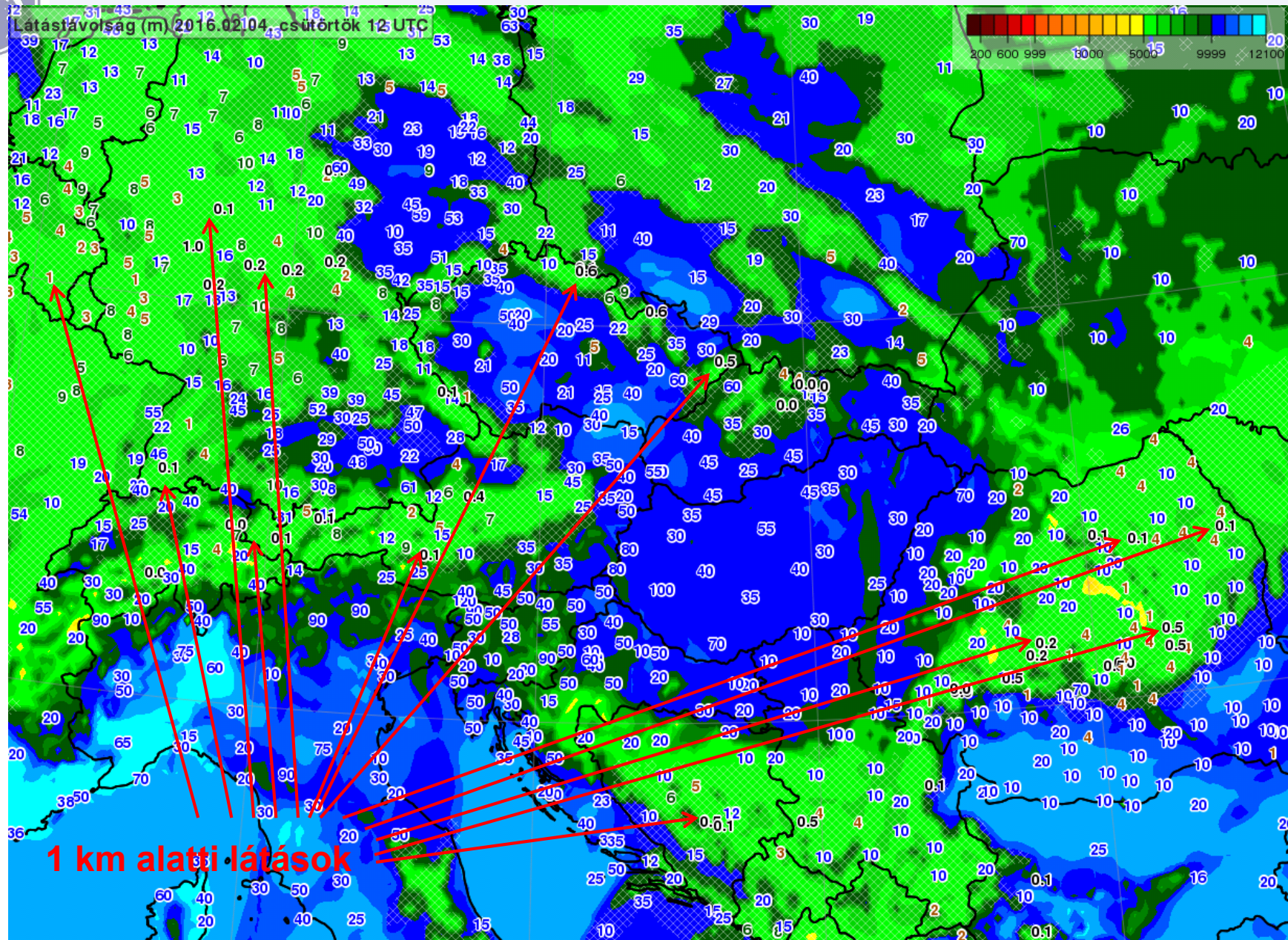


Látástávolság méterben + csapadékban 2016.02.03. 06 UTC



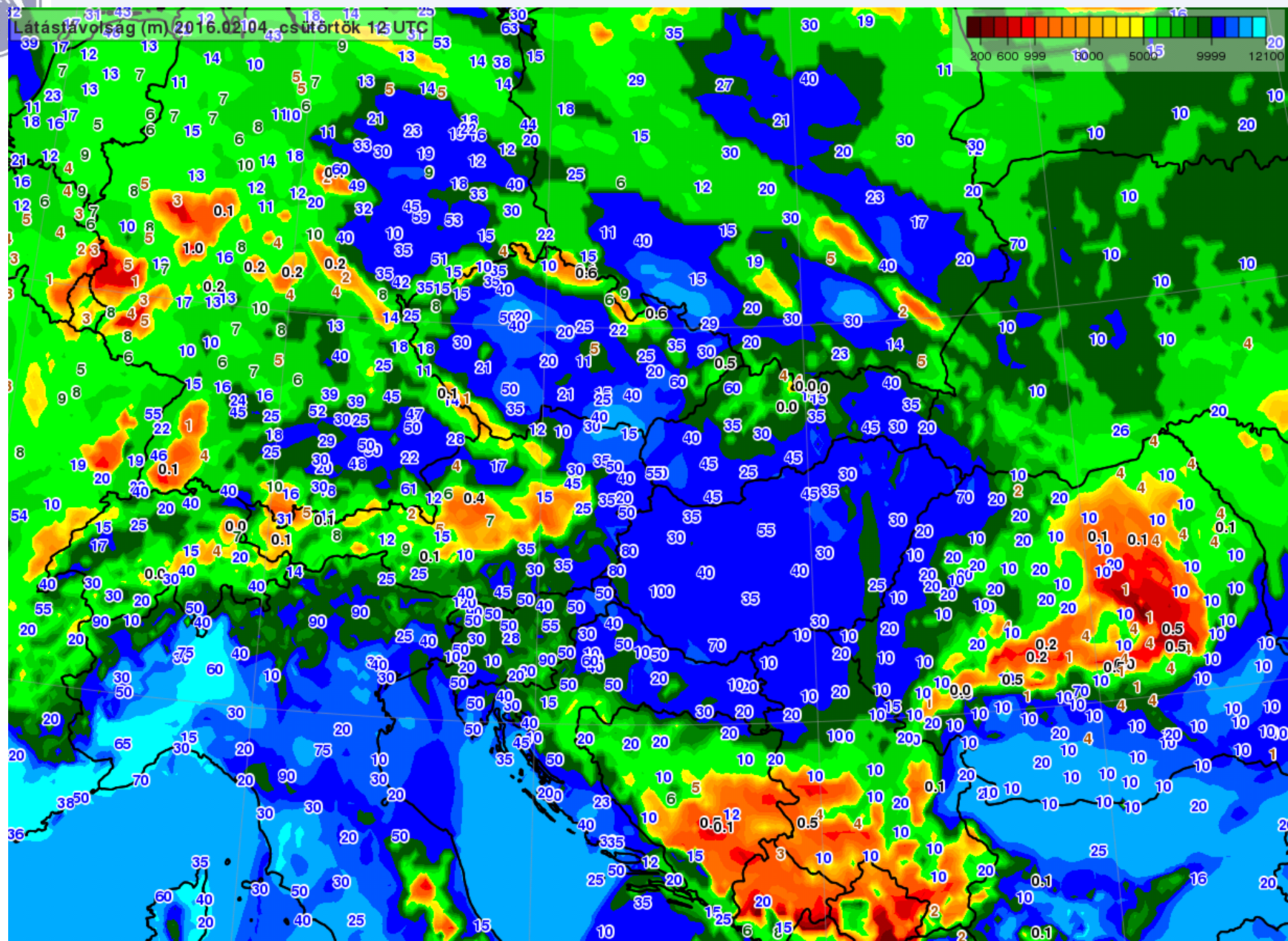


Látás(m)+észlelés 2016.02.04. 12 UTC





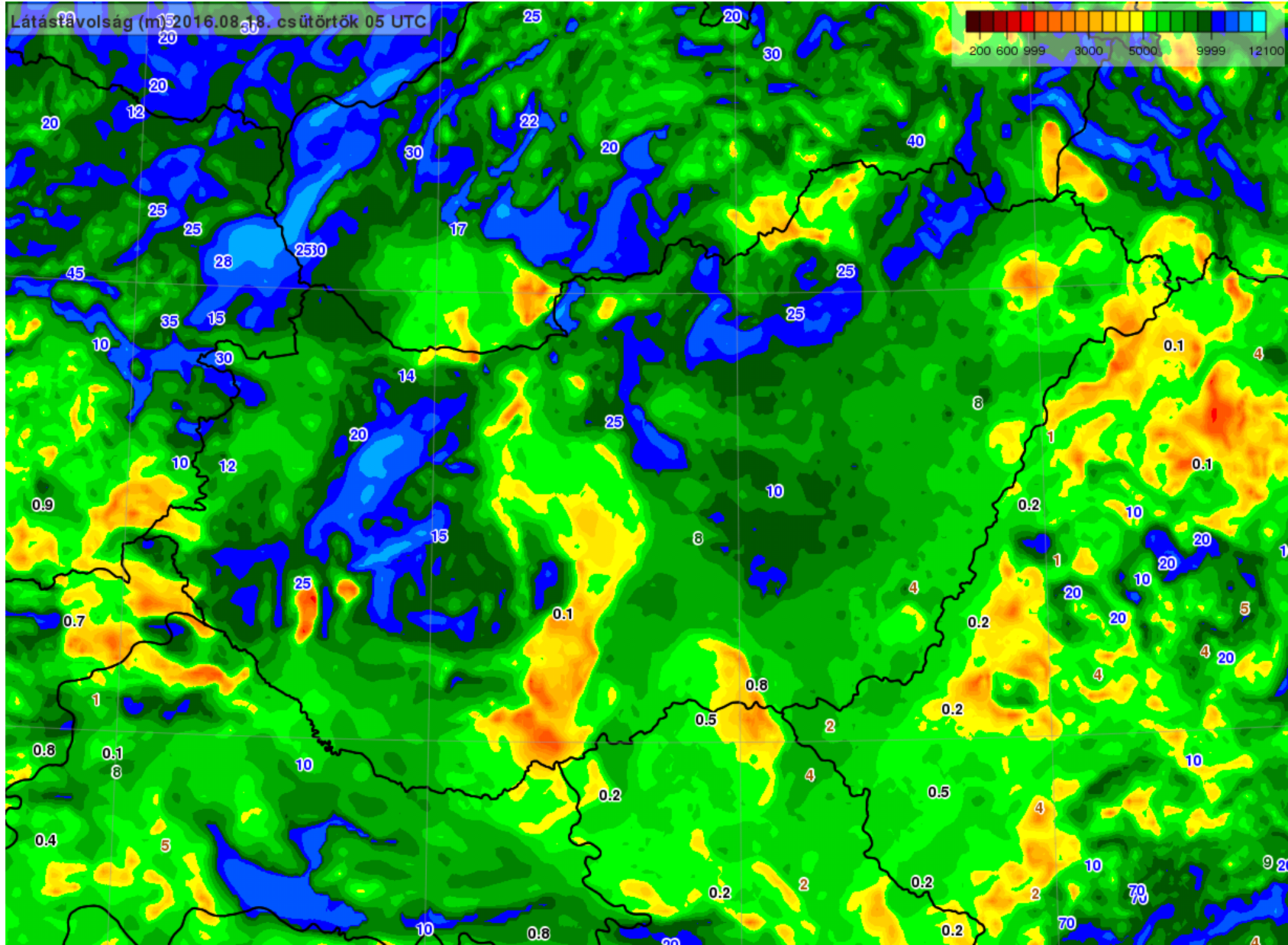
Látáscsapi(m)+észlelés 2016.02.04. 12 UTC





Látástávolság előrejelzés/észlelés

2016.08.18. 05 UTC

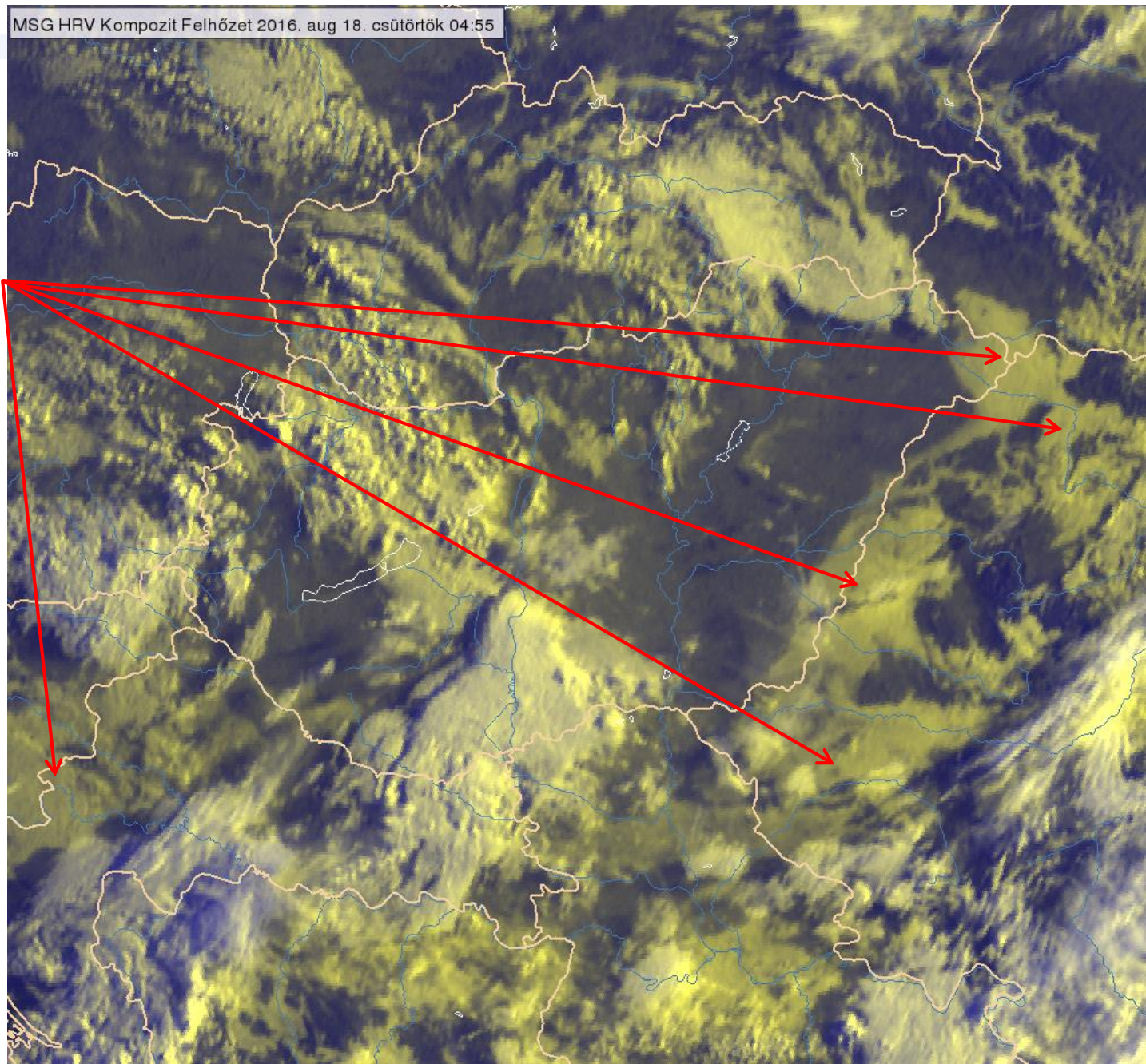




Látható műholdkép 2016.08.18. 04.55 UTC

MSG HRV Kompozit Felhőzet 2016. aug 18. csütörtök 04:55

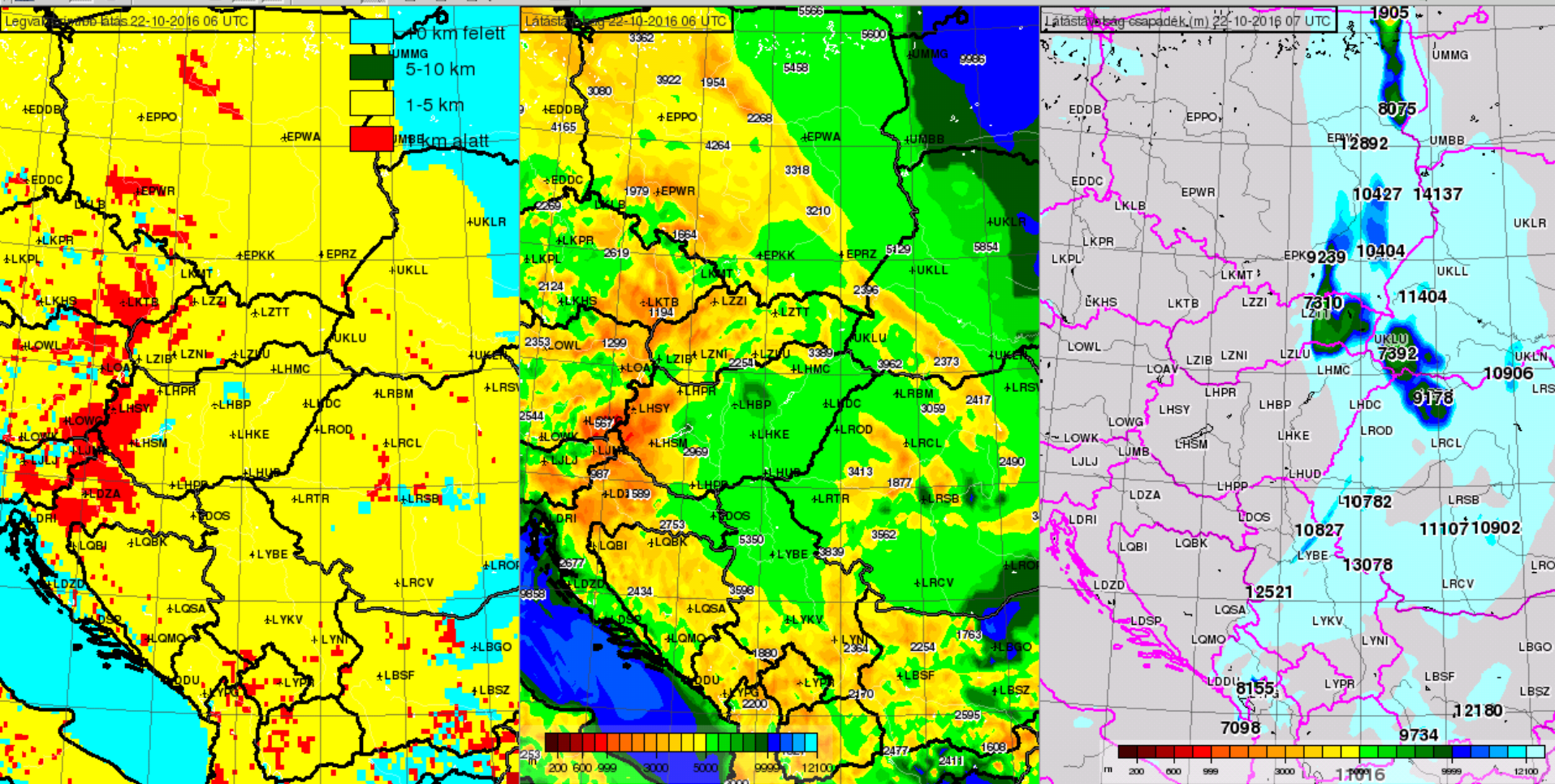
Köd és St felhőzet





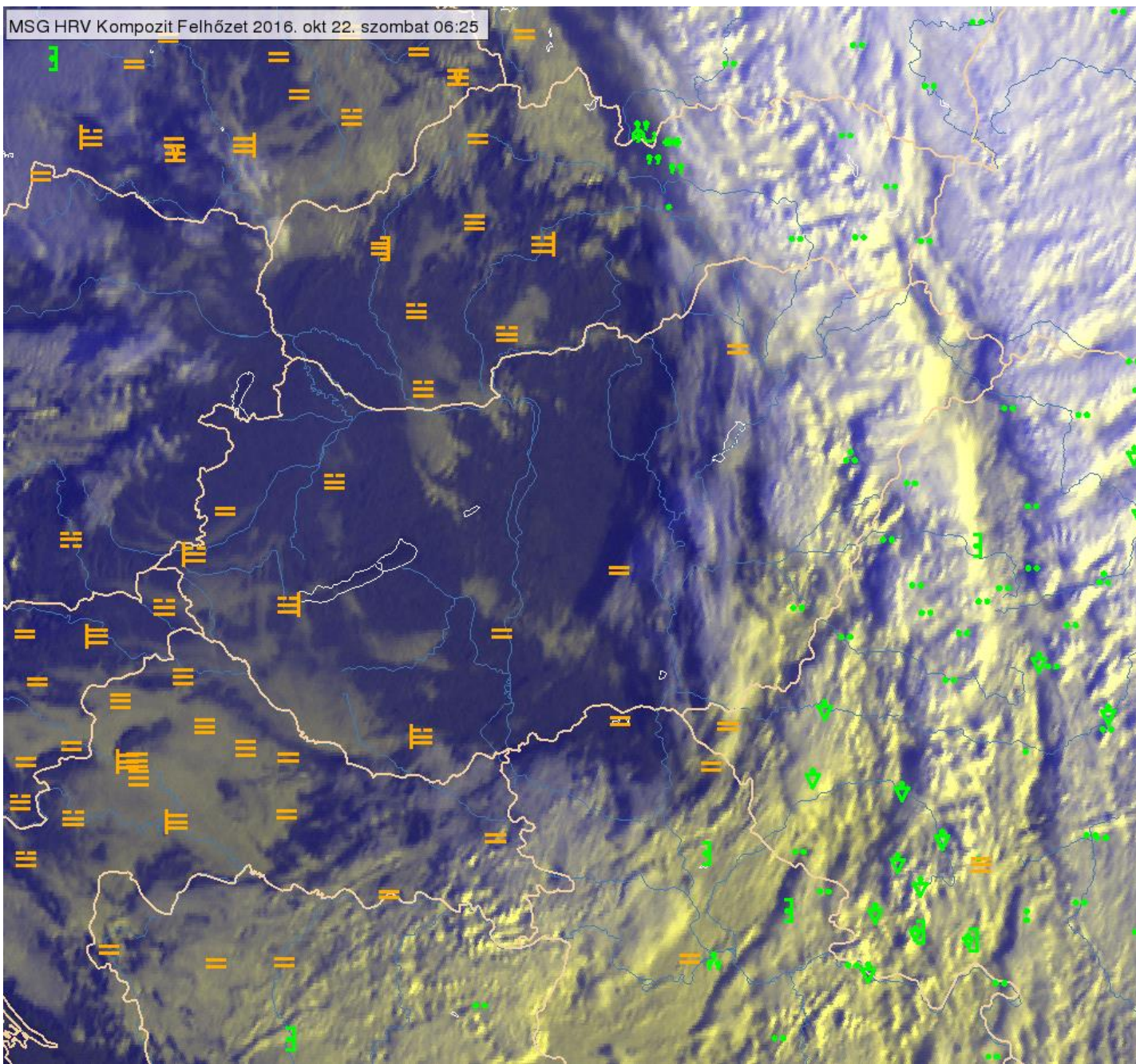
Látástávolság előrejelzés 2016.10.22. 06 UTC (ALADIN)

Fájl Ablakok Beállítások Vetület Háttér Makrók Adatok Súgó





Felhőzet/Jelenidő 2016.10.22. 06.25 UTC





Tapasztalatok a látástávolság előrejelzéssel

Nyáron a köd csak akkor jelenik meg, ha a modellben legalább 3 órán keresztül az a legvalószínűbb kategória, egyébként csak sekély köd vagy pára alakul ki.

Télen érdemes a kategóriás, és a méterben számolt látást a csapadékbeli látással kombinálva használni. Előbbi jobb a ködfoltok előrejelzésében, míg a másikkal jobban meg lehet fogni a nagy területű, összefüggő párát, illetve ködöt, és a hóban leromló látást.

A téli időszakban az északi területekre (Lengyelország, Belarusz) előre jelzett látás kisebb, mint a tényleges (hosszabb éjszaka, hidegebb levegő, nagyobb stabilitás).

A módszer nem képes megfogni az Adrián bóra idején keletkező ködöt, amikor a 0 fokos levegő 100-120 km/h-s sebességgel rázúdul a 12-15 fokos tengerre, és az adriai szigetek ködbe burkolóznak.

Az esetek 50-55%-ában az Aladin 30-35%-ban az Arome, 10-15%-ban a WRF és/vagy az ECMWF előrejelzése fedti legjobban a valóságot.



Köszönöm, hogy meghallgattak!

Dziękuję bardzo Ďakujem Благодаря Благодарам

Labai ačiū Danke sehr Спасибо Obrigado

Dank u zeer Merci beaucoup Mulțumesc Aitäh

Hvala lepo Хвала лепо Kiitoksia paljon

Liels paldies شكراً Shokran Gazillan Teşekkür ederim

Xiè xie Takk Tak Tack så mycket Muchas gracias

Grazie Grazi Спасиби Arigato Ευχαριστώ πολύ

Thank you for your attention



Alapítva: 1870