

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Ensemble vertikális profilok sajátosságainak vizsgálata



KÉSZÍTETTE:

Tajti Dávid
Meteorológus MSc II. évf.

Témavezető:

Ihász István
(Országos Meteorológiai Szolgálat)

Tanszéki konzulens:

Dr. Barcza Zoltán
(ELTE Meteorológiai Tanszék)

Budapest, 2011

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF)	4
3. Az ensemble vertikális profil előállítás módszere	6
3.1. Ensemble vertikális profil előállítása főizobár szintű adatok alapján	7
3.2. Modellszintű adatok alapján	11
4. Ensemble vertikális profilok esetén alkalmazható verifikációs módszerek	14
4.1. Determinisztikus jellegű verifikáció	14
4.2. Valószínűségi jellegű verifikáció	15
5. Esettanulmányok	24
5.1. A 2010. augusztus 16-i nyári konvektív helyzet vizsgálata	24
5.2. 2011. február 1-i téli inverziós időjárási helyzet	27
5.3. 2011. május 5-i hideg csepp	30
6. Összefoglalás	33
7. Irodalomjegyzék	34
Köszönetnyilvánítás	36
Függelékek	37
1. Függelék	37
2. Függelék	39
3. Függelék	40
4. Függelék	41
5. Függelék	42
6. Függelék	48

1. Bevezetés

Az ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecast - Európai Középtávú Előrejelző Központ*) 1992 vége óta készít operatíván valószínűségi, vagy más néven sokasági (*EPS – Ensemble Prediction System*) előrejelzéseket (*Molteni et al., 1996*). Magyarország 1994-ben, mint együttműködő tag csatlakozott a szervezethez (*Kaba, 1995*).

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (*OMSZ*) már kezdetektől intenzíven használja ezeket a produktumokat (*Ihász, 2003, 2008; Ihász et al., 2010*), például EPS fáklya, EPS meteogram, valószínűségi térképek, stb. készítésére. A meteorológiai szolgálatnál operatíván jelenleg az előrejelzett vertikális profilt az ALADIN/HU és ECMWF determinisztikus modell előrejelzésekből állítják elő (pseudo TEMP).

Dolgozatom témája az ECMWF ensemble és determinisztikus előrejelzések felhasználása alapján ensemble vertikális profilok készítése, illetve verifikációja. A munkám keretein belül megkíséreljük – új produktumként – az EPS vertikális profil grafikus előállításának a kifejlesztését és verifikációját. A vizsgálatot mind főizobár szintű, mind modellszintű előrejelzésekre több időlépcsőben végzem. A főizobár szintek száma 11 (100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 850, 925 és 1000 hPa). Jelenleg az EPS modellszintjeinek száma 62 (*Buizza et al., 2006*), a programok készítésénél azonban már most figyelembe kell vennünk, hogy várhatóan 2011 folyamán a vertikális felbontás 90 körüli EPS modellszintre növekszik (a determinisztikus modell esetében a modellszintek száma a jelenlegi 90-ről mintegy 140 körüli értékre nő) (*Marbouty, 2010*), s az adatok az új GRIB-2 WMO szabványnak megfelelően lesznek majd kódolva.

Dolgozatomban részletesen ismertetem az utó-feldolgozási módszerek között eddig még nem alkalmazott új EPS hőmérsékleti- és EPS komplett (hőmérsékletet, harmatpontot, szélsébséget és szélirányt tartalmazó) vertikális profil előállító program kifejlesztését. Ezt követően röviden áttekintem a verifikációs lehetőségeket, verifikálok is EPS vertikális profilokat, majd a kapott eredményeket grafikusán megjelenítem.

Az adatok GRIB formátumban, az ECMWF MARS (*Meteorological Archive and Retrieval System*) rendszeréből származnak (*Raoult, 2001*). Az ensemble nyomás szintű adatok az EPS operatív futtatások kezdetéig, 1992-ig visszakereshetőek, azonban a modellszintű adatokból csak a legutóbbi két modell futtatás eredményei érhetőek el, ezért 2010. március elejétől operatíván lekértük és eltároltuk ezeket az adatokat, így vizsgálataim során egy évnnyi adatsort tudtam felhasználni.

2. Az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF)

Az európai régióban az Európai Középtávú Előrejelző Központ (*ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecast*) az egyik legnagyobb előrejelző központ, amely operatíván állít elő középtávú globális előrejelzéseket (*Götz, 2001*).

Az ECMWF 18 ország összefogásaként 1975-ben readingi (Egyesült Királyság) székhellyel alakult meg (*Woods, 2005*), s jelenleg 34 tagja van. A teljes jogú tagországok jelenleg – Izland és Szlovénia 2011. márciusban történt taggá válását követően – Ausztria, Belgium, Dánia, Egyesült Királyság, Finnország, Franciaország, Görögország, Hollandia, Írország, Izland, Luxemburg, Olaszország, Németország, Norvégia, Portugália, Spanyolország, Svájc, Svédország, Szlovénia és Törökország. A 14 úgynevezett együttműködő tagország pedig Bulgária, Csehország, Észtország, Horvátország, Izrael, Lettország, Litvánia, Magyarország, Marokkó, Montenegró, Románia, Szerbia, és Szlovákia. Magyarország 1994-ben csatlakozott együttműködő tagországgént (*Kaba, 1995; Woods, 2005*).

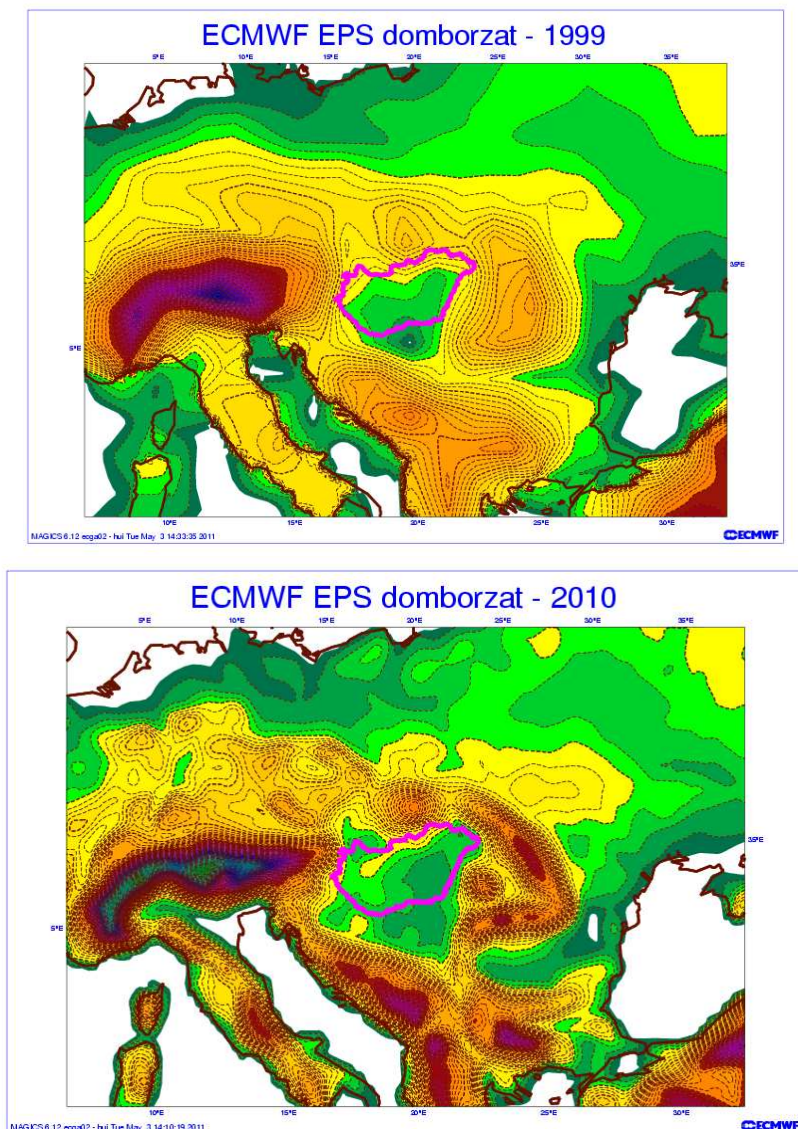
Az ECMWF determinisztikus modellje, amellyel az előrejelzés készül, a hagyományos felszíni és magas légköri megfigyelések mellett felhasználja a tengeri úszóbóják, repülőgépes megfigyelések és a műholdas mérések adatait is. A modell a kezdeti feltételeit a négydimenziós variációs analízis (4DVAR) eljárással állítja elő, ami napjaink legmodernebb adatasszimilációs technikája (*Persson and Grazzini, 2007*). A modell számos fizikai kölcsönhatást vesz figyelembe, így például az óceán és a légkör, a talajnedvesség és a légkör, a hótakaró és a légkör közötti kölcsönhatást. A modell naponta 00 és 12 UTC-s kezdeti meteorológiai mezőkből kiindulva 10 napos determinisztikus és 15 napos, 51 tagú ensemble előrejelzést készít az egész Földre vonatkozóan (*Ihász, 2008*). A determinisztikus modell jelenlegi horizontális felbontása $0,125^{\circ} \times 0,125^{\circ}$ ($16 \text{ km} \times 16 \text{ km}$), s 91 vertikális szintet tartalmaz.

Korlátos tartományú numerikus időjárás előrejelző modellek számára háromnapos előrejelzést naponta négyszer - 00, 06, 12 és 18 UTC-kor – 16 km -es horizontális felbontással készítik. Az OMSZ az ALADIN/HU modell számára az ALADIN modellt futtató számos meteorológiai szolgálat közül elsőként alkalmazta az ECMWF peremfeltételeket (*Bölöni et al., 2008*).

1992 óta operatíván készülnek valószínűségi, vagy más néven ensemble, avagy sokasági, előrejelzések is. Az ensemble előrejelzés 15 napos és 51 tagú (50 perturbált tag,

és a kontroll előrejelzés) (Buizza *et al.*, 2006), s szintén naponta kétszer, 00 és 12 UTC-kor készülő analízisekből készül. Az ensemble modell felépítése hasonló a determinisztikus modelléhez, azonban a számítás igény csökkentése végett térbeli felbontása gyengébb, csak $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ (kb. $32 \text{ km} \times 32 \text{ km}$) (1. ábra), a 11-ik naptól kezdve pedig $60 \text{ km} \times 60 \text{ km}$

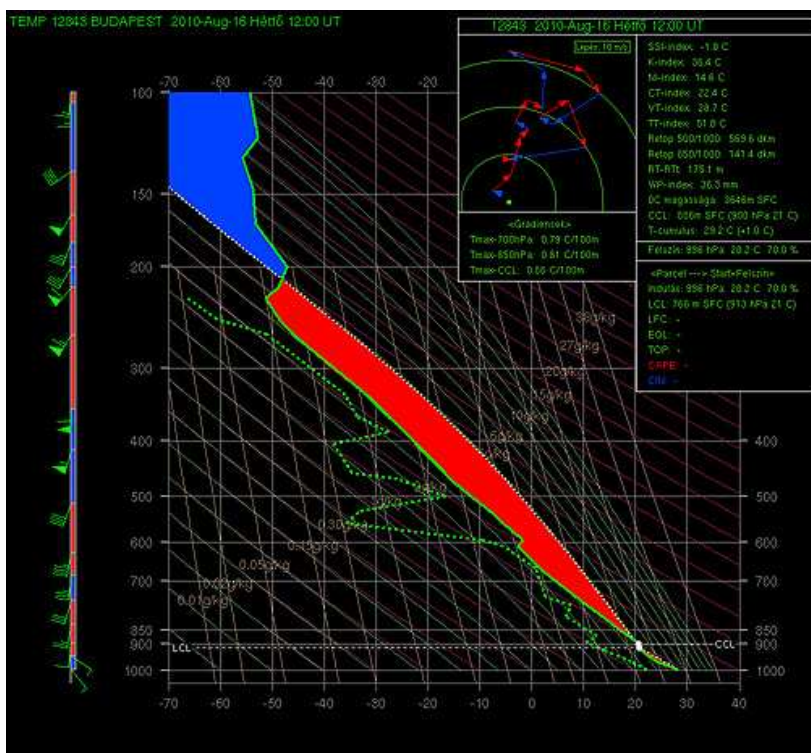
Ezen kívül az ECMWF hetente egyszer (csütörtökönként 00 UTC-kor) készít egy 32 napos időtávú előrejelzést, a 11-ik napig 30 km-es felbontáson, majd a 11. naptól kezdve 60 km-es felbontáson (Vitart *et al.*, 2008). Havonta egyszer 125 km-es felbontáson, hét hónapos szezonális előrejelzést futtatnak (Andersson, 1998).



1. ábra: az EPS modell horizontális felbontásának hatása a domborzatra. Fent az 1999-es 120 km-es felbontás, lent a 2010-es 32km-es felbontás látható.

3. Az ensemble vertikális profil előállítás módszere

Ez idáig vertikális profilokat a rádiószondák TEMP táviratai, és determinisztikus előrejelzések adatai alapján állítottak elő és jelenítettek meg, viszont ezek verifikálása, a TEMP adatok A részét (a 100 hPa alatti főizobár szintek) kivéve, nem történt meg. A 2. ábrán egy rádiószondás felszállásból előállított vertikális profil látható. Ezen a szélesség és szélirány, harmatpont és léghőmérséklet, valamint különböző indexek kerültek megjelenítésre. Ezeket az eredményeket tovább gondolva állítottam elő a sokasági előrejelzések alapján vertikális profilokat, majd verifikáltam is azokat.



2. ábra: 2010. augusztus 16. 00 UTC-s budapesti TEMP vertikális profil.

Az ensemble vertikális profilt először főizobár szintű, majd modellszintű adatokból állítom elő. A nyomás szintű adatok az ECMWF MARS adatbázisában (Raoult, 2001) 1992-ig visszakereshetőek, ezzel szemben a modellszintű adatokból csak a legutóbbi két futtatás eredményei érhetőek el, s ebből fakad a két adattípusból való profil előállítás folyamatának különbsége, mivel a modellszintű adatokat folyamatosan le kell menteni (I. táblázat). 2011. májustól az ECMWF modellszintű adatok csak WMO FM-92 GRIB-2

formátumban lesznek elérhetőek, így már a program készítés fázisában a GRIB-2 formátumot kezelni tudó ECMWF GRIB API software-t használtam.

A következő lépésben a nyomás szintű adatoknál a GRIB formátumú fájlt ASCII formátumúvá alakítom, míg a modellszintű adatoknál a TEMP-pel megegyező formátumúvá. Ezek után az adatok megjelenítését a MAGICSS++-szal végeztem, ami egy az ECMWF által fejlesztett, FORTRAN programmal is meghívható grafikus megjelenítő programcsomag (*Siemen and Lamy-Thépaut, 2010*). Legvégül pedig szintén saját fejlesztésű FORTRAN programmal verifikálom az előrejelzéseket, s az eredményt a MAGICSS++-t használó programmal megjelenítem.

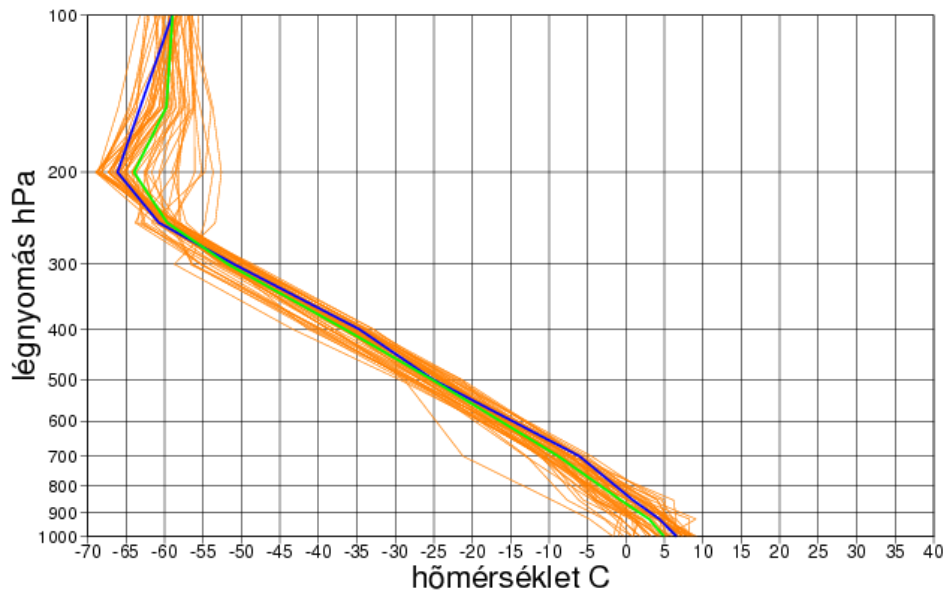
Fő izobár szintű adatok	Modell szintű adatok
MARS lekérés, bármikor (1992-ig visszamenőleg)	MARS lekérés, csak valós időben lehetséges
GRIB → ASCII	GRIB → pseudo TEMP formátum
megjelenítés	megjelenítés
verifikáció	verifikáció

I. táblázat: A vertikális profilok előállításának folyamata.

3.1. Ensemble vertikális profil előállítása főizobár szintű adatok alapján

Az ensemble vertikális profil előállítása során első lépésként az ECMWF sokasági előrejelzéséből származó összes ensemble tagot valamint a determinisztikus előrejelzést a 11 főizobár szinten (100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 700, 850, 925 és 1000 hPa) együttesen ábrázoltam. Ezzel a megjelenítési módszerrel, jól látható, hogy mennyire halad együtt a determinisztikus és az ensemble előrejelzés, illetve, hogy az ensemble előrejelzés mennyire biztos, mennyire haladnak közel egymáshoz az ensemble előrejelzés tagjai. A 3. ábra alapján leolvasható, hogy az adott napon a 200 hPa környékén bizonytalanabb volt a hőmérséklet előrejelzése.

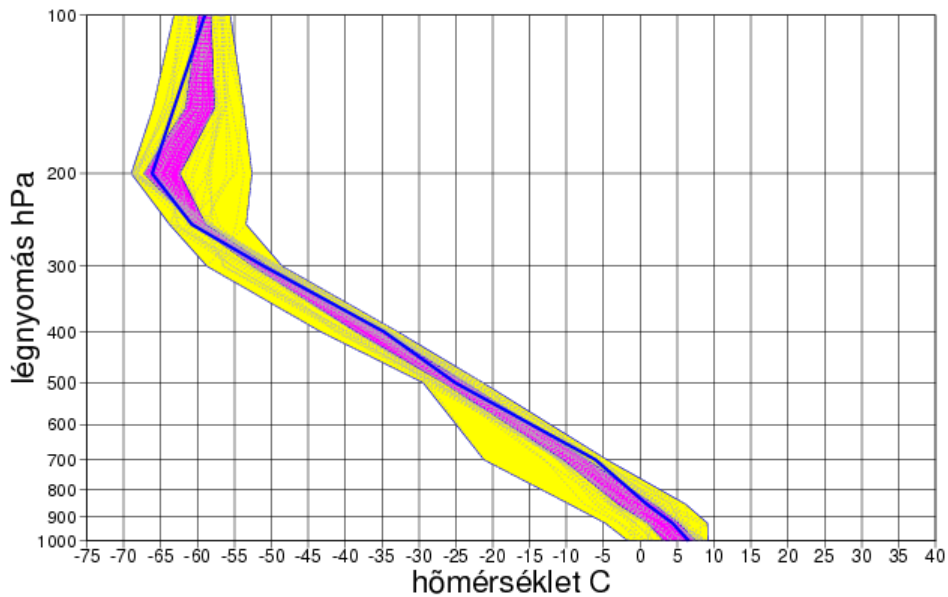
ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2010.03.11. 00 UTC +168 óra
EPS pseudo TEMP



3. ábra: Vertikális hőmérsékleti profil a determinisztikus (kék vonal), ensemble átlag (zöld vonal) és az ensemble tagok (narancssárga vonalak) alapján, 2010. március 11. 00 UTC+168 órás időlépcső.

Az ábrán az is észrevehető, hogy bizonyos helyeken az EPS tagok sűrűbben helyezkednek el, máshol pedig ritkábban, sőt egy-egy helyen csak 1-2 tag távolodik el jobban. Ezért érdemes az ábrán feltüntetni, hogy az EPS tagok nagy része mely valószínűségi intervallumba esik, további információt kapva az előrejelzés bizonyosságáról (4. ábra). Ezen az ábrán a kék vonal szintén a determinisztikus előrejelzést jelzi, azonban az EPS tagoknál a sorba rendezés után az alsó és felső kvartilis közé eső tagokat lila színnel, míg az ezeken kívül eső tagokat sárga színnel emeltük ki.

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2010.03.11. 00 UTC +168 óra
EPS pseudo TEMP



4. ábra: Vertikális hőmérsékleti profil, 2010. március 11. 00 UTC+168 órás időlépcső.

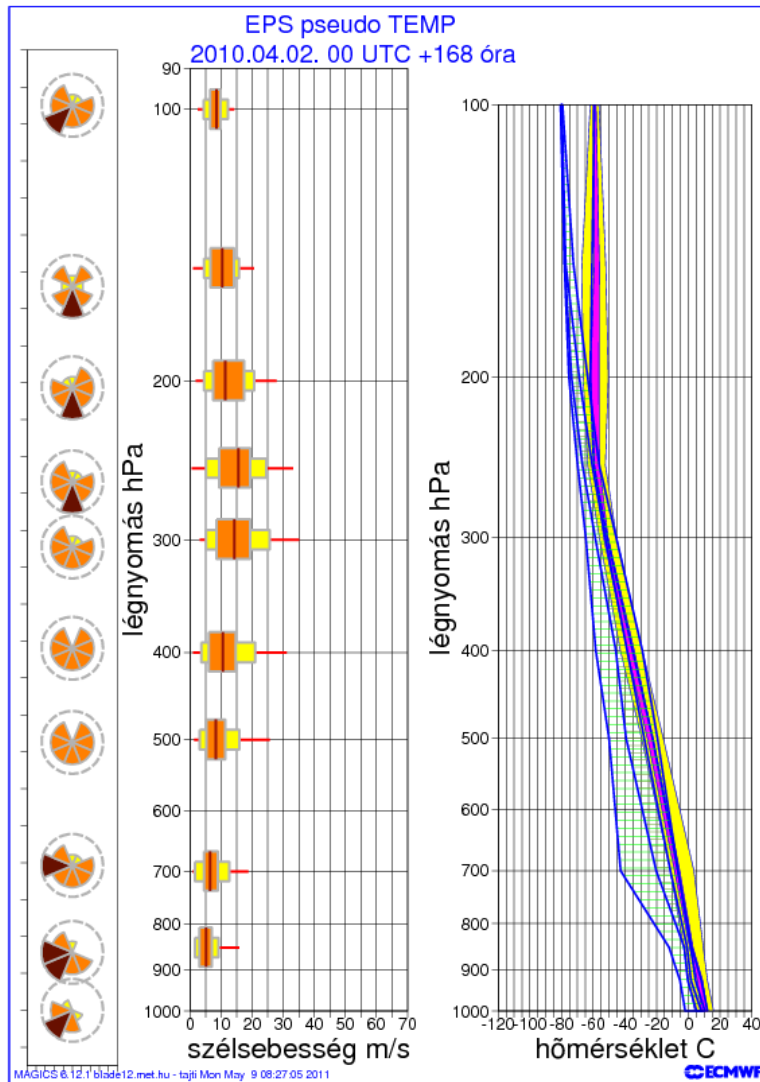
Annak érdekében, hogy a légkör állapotáról még több információt kaphassunk, a vizsgálatba bevontuk a relatív nedvességet, illetve a szél u és v komponensét. A relatív nedvesség és a hőmérséklet alapján FORTRAN programmal kiszámítottam a harmatpontot. A szél u és v komponenseit felhasználva, trigonometrikus összefüggésekkel meghatároztam a szélirányt és szélességet. A harmatpontot a következő képlet segítségével számítottam ki:

$$X = 1 - 0,1RH$$

$$DWPT = T - (14,55 + 0,114T)X + ((2,5 + 0,007T)X^3 + (15,9 + 0,117T)X^{14}),$$

ahol RH a relatív nedvesség, és T a Kelvinben megadott hőmérséklet (Nordquist, 1973).

Ezek után a hőmérsékleti profilon feltüntettem a harmatpontot, illetve mellette a szélességekből számolt boxplotokat és szélrózsákat tartalmazó diagramokat helyeztem el (5. ábra).



5. ábra: EPS pseudo TEMP, 2010. április 2. 00 UTC +168 órás időlépcső.

Az 5. ábrán baloldalt láthatók a szélrózsák, amelyeket úgy kaptam, hogy a 0°-tól 360°-ig terjedő intervallumot nyolc részre osztottam, s megnéztem, hogy az EPS tagok alapján, melyik szektornak mekkora a relatív gyakorisága százalékban. Itt a barna szín jelöli a 25 %-nál nagyobb előfordulást, a citromsárga az 5 %-nál kisebb, de 0 %-nál nagyobb előfordulást, míg a narancssárga az 5 és 25 % közötti előfordulást jelzi. Mellette a szélességekből kapott boxplotot ábrázoltam, ahol a piros vonal a maximum és minimum értéket jelöli, a citromsárga doboz a 10 és 90 % közötti elemeket, míg a narancssárga rész a 25 és 75 % közti elemeket (ami az összes elem 50 %-a) jelenti, míg a barna vonal a medián. Emellett pedig a vertikális hőmérsékleti profil szerepel, a már bemutatott hőmérsékleti megjelenítés, valamint hasonló módon megjelenítettem a harmatpontot is.

3.2. Modellszinti adatok alapján

Az ECMWF EPS előrejelző modell egy hibrid koordináta rendszert használ, ami jelenleg 62 vertikális szintet, a legalsó szint a felszínnel egyezik meg, míg a felső szint a 0 hPa-os izobárral (6. ábra).

Ahhoz, hogy az u , v , T és q (szél komponensek, hőmérséklet, nedvesség) változókat meghatározzuk NLEV részre osztjuk a légkört. A réteg középső szintjének, az $ún.$ fél szintnek a nyomását a következő módon határozzuk meg:

$$p_{k+1/2} = a_{k+1/2} + b_{k+1/2} * p_{surf}$$

ahol $0 \leq k \leq NLEV$. Az $a_{k+1/2}$ és $b_{k+1/2}$ konstansokkal definiálják a vertikális koordinátát, és p_{surf} a felszíni nyomás mező. Az $a_{k+1/2}$ és $b_{k+1/2}$ értékeit minden $0 \leq k \leq NLEV$ modell szintre az 1. Függelékben találhatjuk, s segítségével meghatározhatjuk a teljes szinti p_k nyomást:

$$p_k = \frac{1}{2} (p_{k-1/2} + p_{k+1/2})$$

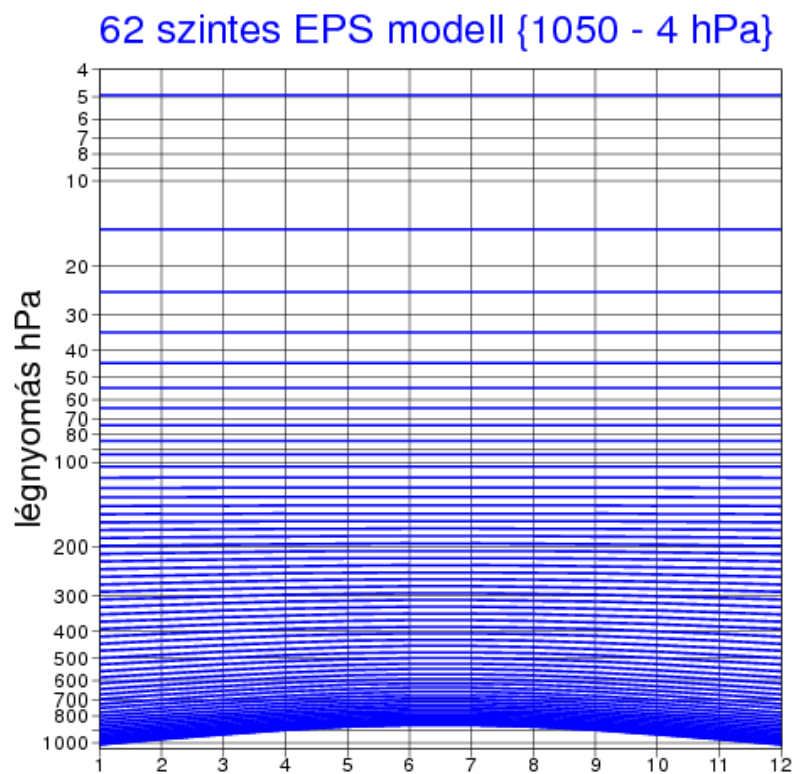
ami a rétegek közepén található, s $1 \leq k \leq NLEV$.

Ezek után a modellszinti adatokat ábrázoltam, amivel így részletesebb képet kaphatunk, mivel például a felszíntől a 850 hPa-os szintig a fő izobár szinti adatok esetében csak három (1000, 925 és 850 hPa) szint található, addig a modellszinti adatok használata során már 14 szint található ebben a tartományban (II. táblázat, 7. ábra).

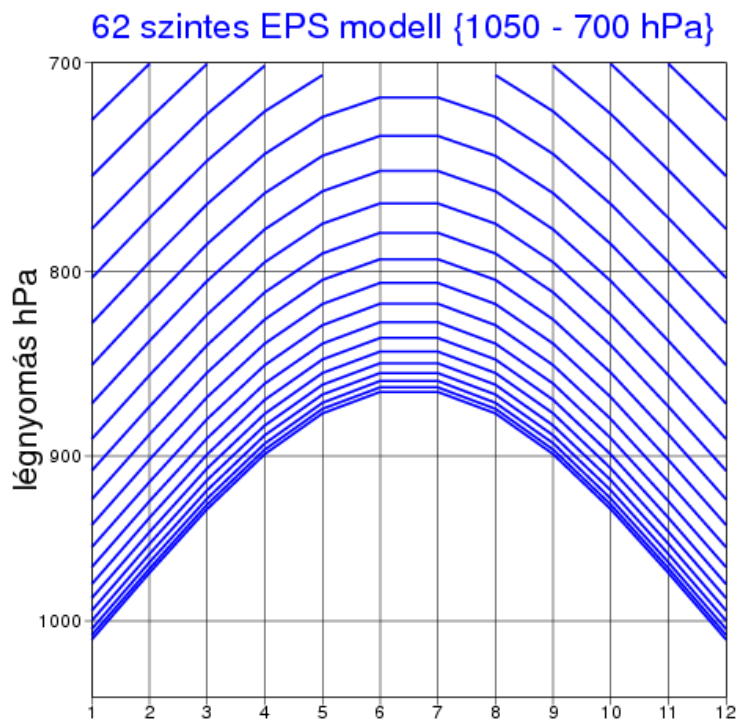
870	890	908	925	940	954	966	977	986	993	1000	1005	1009	1012
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------

II. táblázat: A 850hPa alatti modell szintek helyzete (hPa-ban), amennyiben a felszíni légnyomás 1013,25 hPa.

Az EPS modellszintek alapján történő megjelenítés a nyomás függvényében azért jelent kihívást, mert figyelembe kell venni, hogy az adott modellszintet a különböző tagok, különböző nyomás magasságra adhatják, ami például egy front előrejelzésénél elég jelentős is lehet.



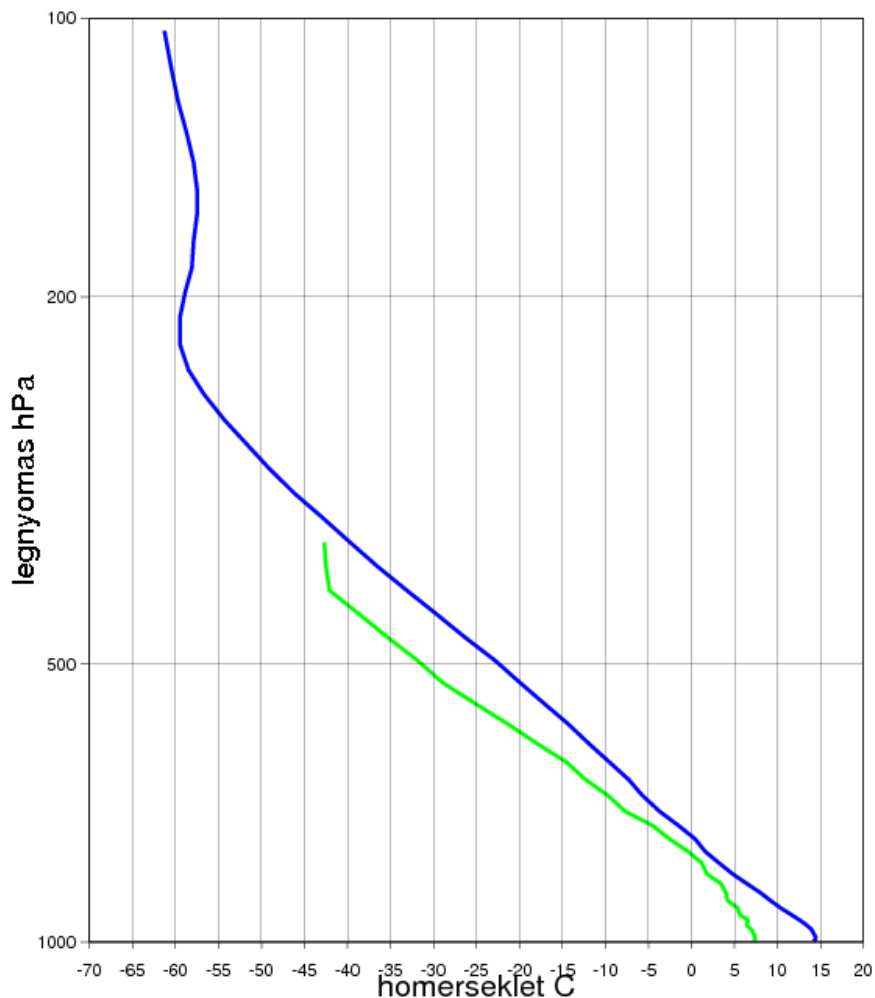
6. ábra: Az EPS modell vertikális szintjeinek illusztrálása, egy 1,5 km magas fiktív domborzattal.



7. ábra: A 700hPa alatti modell szintek, egy 1,5 km magas fiktív domborzattal.

A kontroll előrejelzés modellszinti adataiból szintén előállítottunk vertikális profilt (8. ábra), ahol a kék vonal a hőmérséklet, a zöld pedig a harmatpont jelöli. A kontroll előrejelzést a determinisztikus modell által használt kezdeti mezőből futtatják, de a valószínűségi előrejelzéssel megegyező horizontális és vertikális felbontáson, ezáltal megfigyelhetővé válik, hogy melyek azok a változások, ami a modell felbontás változása révén keletkeznek. A 8. ábrán megfigyelhetjük, hogy a profil menete sokkal finomabb, mint a fő izobár szinti adatoknál. A harmatpontot csak 300 hPa-ig lett megjelenítve, mivel a TEMP-ben, csak eddig a szintig van megadva.

**EPS modellszinti pseudo TEMP
homerseklet es harmatpont
2011. aprilis 29. 00 UTC + 48 ora
kontroll modellbol Budapestre**



8. ábra: Ensemble hőmérsékleti és harmatpont profil a 62 EPS modell szint alapján. 2011. április 29. 00 UTC+48 órás előrejelzés.

4. Ensemble vertikális profilok esetén alkalmazható verifikációs módszerek

4.1. Determinisztikus jellegű verifikáció

UNIX operációs rendszerben FORTRAN program nyelven a determinisztikus hőmérsékletre írt verifikációs programmal kiszámítottam a megfelelő nyomási szinteken a különböző hiba statisztikákat (*Jolliffe and Stephenson, 2003; Nurmi, 2003; Tajti, 2010*). A számszerű információ előállításához a legegyszerűbb hibastatisztika az átlagos vagy szisztematikus hiba (Mean Error vagy Bias), ami a mért és az előrejelzett értékpárok különbségének átlagát veszi.

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - o_i),$$

ahol f_i az i -edik előrejelzést, az o_i az i -edik megfigyelést jelöli, n pedig az adatok száma. Értéke mínusz végtelentől plusz végtelenig terjedhet, s egy tökéletes előrejelzésnél nulla értéket venne fel.

Azonban, ha a nagy hibák különböző előjellel szerepelnek az átlagos hiba értéke ekkor is közel lehet a nullához. Ennek kiküszöbölésére bevezethetjük az átlagos abszolút hibát (Mean Absolute Error) és az átlagos négyzetes hibát (Mean Squared Error), illetve ennek a négyzetgyökét (Root Mean Squared Error).

Az átlagos abszolút hiba nullától plusz végtelenig vehet fel értékeket, s szintén nullát venne fel a tökéletes előrejelzésnél.

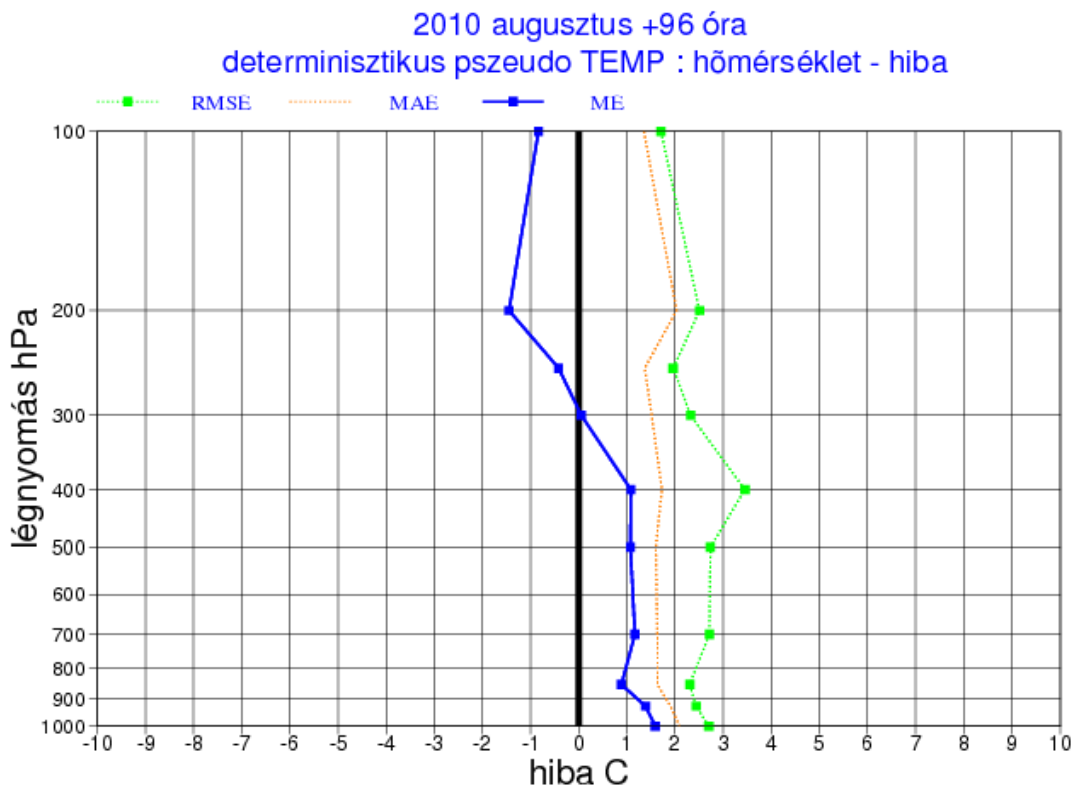
$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - o_i|.$$

Az átlagos négyzetes hiba, illetve négyzetgyöke (aminek a dimenziója megegyezik a paraméter dimenziójával), szintén nullától plusz végtelenig terjedhet, s az előrejelzés annál pontosabb, minél kisebb ez az érték.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - o_i)^2}.$$

Ezen mérőszámok eltéréseinek illusztrálására egy augusztusi determinisztikus előrejelzést az ECMWF által fejlesztett MAGICS++ software (*Lamy-Thépaut, 2009; Lamy-Thépaut and Siemen, 2010*) alkalmazásával készített FORTRAN program

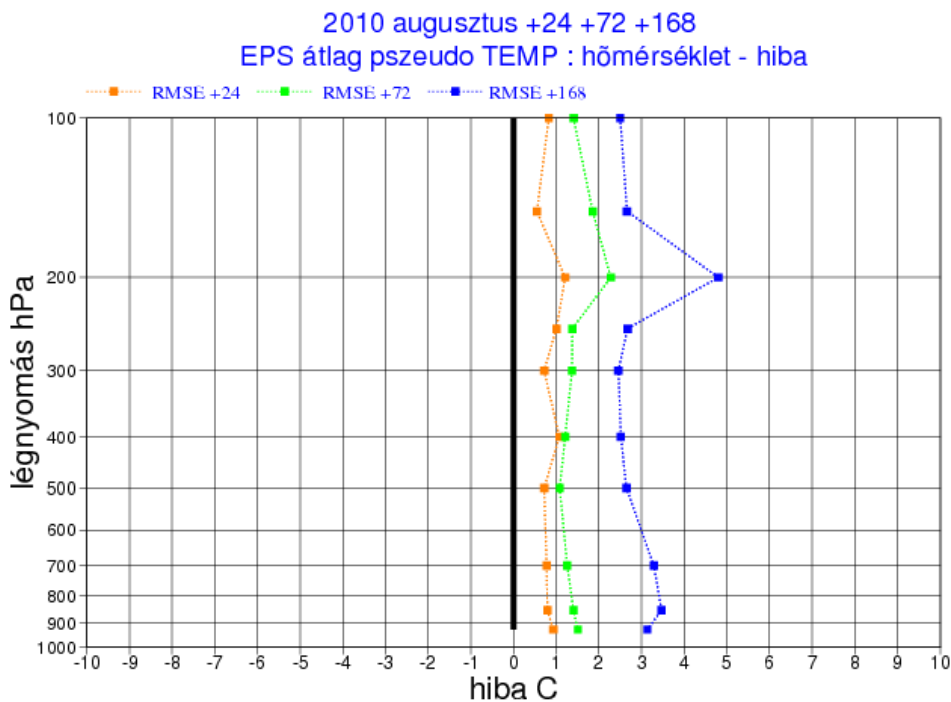
segítségével grafikonon ábrázoltam (9. ábra). Jól látható, hogy egyedül a szisztematikus hiba az, ami negatív irányba mehet, s hogy ez adja a legkisebb értékeket, mivel itt a hibák különböző előjelűek lehetnek. Emiatt azonban segítségével megadható, hogy a tagok többsége alá, vagy felé becslést ad, például a 9. ábrán 300 hPa alatt felülbecslést, felette pedig alulbecslést mutat. A legnagyobb hiba értékeket a négyzetes hiba adja. Emellett azt is megfigyelhetjük, hogy a különböző szinteken más és más a hibák értékei.



9. ábra: Determinisztikus hőmérséklet átlagos (kék vonal), abszolút (narancssárga pontozott vonal) és négyzetes (zöld vonal) hibája, 2010. augusztus hónapra 00 UTC +96 órás időlépcsőre.

4.2. Valószínűségi jellegű verifikáció

A valószínűségi előrejelzések verifikálására a determinisztikus előrejelzések esetén megszokott eszközöktől eltérő módszereket kell alkalmazunk, mivel ott egyszerre több ensemble tagot kell figyelembe vennünk. Azonban, ha a valószínűségi előrejelzés tagjainak átlagát vesszük, akkor már alkalmazhatóak rá az ismertetett módszerek (10. ábra). Az alábbi ábrán az is jól megfigyelhető, hogy az előrejelzési időlépcső növekedésével az előrejelzés pontatlanabbá válik, vagyis nő a hiba mértéke, a különböző szinteken azonban különböző mértékben.



10. ábra: Az EPS átlag négyzetes hibája, 2010. augusztusi előrejelzésekre vonatkozóan, +24, +72 és +168 óra.

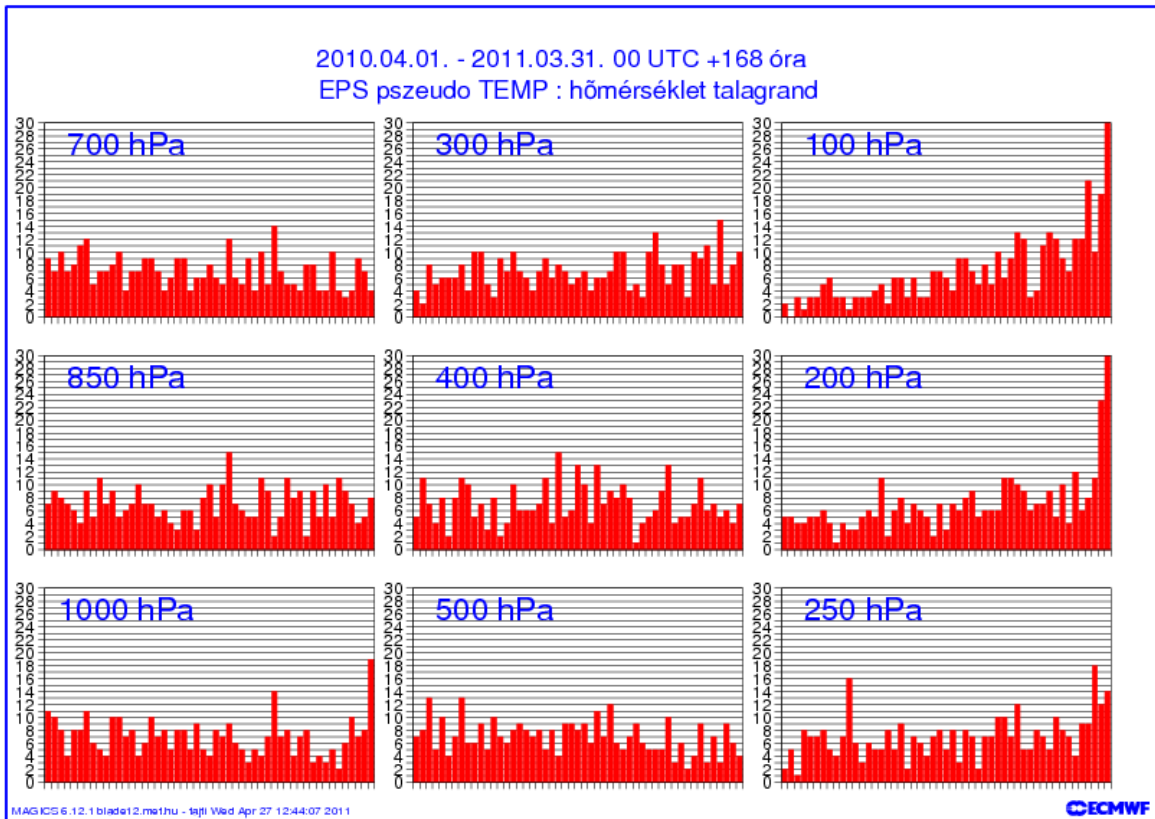
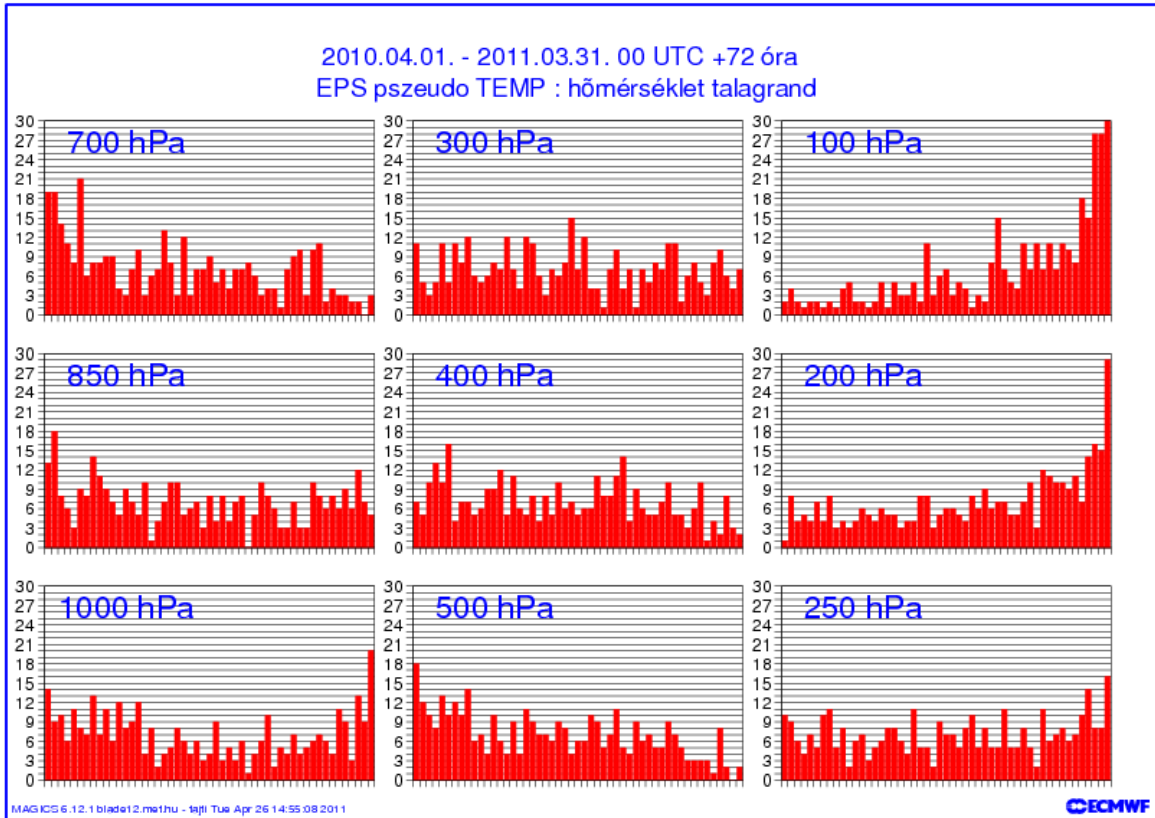
Egy valószínűségi előrejelzés nem lehet „jó” vagy „rossz”, hacsak nem 0 vagy 100%-os valószínűséget jelzünk előre. Ennek következtében a valószínűségi előrejelzések verifikálásához nagy mennyiségű előrejelzés szükséges, hogy kellően pontos következtetést vonhassunk le.

A valószínűségi előrejelzések verifikációjához gyakran használt diagram típus a Talagrand diagram, ami az EPS értéktartomány (EPS spread) elemzésére szolgál. A diagram azon a feltevésen alapul, hogy az ideális EPS rendszerben a mért tag a két szomszédos ensemble tag közé egyenlő gyakorisággal esik, beleértve azt az esetet is, mikor kívül esik a tartományon. Ennek az ideális rendszernek a Talagrand diagramja lapos lenne, minden intervallumban egyenlő gyakoriságot mutatva. Azonban a valóságban a diagram, amit úgy kapunk, hogy az EPS tagokat az előrejelzett értékük alapján sorba rendezzük, s megnézzük melyik két tag közé esett a megfigyelés, némiképp U alakot mutat. Ez azt jelenti, hogy a megfigyelés gyakrabban esik az előrejelzési tartományon kívül, és kevesebbszer esik középre, mint ahányszor előre lett jelezve. Némely paraméternél az U alak helyett J vagy L alakot figyelhetünk meg, ami a paraméter szisztematikus hibájára utal. A J alak a szisztematikus alábecslést, míg az L alak a szisztematikus fölébecslést jelzi.

A következő ábrán a 2010. április 1-től 2011. március 31-ig, a +72 és +168 órás előrejelzések hőmérséklet adatokból készített Talagrand diagramok láthatóak. Egy eddig még nem alkalmazott módon, több vertikális szinten jelenítettem meg a verifikációs eredményeket. A 9 szint alulról felfelé a baloldali oszlopban az 1000, 850, 700, a középső oszlopban az 500, 400, 300, a jobb oldali oszlopban pedig 250, 200 és a 100 hPa-os szintet láthatjuk (11. ábra). A diagramok x tengelyein az EPS tagokat, y tengelyein pedig a megfigyelések számát jelöli.

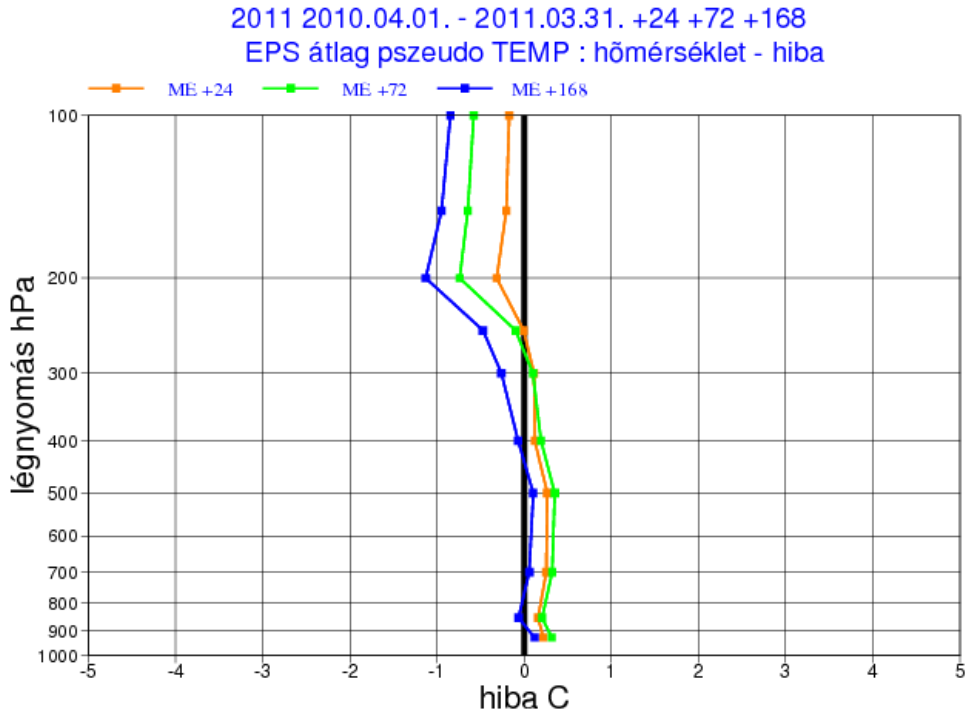
Az ábrán megfigyelhető, hogy a középső szinteken az eloszlás mindkét időlépcsőben homogén, míg a 700 illetve 800 hPa-os szinteken a 3 napos előrejelzésnél fölébecslést tapasztalunk, ami a hetedik napra eltűnik. Ezen szintek a csapadék halmazállapotának megállapításánál játszhatnak fontos szerepet, ezért is fontos tudni, hogy ezeken a szinteken felülbecslésre lehet számítani. Az 1000 hPa-on, azonban enyhe alábecslést tapasztalhatunk, ami a hetedik napon is még észrevehető. A felsőbb szinteken, az alsó sztratoszférában, azonban mindkét időlépcsőben erőteljes alábecslést látunk.

A relatív nedvesség Talagrand diagramjánál elmondható, hogy a felső szinten, leginkább 100hPa-on, illetve a talaj közelében 1000hPa-on is felülbecsül a modell (2. Függelék, F2-1. ábra), ami a köd előrejelzéséhez lehet fontos információ.



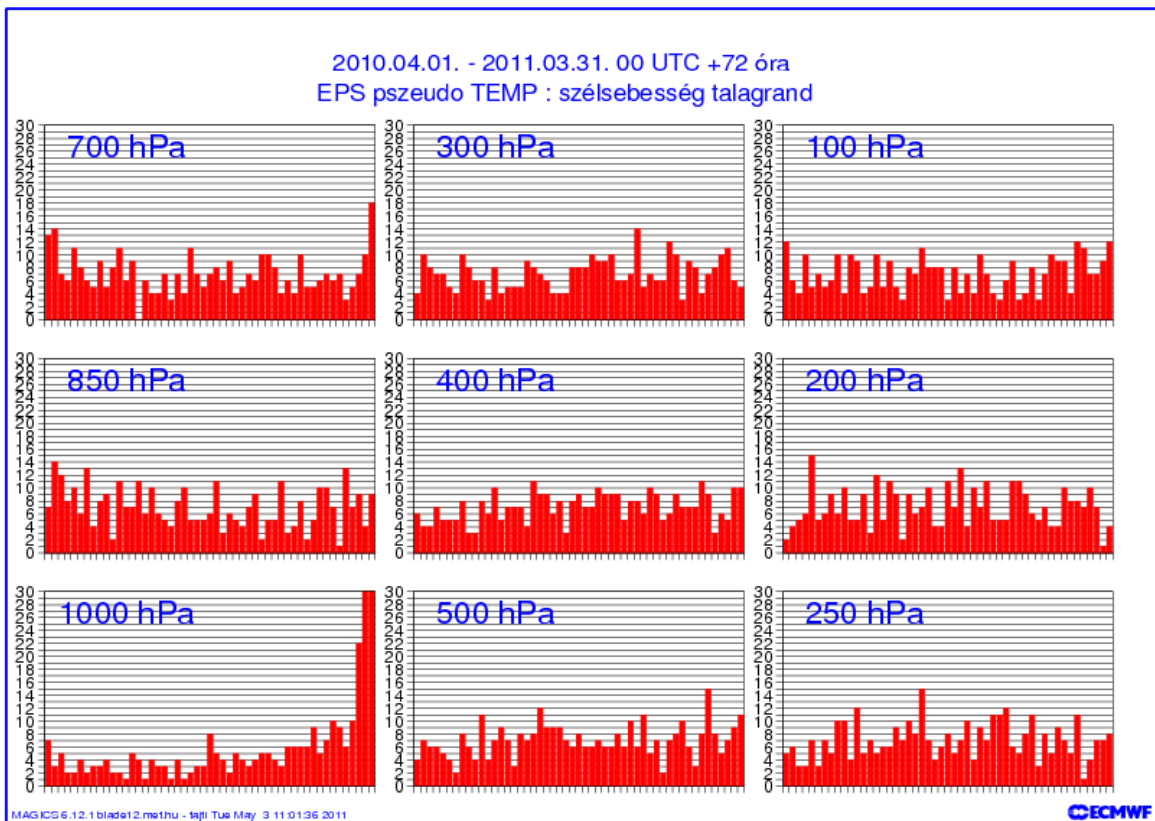
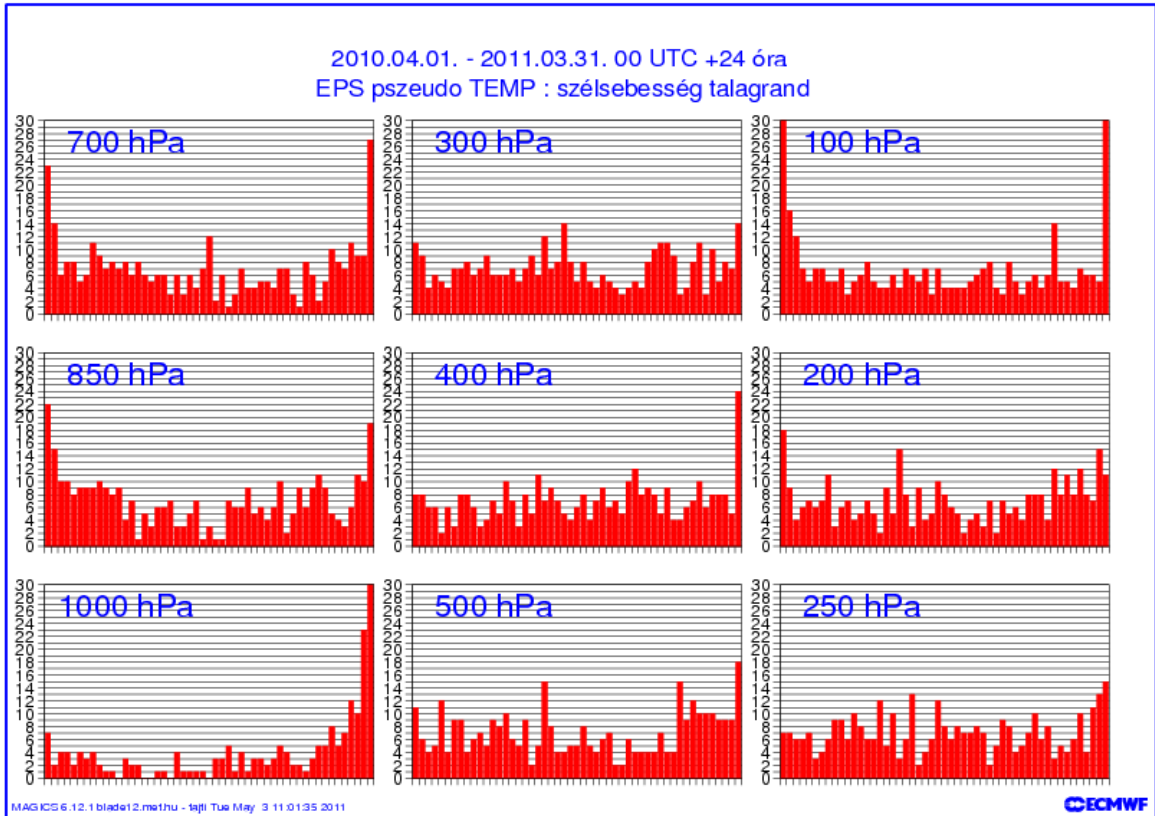
11. ábra: Egy év időintervallumra vonatkozó +72 és +168 órás hőmérséklet előrejelzések Talagrand diagramjai, alulról felfelé a baloldali oszlopban az 1000, 850, 700, a középső oszlopban az 500, 400, 300, a jobb oldali oszlopban pedig 250, 200 és a 100 hPa-os szint.

Az EPS tagok átlagára kiszámított szisztematikus hibát megjelenítve is láthatjuk, hogy az alsó sztratoszférában alábecsül a modell (12. ábra).



12. ábra: 2011.04.01. és 2010.03.01. közötti időszakban készült hőmérséklet előrejelzések átlagos hibái.

Ugyan erre az időszakra láthatjuk a szélsőségekre készített Talagrand diagramot (13. ábra). Itt megfigyelhetjük, hogy az egynapos előrejelzésnél több helyen (800, 700, 100 hPa) láthatunk U alakot, ami az ensemble tagok kicsi szórására utal, s így a megfigyelések gyakran esnek ezen kívül. Ez a jelenség viszont hamar eltűnik, s a háromnapos előrejelzésnél már nem látjuk nyomát. Az 1000 hPa-on viszont mindkét esetben egy erős alábecslést figyelhetünk meg, ami a talaj közelben fellépő súrlódás figyelembevételének hibájából adódhat. A szél előrejelzéseinek bevalásának ismerete a különböző szinteken a repülés meteorológiában lehet hasznos.



13. ábra: 2010.04.01. és 2011.03.01. közötti időszakra szélelőrejelzésből készült Talagrand diagram, fent +24 órás, lent +72 órás előrejelzés.

A valószínűségi előrejelzések verifikálása eltér a determinisztikus előrejelzések verifikálásától, azonban egy küszöbérték megválasztásával kategorikus előrejelzéssé alakítható. Ezt használja ki egy széles körben használt eszköz, a ROC (Relative Operating Characteristic) diagram (14. ábra). A ROC diagram az előrejelzés megbízhatóságáról nyújt információt. A ROC görbe grafikusan ábrázolja a találati arányokat (H) a hibás riasztási aránnyal (F) szemben, különböző valószínűségi küszöb értékekre. A találati arány, és a hibás riasztási arány kiszámításához bevezetjük az ún. kontingencia táblázatot (III. táblázat). Ez a 2×2-es kontingencia táblázat tartalmazza az előrejelzés és a megfelelő megfigyelés viszonyainak gyakoriságát.

Előrejelzés	Megfigyelés		
	Igen	Nem	Részösszeg
Igen	Találat <i>/Hit/</i> (a)	Téves riasztás <i>/False alarm/</i> (b)	Előrejelzés: igen <i>/Fc/(a+b)</i>
Nem	Elmaradt riasztás <i>/Miss/</i> (c)	Helyes elvetés <i>/Correct rejection/</i> (d)	Előrejelzés: nem <i>/Fc/(c+d)</i>
Részösszeg	Megfigyelés <i>/Obs/</i> igen (a+c)	Megfigyelés <i>/Obs/</i> nem (b+d)	

III. táblázat: Kategorikus események besorolásakor alkalmazott táblázat.

A táblázat alapján az előrejelzés akkor volt megfelelő, amikor *találat (Hit)* vagy *helyes elvetést (Correct rejection)* látunk, illetve nem megfelelő a *téves riasztás (False alarm)*, és a *kihagyás (Miss)* esetén. Tökéletes előrejelzésnél természetesen csak találatot és helyes elvetést tapasztalnánk, a többi cella nulla lenne. Ezekből az értékekből többféle formula alkalmazásával számíthatjuk az előrejelzés beválását.

Találati aránynak (Hit Rate-nek /H/ vagy *(Probability Of Detection /POD/)* nevezzük a megfigyelt események (Obs igen) és a találatok arányát. Ez a *találati arány* verifikációs mérőszám:

$$H = \frac{a}{a+c}$$

Értéke nullától egyig terjed, az ideális érték az egy. A H érzékeny a találatokra, viszont nem veszi figyelembe a téves riasztásokat. Bár mesterségesen lehet javítani „igen” előrejelzések túlzott növelésével, ezzel egy időben viszont a téves riasztások száma is megnövekszik. Kívánatos a találatok számát maximalizálni, és a téves riasztások számát minimalizálni, így a *találati arányt* (H-t) célszerű a *hibás találati aránnyal*, azaz a *False Alarm Rate*-tel (F-el, vagy más néven *Probability Of False Detection* /POFD/) együtt vizsgálni.

$$F = \frac{b}{b+d}$$

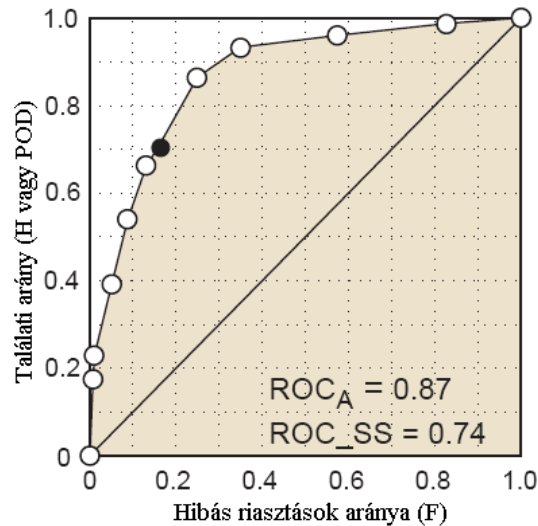
Értéke nullától egyig terjed, az ideális a nulla. A FAR érzékeny az esemény klimatikus gyakoriságára.

A ROC görbét valószínűségi előrejelzésből szerkeszthetjük meg úgy, hogy léptetjük a valószínűségi küszöb értéket (például 10%-os valószínűségi intervallumonként) végig a valószínűségi előrejelzésen. Ezáltal, mindegyik küszöbértékhez készíthetünk egy 2×2-es kontingencia táblázatot, így tehát kategorikus igen/nem előrejelzéssé alakítva a valószínűségi előrejelzést. Jó előrejelzésnél a H magas, míg F alacsony értékeket vesz fel, minél közelebb vannak a pontok a felső bal sarokhoz, annál jobb az előrejelzés. Tökéletes előrejelzésnél csak korrekt előrejelzések lennének téves riasztás nélkül, s így a ROC görbe a (0,0) pontból emelkedne végig az y tengely mentén a (0,1) pontig, majd egyenesen az (1,1) pontba menne (14. ábra).

Széles körben használt relatív index a *ROC terület* (*ROC area* / ROC_a), ami a ROC diagramon alapul, a görbe alatti területet felhasználva, s az ehhez kapcsolódó eredményességi tényező (ROC_{SS} – ROC Skill Score). A tökéletes előrejelzésnél a ROC_a 1-et venne fel. Ahogy a görbe egyre lejjebb helyezkedik el, úgy csökken a prognózis értéke, míg el nem éri a használhatatlan szintet, ami az egyenes vonal az átló mentén ($H=F$), és a terület 0,5-tel egyenlő, ugyanis ekkor az előrejelzés nem tudja megkülönböztetni az esemény bekövetkezését a nem bekövetkezésétől. A ROC_a eredményességi tényezője a következőképp definiálható:

$$ROC_{SS} = 2 * ROC_a - 1.$$

Az átló alatt a ROC_{SS} negatív értékeket vesz fel, -1-nél elérve a minimumát, mikor is a $ROC_a=0$.



14. ábra: ROC diagram, egy év csapadék valószínűségi előrejelzésre. ROC diagram az előrejelzés és a megfigyelt értékek alapján, különböző küszöbértékeket választva lett megszerkesztve. A ROC_A és a ROC_{SS} szintén fel van tüntetve.

A ROC diagramot alkalmazhatjuk kategorikus igen/nem előrejelzésekre is, azonban ebben a speciális esetben csak egy küszöbérték van, s csak egy pont szerepel a grafikonon. A ROC, ROC_a és a ROC_{SS} hibastatisztikák előnye, hogy közvetlenül kapcsolhatók a döntéshozatalhoz a végfelhasználó számára, ezzel gazdasági értéket is hordozva.

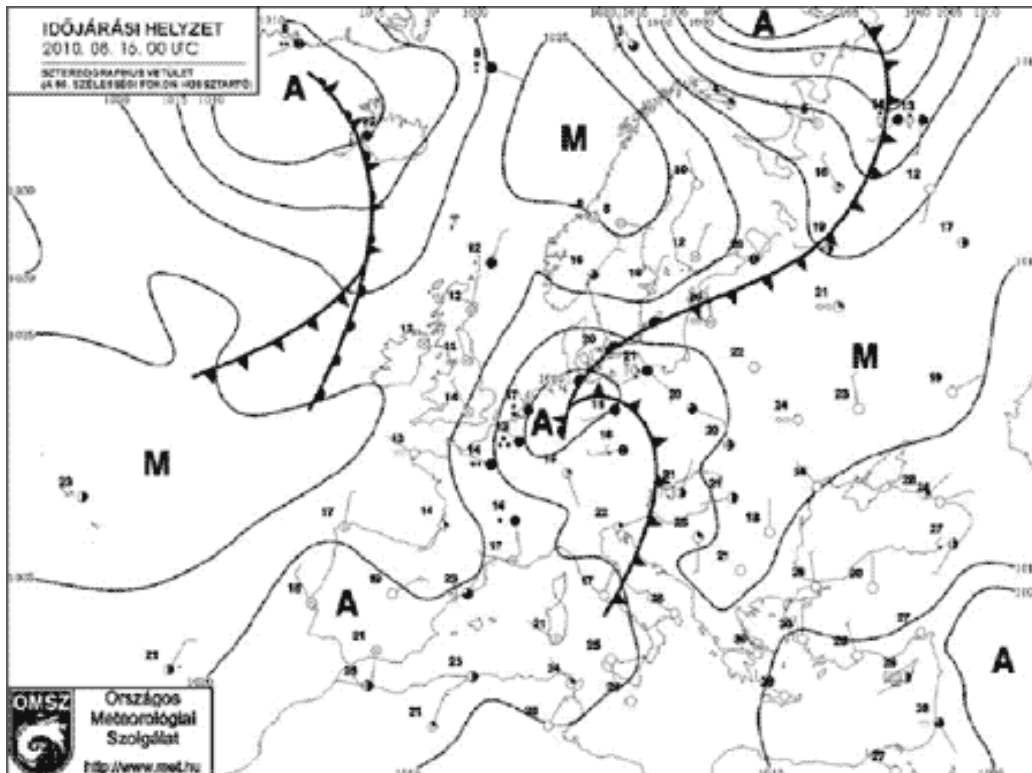
Mivel a ROC diagramhoz az ensemble előrejelzést kategorikus előrejelzésé kell alakítani, ezért fontos egy küszöbérték megválasztása. Mivel az előrejelzett változók vertikálisan más és más értéktartományban mozognak, ezért hibás lenne minden szintre ugyanazt a küszöbértéket megadni. Ennek egy megoldása lehet, ha a kontroll analízis alapján szintenként megnézzük a verifikálni kívánt változó eloszlását, s ez alapján kiválasztjuk a küszöbértéket. Ezek után az elkészített diagramokat a Talagrandhoz hasonló módon ábrázolhatjuk több szintet egyszerre. Valamint a ROC terület vagy a ROC eredményességi tényező értékét is feltüntethetjük a magasság függvényében, így képet kapva a különböző szintekre vonatkozó előrejelzések bevalásáról (3. Függelék, F3-1. ábra).

5. Esettanulmányok

Ebben a fejezetben három különböző időjárási helyzetet mutatok be, egy 2010. augusztus 16-i konvekciós, egy 2011. februári inverziós és egy 2011. május eleji hidegsepp helyzetet. Ezen helyzetek bemutatásánál szeretném demonstrálni az előállított új utófeldolgozási produktum használati lehetőségeit, előnyeit valamint hasznosságát.

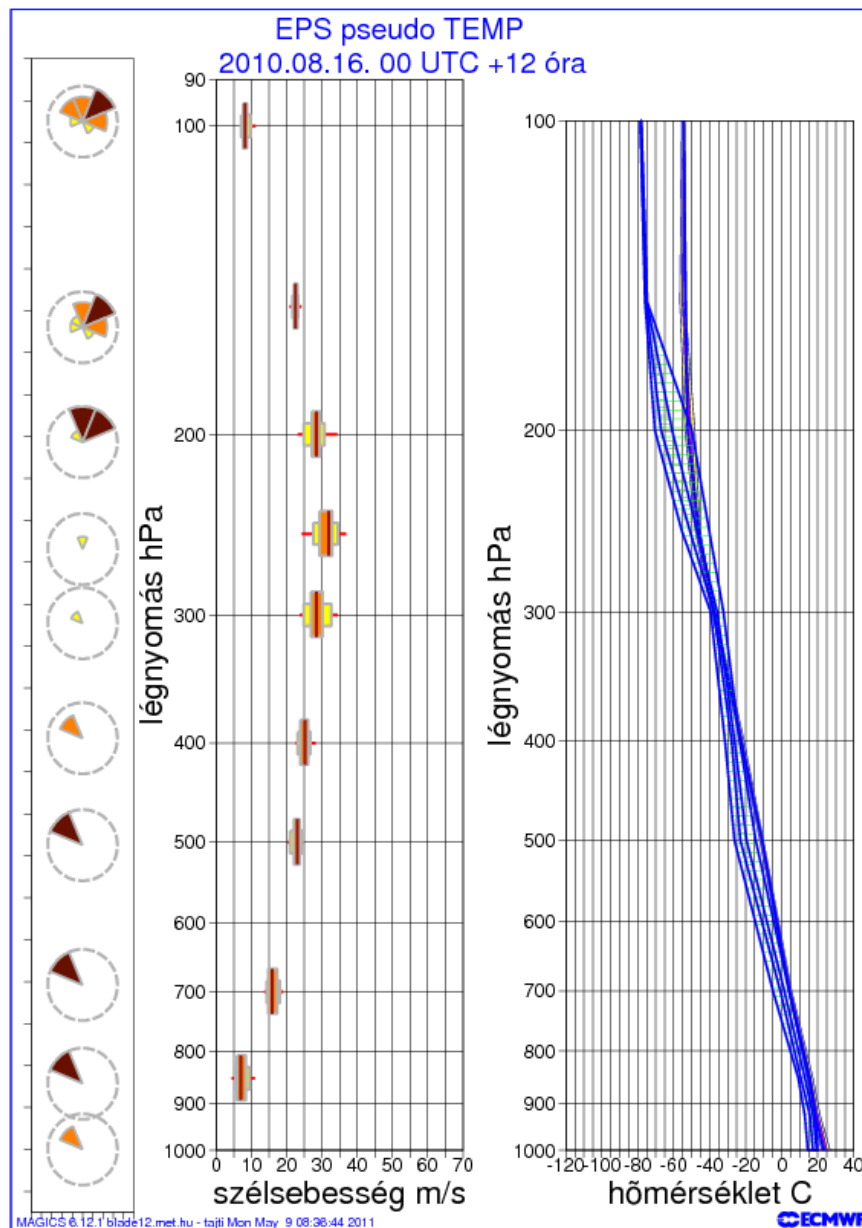
5.1. A 2010. augusztus 16-i nyári konvektív helyzet vizsgálata

2010. augusztus 16-án egy több középpontú ciklon lassan hullámozó frontrendszer alakította a Kárpát-medence időjárását. Ezen a napon már a délelőtti órákban kialakultak zivatarok a Dunántúlon, azonban a megfelelő labilitás hiányában ezek még nem tudtak heves zivatarrá fejlődni. Később a vonalas nagytérségű kényszerhatás érkezésével a zivatarok mindinkább vonalba rendeződtek és a Dunántúl keleti harmadában beerősödtek (Polyánszky és Csirmaz, 2010) (15. ábra).



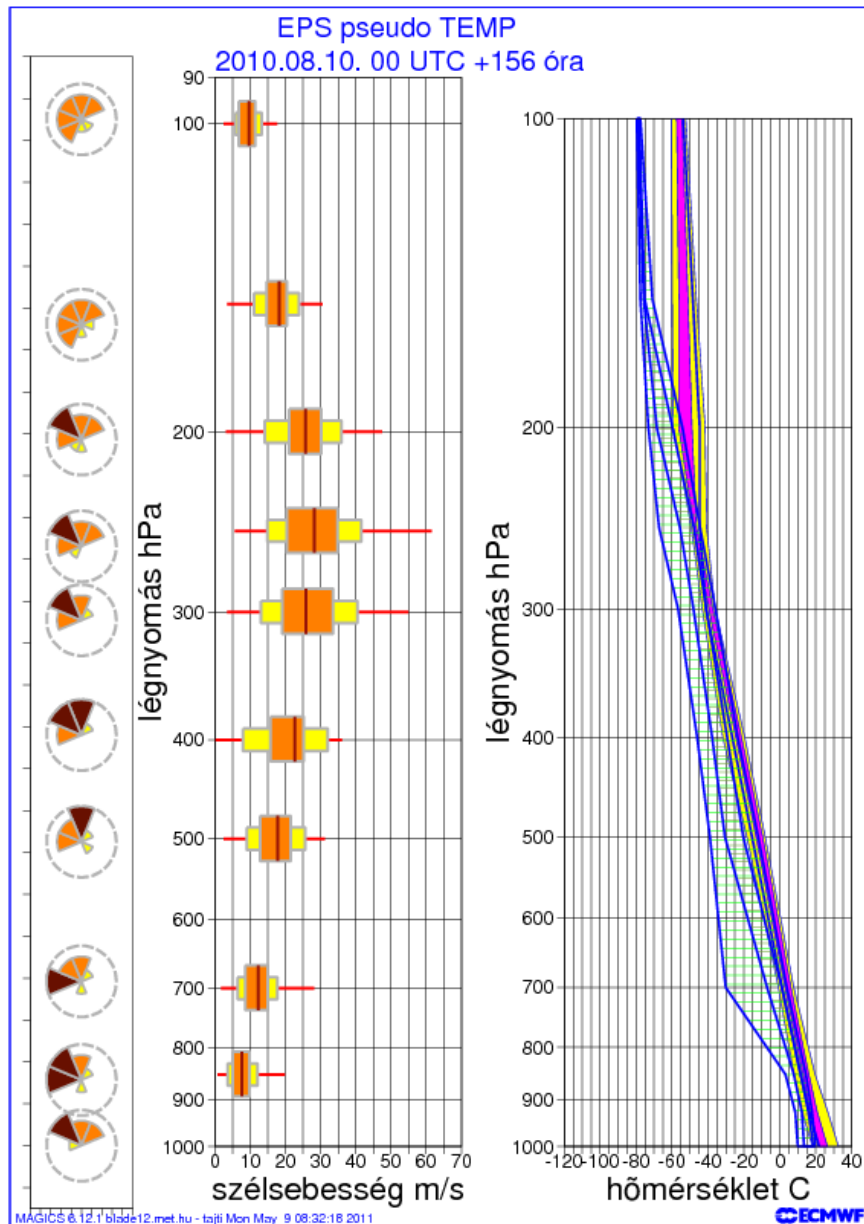
15. ábra: Szinoptikus helyzetkép 2010. augusztus 16-án 00 UTC-kor.

Ezen észak-déli irányban húzódó vonal előtt egyedi heves szupercellák alakultak ki, melyek felhőszakadást, illetve tornádót okoztak. Ezen a napon biztosított volt a nagy magassági szél, így jelentős vertikális szélnyírás volt tapasztalható, ami az időnként igen magas labilitási értékek mellett végig biztosította a magas nedves zivatar potenciált. Míg a 925 hPa-on a szélereősség 10 m/s alatt marad, addig az 500 hPa-on már 20 m/s feletti értéket vesz, s 250 hPa-on láthatunk maximumot, ami nagy valószínűséggel a 30 m/s-ot is meghaladja, valamint a léghőmérséklet, s a harmatpont EPS görbéi is fedik egymást (16. ábra).



16. ábra: 2010. augusztus 16. 00UTC +12 órás EPS vertikális profil, Budapest.

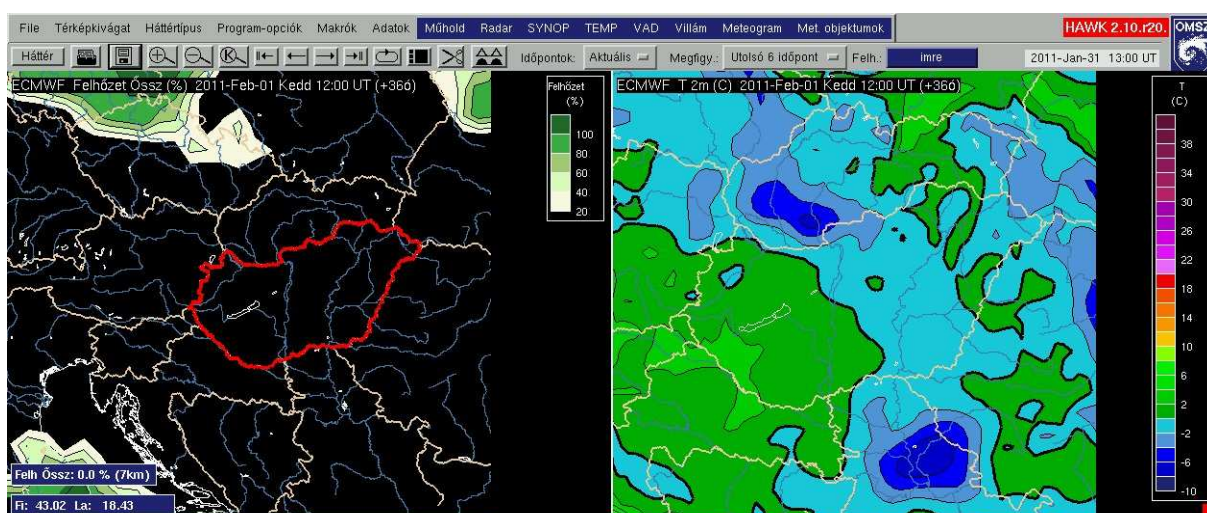
Az egy héttel korábban készült előrejelzésen láthatjuk, hogy a szél előrejelzése nagyon bizonytalan, mind sebesség, mind irány szempontjából, különösen a légkör felső részén, akár 50 m/s-os intervallumot is látunk (17. ábra). A két nappal az eseményt megelőző napon készült előrejelzés is még nagyobb bizonytalanságokat tartalmaz a szélereősségben, de a profil menete már nagyon hasonló az augusztus 16-éhoz (4. Függelék, F4-1. ábra).



17. ábra: 2010. augusztus 10. 00UTC +156 órás EPS vertikális profil, Budapest.

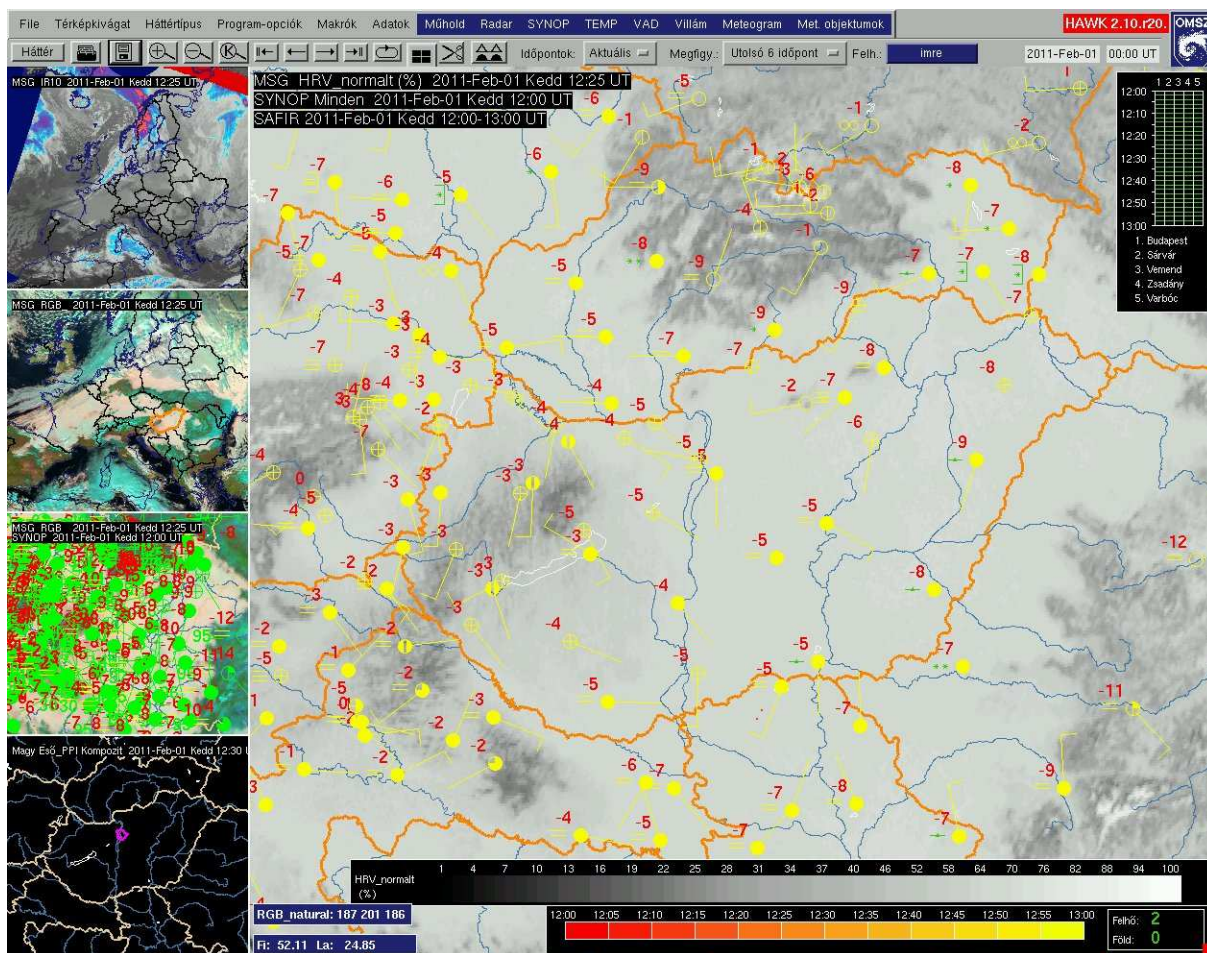
5.2. 2011. február 1-i téli inverziós időjárási helyzet

A téli inverziós helyzet, egy a Kárpát-medencére jellemző időjárási helyzet, ugyanis ekkor a hideg levegő a talaj közeli alsó 500-1500 méter vastag rétegben bent reked a környező hegyek közé, azonban a réteg felett a szinoptikus helyzettől függően jelentősen melegebb lehet a levegő. A 18. ábrán látható 2011. január 31-én készült +36 órás determinisztikus előrejelzés szerint az ország felett nem található felhőzet, s az ország nyugati felére 0 °C feletti hőmérsékletet van, s az ország keleti részén is –2 °C feletti a hőmérséklet.



18. ábra: 2011. január 31. 00 UTC-kor készült +36 órás - 2011. február 1. 12 UTC-re szóló – előrejelzés, baloldalon az összfelhőzet, jobb oldalon a 2 m-es hőmérséklet.

A 19. ábrán – megfigyelések alapján - azonban azt láthatjuk, hogy az ország egész részén –2 °C alatti a hőmérséklet, keleten –5 °C alatti, s az ország nagy részét felhő/köd borítja. Tehát az előrejelzés nem tudta jól visszaadni ezt az alacsony szintű inverziós helyzetet, de mi a helyzet a valószínűségi előrejelzéssel? A sokasági előrejelzésekből készült vertikális hőmérsékleti profilokat megvizsgálva (5. Függelék F5-1. – F5-9. ábrák) láthatjuk, ahogy megjelenik az inverzió.

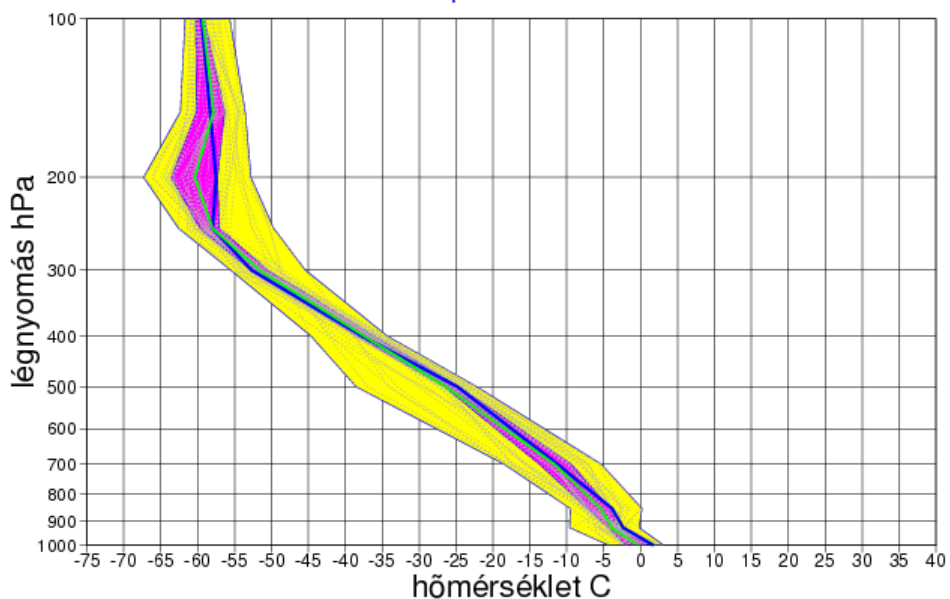


19. ábra: 2011. február 1. 12 UTC-s METEOSAT műholdképek, illetve a 2 m-es hőmérséklet a SYNOP állomásokon.

A hat nappal előtte készült előrejelzésen még a tagok nagy része nem ad inverziót, azonban már ekkor is van olyan tag ami erős inverziót jelez (20. ábra). Az idő előrehaladtával mind az inverzió mértéke, s helye változik. A +108 órás előrejelzés egy nagyon erős inverziót mutat a 900 hPa alatti rétegben (F5-3. ábra), s az alsó rétegekben a hőmérséklet bizonytalansága nagy.

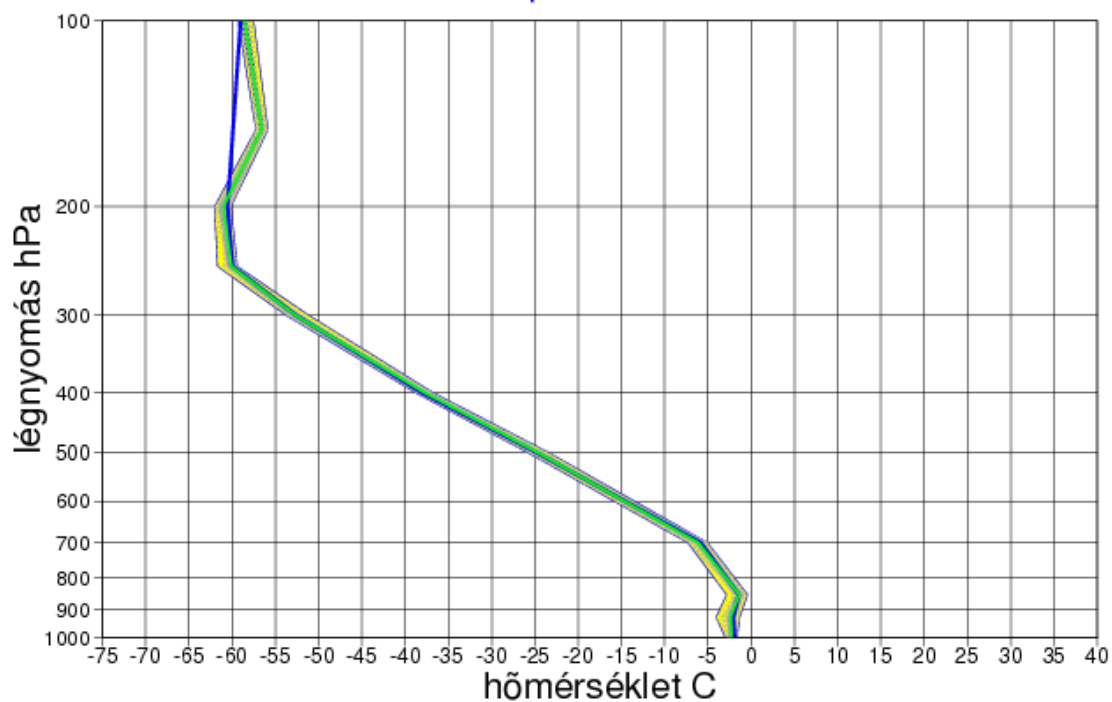
A 2011. január 31-én készült +36 órás előrejelzésen láthatjuk, hogy a talajon a hőmérsékletet egyértelműen 0 °C alá adta, azonban még mindig –5 °C fölé (21. ábra). Itt az inverziós réteg teteje 850 hPa körül található. A komplett EPS vertikális profiloknál érdemes megfigyelni a harmatpont előrejelzésének változását. A 2011. január 29-én készült +84 órás előrejelzésnél a harmatpont előrejelzése nagyon bizonytalan, s a 850hPa környékén meg is közelíti a hőmérsékletet (F5-4. ábra). Azonban az ezután készült előrejelzéseknél már elég száraz a légkör, egyedül a talaj környékén közelíti meg a harmatpont a hőmérsékletet.

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.01.26. 00 UTC +156 óra
EPS pseudo TEMP



20. ábra: 2011. január 26. 00 UTC-kor készült +156 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.

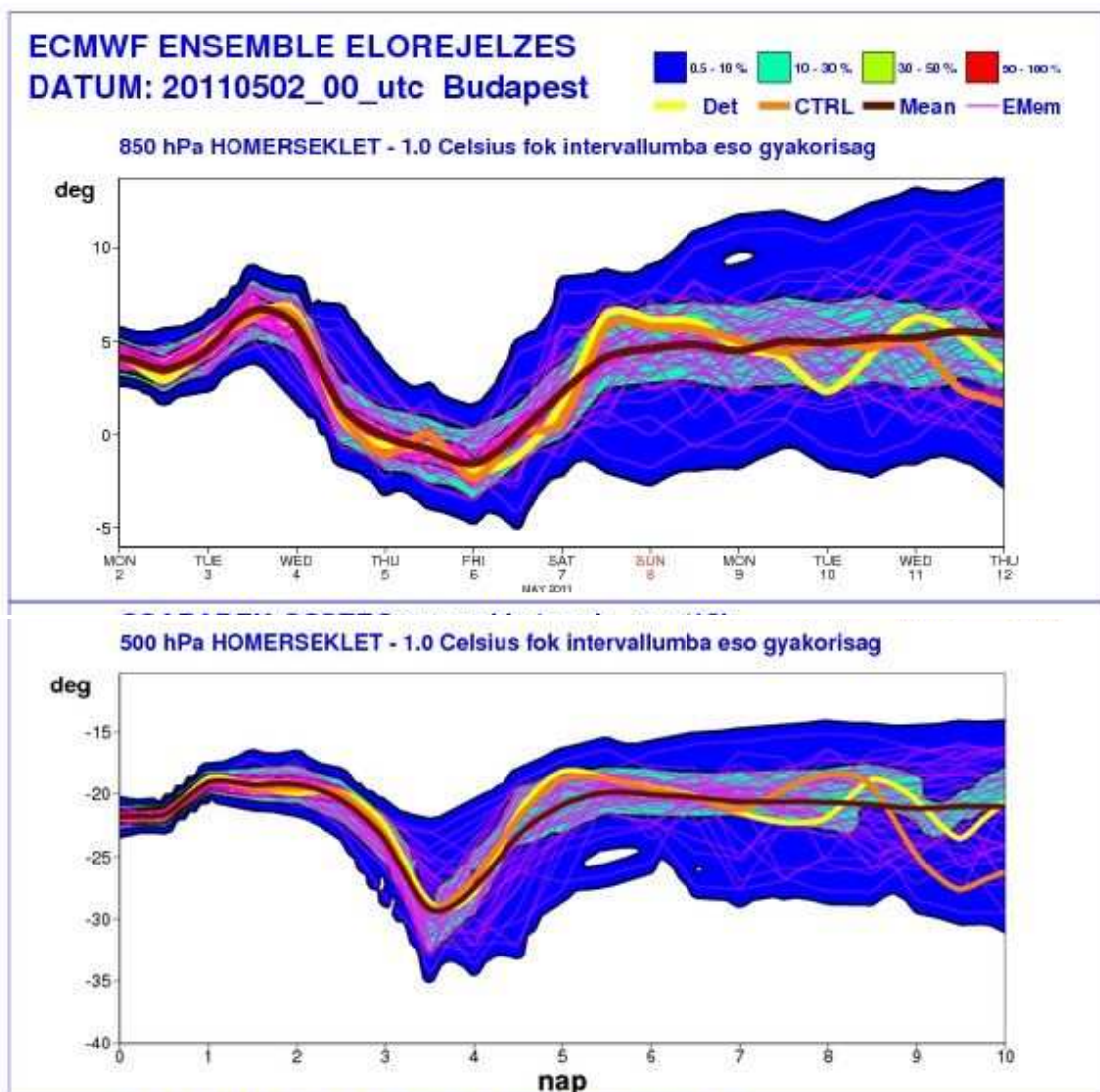
ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.01.31. 00 UTC +36 óra
EPS pseudo TEMP



21. ábra: 2011. január 31. 00 UTC-kor készült +36 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.

5.3. 2011. május 5-i hideg csepp

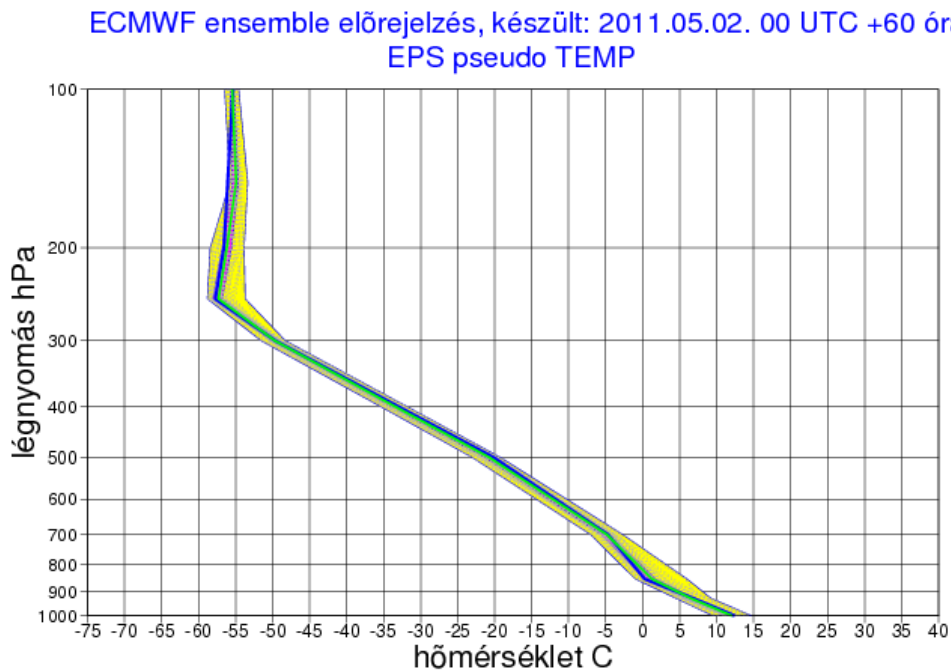
A május eleji szép, napos időt 3-án egy hidegfront szakította meg (22. ábra). A 30. ábrán a 850 hPa és 500 hPa budapesti hőmérsékleti előrejelzését láthatjuk (fáklya diagram), hogy a 850 hPa-on már szerdán tapasztalható az erős lehülés, míg az 500 hPa-on csak két nappal később érkezik meg, s itt nagyobb bizonytalanságot is látunk. Ezzel szemben a felmelegedés mindkét szinten már a pénteki nap folyamán megindul. Ezt 500 hPa-on található viszonylag rövid idejű, s erős lehülést nevezünk hideg cseppnek.



22. ábra: 2011. május 2. 00 UTC-kor készült 850 hPa-os (fent) és 500 hPa-os 10 napos fáklya (lent).

Május 3-án a front megérkezésénél láthatjuk, hogy a felszín közelében megnő a bizonytalanság (6. Függelék, F6-1. ábra), ami a front megérkezésének bizonytalanságát

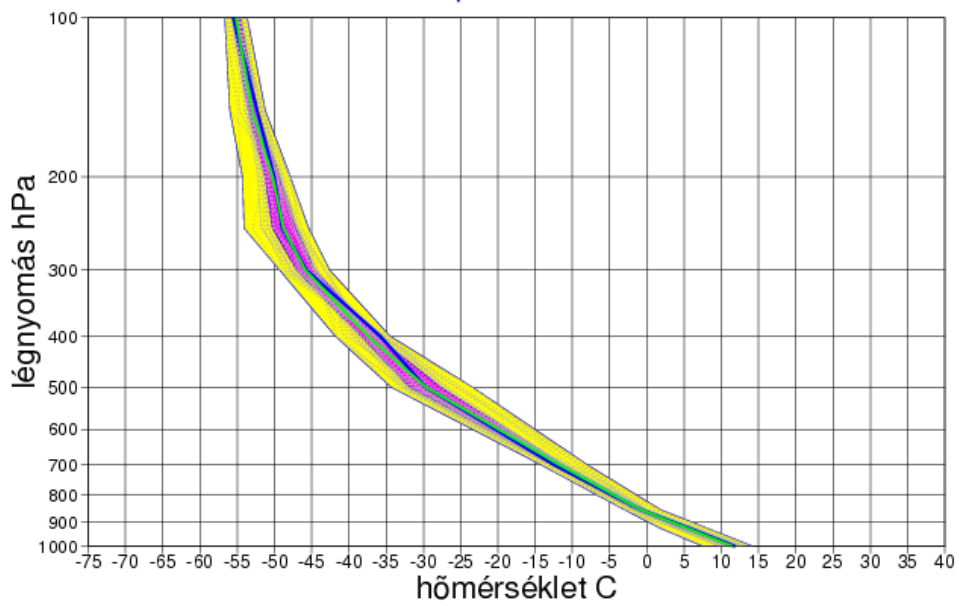
jelezheti. Ezzel szemben május 4-én láthatjuk, hogy csökkent a hőmérséklet, viszont itt 925 és 850 hPa-os szinten látunk nagyobb bizonytalanságot (23. ábra). Május 5-én már a felsőbb rétegekben, 500 hPa környékén, is nagy a bizonytalanság, ami a hideg csepp megérkezésének idejéből, s helyének meghatározásának bizonytalanságával kapcsolódhat össze (24. ábra). Ezenkívül megfigyelhető még, hogy a május 4-én a tropopauzánál található inverzió május 5-ikére jelentősen gyengül.



**23. ábra: 2011. május. 2 UTC-kor készült +60 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil előrejelzés:
érvényességi idő: 2011. május 4. 12 UTC.**

A komplett ensemble vertikális profilokat tanulmányozva láthatjuk a harmatpont változását is, ami május 3 délre szóló előrejelzésnél még kis bizonytalanságot mutat (F6-7. ábra), viszont egy napra rá hirtelen megugrik, különösen 700 hPa-on, a hőmérséklet viszont keskeny sávban maradt. Ez a felhőzet előrejelzésének bizonytalanságát jelzi.

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.05.02. 00 UTC +84 óra
EPS pseudo TEMP



**24. ábra: 2011. május. 2 UTC-kor készült +84 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil előrejelzés:
érvényességi idő: 2011. május 5. 12 UTC.**

6. Összefoglalás

Diplomamunkámat az Országos Meteorológiai Szolgálat Numerikus Modellező Osztályán készítettem. Dolgozatomban először röviden bemutattam az Európai Középtávú Előrejelző Központot. Ezután ismertettem a központ által készített előrejelzések típusait, ezen belül a témám alapjául szolgáló valószínűségi előrejelzést mutattam be bővebben. Majd ismertettem, hogy jelenleg vertikális profilokat rádiószondás mérésekből, valamint determinisztikus modell előrejelzésekből állítanak elő. Ezután egy eddig a meteorológiai gyakorlatban még nem alkalmazott, ún. ensemble vertikális profilt állítottam elő, s jelenítettem meg. Ez a profil sokasági előrejelzések fő izobár szintű adatai alapján először egy hőmérsékletet állítottam elő. Következő lépésben mind a hőmérsékletet, mind a szélirányt, szélességet, harmatpontot is tartalmazó komplett vertikális EPS profilt készítettem. Ez az új produktum hasznos lehet az operatív előrejelzőknek, mert segítségével összetettebb képet kaphatnak, hogy az előrejelzés mely vertikális szinten mennyire bizonytalan. Ezután az ensemble vertikális profil verifikációját is elvégeztem, amely azért fontos, hogy képet kaphassunk a modell bevalásáról is. Először egy egyszerűbb módszerrel az EPS átlagot verifikáltam, amihez a már determinisztikus modellnél is alkalmazható eszközöket használtam. Ezután a teljes EPS profil vizsgálatára Talagrand diagramot állítottam elő minden fő izobár szintre, s jelenítettem meg őket. Az adatok előállítását és verifikálását saját fejlesztésű FORTRAN programmal végeztem, a megjelenítéshez pedig a szintén FORTRAN programmal meghívható MAGICSt használtam.

A későbbiekben érdemes lenne megvizsgálni, hogy az ECMWF által 2011-ben tervezett modellszintek bővítése az előrejelzések pontosságára milyen hatást gyakorol. A már meglévő komplett ensemble vertikális profilt később ki lehetne terjeszteni az ensemble előrejelzésből származtatott különböző indexekkel (pl.: CAPE).

Az OMSZ 2011 folyamán tervezi az EPS vertikális profilok operatív bevezetését, az első félévben a főizobárszintű adatokból, míg az év második részében a modellszintű adatokból is.

7. Irodalomjegyzék

- Andersson, D.*, 1998: Seasonal forecasting at ECMWF: and update. *ECMWF Newsletter*, 80, 13-19.
- Bölöni, G., Kullmann, L. and Horányi, A.*, 2008: Use of ECMWF lateral boundary conditions and surface assimilation for the operational ALADIN model in Hungary. *ECMWF Newsletter*, 119, 29-35.
- Buizza, R., Bidlot, J.R., Wedi, N., Fuentes, M., Holt, G., Palmert, T., Vitart, R.*, 2006: The ECMWF variable Resolution Ensemble System (VAREPS). *ECMWF Newsletter*, 108, 14-20.
- Götz, G.*, 2001: Káosz és prognosztika. *Országos Meteorológiai Szolgálat*, Budapest
- Ihász I.*, 2003: Operatív középtávú időjárás előrejelző modellezés az ECMWFben. 29. *Meteorológiai Tudományos Napok kiadványa*, 119-128
- Ihász I.*, 2008: Közép és hosszútávú előrejelzési modelltermékek és alkalmazási lehetőségeik. 34. *Meteorológiai Tudományos Napok kiadványa*.
- Ihász, I., Üveges, Z., Mile, M. and Németh, Cs.*, 2010: Ensemble calibration of ECMWF's medium range forecasts, *Időjárás*, 114, 275-286.
- Jolliffe, I.J. and Stephenson, B.*, 2003: Forecast verification. A practitioner's guide in atmospheric science. *John Wiley and Sons. Chichester*
- Lamy-Thépaut, S.*, 2009: MAGICS++ meteorological graphics library generating weather maps and graphics for web. *Proceedings of the Twelfth ECMWF Workshop on Meteorological Operational Systems*, Reading UK, 2-6 November 2009, 64
- Kaba, M.*, 1995: Csatlakozásunk a Középtávú Időjárás Előrejelzések Európai Központjához. *Léggör* 1995/4. 34.
- Marbouty, D.*, 2010: ECMWF's plan for 2010. *ECMWF Newsletter*, 122, 4-5.
- Molteni, F.R., Buizza, T.N., Palmer, T.N., Petroliagis*, 1996: The ECMWF ensemble prediction system: methodology and validation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 122, 37-119.
- Nurmi, P.*, 2003: Recommendations on the verification of local weather forecasts. *ECMWF Technical Memoranda 430*.

- Nordquist, W.S., 1973: Numerical approximations of selected meteorological parameters for cloud physics problems. ECOM-5475, Atmospheric Sciences Laboratory, U.S. Army Electronics Command, White Sands Missile Range New Mexico, 88002.*
- Persson, A., and Grazzini, F. 2007: User Guide to ECMWF forecasts products: Meteorological Bulletin, 3.2 (version 4.0), ECMWF Reading, UK*
- Siemen, S. and Lamy-Thépaut, S., 2010: MAGICSS++ 2-8 – New developments in ECMWF’s meteorological graphics library. ECMWF Newsletter, 122, 32-33.*
- Tajti, D. 2009: Az ECMWF determinisztikus és valószínűségi előrejelzések összehasonlító verifikációja. ELTE TTK Diplomamunka Témavezető..... oldalszám.....*
- Polyánszky Z., Csirmaz K., 2010: A 2010. augusztus 16-i tornádós helyzet meteorológiai körülményei. <http://www.met.hu>*
- Vitart, F., Bonet, A., Balmaseda, M., Balsamo, G., Bidlot, J.R., Buizza, R., Fuentes, M, Hofstadler, A., Molteni, F., Palmert, T., 2008: Merging VarEPS with the monthly forecasting system: a first step towards seamless prediction. ECMWF Newsletter, 115, 35-44.*

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőmnek, Ihász Istvánnak, a témában szerzett ismereteim elmélyítésében és a munkám során nyújtott rengeteg segítségért, továbbá Barcza Zoltán tanszéki konzulensemnek.

A diplomamunka az Európai Unió támogatásával és az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával jöhetett létre, a támogatási szerződés száma TÁMOP 4.2.1./B-09/1/KMR-2010-0003.

Függelékek

1. Függelék

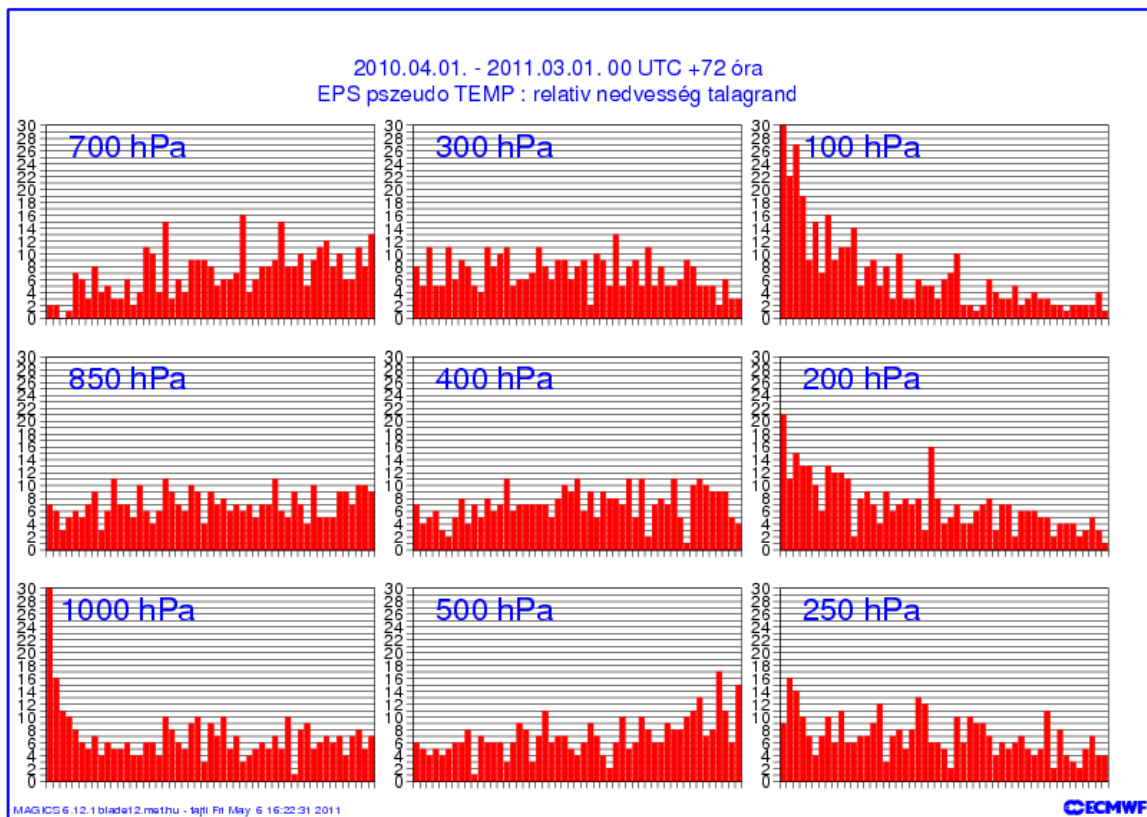
A 62 modell szint definíciója.

A lista tartalmazza a(N)-t és b(N)-t a fél (ph) és teljes (pf) szint nyomásértékeivel, 1013,25hPa-os felszíni nyomást véve.

N	a	b	ph [hPa]	pf [hPa]
0	0	0	0	
1	988,8359	0	9,8884	4,9442
2	1977,676	0	19,7768	14,8326
3	2966,517	0	29,6652	24,721
4	3955,357	0	39,5536	34,6094
5	4944,197	0	49,442	44,4978
6	5933,038	0	59,3304	54,3862
7	6921,87	0	69,2188	64,2746
8	7909,441	0,000013	79,1072	74,163
9	8890,707	0,000087	88,9956	84,0514
10	9860,528	0,000275	98,884	93,9398
11	10807,78	0,000685	108,7724	103,8282
12	11722,75	0,001415	118,6608	113,7166
13	12595,01	0,002565	128,5492	123,605
14	13419,46	0,004187	138,4376	133,4934
15	14192,01	0,006322	148,326	143,3818
16	14922,69	0,009035	158,3816	153,3538
17	15638,05	0,012508	169,0545	163,718
18	16329,56	0,01686	180,3786	174,7166
19	16990,62	0,022189	192,3889	186,3837
20	17613,28	0,02861	205,1223	198,7556
21	18191,03	0,036227	218,6172	211,8697
22	18716,97	0,045146	232,914	225,7656
23	19184,54	0,055474	248,0547	240,4844
24	19587,51	0,067316	264,0833	256,069
25	19919,8	0,080777	281,0456	272,5644
26	20175,39	0,095964	298,9895	290,0175
27	20348,92	0,112979	317,9651	308,4774
28	20434,16	0,131935	338,0245	327,9948
29	20426,22	0,152934	359,2221	348,6233
30	20319,01	0,176091	381,6144	370,4182
31	20107,03	0,20152	405,2606	393,4375
32	19785,36	0,229315	430,2069	417,7338

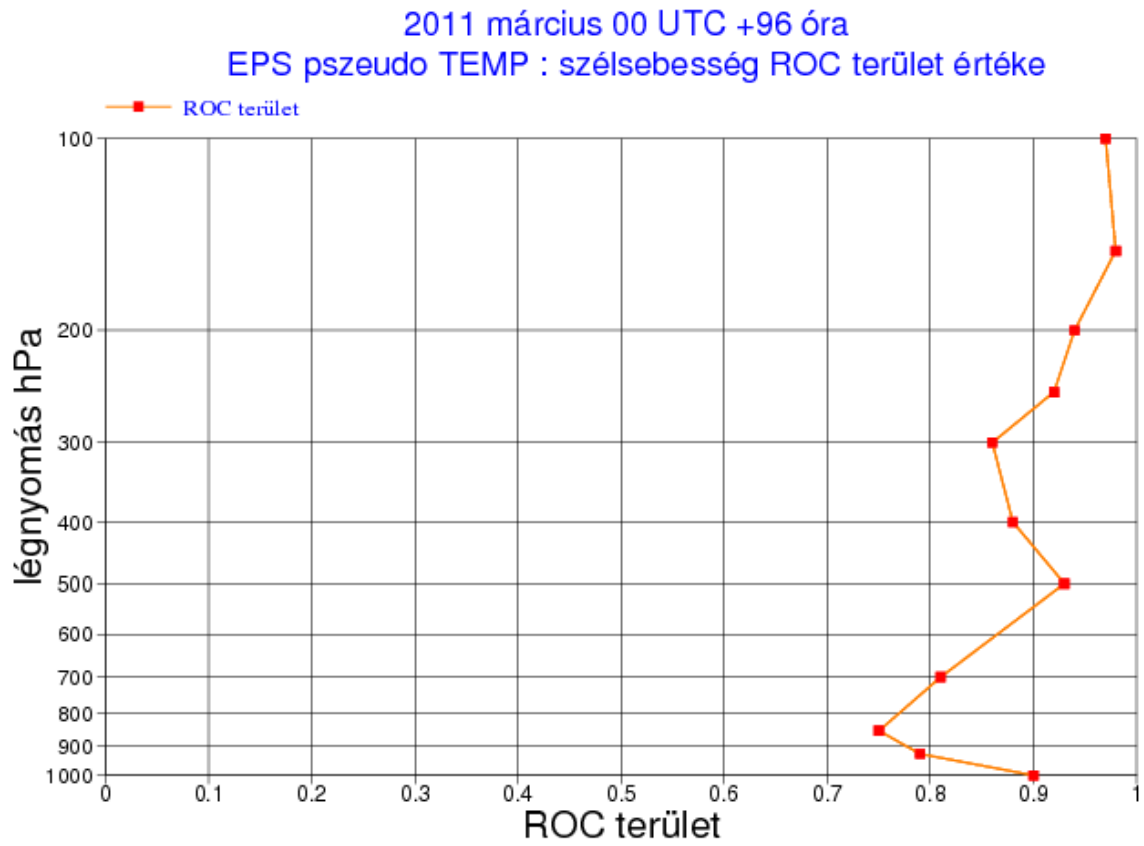
33	19348,78	0,259554	456,4813	443,3441
34	18798,82	0,291993	483,8506	470,1659
35	18141,3	0,326329	512,0662	497,9584
36	17385,6	0,362203	540,8577	526,462
37	16544,59	0,399205	569,9401	555,3989
38	15633,57	0,436906	599,031	584,4855
39	14665,65	0,475016	627,9669	613,4989
40	13653,22	0,51328	656,6129	642,2899
41	12608,38	0,551458	684,8491	670,731
42	11543,17	0,589317	712,5573	698,7032
43	10471,31	0,626559	739,5739	726,0656
44	9405,223	0,662934	765,7697	752,6718
45	8356,253	0,698224	791,0376	778,4036
46	7335,165	0,732224	815,2774	803,1575
47	6353,921	0,764679	838,3507	826,8141
48	5422,803	0,795385	860,1516	849,2512
49	4550,216	0,824185	880,608	870,3798
50	3743,464	0,85095	899,6602	890,134
51	3010,147	0,875518	917,2205	908,4403
52	2356,203	0,897767	933,2247	925,2226
53	1784,855	0,917651	947,6584	940,4416
54	1297,656	0,935157	960,5245	954,0914
55	895,1935	0,950274	971,8169	966,1707
56	576,3141	0,963007	981,5301	976,6735
57	336,7724	0,973466	989,7322	985,6311
58	162,0434	0,982238	996,8732	993,3027
59	54,20834	0,989153	1002,801	999,8373
60	6,575628	0,994204	1007,443	1005,122
61	0,00316	0,99763	1010,849	1009,146
62	0	1	1013,25	1012,049

2. Függelék



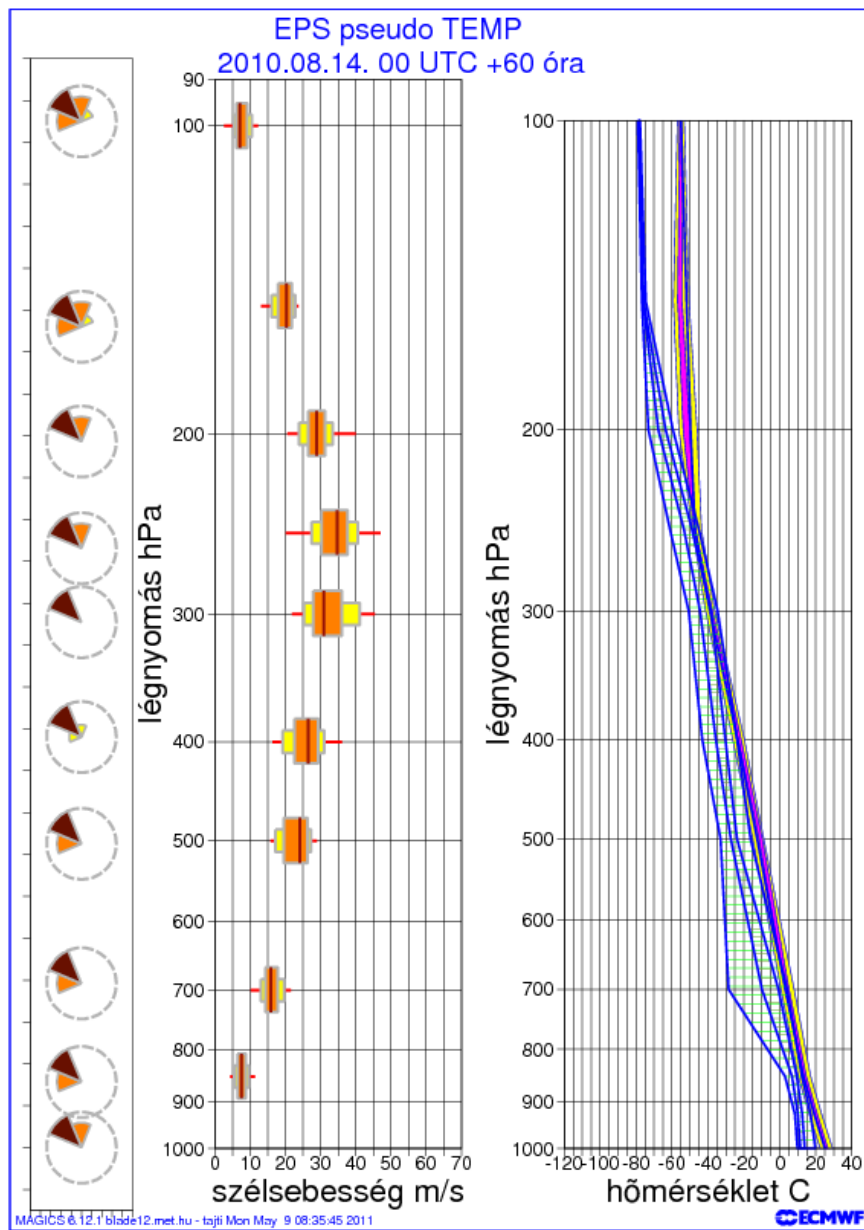
F2-1. ábra: 2010.04.01. és 2011.03.01. közötti időszakra relatív nedvességről készült Talagrand diagram, +72 órás előrejelzés.

3. Függelék



F3-1. ábra: 2011. március +96 órás szél előrejelzése alapján számított ROC terület profil.

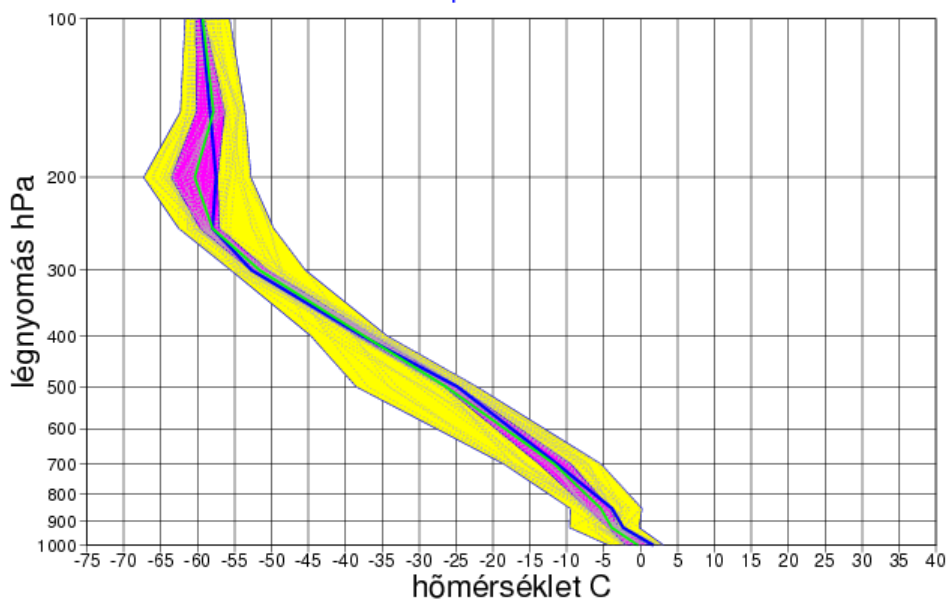
4. Függelék



F4-1. ábra: 2010. augusztus 14. 00UTC +60 órás EPS vertikális profil, Budapest.

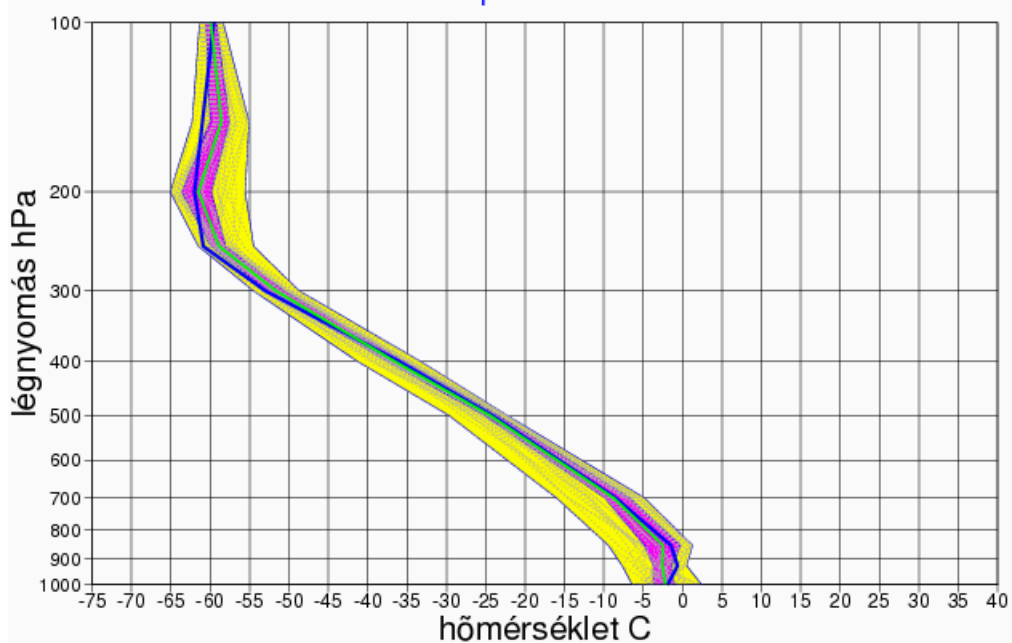
5. Függelék

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.01.26. 00 UTC +156 óra
EPS pseudo TEMP



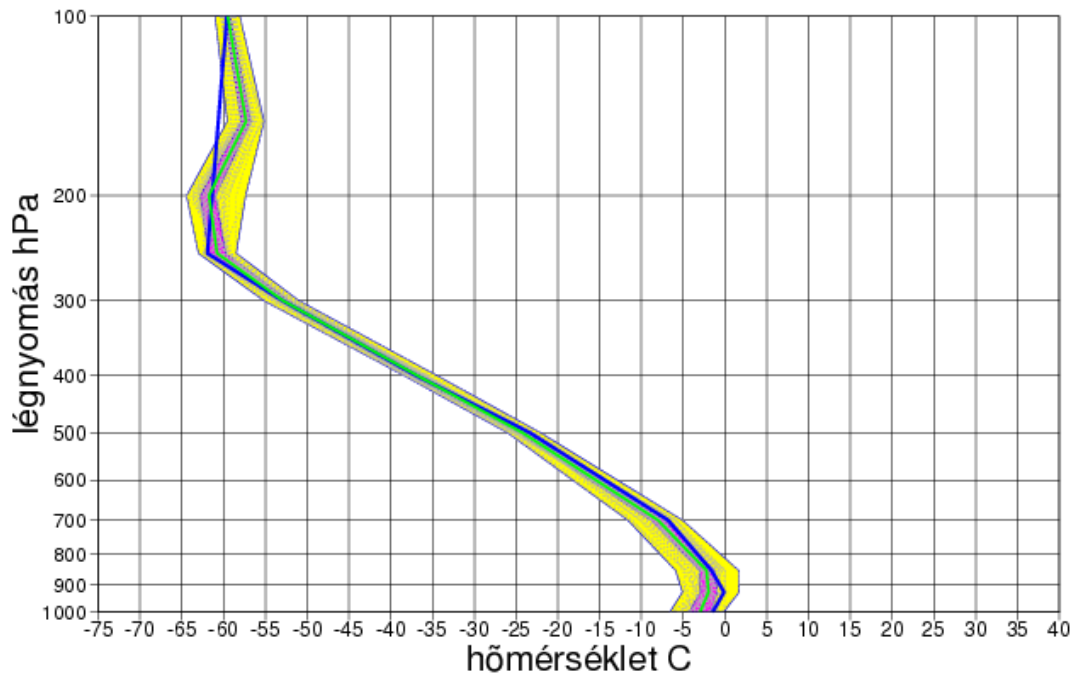
F5-1. ábra: 2011. január 26. 00 UTC-kor készült +156 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.01.27. 00 UTC +132 óra
EPS pseudo TEMP



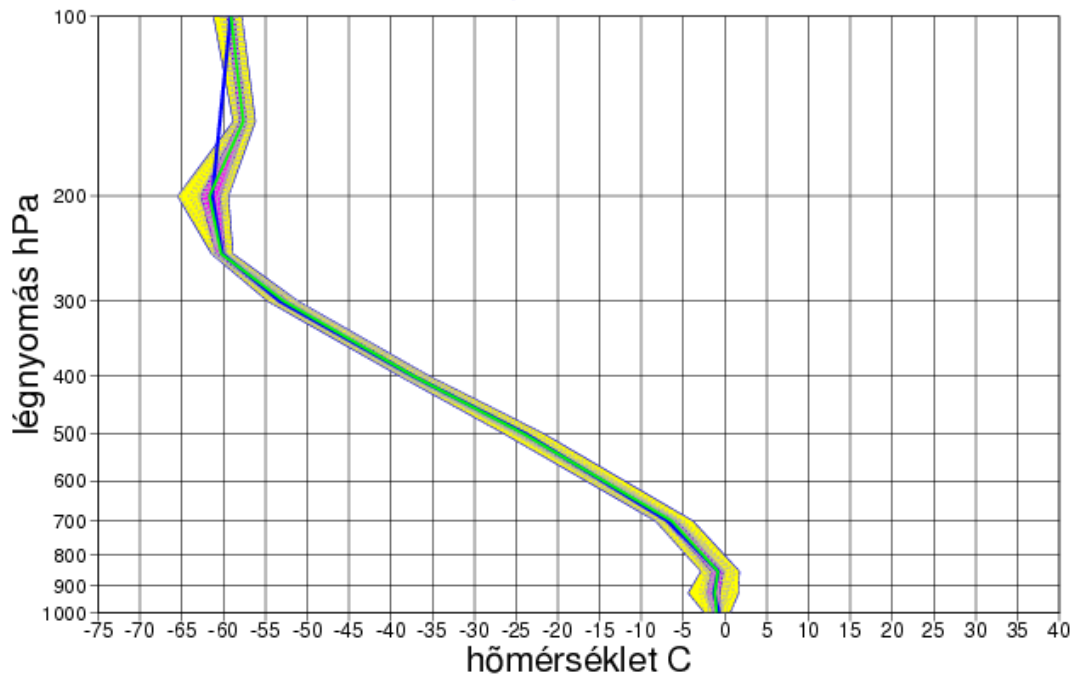
F5-2. ábra: 2011. január 27. 00 UTC-kor készült +132 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.01.28. 00 UTC +108 óra
EPS pseudo TEMP



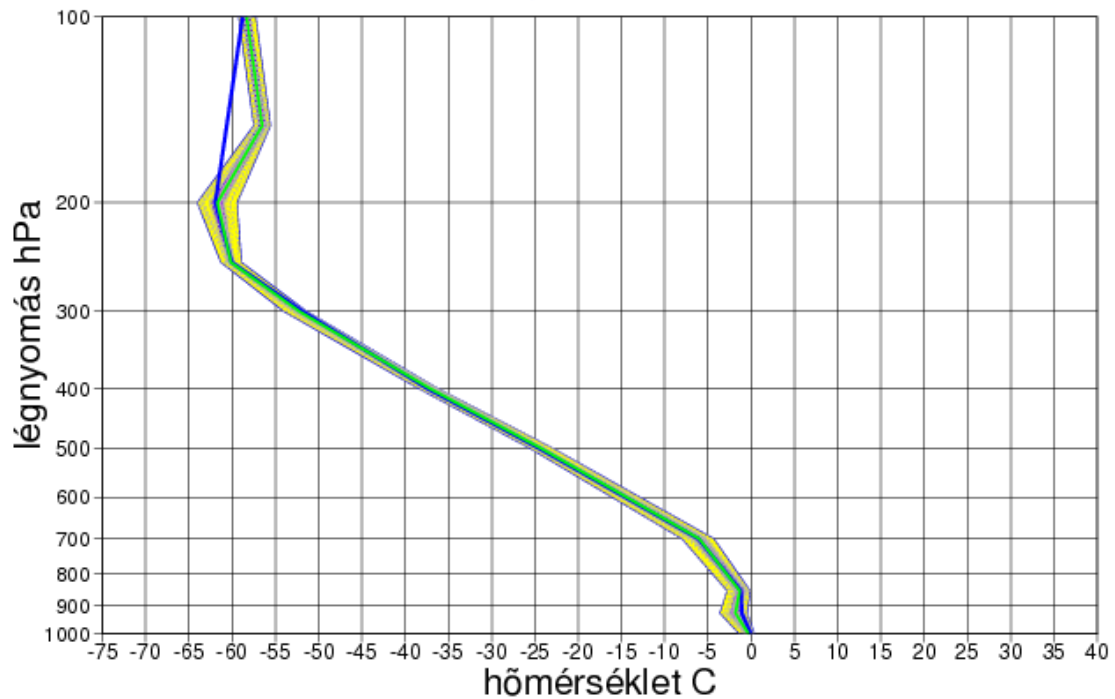
F5-3. ábra: 2011. január 28. 00 UTC-kor készült +108 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.01.29. 00 UTC +84 óra
EPS pseudo TEMP



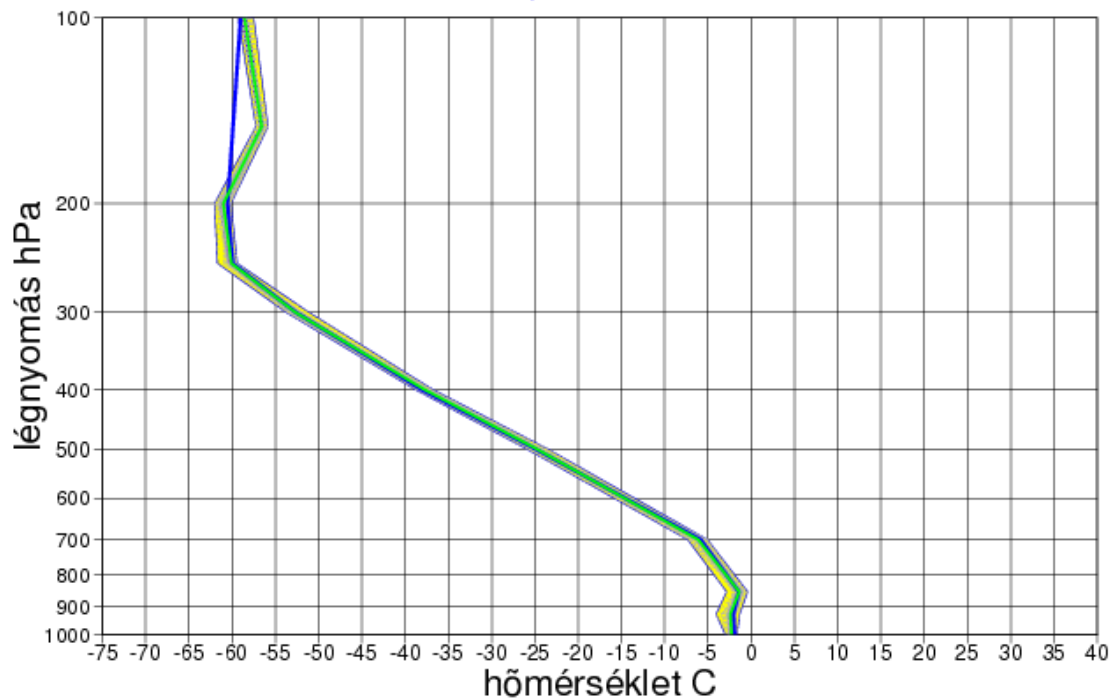
F5-4. ábra: 2011. január 29. 00 UTC-kor készült +84 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.01.30. 00 UTC +60 óra
EPS pseudo TEMP

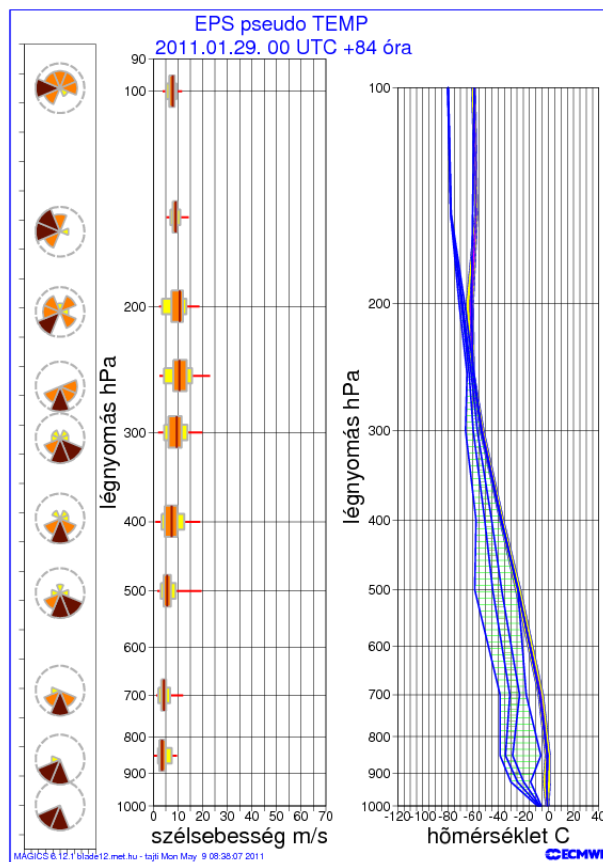
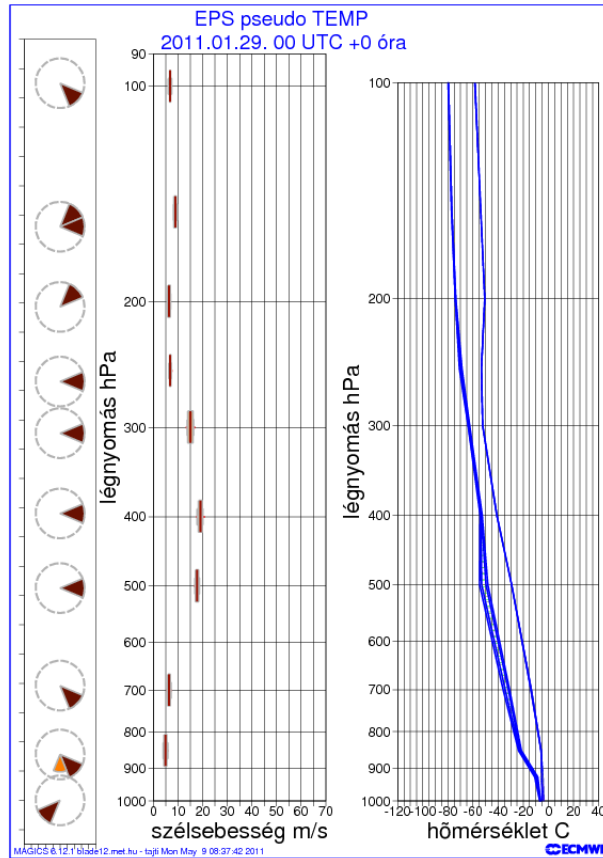


F5-5. ábra: 2011. január 30. 00 UTC-kor készült +60 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.

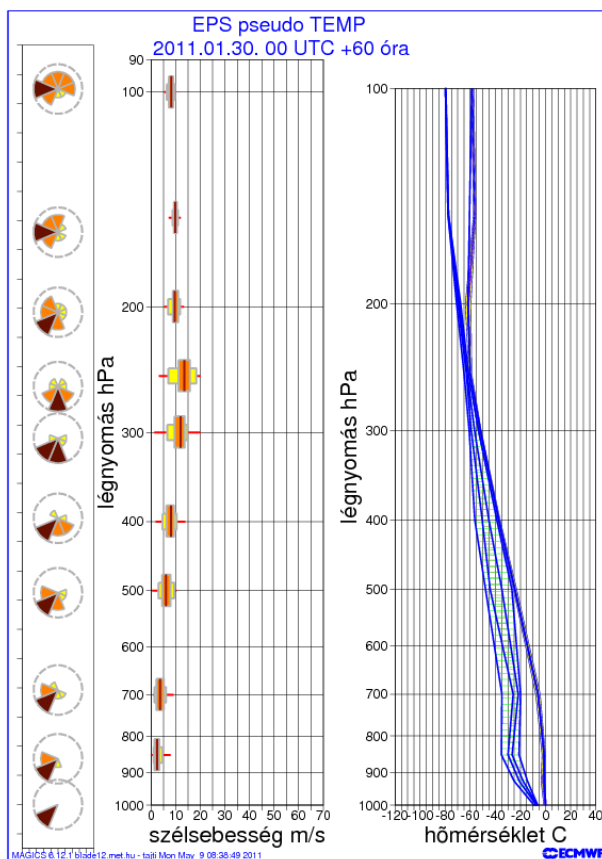
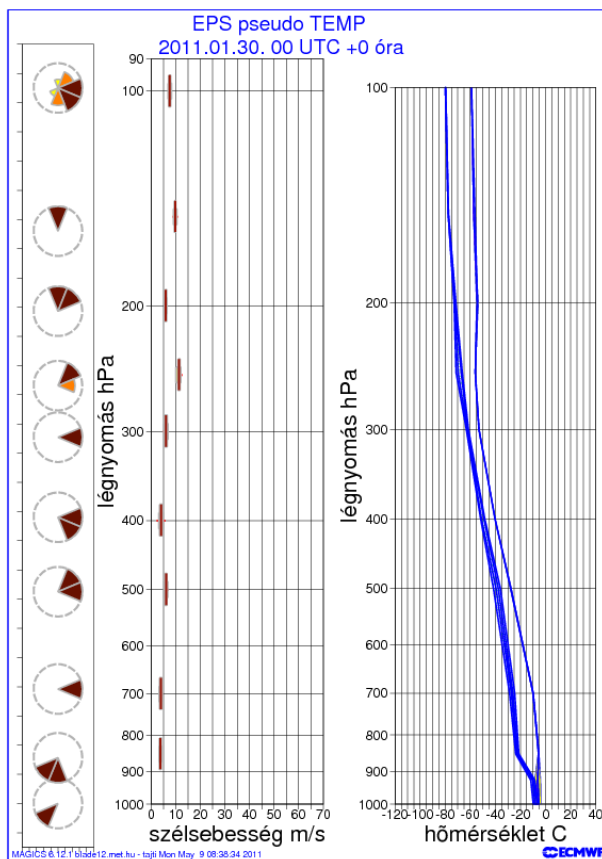
ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.01.31. 00 UTC +36 óra
EPS pseudo TEMP



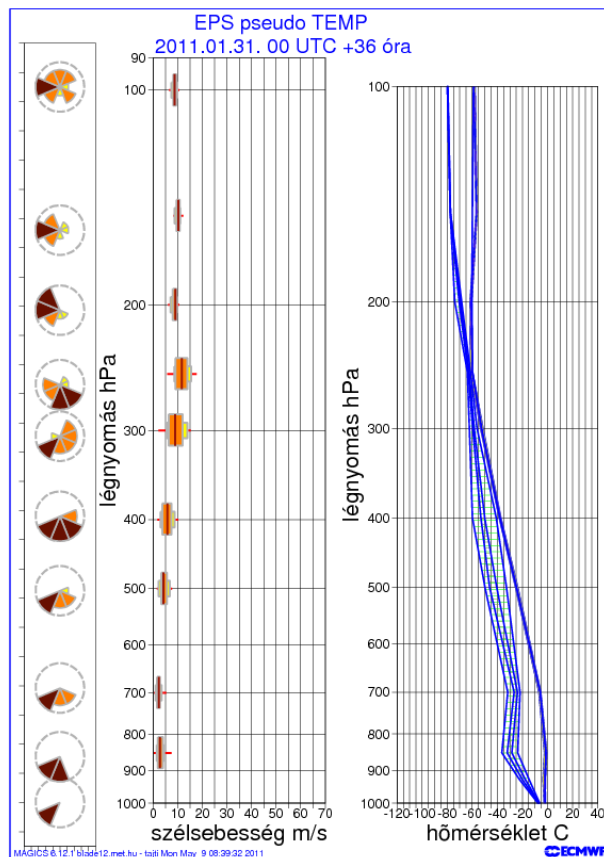
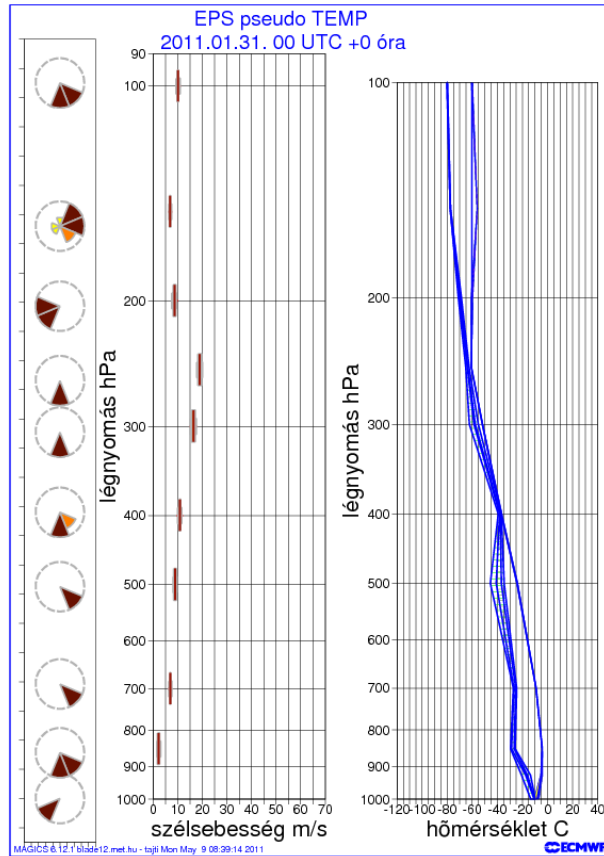
F5-6. ábra: 2011. január 31. 00 UTC-kor készült +36 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.



F5-7. ábra: 2011. január 29. 00 UTC-kor készült analízis és +84 órás komplett ensemble vertikális profil előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.

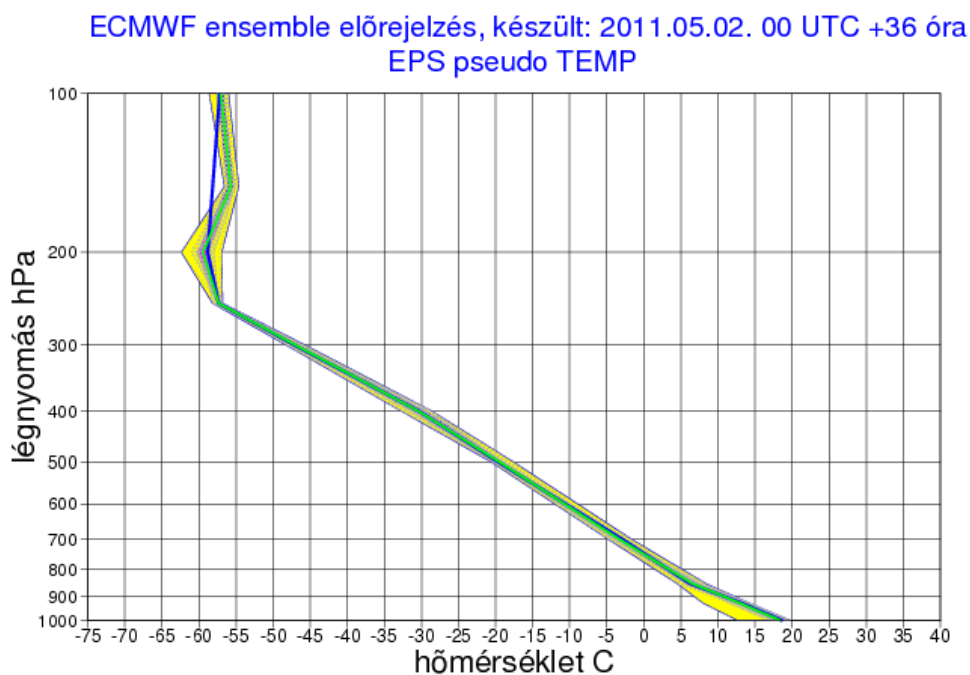


F5-8. ábra: 2011. január 30. 00 UTC-kor készült analízis és +60 órás komplett ensemble vertikális profil előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.

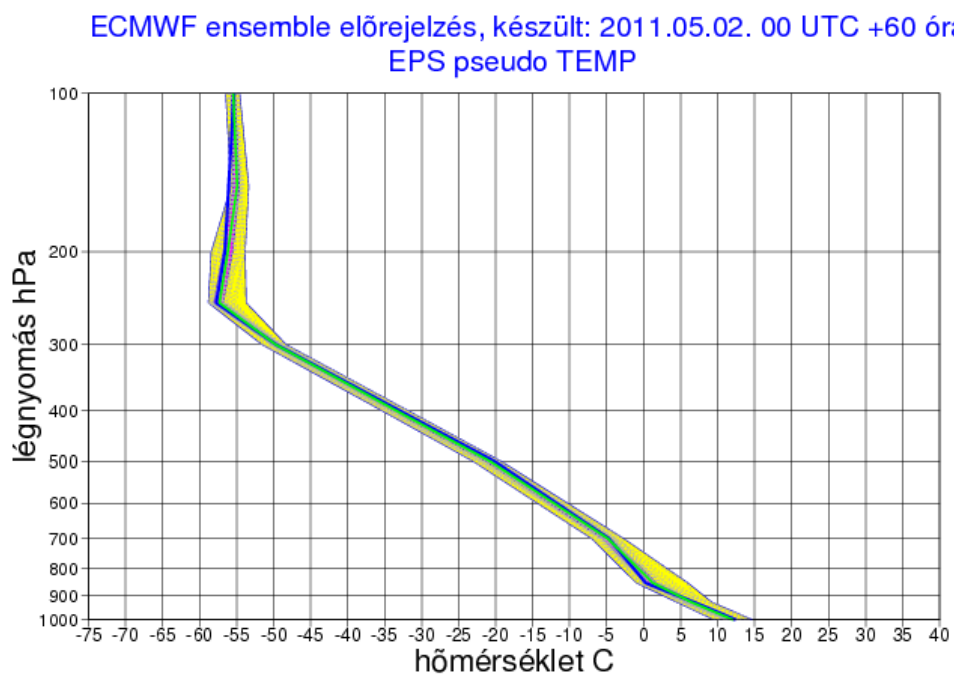


F5-9. ábra: 2011. január 31. 00 UTC-kor készült analízis és +36 órás komplett ensemble vertikális profil előrejelzés: érvényességi idő: 2011. február 1. 12 UTC.

6. Függelék

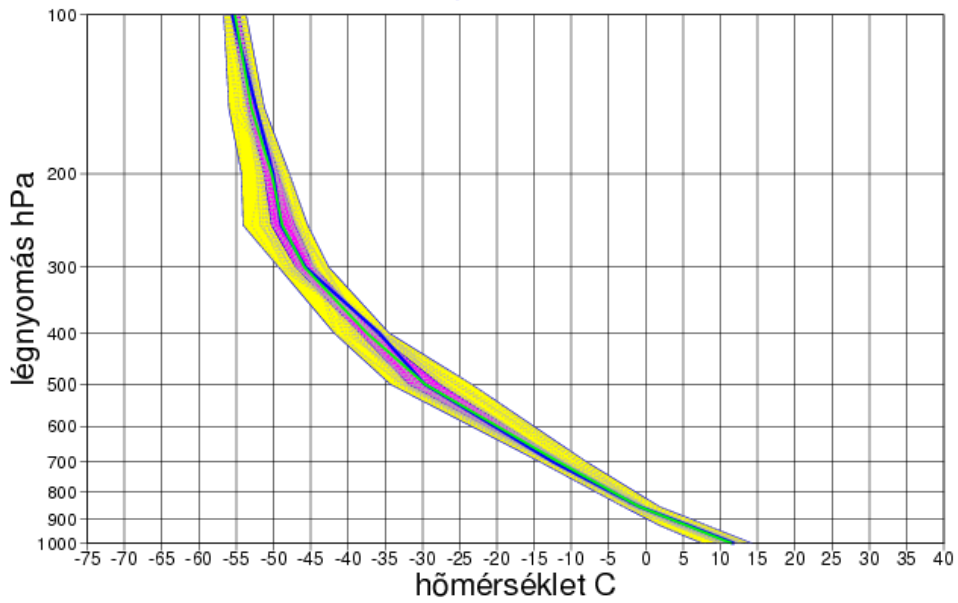


F6-1. ábra: 2011. május. 2 UTC-kor készült +36 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. május 3. 12 UTC.



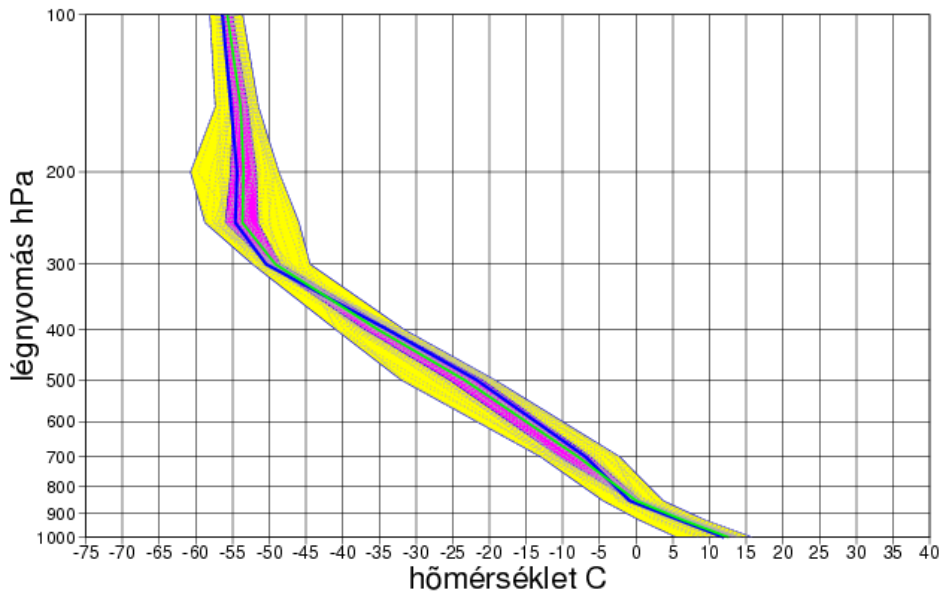
F6-2. ábra: 2011. május. 2 UTC-kor készült +60 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. május 4. 12 UTC.

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.05.02. 00 UTC +84 óra
EPS pseudo TEMP



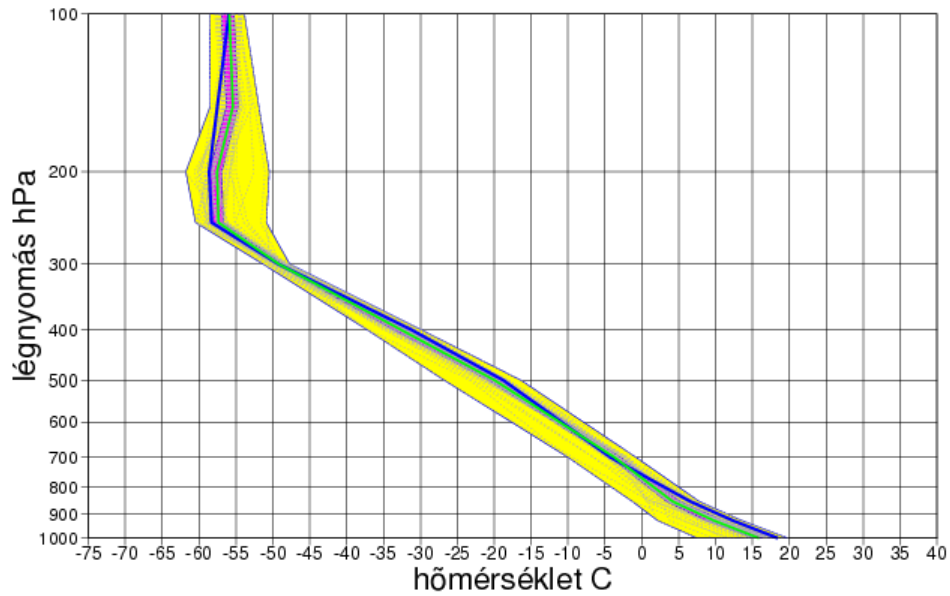
**F6-3. ábra: 2011. május. 2 UTC-kor készült +84 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. május 5. 12 UTC.**

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.05.02. 00 UTC +108 óra
EPS pseudo TEMP



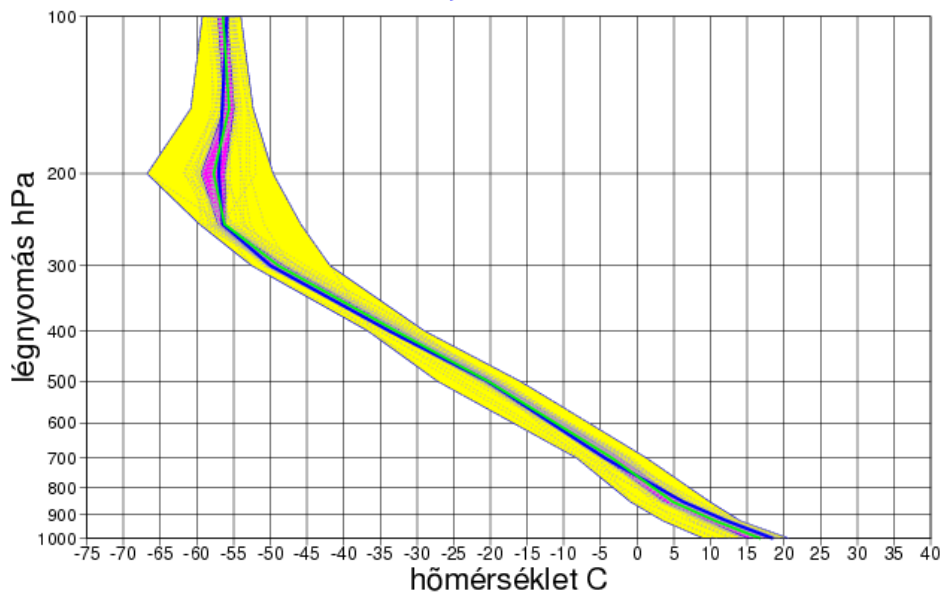
**F6-4. ábra: 2011. május. 2 UTC-kor készült +108 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. május 6. 12 UTC.**

ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.05.02. 00 UTC +132 óra
EPS pseudo TEMP

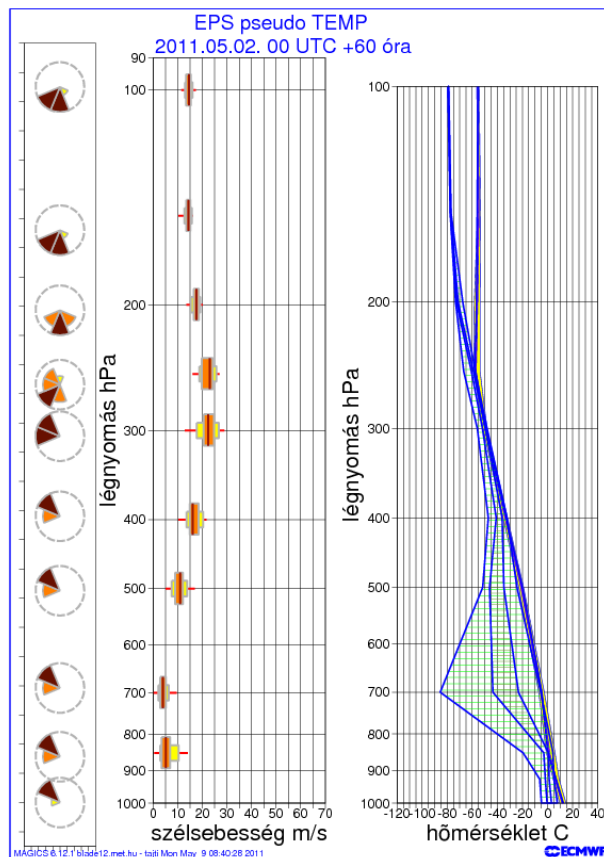
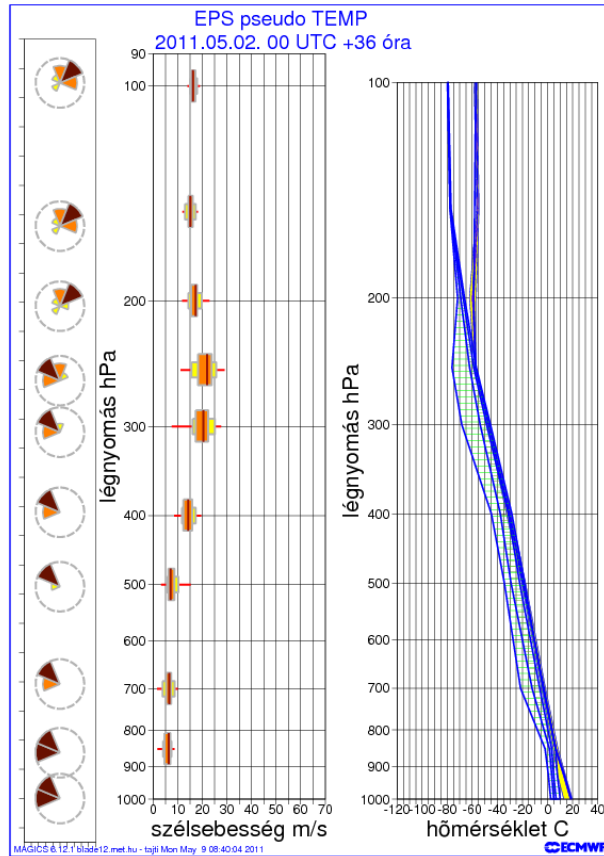


**F6-5. ábra: 2011. május. 2 UTC-kor készült +132 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. május 7. 12 UTC.**

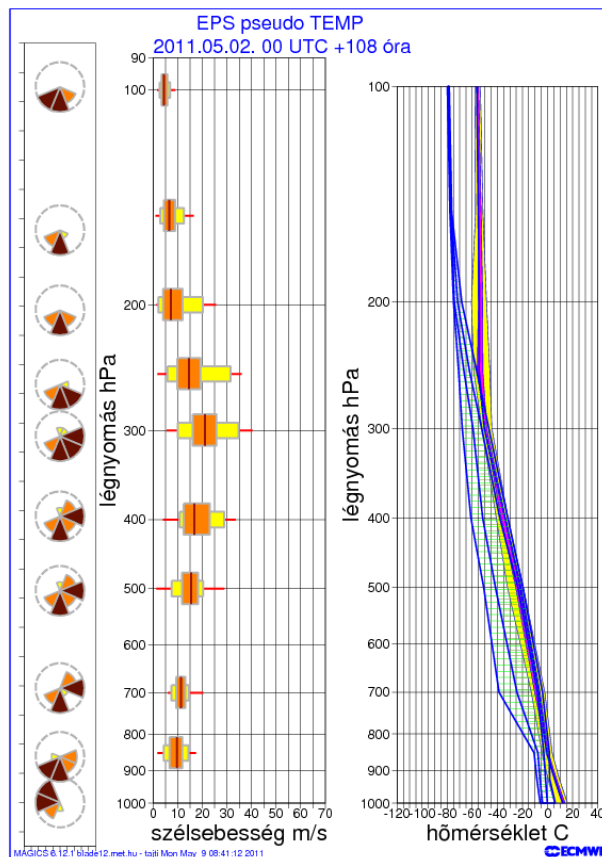
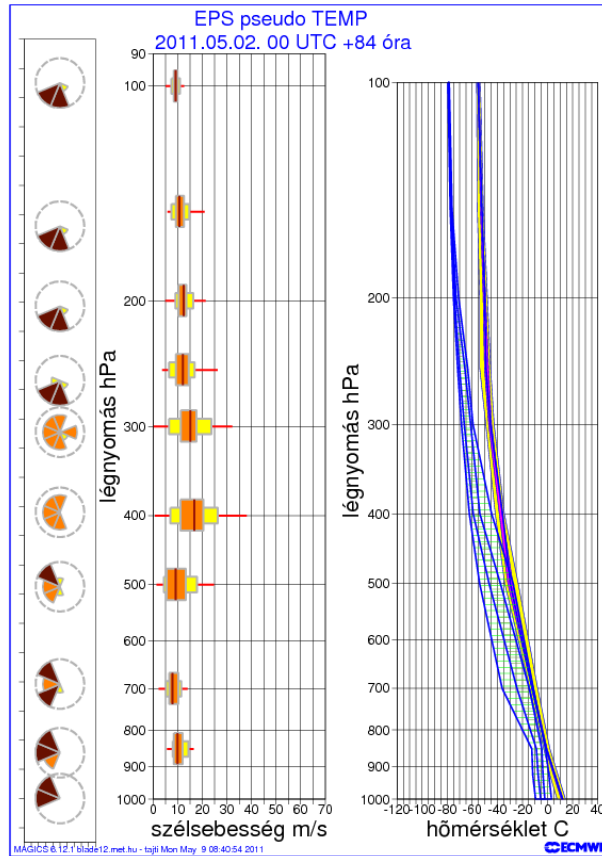
ECMWF ensemble előrejelzés, készült: 2011.05.02. 00 UTC +156 óra
EPS pseudo TEMP



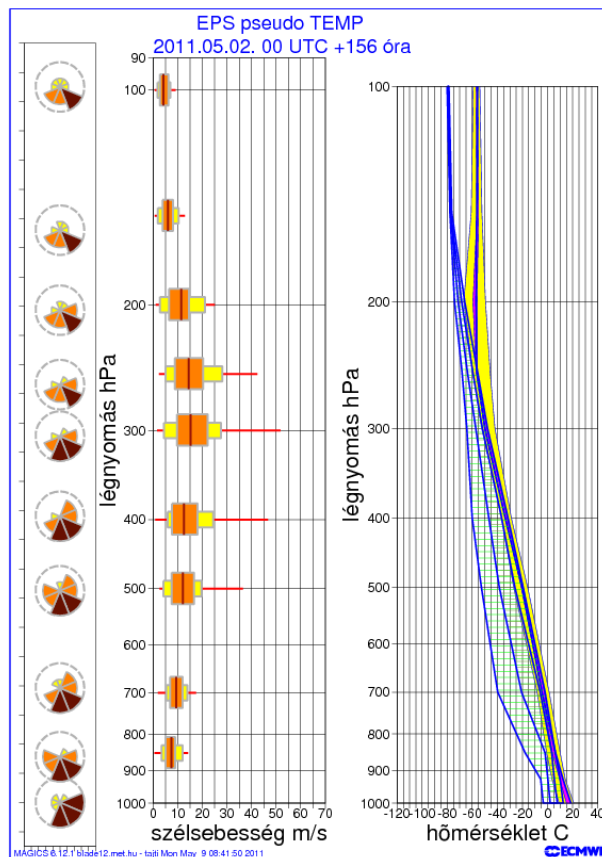
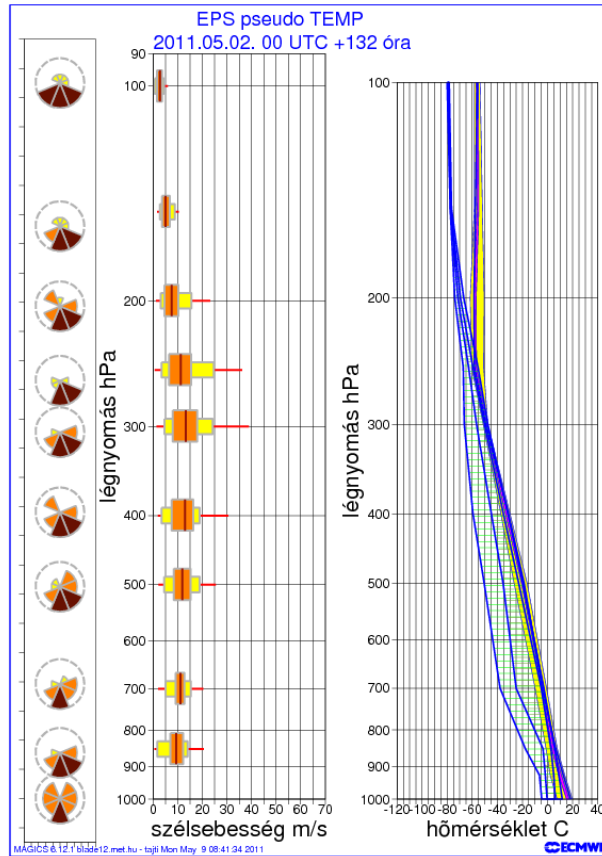
**F6-6. ábra: 2011. május. 2 UTC-kor készült +156 órás hőmérsékleti ensemble vertikális profil
előrejelzés: érvényességi idő: 2011. május 8. 12 UTC.**



F6-7. ábra: 2011. május 2. 00 UTC-kor készült +36 és +60 óras komplett ensemble vertikális profil előrejelzés: érvényességi idő: 2011. május 3. 12 UTC és 2011. május 4. 12 UTC.



F6-8. ábra: 2011. május 2. 00 UTC-kor készült +84 és +108 órás komplett ensemble vertikális profil előrejelzés: érvényességi idő: 2011. május 5. 12 UTC és 2011. május 6. 12 UTC.



F6-9. ábra: 2011. május 2. 00 UTC-kor készült +132 és +156 órás komplett ensemble vertikális profil előrejelzés: érvényességi idő: 2011. május 7. 12 UTC és 2011. május 8. 12 UTC.