

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Meteorológiai Tanszék

Grafikus és statisztikai módszerek alkalmazása a GFS (Global Forecast System) előrejelzési modell kiértékelésében



KÉSZÍTETTE:

Opre Gábor
V. éves meteorológus hallgató

Témavezető:

Pártai Lucia
(EWS)

Tanszéki konzulens:

Dr. Weidinger Tamás
(ELTE Meteorológiai Tanszék)

Budapest, 2010.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
1. A numerikus előrejelzés	5
1.1. A numerikus modellek főbb jellemzői	6
1.2. Megjelenítő rendszerek	10
1.3. Térképes megjelenési formák	12
2. A GFS modelleredmények alapján készített előrejelzési térképek	14
2.1. A térképek előállítása	14
2.2. A térképek bemutatása	18
2.3. A térképek interneten történő megjelenítése	37
3. A megjelenítések összehasonlítása más rendszerekkel	40
4. Interpoláció	46
4.1. Az interpoláció főbb jellemzői	46
4.2. Bináris fájl előállítása	47
4.3. Binárisból txt fájl	47
4.4. Interpolálás Microsoft Excelben	48
5. A GFS modelleredmények beválás-vizsgálata	51
5.1. A beválás-vizsgálatról általában	51
5.2. A determinisztikus előrejelzések verifikációja	51
5.3. A beválás-vizsgálat eredményeinek ábrázolása	57
6. Összefoglalás	63
Köszönetnyilvánítás	64
Függelék	65
Irodalomjegyzék	75

Bevezetés

Megbízható időjárás előrejelzések készítése elképzelhetetlen numerikus modellek futtatása nélkül. Egy olyan nem-lineáris rendszer esetében, mint a légkör csak modellezés révén tehetünk becsléseket a jövőbeli fejlődésre (Horányi, 2009). Az előrejelezhetőség egyik leglényegesebb forrása (s egyben korlátja is) az a tény, hogy a légkör nagyfokú érzékenységet mutat a kiindulási állapotra, azaz nagyon kis kezdeti pontatlanságok nagyon nagy előrejelzési bizonytalansághoz vezethetnek.

A XX. század elején merült fel annak a gondolata, hogy elméletileg is lehetséges az időjárás előrejelzése a légköri folyamatokat leíró fizikai törvényszerűségek alkalmazása révén (Bjerknes, 1904). A meteorológia hosszú utat tett meg az első egyszintes barotróp modelltől a mai nagyfelbontású globális modellekig (Götz, 2001). A számítógépkapacitás növekedésével a numerikus modellek egyre részletesebb és pontosabb előrejelzéseket szolgáltatnak: széles az alkalmazási területük az ultrarövid távú előrejelzésektől a klímamodellezésig (Kullmann, 2009).

A jó prognózis készítése megköveteli a numerikus modellek által szolgáltatott számszerű előrejelzések utófeldolgozást, a kapott eredmények megjelenítését.

Dolgozatom célja, hogy bemutassam az interneten szabadon elérhető Global Forecast System (GFS – globális előrejelző rendszer) meteorológiai előrejelző modell kimeneti adataiból készített különböző grafikus megjelenítéseket. Az EWS meteorológiai vállalkozás számára készített programcsomag megkönnyíti a napi előrejelzések készítését, a beválások számszerűsítését. A dolgozat közel két éves fejlesztőmunkám eredményeit tartalmazza.

Az előrejelzési térképek és diagramok nemcsak a meteorológusok munkáját segítik, hanem az interneten böngésző, a meteorológia iránt érdeklődő emberek számára is hasznos információt szolgáltatnak a várható időjárás alakulásáról. A számítógépes produktumok készítésénél ezt az igényt, a közérthetőséget is igyekeztem szem előtt tartani. A Magyarországra megjelenített meteorológiai állapotjelzők között szerepel a tengerszintre átszámított légnyomás, a 2 m, továbbá a 925 hPa és a 850 hPa-os nyomási szint hőmérséklete, a 2 m-es szint 3 órás maximum és minimum hőmérsékleti értéke, hőérzete, relatív nedvessége. A 10 m, a 650 hPa, és a 250 hPa szinten várható átlagos szélesebbesség, szélirány (felhőzet áthelyeződéséhez), emellett a 10 m-es szinthez tartozó maximális szélesebbesség értékei is megjelennek. Ábrázolom a csapadék mennyiségét,

halmazállapotát, típusát, továbbá a teljes, az alacsony, közép és magas szintű, valamint a konvektív felhőzet mennyiségét. Tetszőlegesen kiválasztott vertikális síkmetszeten mutatom be a relatív nedvesség, a hőmérséklet, illetve a szélesség és -irány profiljait.

A megjelenítésben helyet kapnak a zivatarok előrejelzését megkönnyítő lezármaztatott mennyiségek, mint a lifted index (LI), a best 4 layer lifted index, a konvektív hasznosítható potenciális energia (CAPE), a konvektív gátlás (CIN), a 0–6 km-es szintre vonatkozó szélnyírás, a talaj közeli nedvesség-konvergencia, illetve a kihullható vízmennyiség.

Közép-európai léptékben ábrázolom a tengerszintre átszámított légnyomást a csapadék mennyiséggel, továbbá a 850 hPa-os, és az 500 hPa-os szint magasságát (geopotenciálját) a hőmérséklettel, valamint a 700 hPa-os szint magasságát a relatív nedvességgel párosítva. Ezen kívül a felhőzet, a csapadék mennyisége, a hóborítottság és a szél is ábrázolásra került közép-európai léptékben. Az általam készített, 6 órás rendszerességgel frissülő előrejelzési térképek az interneten szabadon, bárki számára elérhetők.

A megjelenítő rendszer rugalmas, a bemutatásra kerülő kompozit térképek, metszetek tartalma, szerkezete könnyen változtatható, elősegíti egy egyedi fejlesztő-megjelenítő környezet kialakítását.

A megjelenítésen túlmenően, a dolgozatban bemutatom a 2009. november közepétől 2010. áprilisáig archivált GFS adatok, és az OMSZ által előállított napi jelentések adatainak összehasonlításából készített beválás-vizsgálatok eredményeit is.

A fejlesztőmunka során részletesen megismerkedtem a GRADS, meteorológiai adatok megjelenítésére szolgáló programozási nyelvvel, s a szinoptikus meteorológusok munkáját megkönnyítő megjelenítő rendszerek fejlesztésével, ami a meteorológia és az informatika egyik dinamikus fejlődő határterülete.

1. A numerikus előrejelzés

Numerikus (vagy számszerű) előrejelzésről beszélünk, ha az egyes meteorológiai állapothatározók (szélsébség, hőmérséklet, sűrűség, nyomás, nedvesség, stb.) előrejelzett értékeit számítások útján, valamilyen matematikai módszer alapján állítják elő. A numerikus előrejelzések döntő többsége hidrodinamikai módszerek felhasználásával készül. Ennek alapját a légkörben végbemenő változásokat, mozgásokat kormányzó fizikai törvények adják (Práger, 1982).

A felhasznált fizikai törvények a légköri mozgásokat leíró összefüggések, az impulzus, az energia, illetve a tömeg megmaradása (Newton II. törvénye, a termodinamika I. főtétele, a száraz és a nedves levegő, illetve a légköri víz kontinuitási egyenlete). Ezt az egyenletrendszert, kiegészítve az állapotegyenlettel, nevezzük a légkör hidro-termodinamikai egyenletrendszerének. Ez egy hét egyenletből álló nem-lineáris parciális differenciál egyenletrendszer. A hét ismeretlen: a három szélkomponens, a hőmérséklet, a nedvesség tartalom, a nyomás, valamint a sűrűség. A légköri folyamatokat leíró rendszer megfelelő kezdeti és határfeltételek (alsó-, felső, illetve szükség szerint oldalsó) megadása esetén megoldható. Meghatározhatjuk a légkör jövőbeli állapotát. A légköri hidro-termodinamikai egyenletrendszer megoldására matematikai modelleket alkalmaznak, a modellezni kívánt egyenleteket különböző numerikus sémák segítségével (véges különbséges, véges elem, pseudo-spektrális, spektrális) írják fel. A megoldások során különböző koordináta-rendszereket használnak: (pl.: Descartes-féle, szférikus, térképvetületi, felszínkövető, nyomási, izentrop, szigma, eta).

A numerikus előrejelzések fő szakaszai a gyakorlatban:

1. A modell számára meghatározzák a kezdeti- és peremfeltételeket az ún. adatasszimilációs folyamat során, hogy az integrálási tartományt lefedő, 3 dimenziós térbeli rács egyes pontjaiba a lehető legpontosabb, és az egyenletekkel konzisztens értékek kerüljenek. Ehhez szükség van a mérési adatok rácspontra történő interpolálására, és a korábbi modelleredmények ún. „first guess” mezők felhasználására.

2. Az egyenletrendszer numerikus megoldása, a modell integrálása. A folytonos térbeli és időbeli differenciál operátorok helyett véges differenciás közelítésekkel, vagy megfelelően illesztett, analitikus függvények deriválásával számolunk.

3. Végezetül a nyers modelleredmények utófeldolgozásra kerülnek. Erre azért van szükség, mert a felhasználók igényeit esetenként a nyers adatok nem elégítik ki. Fontos a különböző paraméterek származtatása az előrejelzett mezőkből. A modelleredmények megjelenítése is része az utófeldolgozásnak, de ide tartozik a verifikáció is. Felderíthetjük a modell speciális hibáit, hiányosságait (*Csima*, 2003).

Térbeli felbontás alapján globális és korlátos tartományú modellekről beszélhetünk. A globális modellek fontos szerepet töltenek be a nagyskálájú, szinoptikus folyamatok időbeli alakulásának előrejelzésében, továbbá peremfeltételeket biztosítanak a korlátos tartományú modellek számára. A korlátos tartományú modellek kisebb, országnyi, esetleg kontinensnyi területet fednek le. Térbeli, és időbeli felbontásuk nagyobb, mint a globális modelleké. A felbontás növelésénél figyelembe kell venni a kisskálájú folyamatokat, például a konvekciót, vagy a részletesebb felhőfizikai és határreteg parametrizációt. Néhány kilométeres rács távolság esetén már nem alkalmazható a kvázisztatikus közelítés. A térbeli felbontás alapján beszélünk hidrosztatikus és nem hidrosztatikus légköri modellekről (*Simon et al.*, 2006).

1.1 A numerikus modellek főbb jellemzői

E részben bemutatjuk a leggyakrabban használt numerikus modelleket. Nézzük őket sorban!

A **GFS** (Global Forecast System) egy USA fejlesztésű globális, hidrosztatikus, spektrális numerikus előrejelző modell, amelyet a világ sok helyén használnak. Vízszíntesen választható különböző térképsík feletti koordináta-rendszer, vertikálisan pedig szigma koordinátázást használ a modell. 64 vertikális szintre számol a talaj és a 0,27 hPa szint között (<http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html>). Az időbeli változások leírására a modell véges különbséges módszert használ, ezen belül is a leap-forg (békaugrás) semi-implicit sémát. A GFS modell T170 L42-es változata 2001. május 15-én jelent meg, s azóta is folyamatosan fejlesztik különböző parametrizációs eljárások beépítésével. A rácsfelbontás 0,5 fok x 0,5 fok. A rács távolság a mi szélességünkön ~56 km. *Y* irányban 384, *X* irányban pedig 768 rácspontot tartalmaz. A modell-produktumok Időbeli felbontása 0–180 óra között 3 óra, 192–384 óra között pedig 12 óra. 146 kimeneti (output) változót különít el. A modell egy IBM RS/6000 SP számítógépen fut az USA-ban, ahol az egy napra

történő előrejelzés kiszámítási ideje körülbelül 12 perc. A GFS eredmények az interneten szabadon elérhetők.

Az **ECMWF** a nyugat-európai országok és a volt Jugoszlávia által létrehozott Európai Középtávú Előrejelző Központ, amelynek hazánk is társult tagja (*Ihász, 2009*). Az itt futtatott, legfontosabb középtávú modellek főbb paraméterei a következők:

Detminisztikus modell: spektrális globális modell, ami már négydimenziós variációs adatasszimilációs sémát használ. 10 napos időtávra készít előrejelzést, időbeli felbontása 3 óra 72 óráig, illetve 6 óra 240 óráig. A térbeli felbontása horizontálisan 25 km x 25 km, vertikálisan pedig 91 szintet különböztet meg egészen 0,01 hPa-ig. Naponta két alkalommal frissül.

Ensemble modell: 10 illetve 15 napos időtávot használ. Jelenleg 50 ensemble tagot alkalmaz. Térbeli felbontása horizontálisan ~50 km x 50 km, vertikálisan pedig 62 szintet különít el. A modell eredményei az interneten csak korlátozottan érhetőek el.

JMA (Japan Meteorological Agency) **modell:** a Japánban kifejlesztett globális, spektrális modell operatív használata 1996-ban indult. A modellt folyamatosan fejlesztik. Rácsfelbontása 1,875 fok x 1,875 fok. 30 vertikális szintet tartalmaz, ahol a legalacsonyabb szint a felszín, a legmagasabb pedig 1 hPa. A számítások során véges különbséges módszert és szigma koordináta-rendszert alkalmaz. Az interneten szabadon elérhető (http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/modeldoc/amip2/jma_98a/jma_a.html).

Az **ALADIN** korlátos tartományú, spektrális numerikus előrejelző modell (*Horányi, 2003*), melyet az 1990-es években fejlesztettek ki a Météo-France-nál. Kezdetben egy globális skáláról valamely korlátos tartományra történő leképezésből, valamint a hidro-termodinamikai egyenletrendszer numerikus megoldásából álló hidrosztatikus modellből épült fel. Ma már bevezetés előtt van a nem-hidrosztatikus változata (AROME). Folyamatosan javítják a parametrizációs eljárásokat. A hazai modell vízszintes felbontása ~8 km, vertikálisan pedig 49 szinttel rendelkezik (*Sallai, 2009*). A kezdeti értékek meghatározása háromdimenziós variációs adatasszimilációs eljárással történik (3D VAR). A modell a határfeltételeket az ECMWF modellből kapja. A modellfuttatás naponta négy alkalommal történik (00, 06, 12 és 18 UTC-kor) 48 órás időintervallumra, az első 36 órára 1 órás, majd ezt követően 3 órás időlépcsővel. Az ALADIN modell csak részben érhető el az interneten.

Az **UKMO**, korlátos tartományú modellt az Egyesült Királyság Meteorológiai Szolgálatánál fejlesztették ki (*Cullen et al.*, 1997). Felbontása 2,5 x 3,75 fok. 19 vertikális szintet különböztet meg és szintén szigma koordináta-rendszert használ (*Cullen és Davies*, 1991). interneten szabadon elérhető.

A **WRF** (Weather Research and Forecasting) modell, magyar jelentése "Időjárás Kutatás és előrejelzés"). Elsősorban az NCAR (Amerikai Egyesült Államok Nemzeti Légkör Kutatási Központja), az USA meteorológiai szolgálata, és számos magánkézben lévő meteorológiai szervezet alkalmazza. Elterjedten használják a világ sok országában így hazánkban is. A modell a peremfeltételeket a GFS modellből nyeri. A WRF egy regionális modell, hidrosztatikus és nem hidrosztatikus beállításokkal, s a feladathoz illeszkedő rácsfelbontással, ami lehet akár 25 km, de néhány 100 m is. A vertikális felbontás is széles határok között változik, általában 25 és 37 közötti szinttel dolgoznak. A modellnek két változata van. A **WRF-ARW** (Advanced Research and Forecasting), amit elsősorban kutatási célra használnak, míg a **WRF-NMM** (Nonhydrostatic Mesoscale Model) nem hidrosztatikus mezoskálájú modellt operatív előrejelzések készítésére használják (<http://hu.wikipedia.org/wiki/WRF>). A WRF alkalmazható a konvekció, vagy pl. a baroklin hullámok szimulációjára, parametrizációs eljárások fejlesztésére, szélenergetikai vizsgálatokra (*Gyöngyösi et al.*, 2009), adatasszimilációs feladatokra, hurrikán-kutatásra illetve oktatásra (<http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/>). Említést érdemel a kémiai modulja (WRF-CHEM), és a különböző égitestek (Mars, Vénusz, Titán) modellezésére kifejlesztett változata.

A fentiekén kívül léteznek olyan további mezoskálájú modellek is, amelyek alapvetően a nowcasting rendszerre épülnek (*Sallai*, 2009). Ilyen például hazánkban a WRF-et megelőző **MM5** modell, ami egy nem hidrosztatikus opcióval is rendelkező, fejlett felhőfizikai, konvekciós, valamint sugárzási parametrizációval ellátott korlátos tartományú modell (*Simon et al.*, 2006). Oldalsó peremfeltételeit az ECMWF előrejelzései biztosítják. Az OMSZ-nél futó modellváltozat 6 km-es horizontális felbontással és 26 vertikális szinttel rendelkezik. A modell futtatásait a felszíni (SYNOP) és a magas légköri (TEMP) megfigyelésekkel, illetve ma már radar-adatokkal is kombinálják. Interneten csak korlátozva érhető el.

Az **AROME** modell az ALADIN modell nem hidrosztatikus változata. A modell Magyarország területére számol előrejelzett adatokat, horizontális felbontása 2,5 km x 2,5 km, vertikális felbontása: 49 szint. A határfeltételeket az ALADIN modell

adja. Interneten nem érhető el. Jelenleg folyik az operatív alkalmazás előkészítése az OMSZ-nél.

Az egyes modellproduktumok mellett fontos helyet foglalnak el a numerikus előrejelzésben a valószínűségi előrejelzési modellek. Az együttes vagy **ensemble** előrejelző rendszerek alkalmazása során több modellfuttatást végeznek, több kezdeti feltételt határoznak meg, még hozzá olyanokat, amelyek bármelyike valós és reális légköri kiindulási állapot lehet. A kissé különböző kezdeti állapotokból származtatott előrejelzések együttes kiértékelése fogja megadni azt az információt, hogy adott helyzetben a légkör viselkedése milyen mértékben jelezhető előre (*Hágel, 2009*). Amennyiben az összes előrejelzés hasonló lesz, úgy az előrejelzéseink mellé magas beválási mutatót rendelhetünk, ellenkező esetben éppen az időjárási helyzet bizonytalanságáról és annak mértékéről tudunk számot adni. (A beválás-vizsgálatokról a későbbiekben még részletesen lesz szó.)

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál alkalmazott időjárási és éghajlati előrejelző rendszer elemeit és azok alapvető jellemzőit az **1. táblázat** mutatja.

	Éghajlati skála	Középtáv (szezonális skála)	Rövidtáv	Ultra-rövidtáv
Modell(ek)	ALADIN-Climate és REMO	ECMWF: IFS	ALADIN	AROME
Ensemble komponens	Multi-modell	ECMWF EPS	ALADIN EPS	-
Tipikus felbontás és időtáv	10–25 km; 2021–2050, 2071–2100 (30 év)	25 km 10 napig 80 km 15 napig (EPS: 50 km)	8 km (EPS: 12 km), 2 nap	2–3 km; 24 óra
Oldalsó határfeltételek	ARPEGE-Climate, ECHAM5	-	ECMWF: IFS (ARPEGE EPS: PEARP)	ALADIN
Megjegyzés	ELTE: PRECIS és RegCM modellek	-	ALARO	-

1. táblázat. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál alkalmazott időjárási és éghajlati előrejelző rendszer konkrét elemei és azok alapvető jellemzői (*Horányi, 2009*).

További, ingyenesen elérhető modellek csak felsorolás szintjén: **ENS, GME, GEM, HIRLAM, NOGAPS, FAX, ETA.**

1.2. Megjelenítő rendszerek

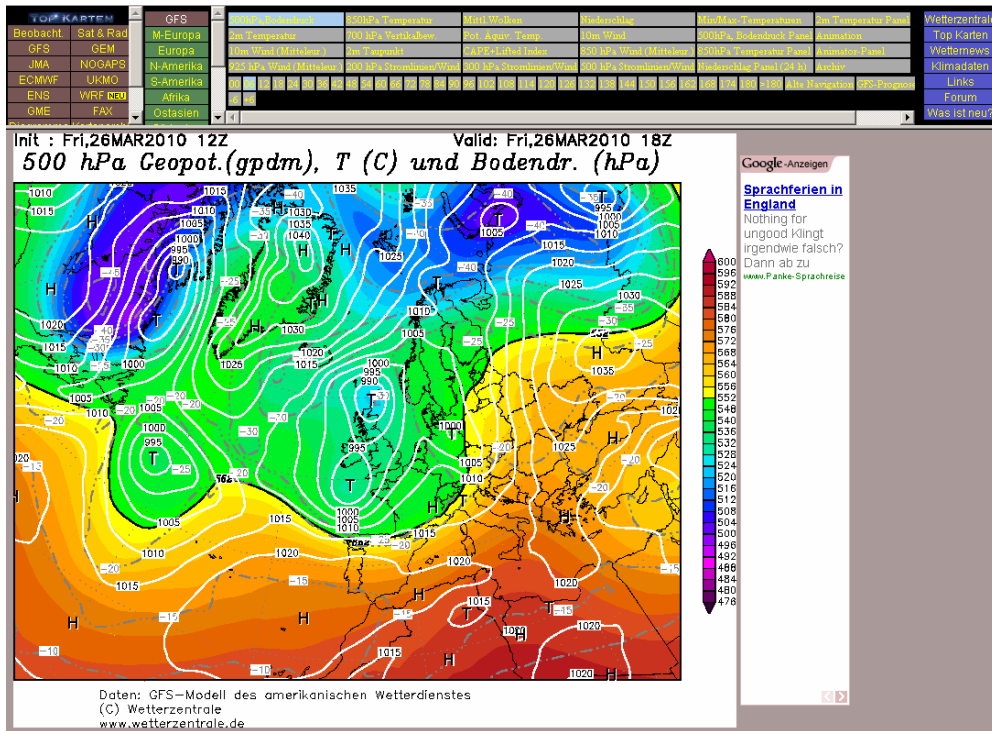
A numerikus modellek kimeneti adatai rendszerint GRIB formátumban jelennek meg. A GRIB elnevezés a GRIdded Binary szavakból ered. A GRIB fájlok rácspontokra interpolált meteorológiai mezőket tartalmaznak bináris formátumban. A GRIB formátum létrehozására először 1985-ben tettek javaslatot a WMO-ban. Napjainkra ez a formátum lett az egyik legelterjedtebb a meteorológiai adatközlésben. A GRIB fájlokat az adatközlés gyorsítása miatt tömörítik, eredeti formájukban nem használhatók fel. Nem csak meteorológiai változók értékeit tartalmazzák, hanem az adott meteorológiai mező azonosító adatai is megtalálhatók bennük, mint pl. a dátum, földrajzi koordináták, rácscélbontás. Egy GRIB fájl hat szekcióból áll. Az első négy szekció a GRIB leíró részeket tartalmazza. Az ötödik szekcióban vannak a bináris adatok, az utolsó szekció pedig a fájl lezárására szolgál (http://nimbus.elte.hu/oktatasi_anyagok/gribex/bev.html).

A világban a leginkább elterjedt modell adatok (GRIB fájlok) megjelenítő rendszere a **GRADS**. Ez egy olyan programozási nyelv, amely segítségével a tömörített GRIB fájlokból, grafikus formában térképeket állíthatunk elő (**1. ábra**). A számítógépes program Linux operációs rendszer alatt működik, a grafikus megjelenítéséhez X Windows rendszer szükséges. A szoftver leginkább egy átlagos programozó szoftverhez hasonlítható (fortran, basic, pascal), benne egymás után elhelyezett parancssorok műveletei hajtódnak végre. Közben utasításokat, eljárásokat, matematikai számításokat lehet beszúrni. Így készülnek el a különböző típusú grafikus megjelenítésű térképek.

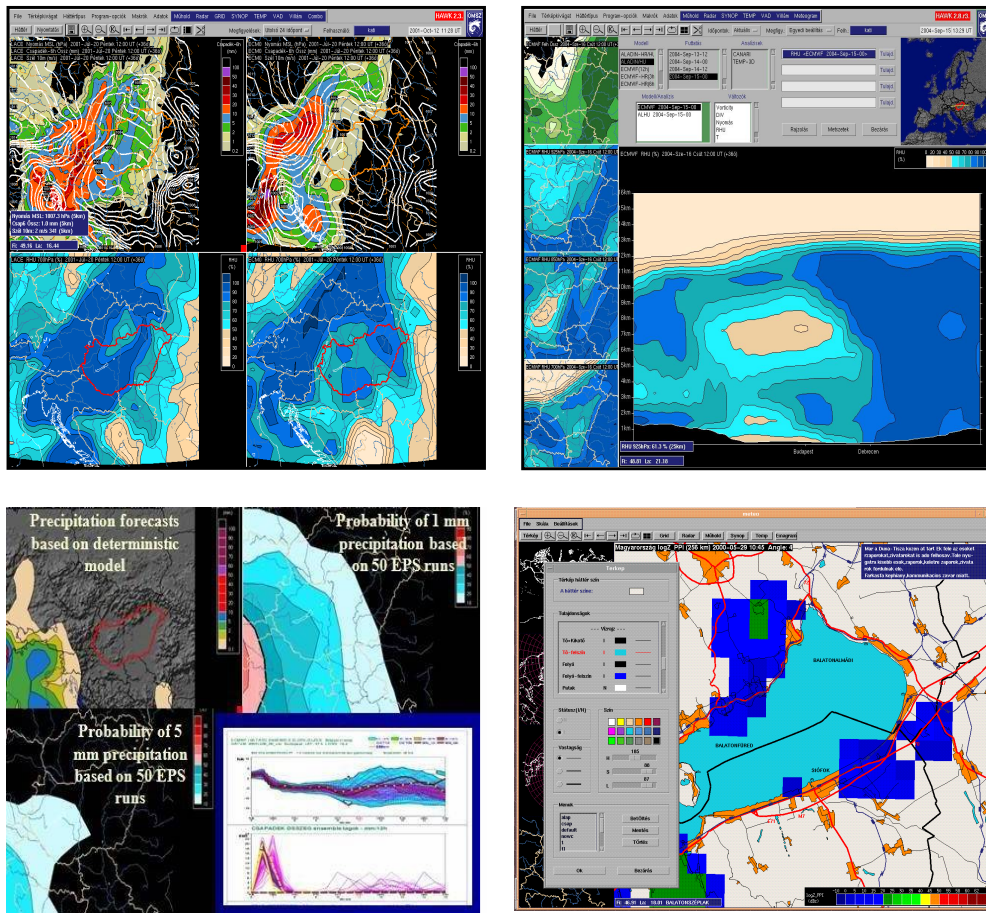
A GRADS konkrét képfájlokat állít elő, ami lényegében azt jelenti, hogy egy-egy frissítés esetén mindig előre elkészül az összes térkép. A látogatók az általam létrehozott előrejelzési térképeket egy internetes felületen kialakított megjelenítőn keresztül érhetik el, melyet később ismertetek részletesen.

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál a **HAWK-2** megjelenítő rendszert alkalmazzák. A HAWK-2 munkaállomás HP-UX és Linux operációs rendszer alatt működik, a grafikához X Windows rendszert használ. A program szinte teljes terjedelmében objektum orientált stílusban C++ nyelven íródott. A rendszer nagyszámú grafikus parancstáblát tartalmaz, amelyek Motif-fal lettek kifejlesztve.

(http://www.met.hu/omsz.php?almenu_id=homepages&mpx=0&pid=numprog&pri=2)



1. ábra. A német Wetterzentrale internetes megjelenítő rendszere.



2. ábra. Modell outputok megjelenítése az OMSZ HAWK-2 rendszerében.

A program grafikus felülete több ablakra van felosztva. Az ablakok egymástól függetlenül konfigurálhatók és tetszőleges mezőt képesek megjeleníteni (**2. ábra**).

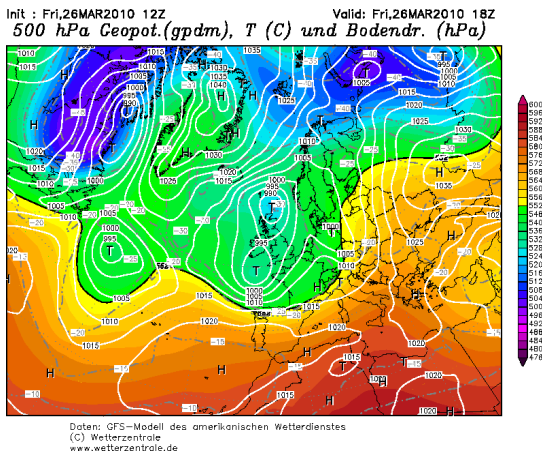
1.3. Térképes megjelenési formák

A leginkább elterjedt megjelenési forma, amikor egy térképen jelenítjük meg az adott elemet (<http://www.wetterzentrale.de>). A különböző térképek megjelenési formáit a **3. ábra** szemlélteti.

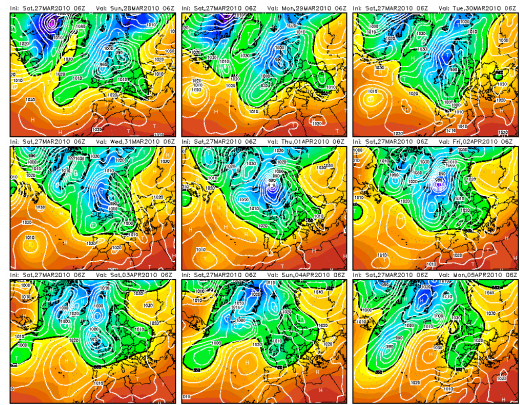
Az ensemble tagokat leggyakrabban bélyeg diagram formájában ábrázolják. A fáklya diagram egy adott földrajzi helyre vonatkozóan szemlélteti valamely nyomási, vagy magassági szinten egy kiválasztott elem perturbált kimeneteinek időbeli alakulását (*Hágel, 2009*).

A meteogramok szintén egy adott földrajzi helyre vonatkozóan szemléltetik a vizsgált meteorológiai elemek időbeli alakulását. Ezen kívül léteznek valószínűségi térképek, spagetti diagramok, clusterek, és verifikációk.

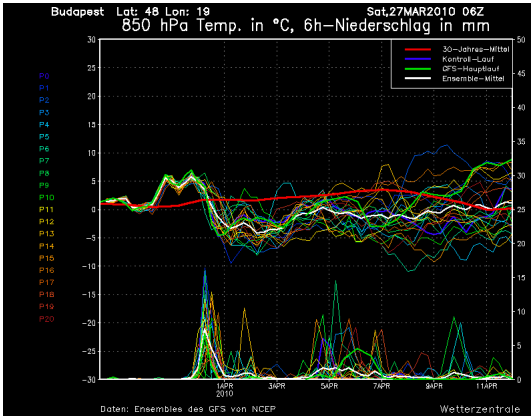
GFS geopot.- és izobártérkép, Közép-Európa



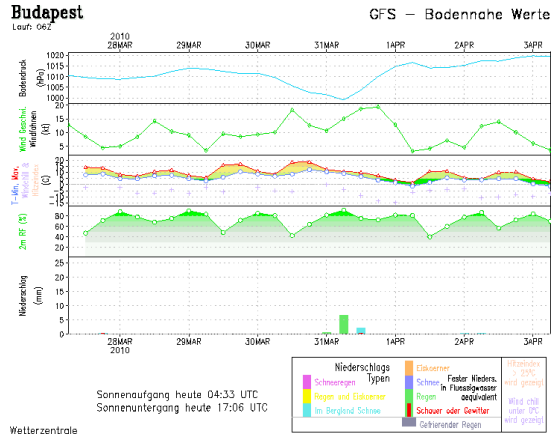
GFS bélyeg diagram, Közép-Európa



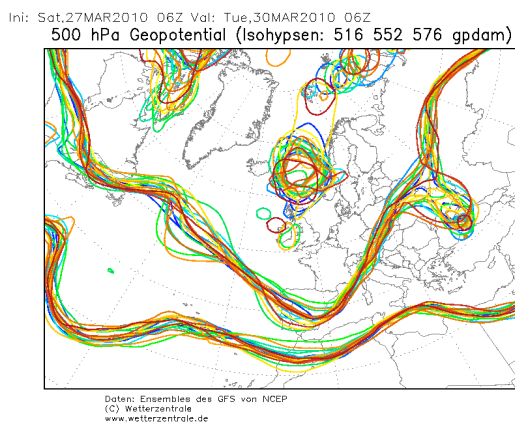
GFS fáklya diagram, Budapest



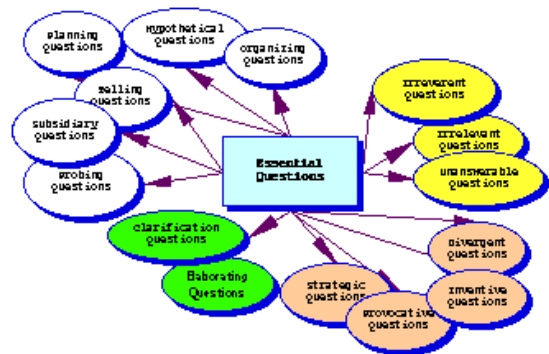
GFS meteogram, Budapest



ENS Spagetti diagram, Közép-Európa



Cluster diagram



3. ábra. Térkép és diagram megjelenési formák.

2. A GFS modelleredmények alapján készített előrejelzési térképek

2.1. A térképek előállítása

Az előrejelzési térképek elkészítéséhez GRADS programot használtam (<http://www.iges.org/grads/>). A GRADS egy külön, erre a célra fenntartott 3,1 Ghz-es processzor-sebességgel, 4 Gb memóriával és 1000 Gb merevlemezzel rendelkező számítógépen Linux operációs rendszeren fut. Az összehangolás meglehetősen bonyolult. A GFS modell bárki számára szabadon és ingyen elérhető GRIB kiterjesztésű adatfájljai az internetről egy script segítségével automatikusan töltődnek le a számítógépre. Az általam használt adathalmaz 61 db állományból áll, egyenként egy-egy időlépcsőhöz tartozó kimeneti adatokat tartalmaz (labilitással, sugárzással, hőmérséklettel, széllel, stb.) az egész Földre vonatkozóan, a 0,5 fok x 0,5 fok felbontású rácshálózatban. Mielőtt a GRADS-ot használni tudnánk, a 61 GRIB fájlból létre kell hozni egy ún. kontrollfájlt, ami tartalmazza a GRIB-ekben rejlő alapvető tulajdonságokat: a modellfutás kezdeti időpontját, a rácsfelbontást, az időlépcsők és a vertikális szintek számát, magasságát, a változók mennyiségét, végül pedig az egyes változókat külön-külön. A GRADS-ban ezekre a változókra hivatkozva tudjuk kirajzolni az adatokat. Ebben a fájlban lett kialakítva az az eljárás is, ami biztosítja, hogy a GRADS egyetlen fájlként tudja kezelni mind a 61-et, így könnyedén tudunk adott időintervallumra adatokat kirajzolni, akár egy egész hétre.

A különböző előrejelzési térképtípusokhoz tartozó forráskódok külön scriptek formájában készültek el. Az egyes scriptek utasításokból, ciklusokból és eljárásokból állnak (*if* utasítások, *while* ciklusok, kerekítő függvények, stb.).

Alapvetően a következő meteorológiai elemeket hívom meg a GRADS-ban: a tengerszintre átszámított légnyomást, a 2 méterre vonatkozó átlagos, minimum, valamint maximum hőmérsékleteket, a harmatpontot. A 10 méterre vonatkozó átlagos szélsősebesség komponenseket (U, V). A hőmérséklet, a relatív nedvesség, a geopotenciál, illetve a szélsősebesség komponensek profilját. Használok a csapadék mennyiséget, továbbá a hó és az ónos eső halmazállapotára vonatkozó 0, vagy 1 értékkel visszatérő változókat, valamint a hóborítottságot. A teljes, az alacsony, a közép és magas szintű,

valamint a konvektív felhőzet mennyiségét jelölő változókat. Munkámban szerepel a lifted index, a best 4 layer lifted index, a konvektív hasznosítható potenciális energia, a konvektív gátlás és a kihullható vízmennyiség.

A lifted index meghatározásakor egy individuális légrézecsckét a talajfelszínnel érintkező levegőrétegből indítunk el fölfelé a száraz, majd a nedves adiabata mentén. Az emelkedő légrézsz kezdeti hőmérséklete, harmatpontja illetve nyomása megegyezik ennek a legalsó 500 méteres légrétegnek az átlagos hőmérsékletével, harmatpontjával illetve nyomásával. Az emelési kondenzációs szint elérése után a légelemet nedves adiabatikusan emeljük tovább az 500 hPa-os szintig. Az ott felvett hőmérsékletét kivonjuk a zavartalan környezet 500 hPa-on lévő hőmérsékletéből. Így a hőmérséklet-különbséget egyetlen szinten, az 500 hPa-os főizobár-szinten vesszük figyelembe. A két profil egy-egy pontban metszi az 500 hPa-os szintet.

A lifted index kiszámítása:

$$LI = T_{500} - T'$$

ahol

T_{500} : az 500 hPa-os nyomási szint hőmérséklete,

T' : az emelkedő légrézsz 500 hPa-os nyomási szinten felvett hőmérséklete.

A konvekció szempontjából az a megfelelő, ha a légelem melegebb a környezeténél (tehát az LI értéke negatív), és minél alacsonyabb a lifted index, annál kedvezőbbek a feltételek a zivatarok kialakulásához. A lifted index mérőszámait a **2. táblázat** mutatja.

LI	Leírás
2 felett	zápor, vagy zivatar nem valószínű
0 – 2	zápor, vagy zivatar előfordulhat
-2 – 0	zivatar valószínű
-4 – -2	zivatar kialakulása egészen bizonyos, akár a heves kategóriát is elérheti
-4 alatt	heves zivatar valószínű

2. táblázat. A lifted index mérőszámai.

A lifted index továbbfejlesztése a 4 layer best lifted index. Számításakor a modell legalsó négy szintjéből (1000, 975, 950 és 925 hPa) indulunk ki, és mindegyikhez meghatározzuk a hozzájuk tartozó lifted index értékeket. Ezek közül azt választjuk, amelyik a leglabilisabb (azaz a legalacsonyabb) értéket adja vissza. Előnye a hagyományos *LI*-vel szemben, hogy nemcsak a felszíni eredetű konvekciót veszi figyelembe, hanem azzal is számol, hogy esetlegesen a részecske egy magasabb szintről indul, emellett képet ad arról, hogy milyen mértékű az alsóbb légrétegek maximálisan lehetséges labilitása.

A programon belül, az egyes elemek meghívásánál a könnyebb érthetőség szempontjából egységesítettem az alaplértékegységet. További leszármaztatott paramétereket is használok (<http://www.answers.com/topic/windchill>). A hőérzet becslésére a következő képletet alkalmaztam:

$$T_{wc} = 13,12 + 0,6215 * T - 11,37 * V^{0,16} + 0,3695 * T * V^{0,16} ,$$

ahol:

- T_{wc} : a hőérzet,
- T : a 2 méterre vonatkozó hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$],
- V : a 10 méterre vonatkozó szélesség [km/h].

Amellett, hogy megjelenítünk egy-egy változót, külön meg kell határozni a GRADS számára, hogy mekkora területre, továbbá milyen formában szeretnénk azokat megjeleníteni (sávós színezéssel, kontúrvonalakkal, grafikus formában, stb.).

Amennyiben nem a programba beépített alapértelmezett színskálát szeretnénk használni, a színpalettát is külön meg kell tervezni, illetve a forráskódját el kell készíteni. Miután kiválasztottuk a megjelenítés formáját, színezetét, meg kell határoznunk, hogy milyen osztásközöket kívánunk használni. Például a csapadék mennyiséget ábrázoló kontúrvonalak 1, 5, vagy 10 mm-enként legyenek megrajzolva. Esetenként definiálni kell a megjelenítendő érték minimumát, illetve maximumát, továbbá a heti ingását is. A térképeken levő karakterek formázását, valamint a szövegsorok helyét szintén külön kell a program számára megadni.

A térképkészítés során hibalehetőségek is fennállnak. Jellegzetes hiba, amikor a Magyarországot lefedő rácshálózathoz tartozó értékek mindenhol nullák, például a

csapadék esetében. Ekkor a GRADS automatikusan a szokásostól eltérő színben, hibafelirattal jeleníti meg a térképet. Az ilyen hibaforrásokat utasításokkal ki lehet küszöbölni.

A folyamat során elkészül az 1., majd a 2., végül pedig a 61. időlépcsőhöz tartozó térkép, végezetül pedig külön képfájlként valamennyi elmentésre kerül. A térkép-készítés folyamata két lépcsőben történik. Először a 0–48, majd az 51–180 órának megfelelő előrejelzési térképsorozat készül el. Erre azért van szükség, mert a GRIB fájlok egymás után, folyamatosan töltődnek le az internetről, s addig is, amíg valamennyi letöltődik, előállíthatók már térképek. Ezzel időt takaríthatunk meg, s emellett az első két napra történő előrejelzés már egészen korán megjelenik az interneten.

Egy teljes frissítés során a GRADS-ban körülbelül 50 db script fut le. Ezek terjedelme egyenként 8–15 oldal, esetenként ennél is nagyobb. E feladatokat ütemezni kell.

A feladatok ütemezését a Linuxhoz tartozó crontab funkció látja el. A crontab segítségével adott napon, adott időpontban tetszőlegesen futtathatók az ütemezni kívánt programok, ez a Linux operációs rendszer nagy előnye. Az egyes scriptek meghívása csoportosan egymásba ágyazott bach file-ok segítségével történik. Külön elkészített bach fájlok végzik a kontrol fájlban a kiindulási dátum átírását, a GFS GRIB fájlok letöltését 3 lépésben. Külön GRADS scripteket készítettem a 0–48, ill. az 51–180 óráig történő futtatások lebonyolítására, az elkészült térképek internetre való feltöltésére, illetve az egyes adatsorok archiválására, vagy törlésére.

2.2. A térképek bemutatása

Az előrejelzési térképek nemcsak a meteorológusok munkáját segítik. A tervezésnél a közérthetőségre is törekedtem, így bárki, aki rákeres az interneten, némi megértést segítő szöveg elolvasását követően értelmezni tudja. Olyan leszarmaztatott térképeket, metszeteket is létrehoztam, amelyek az interneten, szabadon elérhető adatbázisban még nem szerepelnek. Az előrejelzési térképek naponta háromszor, 0, 12 és 18 UTC greenwichi középideőnek megfelelően elkészült modell output alapadataiból automatikusan frissülnek. A térképeken az időpontok mindenhol UTC-ben jelennek meg. Magyarországnyi kivágat esetében a 45–49,5 fok szélességi, valamint a 15,5–23,5 fok hosszúsági, Közép-európai kivágat esetén a 39–59 fok szélességi, valamint a 4–40 fok hosszúsági, illetve a geopotenciál térképek a 34–65 fok szélességi és –11–40 fok hosszúsági körök által közrefogott rácsponatok adatai alapján, 3 órás időléptékben, 0,5 fokos rácsfelbontásban jelennek meg.

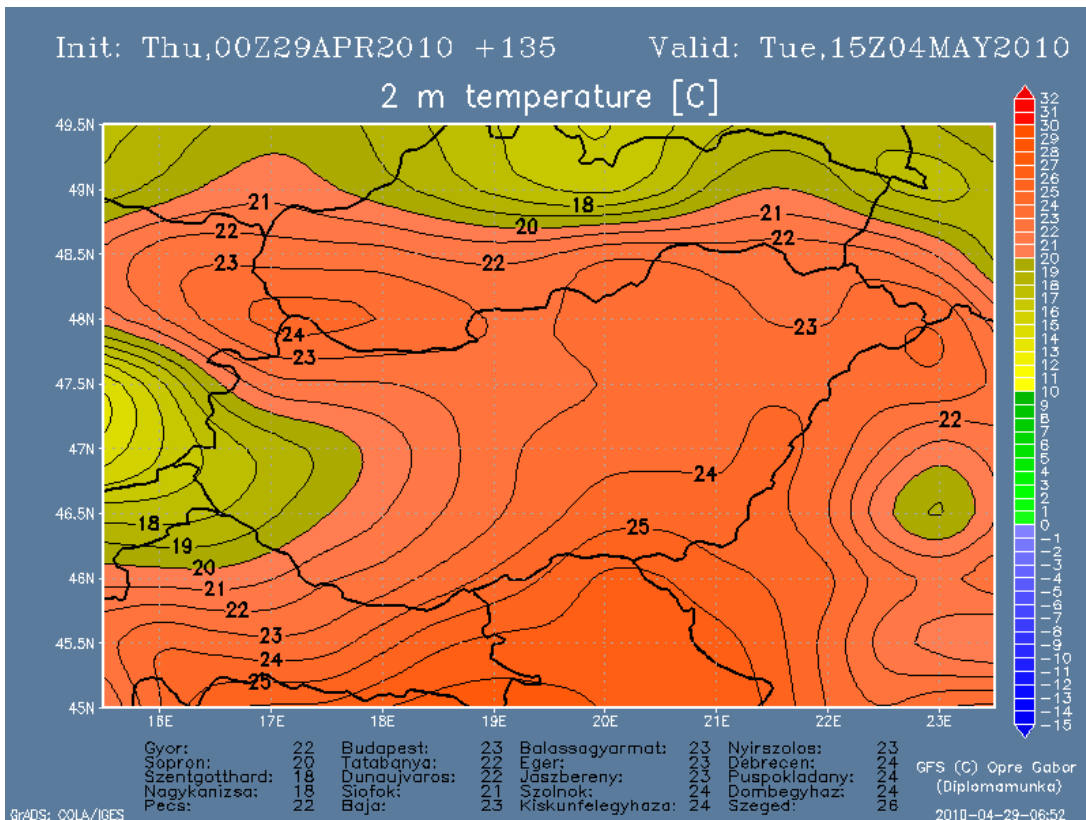
A térképek feliratozása angol nyelven történik, elsősorban azért, mert a GRADS programmal ékezetes karaktereket nem tudtam megjeleníteni, másrészt így külföldi érdeklődők is könnyedén el tudnak köztük igazodni, hiszen magyar, illetve angol segítséget egyaránt tartalmaz a leírás.

A térképek bal felső sarkában található az előrejelzéshez felhasznált adatok kiindulási időpontja UTC-ben megadva, jobb oldalon, pedig az előrejelzés időpontja látható, (amikorra szól az előrejelzés). A térképen megjelenített paraméterek megnevezése ezen időpontok alatt, középen van feltüntetve. A színskála általában a térkép jobb oldalán jelenik meg. A térképek alján 20 magyar település értékei külön is megjelennek, amelyek közelítőleg egyenletesen fedik le Magyarország területét. Ezzel a segítséggel a látogató kiválaszthatja a számára legközelebbi települést, és az arra vonatkozó értékek alapján könnyedén tájékozódhat. A képek jobb alsó sarkán a produktum készítésének ideje látható magyar idő szerint. Nézzük a térképeket, melyeket többnyire a **4. ábrán** látható sorrendben, az elkészítés idejének megfelelően ismertetek! Bemutatásra a 2010. április 29.-én reggel elkészült produktumokat választottam, ezen belül is a május 4. 15 UTC időpontra szólóan. Erre a napra a GFS modell változatos időjárást jelzett előre Magyarország területére: napsütést, felhősödést, illetve záporokat, elszórtan zivatarokat is. A bemutatás szempontjából előnyös, ha minél több időjárási elem jelen van a térképeken, segítik a megértést.

- Hőmérséklet 2 m
- Csapadék
- Csapadékösszeg
- Felhőzet, csap., szél
- Szállókés, áramlások
- Rh, hőm., szél profil
- Diagramok
- Hó, ónos eső
- Hó-, ónos esőösszeg
- Max-min hőmérséklet
- Napi csapadékösszeg
- Környező országok
- Hóborítottság
- 6 paneles HD megjelenítő
- Labilitás
- Hedvesség-konvergencia
- Talaj, 850, 700, 500 hPa

4. ábra. A térképek internetes megjelenítésének sorrendje.

A 2m-es szint **hőmérsékleti képe** az 5. ábrán látható.



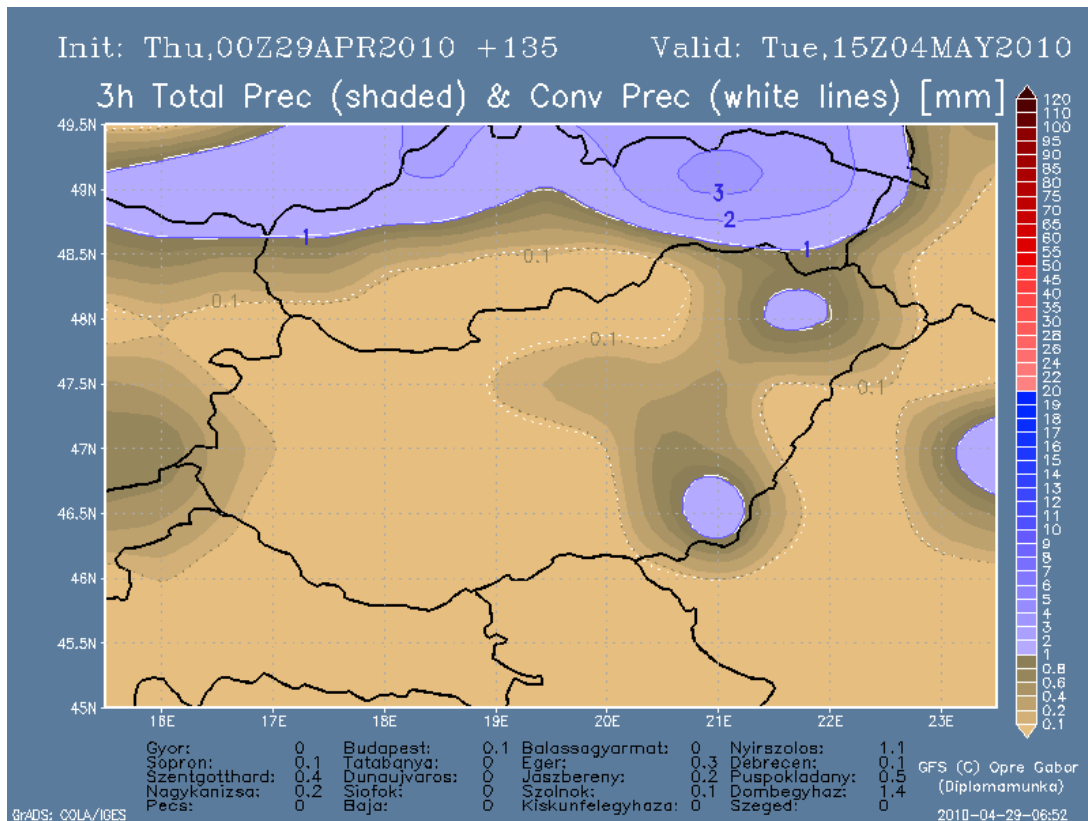
5. ábra. Hőmérséklet térkép, 2010. május 4. 15 UTC.

A színskála $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól egészen $45\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ig terjed, de az évszaktól függően a jó megjelenés érdekében ezt az intervallumot szűkítem. $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatti hőmérséklet egyre inkább sötétedő kék árnyalatban jelenik meg, a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ fölötti érték sötétedő zöld árnyalatban, $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ felé haladva sötétedő citromsárga, majd $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól fölfelé narancssárga, $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól fölfelé piros, végül bordó színben jelenik meg a várható hőmérséklet. Fekete színnel a kontúrvonalakat ábrázoltam $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -onként.

A 2 m -es szint hőmérsékletének ábrázolásánál figyelembe kell venni a modell $0,5$ fokos ($55,6\text{ km}$) rácsfelbontását. Egy-egy rácspont nem feltétlenül esik egybe a Magyarországon előforduló hegycsúcsokkal, vagy éppen a fagyugos völgyekkel, így a domborzati hatások által, a környezethez képest kialakuló hőmérséklet-különbségek a térképen nem jelennek meg. A megjelenő értékeket átlagosan kell értelmezni. A hidegpárnás helyzeteket a GFS modell nem veszi figyelembe, ennek értelmében hideg légpárna helyzetben az éjszakai minimum hőmérsékletek akár $5\text{--}8\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal is alacsonyabbak lehetnek a valós értékeknél, és a nappalra előrejelzett értékek ugyanennyivel magasabbak lehetnek.

Az **6. ábrán** a várható csapadék alakulását követhetjük sávos színezés, illetve kontúrvonalak segítségével mm-ben kifejezve. A legkisebb jelzett csapadékmennyiség $0,1\text{ mm}$. 1 és 20 mm között a kontúrvonalak 1 mm -enként jelennek meg kék színnel, 20 mm -tól fölfelé pedig 2 mm -enként, pirosas színnel. Ezen kívül a 10 mm -es határok fekete szaggatott vonallal ki vannak emelve. A sávos színezés is ennek megfelelő. A színskála 1 mm alatti csapadék esetében a homok színének árnyalatából lett felépítve. $1\text{--}20\text{ mm}$ között sötétedő kék árnyalat, majd 20 mm fölött a sötétedő piros színárnyalat jelenik meg.

A fehér színnel jelölt vonalak a konvektív csapadék mennyiségét jelzik. Ezen belül a pontvonal a $0,1\text{ mm}$ -t, a szaggatott vonal az 1 mm -t jelzi, a folytonos vonal pedig 5 mm -enként mutatja a várható konvektív csapadék mennyiségét. A konvektív csapadékot a globális modell területi átlagban határozza meg. Amikor egy körülbelül $50\text{ km} \times 50\text{ km}$ -es körzetben az előrejelzési modell 2 mm konvektív csapadékot vár 3 óra intervallumra, akkor ez a mennyiség úgy oszlik meg ezen a területen, hogy körülbelül egy $10\text{ km} \times 10\text{ km}$ -es körzetben lezúdulhat hozzávetőlegesen 20 mm , s a terület egy kisebb hányadán, pedig $1\text{--}2\text{ mm}$ záporosó. Amennyiben az összes várható csapadékmennyiség fölött nem jelenik meg a konvektív csapadékforma, abban az esetben a várható mennyiségtől függően hosszán tartó csendes eső, illetve télen havazás a legvalószínűbb.

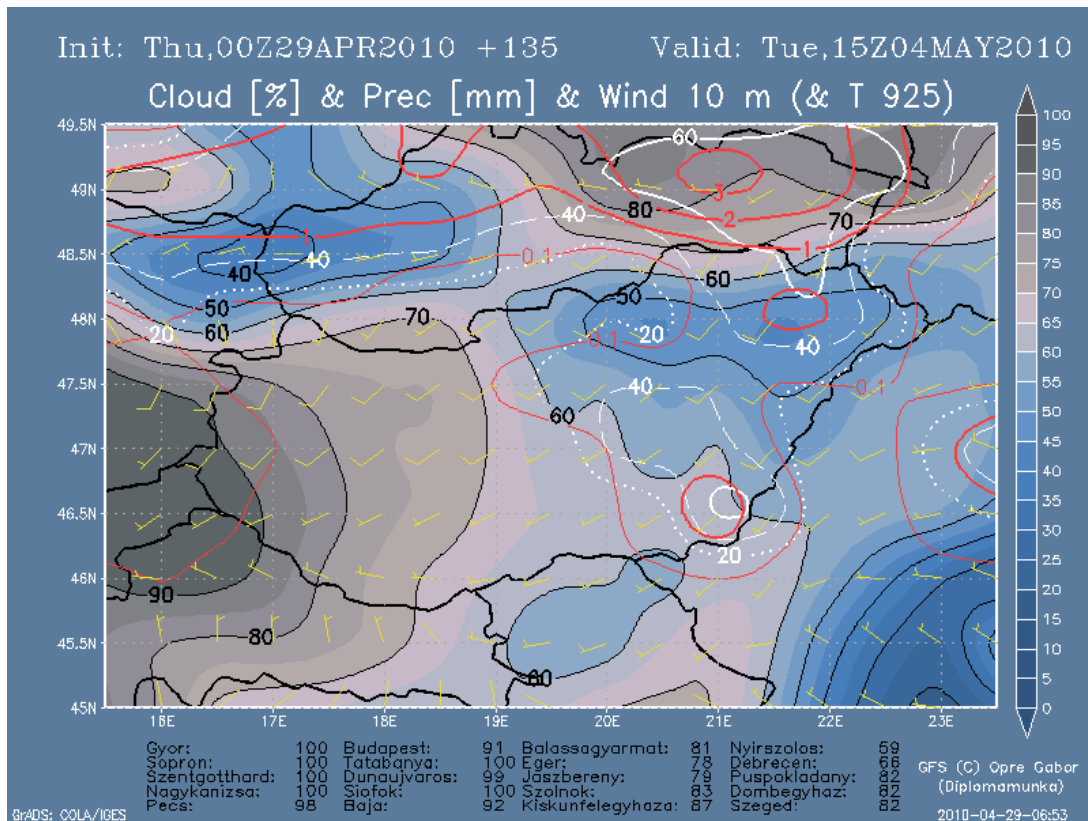


6. ábra. Csapadék térkép, 2010. május 4. 15 UTC.

A csapadék térképek között található olyan is, ahol az időben előrehaladva az addigi összes várható csapadékmennyiség jelenik meg, így megkaphatjuk akár az egy hétre vonatkozó teljes csapadékösszeget, illetve annak magyarországi eloszlását.

A **7. ábrán** több különböző időjárási elem – felhőzet, csapadék és a szél – együttesen jelenik meg. Sávos árnyalattal a felhőzet fedettsége szerepel %-ban kifejezve, ahol 0% a felhőtlen, a 100% pedig a borult eget jelenti. A színskála egy valós égből készített fénykép színeit tükrözi. A kék árnyalat esetében a napsütés a jellemző, szürkés árnyalatnál a %-os értékeknek megfelelően a felhők vannak túlsúlyban.

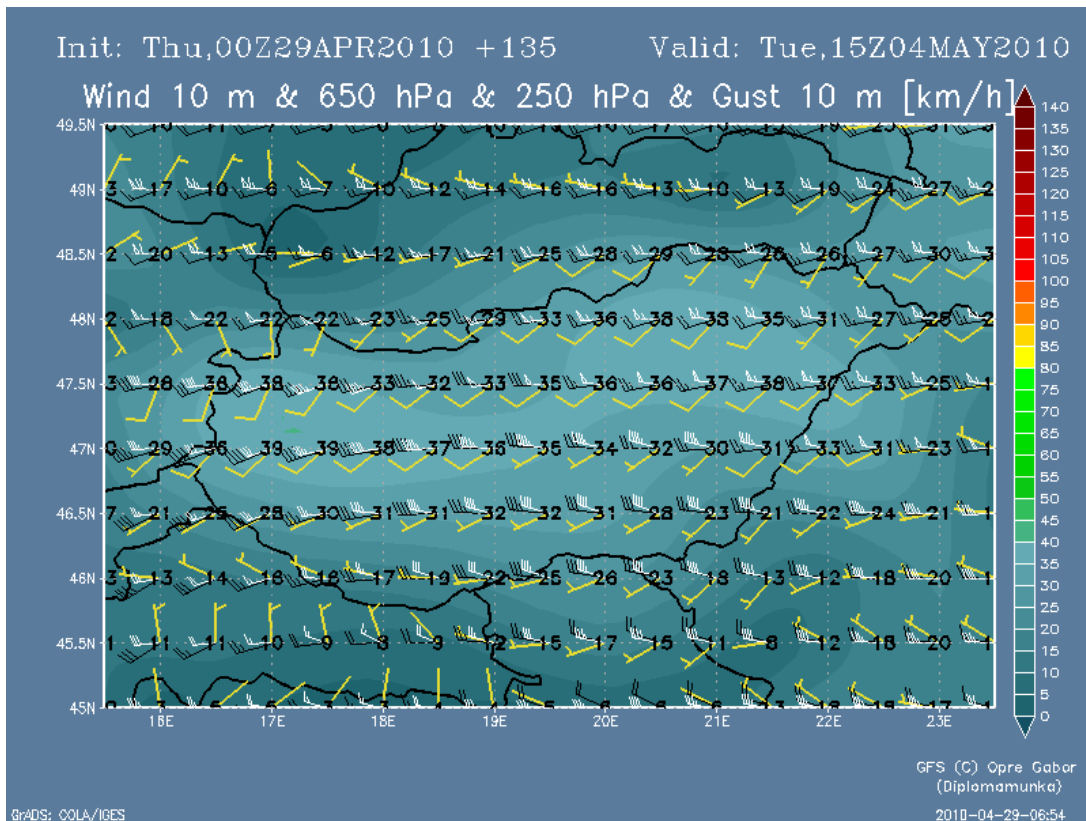
A fehér vonalak jelölik a konvektív felhőfedettséget. A fehér vastag pontvonal a 20%, a vékony szaggatott vonal a 40%, a vastag fehér folytonos vonal a 60%, és végül a vastag fehér szaggatott pontvonal a 80%-os felhőborítottság határát jelzi. Ennek segítségével következtethetünk a várható csapadék záporos formájára, valamint a zivatar valószínűségére.



7. ábra. Együttes felhőzet, szél és csapadék térkép, 2010. május 4. 15 UTC.

Az új kompozit térképet (**7. ábra**) összevethetjük az előző térképtípuson megjelenített konvektív csapadék mennyiséggel, továbbá a későbbiek folyamán bemutatásra kerülő, labilitást jelölő indexekkel. A térképen a csapadék is ábrázolásra került, ahol a legkisebb határ 0,1 mm (vékony piros kontúrvonal), majd 1 mm-től fölfelé haladva 1 mm-es osztásközzel jelenik meg (vastag, folytonos kontúrvonal). Emellett látható a 925 hPa nyomási szintre vonatkozó hőmérséklet is abban az esetben, ha ott a hőmérséklet $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, vagy az alatt van. Vastag zöld pontvonal jelzi a $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$, vastag kék szaggatott vonal a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ határait, majd a kontúrvonalak $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -tól lefelé $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -onként vastag folytonos kék vonallal jelennek meg. Ennek az a célja, hogy télen a csapadék halmazállapotának megállapítását segítse. A térképen a szél iránya és sebessége is látható „barb” formában, sárga színnel. Mindezek jelenlétével egyszerre kaphatunk információt a felhőzetről, a várható csapadékról, annak formájáról, illetve a szélről.

A következő, **8. ábrán** a széllel kapcsolatos információkat láthatjuk. A színskálához tartozó értékek a 10 méterre vonatkozó maximális széllelkést (10 m-es szintre vonatkozó átlagos szélesebesség 1,6 szorososa) mutatják km/h-ban kifejezve.



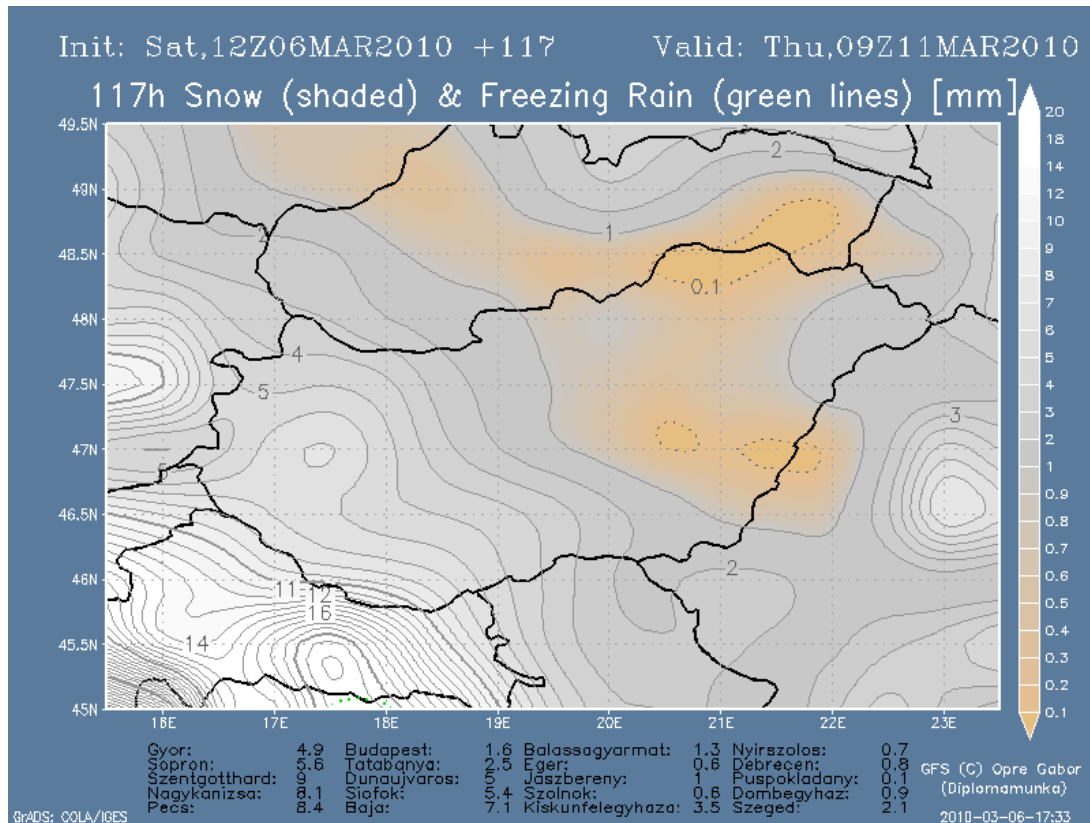
8. ábra. Szellőkés, áramlások, 2010. május 4. 15 UTC.

0 km/h-tól 40 km/h-ig világosodó kék, 40 km/h-tól 80 km/h-ig világosodó zöld, 80 km/h-tól 100 km/h-ig citromsárga, illetve narancssárga, attól fölfelé pedig sötétedő piros színben jelenik meg a szélsébség. A ~55,6 km-enként elhelyezkedő rács-pontokon szintén a 10 méterre vonatkozó maximális szellőkés értékei jelennek meg.

Az egyes rács-pontokban megjelenő sárga színű jelek (barb-ok) a 10 m-re vonatkozó átlagos szélerősséget mutatják. A feketék a 650 hPa-os szint áramlási rendszerét szemléltetik, melyből következtetni lehet a középszintű felhőzet áthelyeződésére. A fehér barb-ok a 250 hPa-os nyomási szinten mutatják a szélirányt, valamint az átlagos szélerősséget, többnyire a magas szintű felhők áramlási rendszeréről nyújtva információt.

A **9. ábrán** a várható hómenyiség jelenik meg 3 órás intervallumban, és 3 óránként összeadódó formában, mm-ben (olvadékként) kifejezve. Ennek segítségével megállapítható a kiindulási időponttól maximum 1 hetes időtávig a várható összes hó mennyisége. Ez a térkép 2010. március 11. 9 UTC-re szól abból a célból, hogy a téli csapadék ábrázolását is nyomon követhessük. 1 cm hó elolvasztva körülbelül 1 mm csapadéknak felel meg. A GRIB-fájlban a hóra utaló paraméter 0 értékkel tér vissza, ha a csapadék

halmazállapota nem hó, 1 értékkel, ha az hó. A színskála 0–1 mm között fokozatosan homokszínből szürkébe megy át, 1 mm-től 10 mm-ig pedig szürkéből fehérbe.

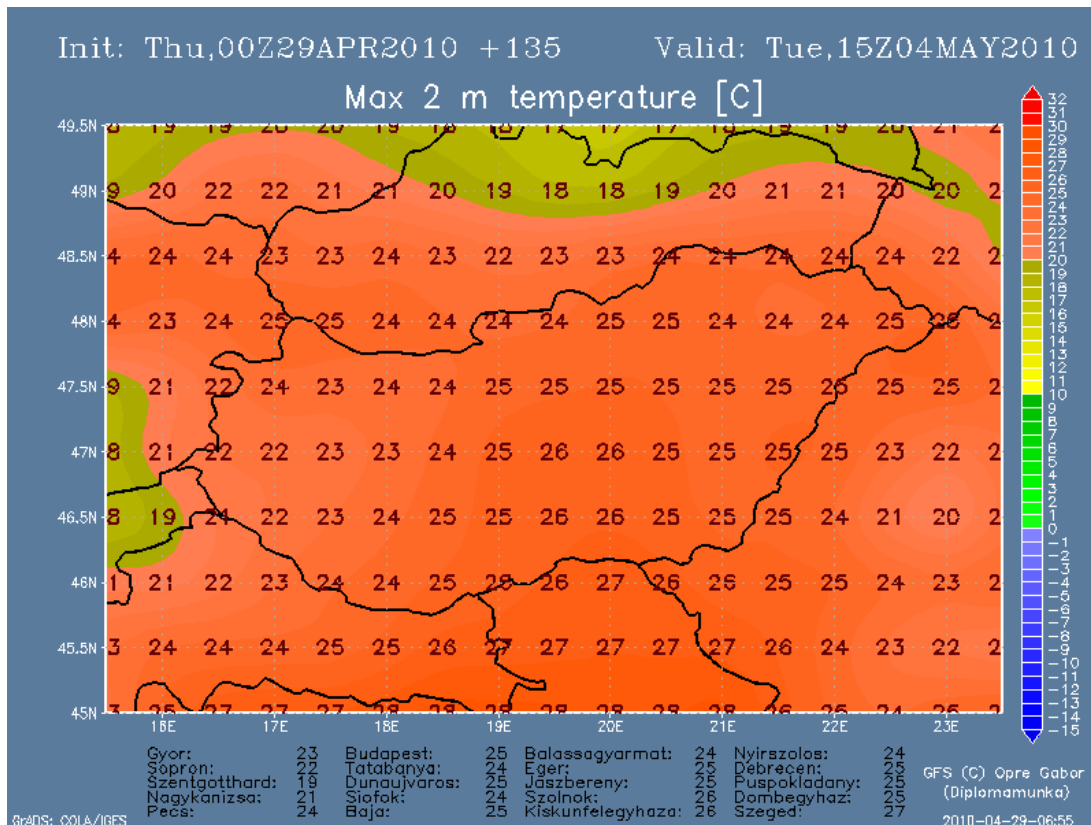


9. ábra. Hó és ónos eső térkép, 2010. március 11. 9 UTC.

A legkisebb feltüntetett szürke kontúrvonal értéke 0,1 mm, majd ezt követően 1 mm-től fölfelé 1-esével jelennek meg. A térképen zöld kontúrvonalakkal ónos eső is megjelenik 1 mm-es beosztással.

A 10. ábrán a maximum és a minimum hőmérsékletek láthatóak. 21, 0, 3, és 6 órakor a megelőző 3 órában kialakult minimum hőmérséklet sötétkék színnel, 9, 12, 15, 18 órakor pedig a maximum hőmérsékletek jelennek meg bordó színnel. (Megjegyezzük, hogy a GFS 3 óránként ad előrejelzést, ezek az értékek e köztes időszak hőmérsékleti menetét jellemzik.)

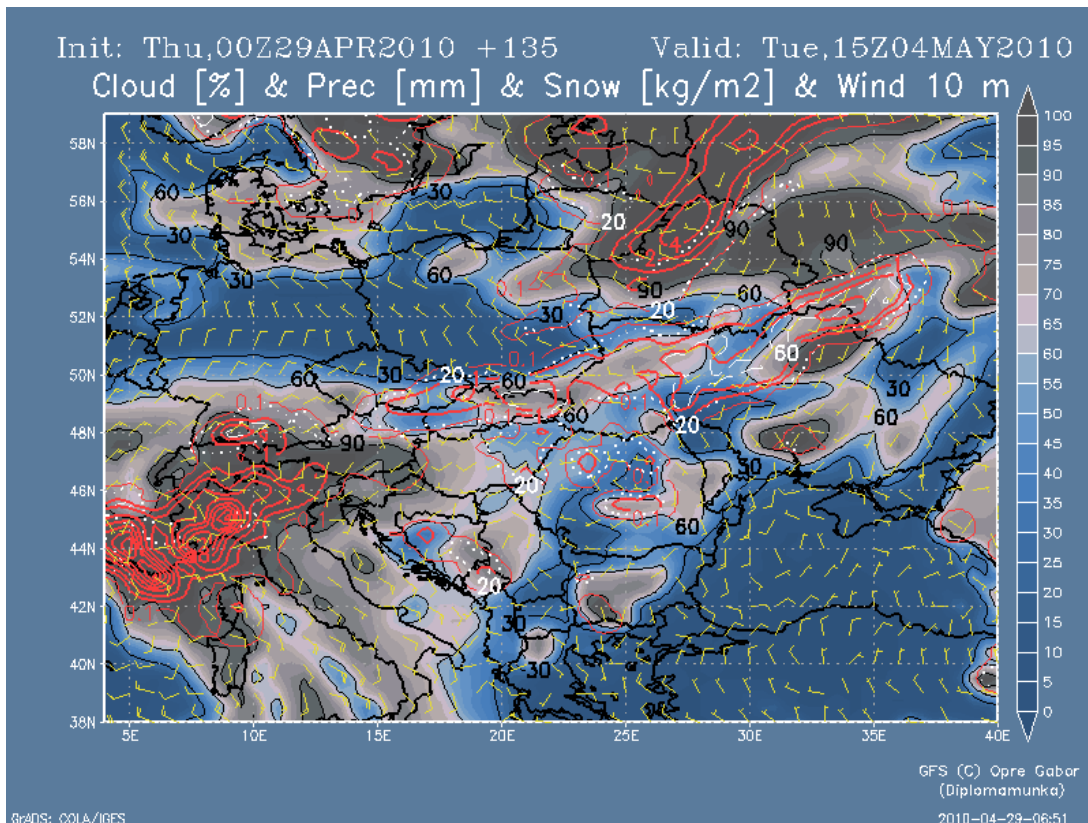
A GRADS-ban a minimum és a maximum hőmérsékletek külön-külön történő megjelenítése *if* utasításokkal történt. A színskála teljesen megegyezik a 2 méterre vonatkozó hőmérsékleti térkép színeivel. A rácsponti értékek egészre kerekítve jelennek meg. Míg van akár több tizedes jegyig is megjeleníteni, azonban a tapasztalat szerint a hibalehetőségek miatt ezt ésszerűbbnek látszik elkerülni.



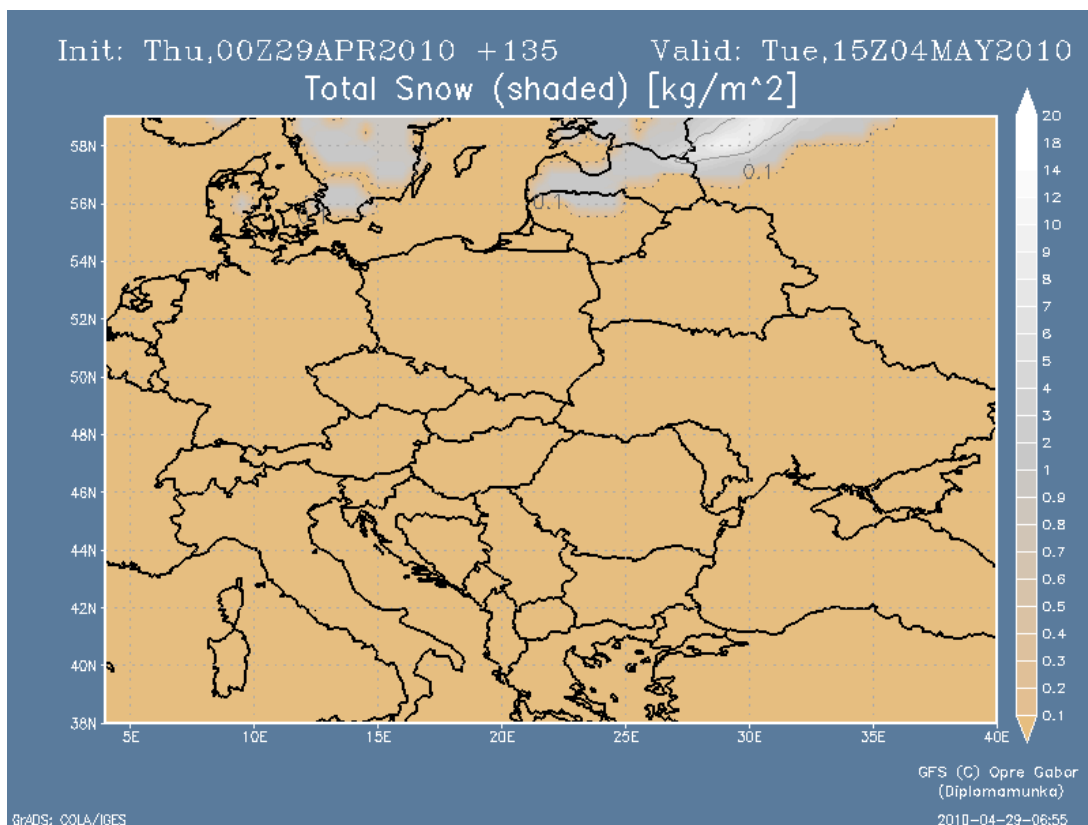
10. ábra. Maximum hőmérséklet térkép, 2010. május 4. 12–15 UTC között.

A 11. ábrán egy közép-európai kivágotra mutatok be kompozit térképet, együtt ábrázolva a szelet, a felhőzetet és a csapadékot. A 38–59 fok szélességi, valamint a 4–40 fok hosszúsági körök által közrefogott területet vizsgáljuk. A 11. ábra és a 7. ábra között természetesen sok a hasonlóság. A térképen árnyalt formában a felhőfedettség jelenik meg %-ban kifejezve, a konvektív felhőzet mennyiségét a fehér pont-, szaggatott, illetve folytonos vonalak jelzik. A csapadékösszeg mm-ben kifejezve piros színű, a hőmennyiség szintén mm-ben fehér kontúrvonalakkal lett ábrázolva. Ezen kívül a rácspontokon szélirány is szerepel a szokásos „barb” formában. A csapadék és a hó is 1 mm-enkénti kontúrvonalakkal különül el: a legkisebb kijelzett érték 0,1 mm mindkét esetben. A felhőborítottságot határoló fekete vonalak 30%-onként jelennek meg, ezáltal áttekinthető marad a térkép.

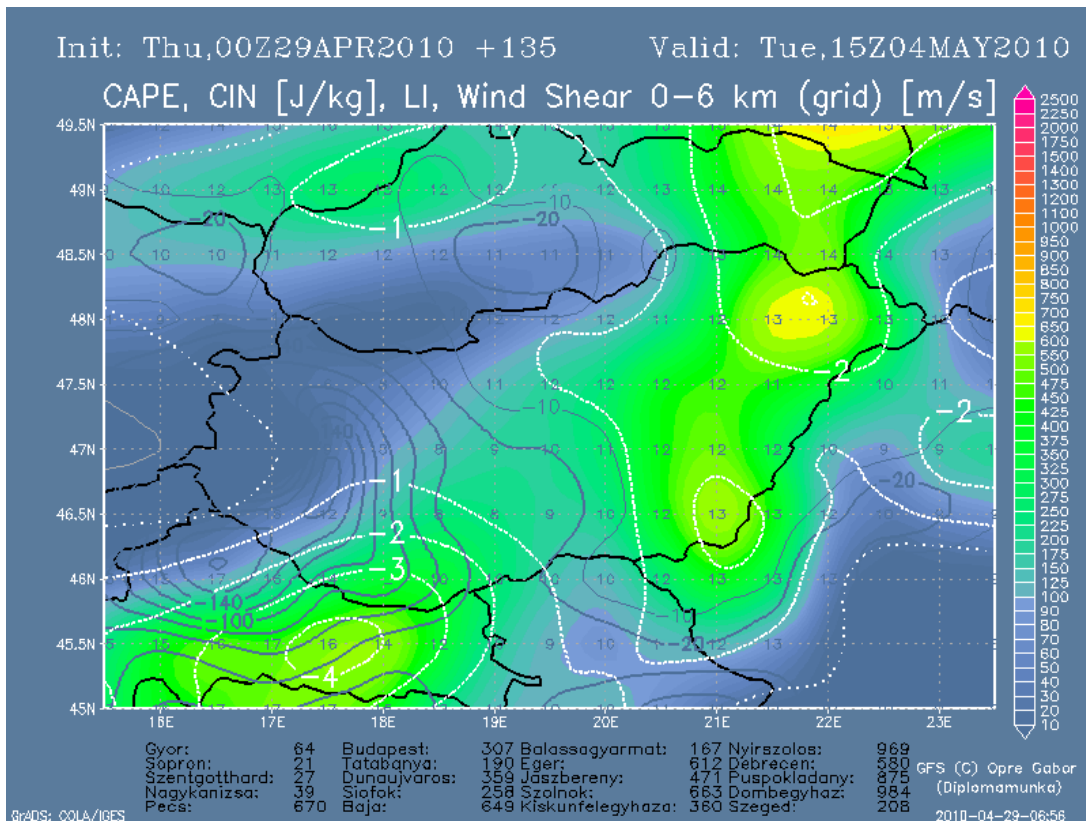
A 12. ábrán Közép-Európára vonatkozó hóborítottság látható kg/m^2 -ben kifejezve. Itt a lehulló hó vastagság helyett az éppen létező hőtömeg mutatkozik meg. A legkisebb megjelenített érték $0,1 \text{ kg/m}^2$ a következő érték 5 kg/m^2 , majd 10 kg/m^2 , 20 kg/m^2 , 30 kg/m^2 , stb. Megjegyzem, hogy 1 kg/m^2 hőmennyiség hozzávetőlegesen 1 cm hó vastagságnak felel meg.



11. ábra. Közép-Európa időjárása, 2010. május 4. 15 UTC.



12. ábra. Közép-Európa hóborítottsága, 2010. május 4. 15 UTC.



13. ábra. CAPE, CIN, szélnyírás térkép, 2010. május 4. 15 UTC.

A **13. ábrán** a zivatarok kialakulásának valószínűségére utaló mérőszámok jelennek meg.

A Convective Available Potential Energy (CAPE), rendelkezésre álló konvektív hasznosítható potenciális energia J/kg-ban kifejezve lett megjelenítve sávos színezéssel. A színezés kékből indul, majd zöldbe, sárgába, narancsba, végül lilába megy át. Megmutatja, hogy mennyi energia áll rendelkezésre a légkörben. A kialakuló zivatarok ezt a labilitási energiát hasznosítják a keletkezésük és életútjuk folyamán. Ha az értéke nagy (1000 J/kg feletti), hevesebb zivatarok is képesek kialakulni.

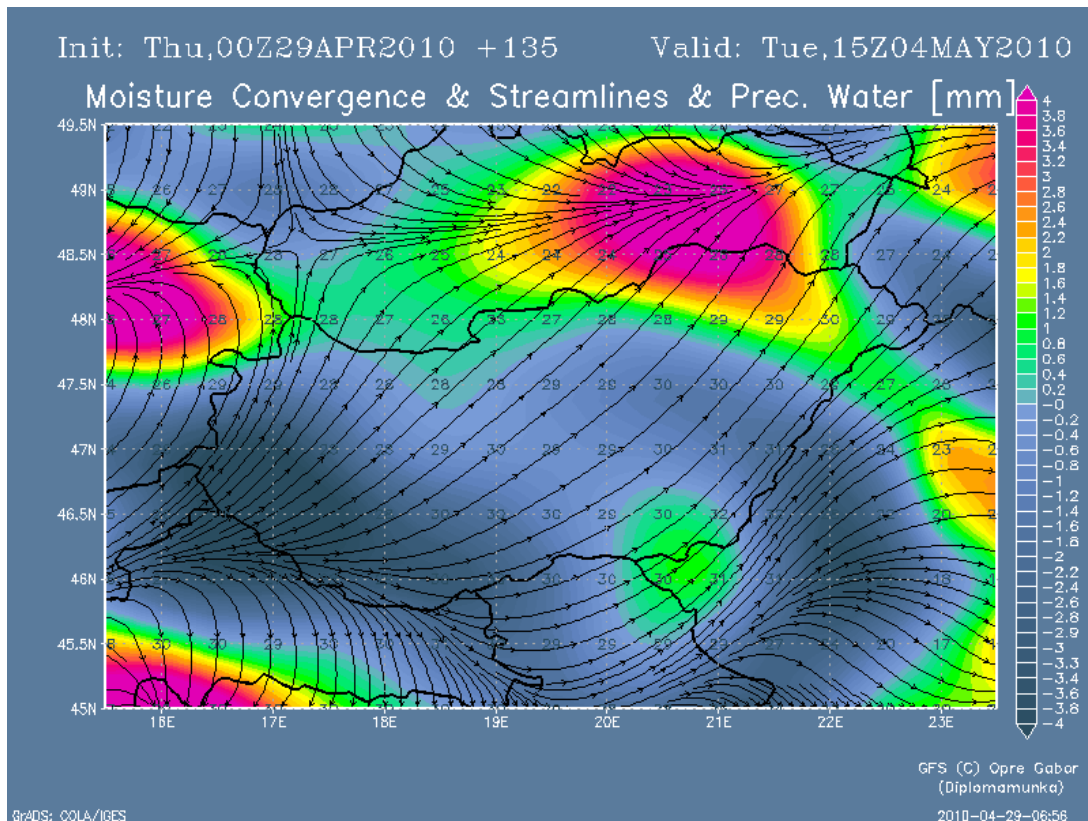
A Convective Inhibition (CIN) J/kg-ban kifejezett értéke a konvektív gátlást mutatja (kék vonalak). Értéke minél kisebb, annál inkább csökken a zivatarok kialakulásának valószínűsége, még ha az egyéb kedvező feltételek adottak is hozzá. Ugyanis ez a mérőszám a kondenzációs szinthez közel elhelyezkedő vékony inverziós réteg területi méretét jelöli ki (Davies, 2004).

A Lifted Index (LI) a talajról induló instabilitás mértékét mutatja °C-ban kifejezve (fehér szaggatott vonalak). Hőmérséklet-különbséget jelent. Annál labilisabb a légkör, minél negatívabb az értéke. (Ezen mérőszám részletesebb ismertetését az előző témakörben olvashatták.)

A Wind Shear a 0–6 km-es szélnyírást jelenti m/s-ban kifejezve (rácsponi adatok). A talaj és a körülbelül 6 km (< 500 hPa-os nyomási szint) magasságban elhelyezkedő képzeletbeli szélvektorok különbségét tükrözi. Értéke a szupercellás zivatarok kialakulásának esélyeiről ad információt. Kedvezőek a kialakulás feltételei, ha a szélnyírási értéke 13–21 m/s közötti. Ez azért is fontos számunkra, mert a szupercellás zivatarokból képes hullani a legnagyobb méretű jég (akár tojás, vagy alma nagyságú is, lásd. 2009. június eleje, Nyírség), és igen komoly szélkárokat is okozhatnak.

A **14. ábrán** a nedvesség-konvergencia (pontosabban nedvesség áram konvergencia) látható. A talaj közelében, adott területről összeáramló nedves levegő helyét mutatja meg. A nedvesség-konvergencia kiszámításához a GRADS honlapon található, *M. Maxwell* által felállított formulát használtam (www.iges.org/grads/gadoc/gadocindex). Az eljárás a számításához fölhasználja a 2 m-es hőmérsékletet, a relatív nedvességet, a harmatpontot, valamint a 10 méterre vonatkozó U és V szélkomponenseket. A specifikus nedvességgel számol. (Relatív skálát használ.)

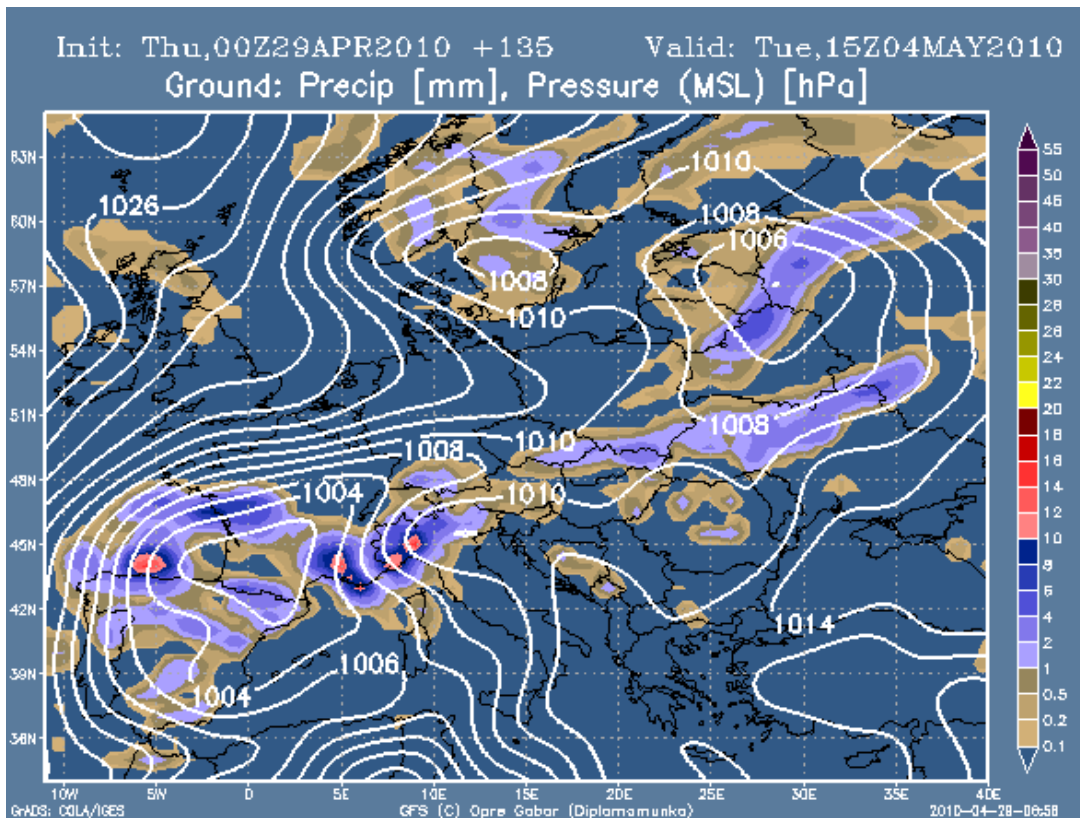
Ahol nagyobb a nedvesség-konvergencia, ott nagyobb a zivatar kialakulás valószínűsége. A sávos színezés minél inkább rózsaszín (4-hez közeli), és ezen területen minél inkább koncentráltabb az összeáramlás (10 m-re vonatkozó átlagos szélirány, fekete áramvonalak), azon a területen annál nagyobb az esély zivatarok kialakulására, de emellett mindig figyelembe kell venni más labilitást mutató indexeket is! A rácsponokon a kihullható vízmennyiség értékek jelennek meg mm-ben kifejezve. Ez megmutatja, hogy ha helyben alakulna ki egy zivatar, és nem mozdulna el, akkor közelítőleg az ott feltüntetett vízmennyiség zúdulhatna le hirtelen.



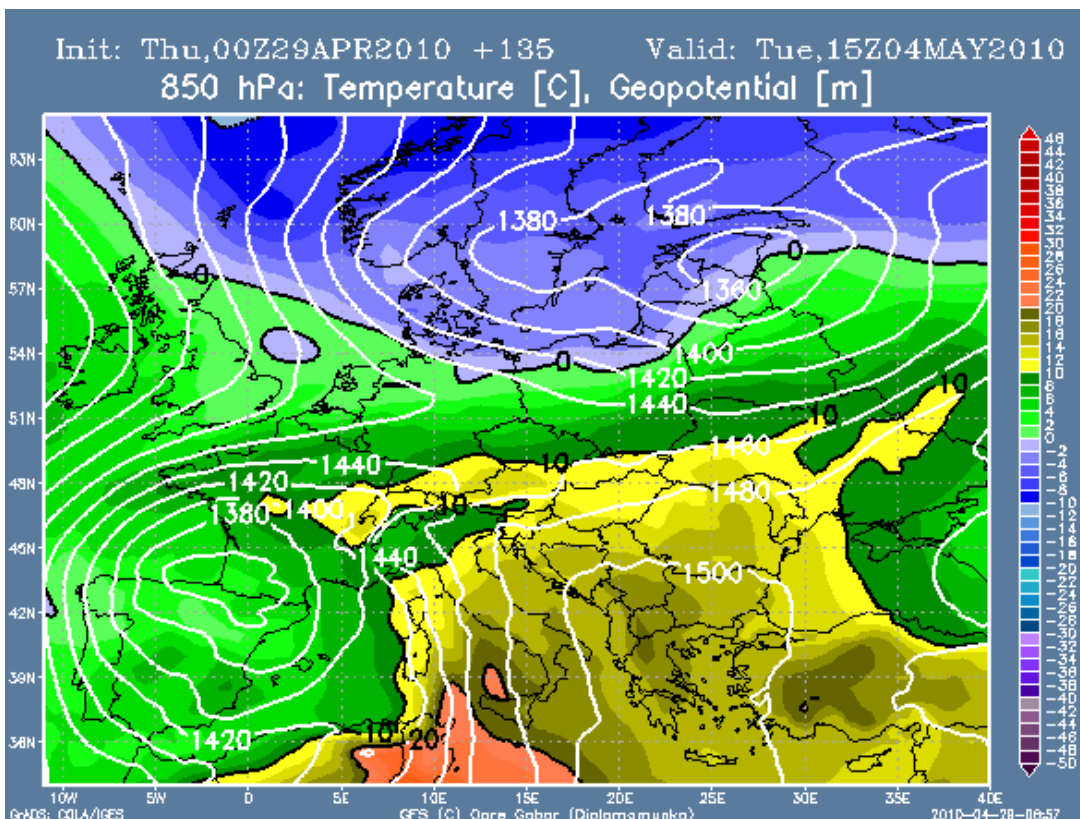
14. ábra. Nedvesség-konvergencia és az áramvonalak 10 m-en, a kihullható csapadékmennyiség, 2010. május 4. 15 UTC.

A **15. ábra** Közép-Európa léptékben (34–65 szélességi és –11–40 hosszúsági fok) a tengerszintre átszámított légnyomást mutatja a várható csapadék mennyiséggel párhuzamosan. Az izobár-vonalak 2 hPa-onként követik egymást. Elhelyezkedésük jól mutatja a teknő, gerinc, ciklonok, anticiklonok valamint a talaj szintjét érintő frontok helyzetét. A csapadékos területek is segítik a frontvonalak felismerését. Azokat a területeket, ahol nem várható csapadék, az előző térképekkel ellentétben kék színnel jelöltem a könnyebb követhetőség miatt.

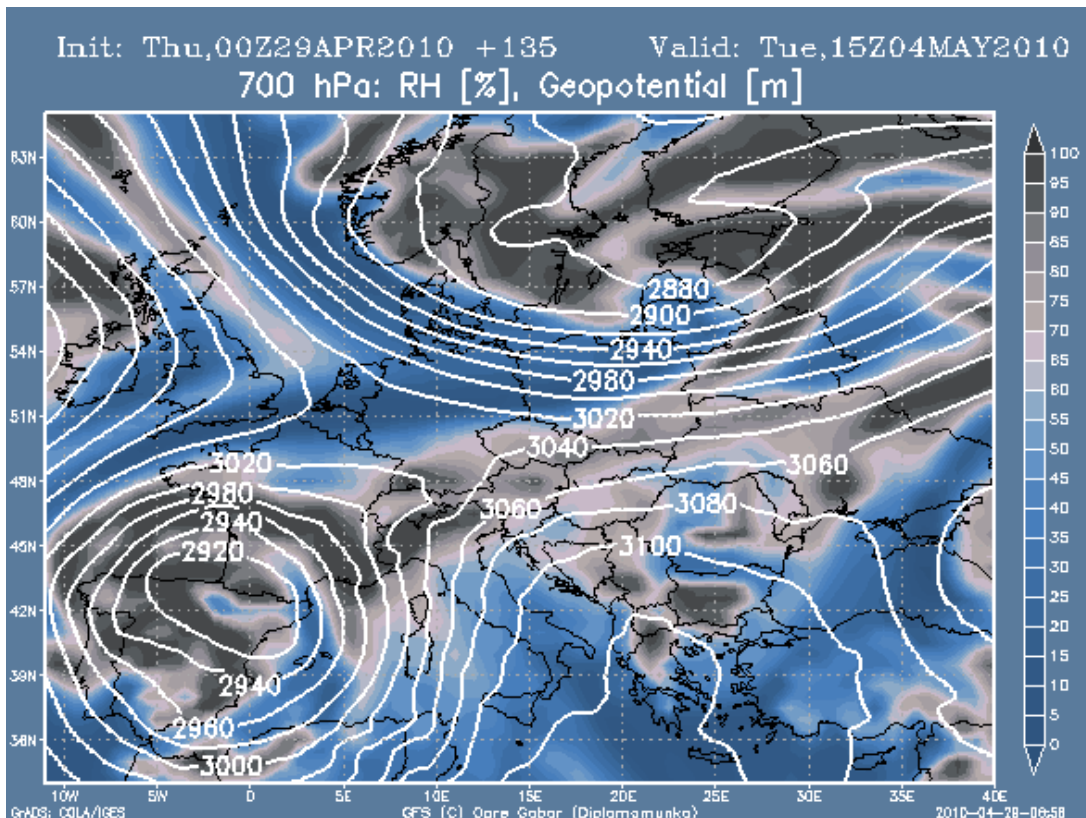
A **16. ábrán** a 850 hPa, a **17. ábrán** a 700 hPa, a **18. ábrán** pedig az 500 hPa-os nyomási szint magassága rajzolódik ki 20, illetve 40 gpm-es osztásközzel. Ezzel párhuzamosan a 850 hPa és az 500 hPa-os nyomási szinten a hőmérséklet, a 700 hPa-os szinten pedig a relatív nedvesség is megjelenik. E négyes térkép együttesen jól követhetők a magassági frontok is, illetve a hideg légörvények helyét is könnyedén fel tudjuk fedezni. A relatív nedvesség és a hőmérséklet színskálái hasonlítanak a korábban bemutatott felhőzet és hőmérséklet térkép színeire.



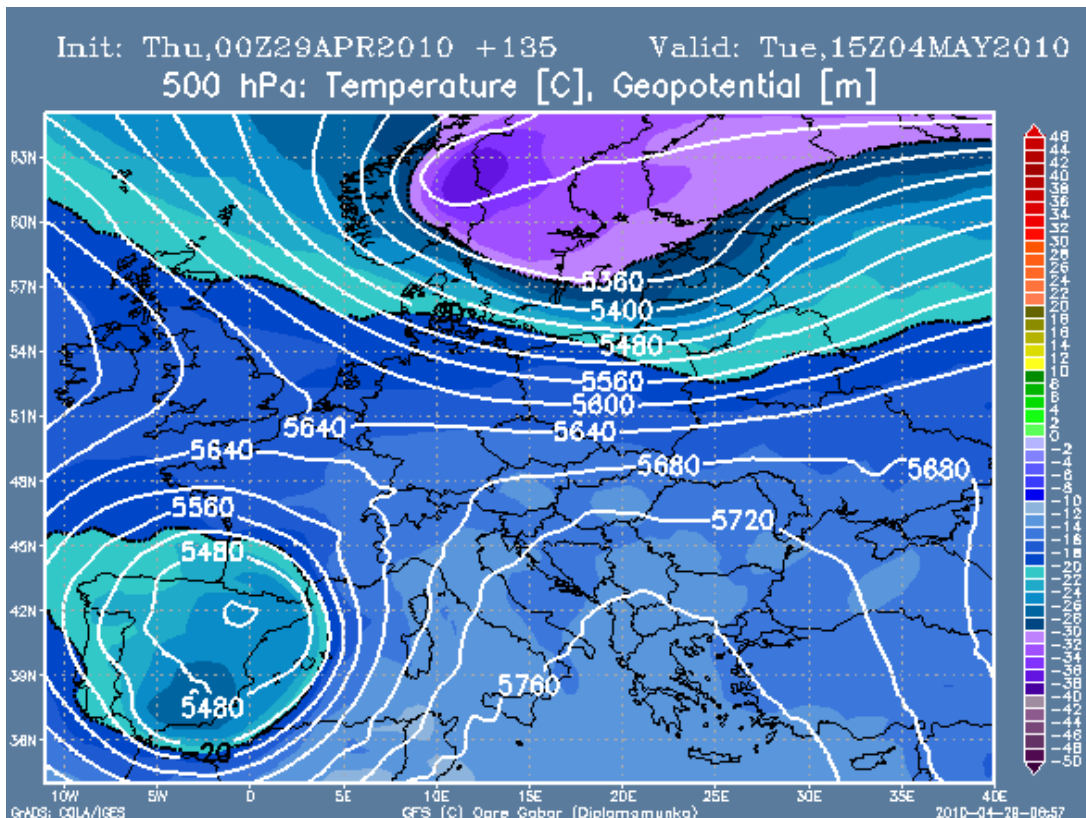
15. ábra. Nyomás és csapadék térkép, 2010. május 4. 15 UTC.



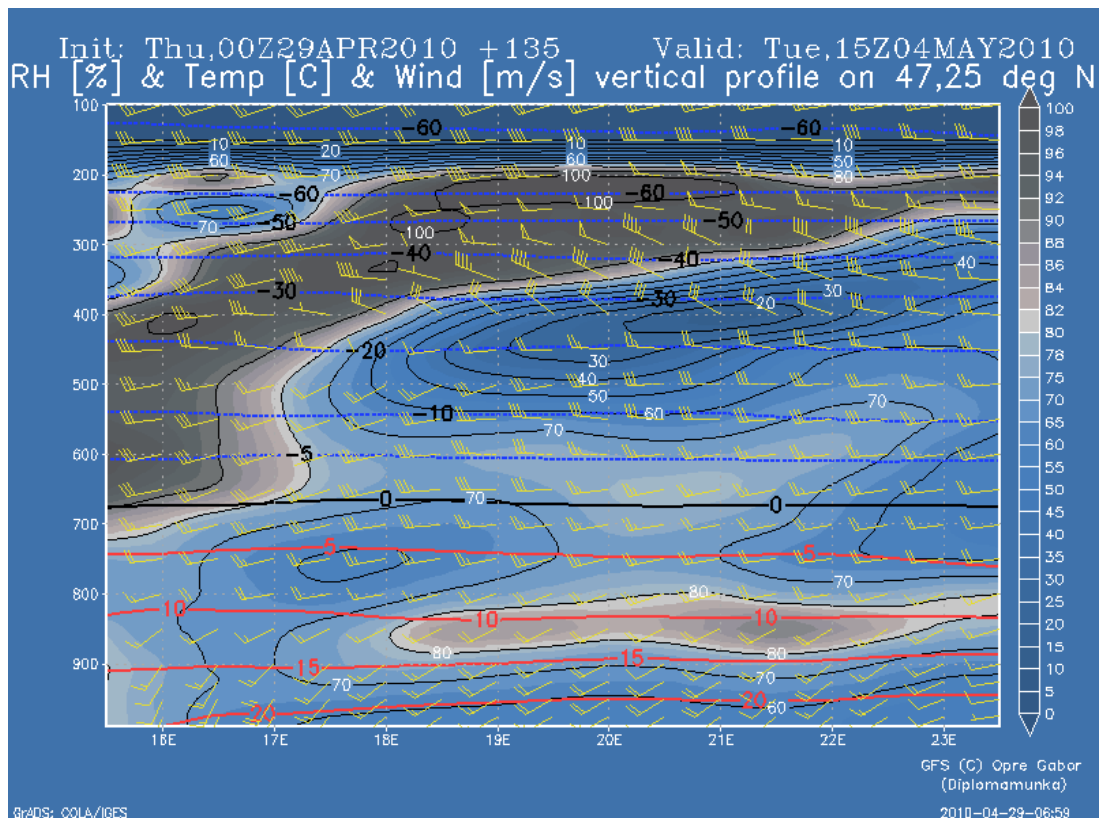
16. ábra. Geopotenciál és hőmérséklet 850 hPa-os nyomási szinten, 2010. május 4. 15 UTC.



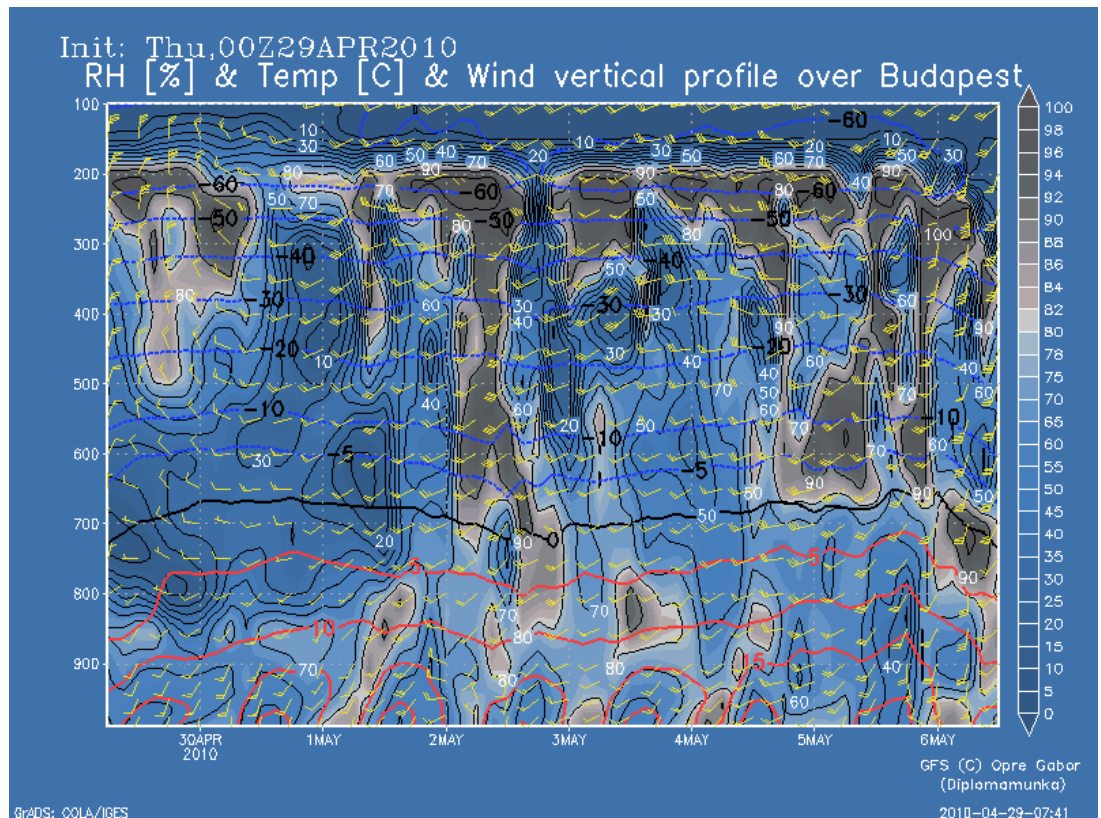
17. ábra. Geopotenciál és relatív nedvesség 700 hPa-os nyomási szinten.



18. ábra. Geopotenciál és hőmérséklet 500 hPa-os nyomási szinten,
2010. május 4. 15 UTC.



19. ábra. Relatív nedvesség, hőmérséklet, szélesség és -irány metszet.



20. ábra. Relatív nedvesség, hőmérséklet- és szélprofil 1 hetes intervallumon Budapest felett, 2010. május 4. 15 UTC.

A **19. ábra** egy magyarországi vertikális metszetet mutat a 15,5–23,5 hosszúsági körök között a 47,25 fok szélességi kör mentén a talaj közeli (1000 hPa) és a 100 hPa-os nyomási szint között, tehát hozzávetőlegesen a 16,5 km-es magassági szintig. Az ábrázolt állapotváltozók: a relatív nedvesség, a hőmérséklet valamint a szélsébség és irány.

Az árnyalt sáv a már korábban megismert, felhőzethez hasonló színmegjelenésű, de itt a relatív nedvesség értékek olvashatók le. A kontúrvonalak beosztása 10-esével történik. Ennek segítségével következtetni tudunk a felhőzet különböző magassági szinteken történő megjelenésére. (*Smagorinsky*, 1970). A térképen a hőmérséklet-profil 10 °C-os osztásközzel jeleink meg. A pozitív tartományban piros színnel, a negatív tartományban kézzel jelenik meg, a 0 °C pedig fekete kontúrvonallal. A szélzázslókat sárga színnel rajzoltam. A különböző magassági szinteket a függőleges tengelyen követhetjük nyomon.

A modell figyelembe veszi a domborzat térbeli változását, ennél a metszetenél azonban csak fix szélső értékeket tudunk megadni, így például a legmagasabb szintnek 100 hPa-t, a legalacsonyabbnak pedig 1000 hPa nyomási szintet. A talajhoz közeli szint vizsgálata kissé megtévesztő lehet abban az esetben, ha a profil síkja metszené például a Kékest, ugyanis a modell a „hegy belsejébe” is interpolálna adatokat, mintha nem esne az útjába a hegy. Valójában ennek a metszeti képnek a kondenzációs szinttől fölfelé van lényegi értelme, ahol meghatározó szereppel bír a légköri nedvesség, illetve a csapadékképződés szintjén a hőmérséklet. Ez más hasonló metszeti térképeknél is így jelenik meg (**26. ábra**).

E vertikális metszeti térképen azt kell figyelni, hogy hol fordulnak elő 80–90% fölötti relatív páratartalom értékek. Ez a nedvesség, ami szürke színnel jelenik meg, kijelöli a felhős területeket a sík mentén, s mindezen felhőrendszer vertikális struktúrájáról kapunk képet. Képzeljük azt, hogy borult fölöttünk az ég, és azt függőleges irányban egy síkkal elmetsszük. Ekkor beelátunk a felhőzet belsejébe. Ha ez a sötét sáv a metszet felső részében (cc. 500 hPa-os nyomási szint fölött) helyezkedik el, akkor magas szintű felhőzetről beszélhetünk, (cirrus, cirrocumulus, cirrostratus), ami szűrt napsütést megenged. 800 hPa, illetve 500 hPa-os szint között általában a közép-szintű felhőzet helyezkedik el (altostratus, altocumulus) és ez alatt pedig az alacsony-szintű felhők (stratus, cumulus, stratocumulus). Amennyiben a felhőzet átöleli a troposzféra jelentős részét, vastag felhőzetről lehet szó, melyből csapadék is hullik (nimbustratus, vagy cumulonimbus). Nyári helyzetekben, a nappali órákra korlátozódva

a 700 hPa-os nyomási szint benedvesedése zivatarok megjelenését valószínűsíti. A száraz, felhőmentes területek a kék szín árnyalataival jól elkülönülnek. A térképen megjelenő szélesség és szélirány adatokból a felhőzet áthelyeződésére következtethetünk. A hőmérséklet pedig megmutatja, hogy az adott szinteken milyen hőmérsékletértékek vannak. Hideg-, illetve melegfrontoknál jól mutatkozik a hűlés, illetve a melegedés. Télen a csapadék halmazállapotát is jól kikövetkeztethetjük belőle.

A következő lépésként egy adott hely felett nézzük a légkör állapotathatározóinak (profiljainak) időbeli változását egy 7 napos előrejelzés során. Példaként a Budapestre interpolált relatív nedvesség, hőmérséklet, illetve szélesség és irány vertikális profiljainak időbeli menetét (1000 hPa és 100 hPa közötti rétegben) mutatom be a **20. ábrán**. Ez a térkép hasonló az előzőhöz, viszont itt a vízszintes tengely nem a metszet tengelyét jelöli ki, hanem egy hetes előrejelzési időtávot. Ha a metszeti kép bal oldaláról (a jelenből) elindulunk jobbra, akkor a jövő felé haladunk egészen egy hetes távlatig, így figyelemmel követhetjük a Budapest fölötti légállapot változását.

Befejezésül a különböző elemek Budapestre vonatkozó idősorait jelenítem meg egy meteogramon (**21. ábra**). (Összesen 25 településre készítettem el a diagramokat, itt csak a Budapestre vonatkozót jelenítem meg, a többi a (<http://www.eumet.hu>) internetes oldalon található meg). A legfelső diagramon a várható felhőzet mennyisége látható %-ban kifejezve, 0–100% között. A magas- fehér, a közép- világosszürke az alacsony-szintű felhőzet pedig szürke árnyalatban jelenik meg úgy, hogy a légkörben magasabban elhelyezkedő felhőzetet jelölő sávok egymás mögött legyenek, így legelöl az alacsony-szintű felhőzet foglal helyet. Ezen kívül a zöld vonal a 2 méteres szint relatív nedvességét mutatja %-ban kifejezve. E két elemet éppen a megegyező mértékegység miatt helyeztem egy diagramba.

Ezt követően a tengerszintre átszámított légnyomás egy hetes várható alakulása jelenik meg rózsaszín vonallal, hPa-ban kifejezve. Az osztásköz úgy lett kialakítva, hogy ha az egy hetes intervallumon belül, a várható minimum és maximumértékek közötti különbség nagyobb, mint 30 hPa, akkor 10 hPa-os osztásközt, ha kisebb, vagy egyenlő, mint 30 hPa, akkor 5-hPa-os osztásközt használok, hogy a grafikon áttekinthető legyen.

A légnyomás alatt a 2 m-es hőmérséklet időbeli változását ábrázolom vastag fekete vonallal. A körülötte levő színezés felső határa az elmúlt 3 órára jellemző maximum, alsó határa, pedig a minimum hőmérsékletet jelöli. Ez valamelyest, a napi meneten keresztül, a hőmérséklet előrejelzés bizonytalanságára is utal. Világoskék színnel a

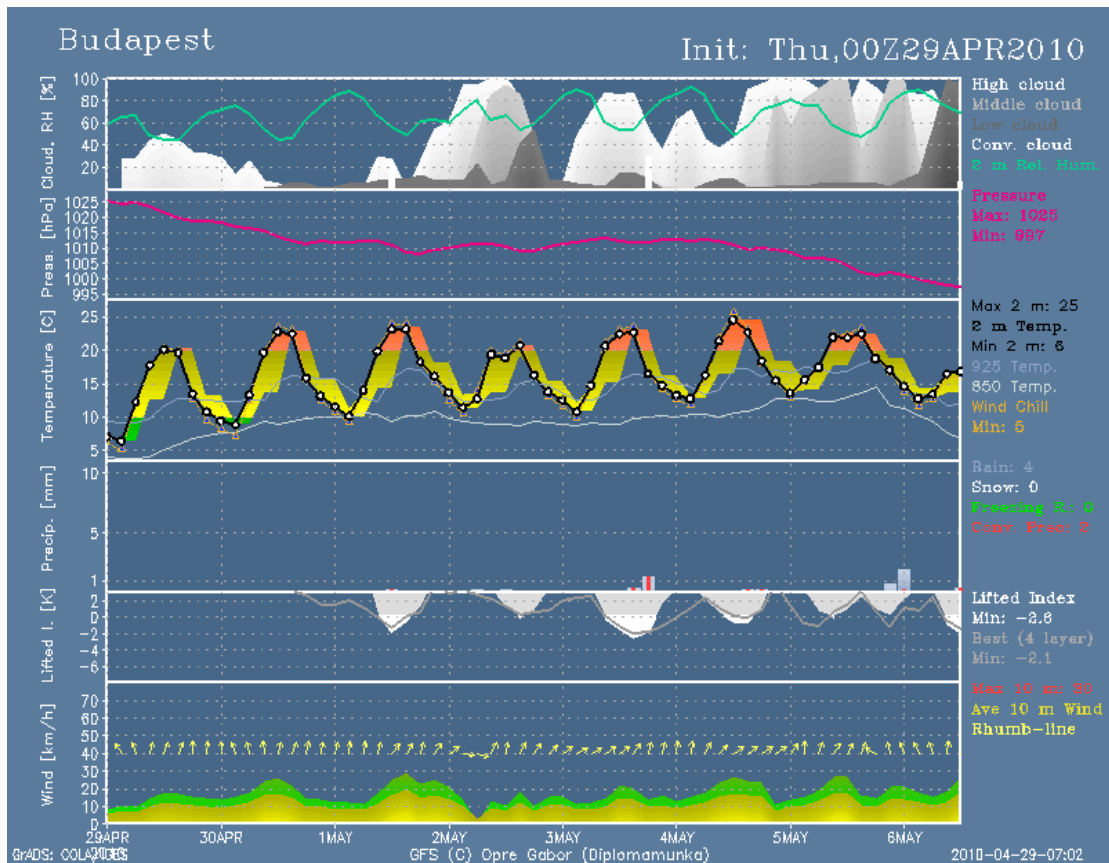
850 hPa-os szinten, sötétebb kék színnel pedig a 925 hPa-os nyomás szinten várható hőmérséklet látható. A sárga vonal a hőérzetet becsli. Az osztásköz a következőképpen alakul: ha egy hét alatt előforduló maximum és minimum hőmérséklet közötti különbség nagyobb, mint $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, akkor $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -onként, ha kisebb, vagy egyenlő $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál, akkor $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -onként történik a beosztás (ez utóbbi skálázásnak nálunk nincs gyakorlati jelentősége). A beosztás csúcsa megegyezik a maximum hőmérséklet $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ értékkel, a legalacsonyabb beosztás pedig a legalacsonyabb hőérzet $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal. Abban az esetben, ha a legalacsonyabb hőérzet magasabb, mint a minimum hőmérséklet, akkor a $(T_{\min}-3\text{ }^{\circ}\text{C})$ lesz a beosztás minimuma.

A negyedik oszlopdiaqramon a várható csapadék mennyisége jelenik meg 3 órás időintervallumokra bontva. Látható az összes csapadék (kék), a hó mennyisége (fehér), az ónos eső (zöld), valamint a konvektív csapadéokra utaló érték (piros keskeny vonal). Ha a várható 3 órás intervallumra eső csapadékmennyiség 10 mm alatt marad, akkor a beosztás 0 mm és 11 mm közötti. Ha valamelyik időpontban a 3 órás csapadékösszeg meghaladja a 11 mm -t, akkor az osztásköz automatikusan módosul, mégpedig a maximális csapadékmennyiség $+2\text{ mm}$ lesz a felső határ. Az egyes csapadéktípusok megjelenítése a következőképpen történik: alapesetben kirajzolódik kék árnyalatú oszlopokkal a teljes csapadék mennyisége. Ha a halmazállapot hó, akkor újból kirajzolódik a csapadék, de már fehér oszlopokkal, ha ónos eső, akkor zöld színnel. Ezt követően piros, keskeny vonalakkal jelenik meg az addigi oszlopokon. Ez a konvektív csapadékforma.

A következő grafikon a labilitási indexeket mutatja be. Itt a lifted index (világos szürke, fehér sáv), valamint a best 4 layer lifted index (szürke vonal) van ábrázolva.

A legalsó grafikonon a 10 méteres magasságban várható átlagos (sárga sávos színezés), és maximális szélesebség (zöld, pirosas színezés), valamint a szélirány (sárga nyíl) látható. A skála felső határa 80 km/h , ha a legnagyobb szélleőkés 80 km/h alatti; ha ennél nagyobb a maximális szélleőkés, akkor a skála felső határa a maximális szélleőkés $+2\text{ km/h}$.

Az értékközök manuális beállítása és automatikus módosítása alapvető fontosságú, hiszen e nélkül a diagramok özszemosódnának, s áttekinthetlenné válik a meteogram, amit a szolgáltató (EWS) nem engedhet meg magának.



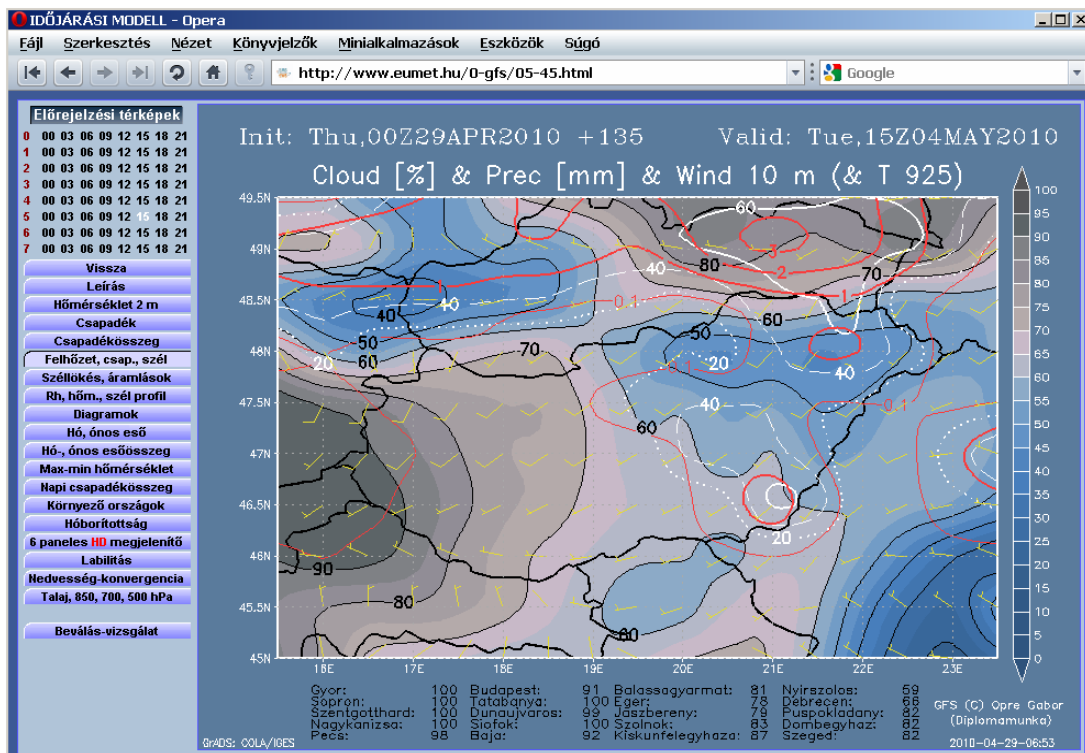
21. ábra. Diagrammok, 2010. április 29. – május 6.

A meteogram (21. ábra) jobb oldalán található a rövid jelmagyarázat, ahol az egyes elemek értékei külön-külön is fel vannak tüntetve. Mint például az egy hetes előrejelzési intervallumban előforduló legalacsonyabb és legmagasabb légnyomásérték, az előforduló maximum és minimum hőmérséklet, a legalacsonyabb hőérzet, az eső, a hó, az ónos eső és a konvektív csapadék 7 napos összege, a legalacsonyabb lifted index, illetve best 4 layer lifted index értékek. Legvégül pedig megjelenik az előrejelzés időszakában várható maximális szellőkés értéke.

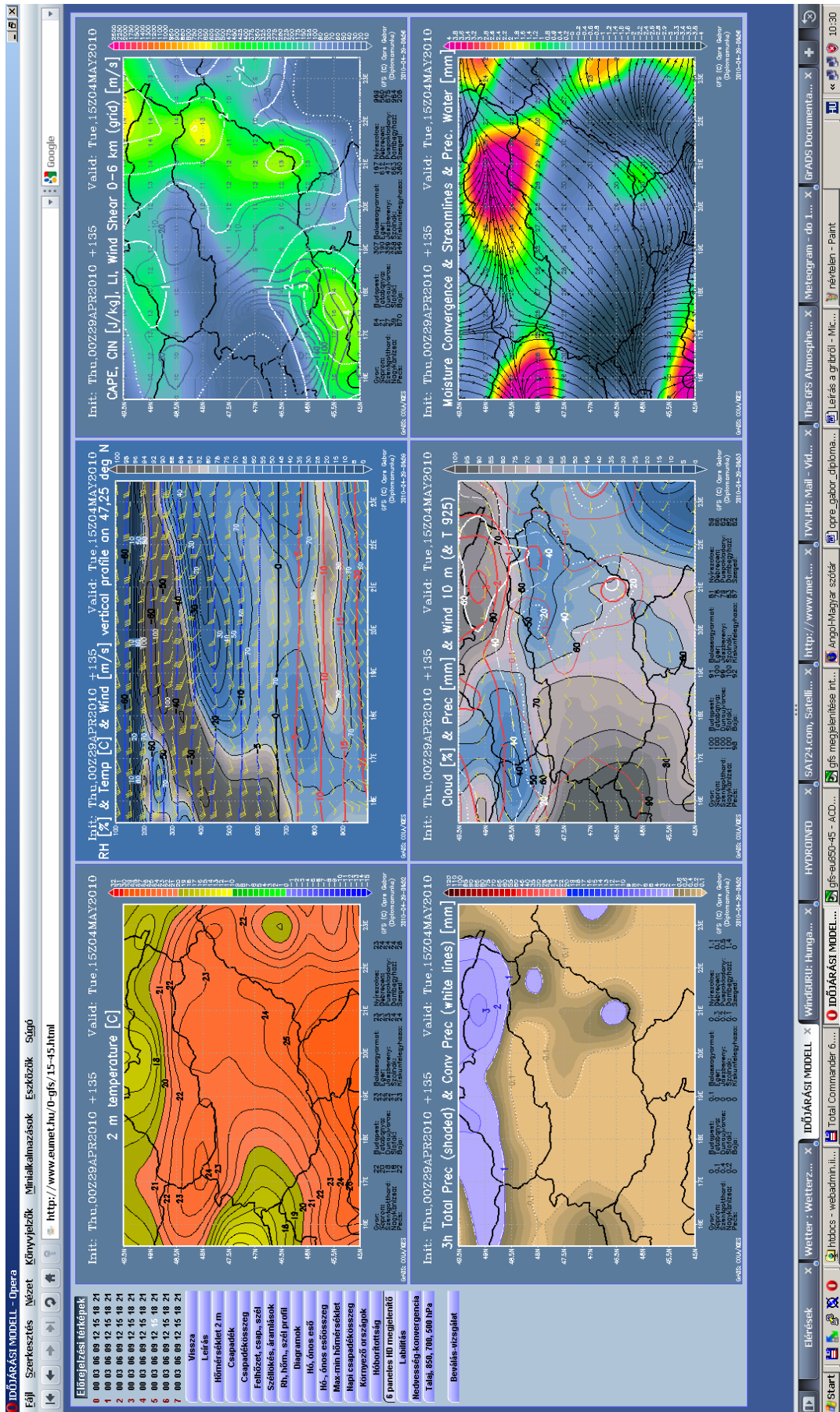
2.3. A térképek interneten történő megjelenítése

A folyamatosan frissülő előrejelzési térképek a (<http://www.eumet.hu>) oldalról szabadon és ingyen elérhetők. A megjelenítő formai kialakítását a **22. ábra** szemlélteti. Az ábra bal felső sarkában levő számok az előrejelzési időpontokat mutatják. Vízszintes irányban egy adott napon haladhatunk 3 órás léptékben, függőleges irányban, pedig az egyes napok között „lépkedhetünk”. A számokra történő kattintásokkal választhatjuk ki azt az időpontot, amikor meg szeretnénk nézni az előrejelzést.

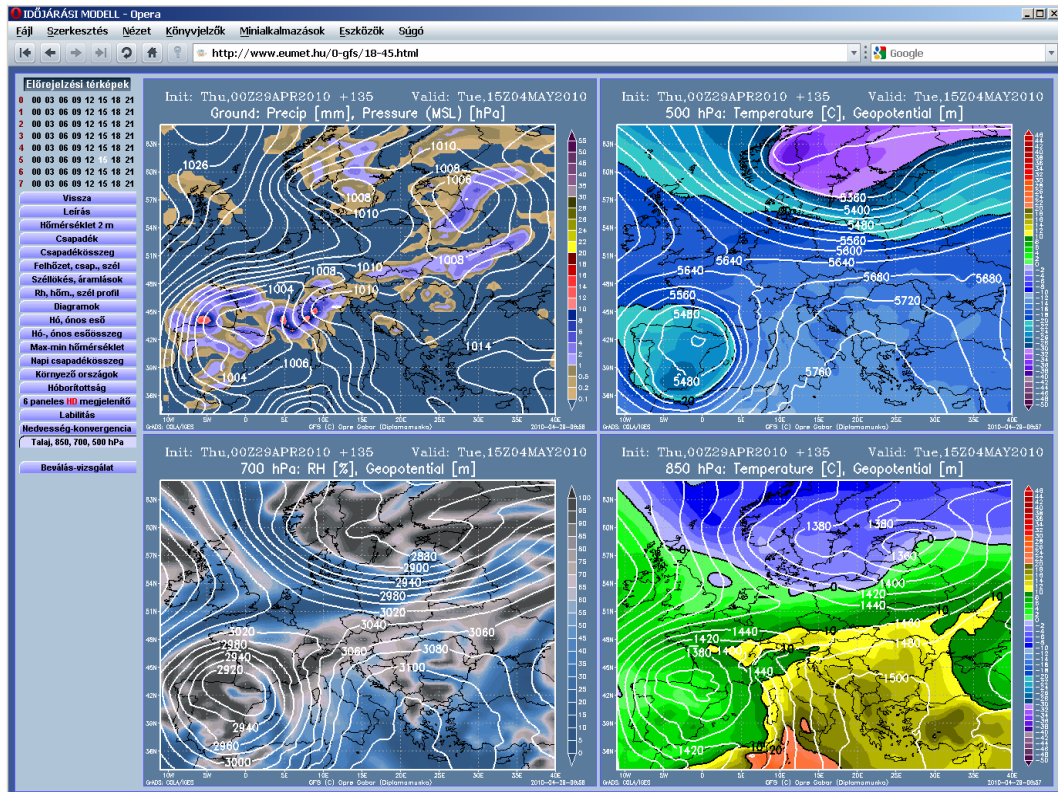
Az időpontok alatt hasonló módon, kattintással választhatjuk ki a megfelelő térképtípust. Miután a jobb oldalon megjelent egy térkép, annak jobb oldalára kattintva, időben 3 óránként előre, a bal oldalára kattintással pedig időben 3 óránként hátrafelé lépkedhetünk. A megjelenítő oldal közel 1000 rész-oldalból áll. Minden egyes időponthoz és térképtípushoz külön-külön rész-oldal tartozik. Ezáltal az internetes oldal megszerkesztése bonyolult, ugyanakkor a látogatók számára könnyed kezelhetőséget biztosít. Ha egy adott időpontra állunk, és térképtípust váltunk, miközben megváltozik a térképünkön megjelenő adathalmaz, az időpont ugyan az marad. 6 paneles, azaz 6 különböző térképtípus egyidejű megjelenítésével is lépegethetünk párhuzamos időben, ami elsősorban HD felbontású monitorokra készült (**23. ábra**).



22. ábra. Internetes megjelenítés, 2010. május 4. 15 UTC.



23. ábra. 6 paneles internetes megjelenítés, 2010. május 4. 15 UTC.



24. ábra. 4 paneles internetes megjelenítés, 2010. május 4. 15 UTC.

Végezetül a **24. ábra** együttesen szemlélteti a 4 darab Közép-Európa méretű nyomás és geopotenciál térképeket, amelyeken a csapadék, a 700 hPa-os szint relatív páratartalma, illetve a 850 hPa, valamint az 500 hPa-os szint hőmérséklete is nyomon követhető. Ezen térképtípusok együttes léptetése és áttekintése rendkívül nagy előnyt jelent a szinoptikusok számára.

3. A megjelenítések összehasonlítása más rendszerekkel

Ebben a fejezetben megismerkedhetünk az előző két fejezetben bemutatott előrejelzési térképekhez, meteogramokhoz hasonló, interneten található néhány más térképpel és megjelenítővel. Célunk ezek összehasonlítása.

Nézzük meg a **10., 20., 21. és a 25–28. ábrát!** A **25. és a 26. ábra** a wetterzentrale oldaláról (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsavnmgeur.html>) szabadon elérhető budapesti GFS diagramot mutatja. A **27. ábra** a szlovák Meteorológiai és Hidrológiai Szolgálat oldaláról (<http://www.shmu.sk/sk/?page=1186#tab>) elérhető meteogramot mutatja be a magyar-szlovák határhoz közeleső Duna-menti Bősre (Sturovo). Szembetűnő különbségeket tapasztalunk az ábrázolások között. A legfontosabb eltérés talán az, hogy a nyers GFS GRIB fájllokból, általam elkészített térképek 0,5 fokos felbontású rácshálózaton megjelenített adatokat tartalmaznak, a másik három ábraszorozat pedig 1 fokos felbontásban mutatja lényegében ugyanokat az időjárási elemeket. A térképeimet úgy választottam ki, hogy első ránézésre is minél több hasznos információt nyújtsanak. Ebben sokat segít a színezés, s a kiemelések is rendkívül fontosak.

A német megjelenítő rendszerben például a három különböző szinten (alacsony, közép és magas) megjelenő felhőzet (**26. ábra**) három sávban van elosztva a legfelül látható fehér árnyalatokkal. Ha hirtelen egy laikus információt szeretne róla gyűjteni, bizony gondolkodnia kell, hogy is kell ezt értelmezni, hiszen mindhárom fő felhőtípus látszik a diagramon, a valóságban pedig nem mindig. Nem szabad elfelejteni, hogy az általam készített térképsorozat elsősorban a látogató közönség számára lett kialakítva. Az egyre alacsonyabb szinten elhelyezkedő felhőzet részben, vagy teljesen eltakarhatja a mögötte levő felhőzetet, hiszen a valóságban is így mutatkozik. Például ha 8 okta alacsony szintű felhőzet borítja az eget, a fölötte elhelyezkedő felhőzet letről már nem látható. Ha csak magas szintű felhőzet várható, abban az esetben a világos, fehér színű sávok szemléltetik, hogy szűrt napsütés megengedett, tehát nem szomorkás, borongós időre kell számítani, még ha a magas szintű felhőzetből 8 okta lett is előrejelezve. A **27. ábrán** a sárga oszlopok szemléltetik a teljes felhőfedettséget, ahol nincsen külön megkülönböztetve a 3 fő felhőtípus.

A légnyomás a **25. ábrán** legfelül, a **27. ábrán** pedig középtájon lett ábrázolva kék vonallal. Itt a lényegi különbség a felbontásban van, ami a légnyomás-görbe kis szakaszonkénti, nagyobb ingadozásában mutatkozik.

A 2 méterre vonatkozó hőmérséklet is kevésbé értelmezhető a diagramokon, különösen a **25. ábrán**, ahol konkrétan ez a hőmérséklet nem is szerepel, csupán a maximum és minimum értékekkel határolt tartomány. A **21. ábrán** szemléletesebben látszik a hőérzet görbe is, ezen kívül a 925 hPa, valamint a 850 hPa-os nyomási szintre vonatkozó hőmérséklet is jelen van. Ez télen a csapadék halmazállapotának felismerését segíti.

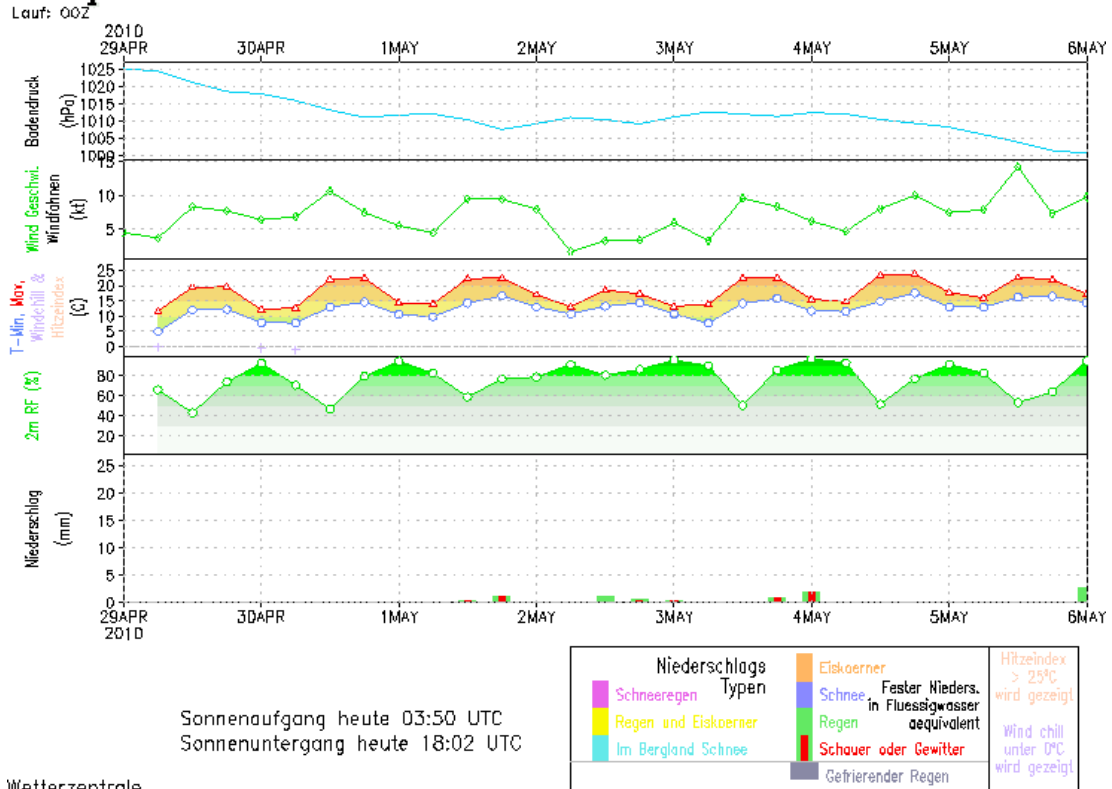
A csapadék megjelenítése a **25** és a **27. ábrán** 6 órás, míg a **21. ábrán** 3 órás intervallumonként történik. Ez utóbbin jól felismerhető a légkör labilitását jelző lifted index, valamint a 4 leyer lifted index is. Ezek csak abban az esetben jelennek meg a grafikonon, ha némi esély mutatkozik zivatar előfordulására, azaz ha az értékük $+2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt van.

A **25. ábrán** felülről a második grafikonnál kt-ben van megadva a szélesebbesség, a laikus érdeklődő ezt általában nem tudja értelmezni, hiszen 1,8-as szorzót kell venni ahhoz, hogy km/h-ban megkaphassuk a 10 méterre vonatkozó átlagos szélesebbeséget. A maximális szellőkés is kiemelten, szemléletesen jelenik meg a **21. ábra** alsó részén km/h-ban kifejezve. Ha a szellőkés már jelentősebb mértékben veszélyeztetik pl. a közlekedést, abban a tartományban a zöld sávos színezés hirtelen vörösbe megy át. A szélirány az általam kifejlesztett diagramon szintén szemléletesen látszik, míg a **27. ábrán** ez kevésbé értelmezhető a laikus ember számára. Mindezen kívül a fontosabb időjárási elemek értékei, szélsőértékei is megjelennek a **21. ábra** jobb oldalán.

Nézzük meg a **26. ábrán** felülről a második ábrázolt adatsort, ami a légkör relatív nedvesség profilját mutatja, együtt a hőmérsékleti és a szélprofilal. Ha ezt összevetjük a **20. ábrával**, a legfontosabb különbség, hogy ez utóbbin 800 hPa helyett egészen 100 hPa szintig terjed az ábrázolás, így a közép, valamint a magas szinteken is láthatjuk a légkör nedvességi állapotát. A páratartalom színezése közti különbség magáért beszél, a **20. ábrán** az égkép színeiben jelenik meg, arányosítva a megfelelő páratartalom értékekkel. Nagyon szembeütő itt is a felbontásbeli különbség.

Budapest

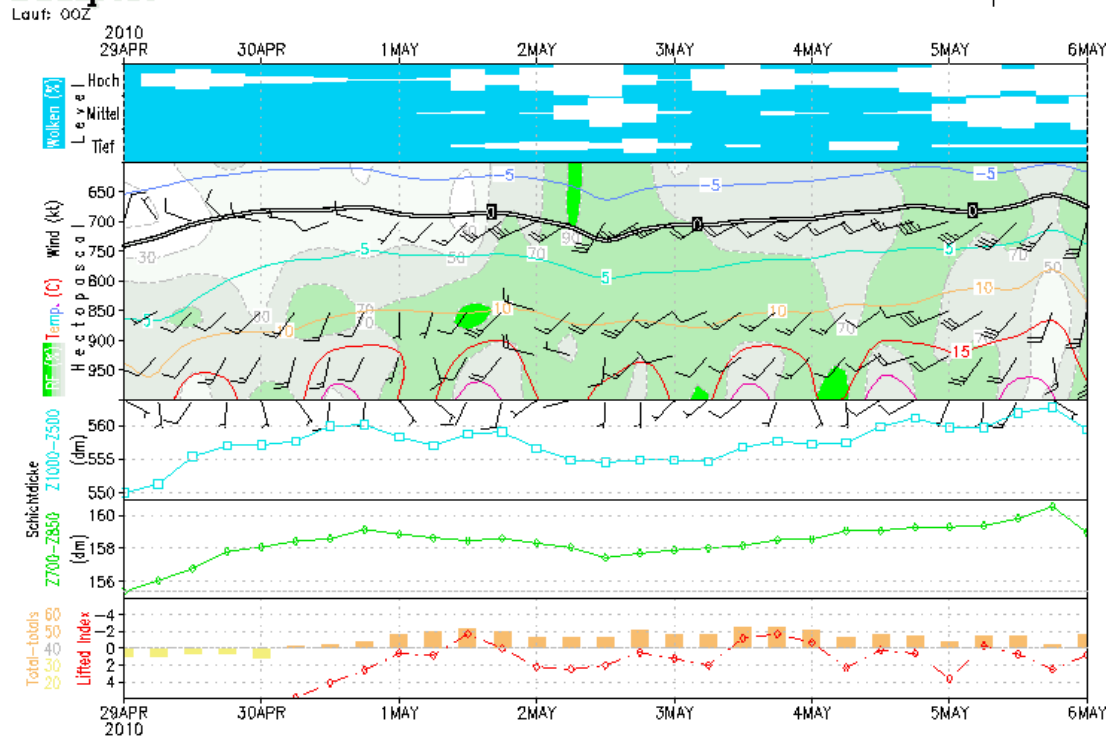
GFS – Bodennahe Werte



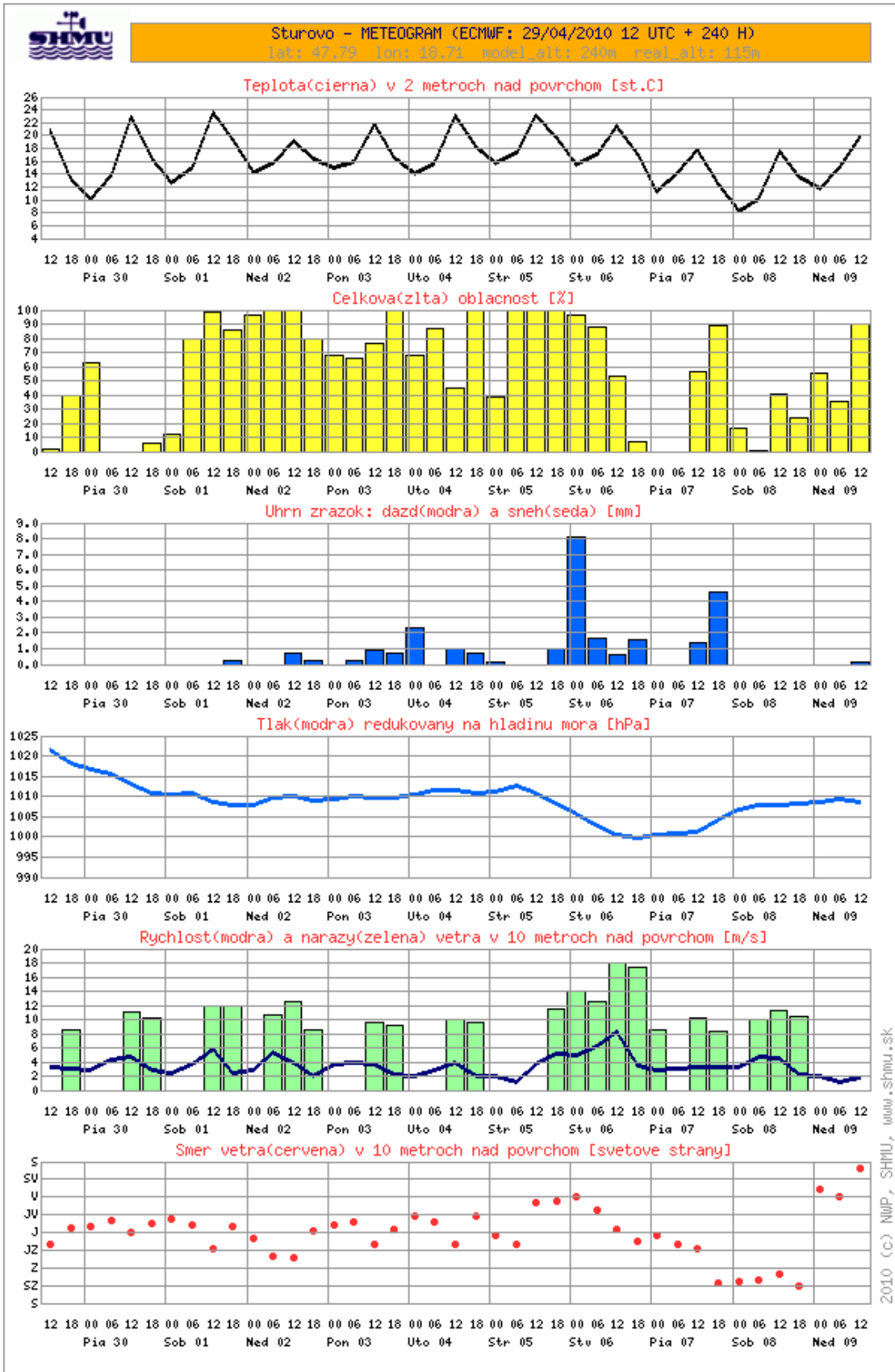
25. ábra. GFS meteogram, Budapest, 2010. április 29. – május 6.

Budapest

GFS – Freie Atmosphäre



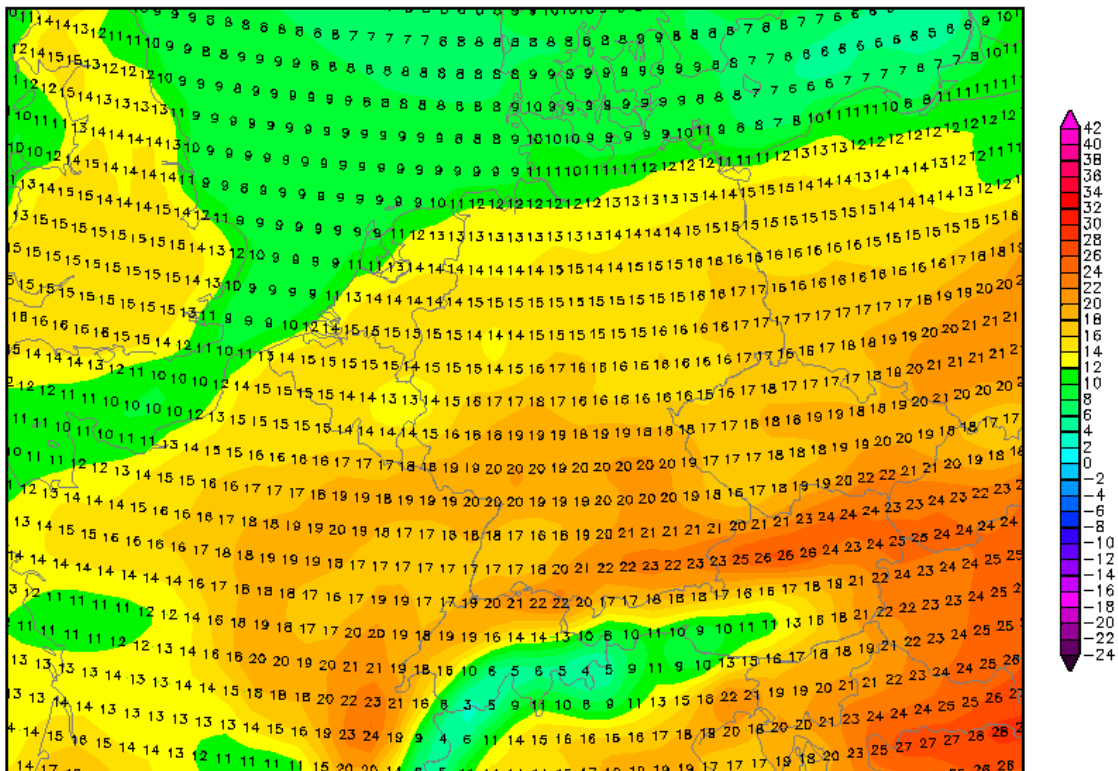
26. ábra. GFS meteogram, Budapest, 2010. április 29. – május 6.



27. ábra. ECMWF meteogram, Bós (Sturovo), 2010. április 29. – május 9.

A Magyarországra elkészített síkvetületi GFS térképek a 0,5 fokos felbontással egyedülállóan jelennek meg az interneten, hiszen más, költségmentesen fellelhető térképeken ilyen felbontásban, egy hetes időtávlatban nincsenek megjelenítve adatok egész Magyarországra kivetítve. A (<http://www.wetterzentrale.de>) oldalon fellelhető GFS térképek közül csak Dunántúl látható ebben a felbontásban (**28. ábra**). Hasonlítsuk csak össze a **10.** és a **28. ábrán** megjelenő maximum hőmérsékleteket!

Init : Thu,29APR2010 00Z Valid: Tue,04MAY2010 15Z
Maximum 2m Temperatur (°C) bis zum Termin



Daten: GFS-Modell des amerikanischen Wetterdienstes
 (C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

28. ábra. GFS hőmérséklet térkép, 2010. május 4. 15 UTC.

Az interneten nehéz fellelni hóborítottság térképet, az általam készített térképek között viszont ez is szerepel. Tél elején, illetve a tél végén ezeken rendkívül szépen elkülönül az Alpok, illetve a Kárpátok havas hegyvonulata az alacsonyabb fekvésű, sík, hó mentes területektől.

Nagyon fontos bizonyos időjárási elemek egy térképen történő megjelenítése – a „hagyományos” GFS megjelenítésben ezek nem lelhetők fel. Például a felhőzet, a

konvektív felhőzet, a csapadék, a szél, valamint a halmazállapotra utaló magassági hőmérsékletek, lásd korábban a **7. ábrát**.

Magyarország egészére kiterjesztve nem láthatók maximális szellőkés adatok sem. Nincsenek profil térképek, azaz egy vertikális sík mentén ábrázolt időjárási elemek, például mint itt a **19. ábra**. Továbbá másutt nincs fellelhető, Magyarországra vonatkozó, nagyított formában megjelenő hó mennyiséget, valamint ónos esőt előrejelző, illetve csapadékot összegző térkép sem.

A geopotenciál térképekről elmondható, hogy az egyszerre 4-es megjelenítésben, valamint a kontúrvonalak közötti 20 gpm és 40 gpm osztásközökkel megjelenített térképsorozat segítségével sokkal egyszerűbben felismerhetők a frontvonalak, mint a „hagyományos” GFS térképeken.

Egyedülálló megjelenítést nyújt az előző fejezetben bemutatott **23. ábrán** látható 6 paneles, HD felbontású monitorokra készült térkép-együttes is. A 6 db együttesen megjelenő térkép léptetése párhozamos időben történik. Technikailag lényegesen egyszerűbb, mint az 1.2. fejezetben ismertetett HAWK-2 rendszer (**2. ábra**), hiszen a HTML forrásban itt a kész térképekre kell csupán hivatkozni.

Ez hasonlóan elmondható a 4 paneles megjelenítőről, melyet a **24. ábra** szemléltet. Rendkívül nagy előnye a HAWK-2 rendszerrel szemben, hogy igen gyors, gyakorlatilag azonnal megjelennek a lekért képek, emellett könnyen bővíthető, tovább fejleszthető és bárki számára ingyen elérhető! Egy-egy kattintással váltogathatunk a 6, a 4, illetve az 1 paneles megjelenítők között.

4. Interpoláció

4.1. Az interpoláció főbb jellemzői

Az interpoláció során célunk az $f(x)$ függvény alakjának egy $I(x)$ függvénnyel való minél pontosabb közelítése olyan formában, hogy a közelítő-függvény is áthaladjon az ún. tabulált pontokon, és elégítse ki az $y_i = I(x)$ feltételt. Az interpolációs módszereket több osztályba sorolhatjuk (<http://hu.wikipedia.org/wiki/Interpoláció>). A közelítési függvények típusát tekintve lehetnek:

- **polinomiálisak**, amikor a közelítő-függvények polinomok
- **trigonometrikusak**, amikor a szinuszos illetve koszinuszos függvényekkel interpolálunk
- **racionális**, amikor egyes függvények nem közelíthetők jól polinomokkal, viszont sikeresen használhatjuk a racionális függvények bővebb osztályát.

Attól függően, hogy milyen más tulajdonságokkal szeretnénk felruházni a közelítő-függvényt, az interpoláció lehet:

- **lokális**, abban az esetben ha az $I(x)$ közelítő függvény meghatározásakor az x közelében fellelhető néhány pontot vesszük figyelembe,
- **globális**, ha az összes rendelkezésre álló (x_i, y_i) pontot felhasználjuk, bármely x értékről lenne szó,
- **spline**, olyankor merül fel, amikor elvárjuk a közelítő-függvény folytonosságát.

A **lineáris interpoláció** a legegyszerűbb interpolációs módszer. Lényege az, hogy az egymás után következő pontokat egyenessel kötjük össze, elsőrendű polinomokat használunk.

A **Lagrange-interpoláció** egy globális interpolációs módszer. Itt több interpolációs polinomot is meg kell határoznunk, ezek mindegyike a teljes $(x_1; x_n)$ intervallumon értelmezett, és egy pont kivételével az összes x_i pontra szükség van együtthatóinak meghatározására. A polinomok foka n .

A **köbös spline-interpoláció** esetén, harmadfokú polinomokkal kötjük össze az egymást követő pontokat. (Ezt gyakran alkalmazzák a meteorológiai gyakorlatban.)

A magasabb fok és az azzal járó, plusz információt hordozó együtthatók szerepe az, hogy olyan módon görbüljön a két pont között a polinom, hogy annak végpontjainál simán illeszkedjen a szomszédos szakaszokon értelmezett polinomokhoz.

4.2. Bináris fájl előállítása

A bináris fájl egy kódolt elektronikus állomány, mely az USA-szabvány szerinti 7 bit-es ASCII karakterektől eltérő elemeket is tartalmazhat. A bináris fájlba történő adatki-nyerés lényegében hasonlít ahhoz a módszerhez, mint amikor magán a térképeken jelenítjük meg az adatokat (http://www.nimbus.elte.hu/oktatasi_anyagok). GRADS-ban az adatsort nem képernyőre, illetve képfájltra íratjuk ki, hanem egy előre megadott bináris fájlba.

4.3. Binárisból txt fájl

A txt egy olyan szövegformátum, melynél minden egyes karakterleütés – beleértve az entert is – lefoglal 1 bájtot. A nagymennyiségű adatok tárolására azonban bináris kódolást alkalmaznak, ezáltal a mérete kisebb lesz. A GRADS is bináris fájlokban tudja elmenteni az adatokat, ezért ahhoz, hogy ezeket txt-ben megkaphassuk, konvertáló programot kell készíteni. Erre egy fortran programot készítettem, melynek alapvető funkciója, hogy megnyitásakor a bináris fájl adatai beolvasásra kerüljenek. A program a beolvasott adatok sorrendjét értelmezhető formára rendezi át, végezetül pedig az értékek egy txt fájlba kiíratódnak. A fortran program forrásának egy rövid részletét az **1. függelék** szemlélteti. A beolvasott bináris fájl tartalmaz 20 változót 61 időlépcsővel, egyenként 170 rácsponttal. Ennek alapján egy időponthoz tartozó elem adatai 17 oszlopban és 10 sorban helyezkednek el, 0,5 fokként lefedve Magyarország területét. Ennek részletét a **2. függelék** szemlélteti. Itt a $t = 1$ időponthoz azért jelennek meg „*” jelek, mert ahhoz az időponthoz a modell nem állít elő adatokat. A program a txt fájlban először kiírja az aktuális nap dátumát, majd időjárási elemenként sorban kiírja a következő elemek értékeit a rácspontokra:

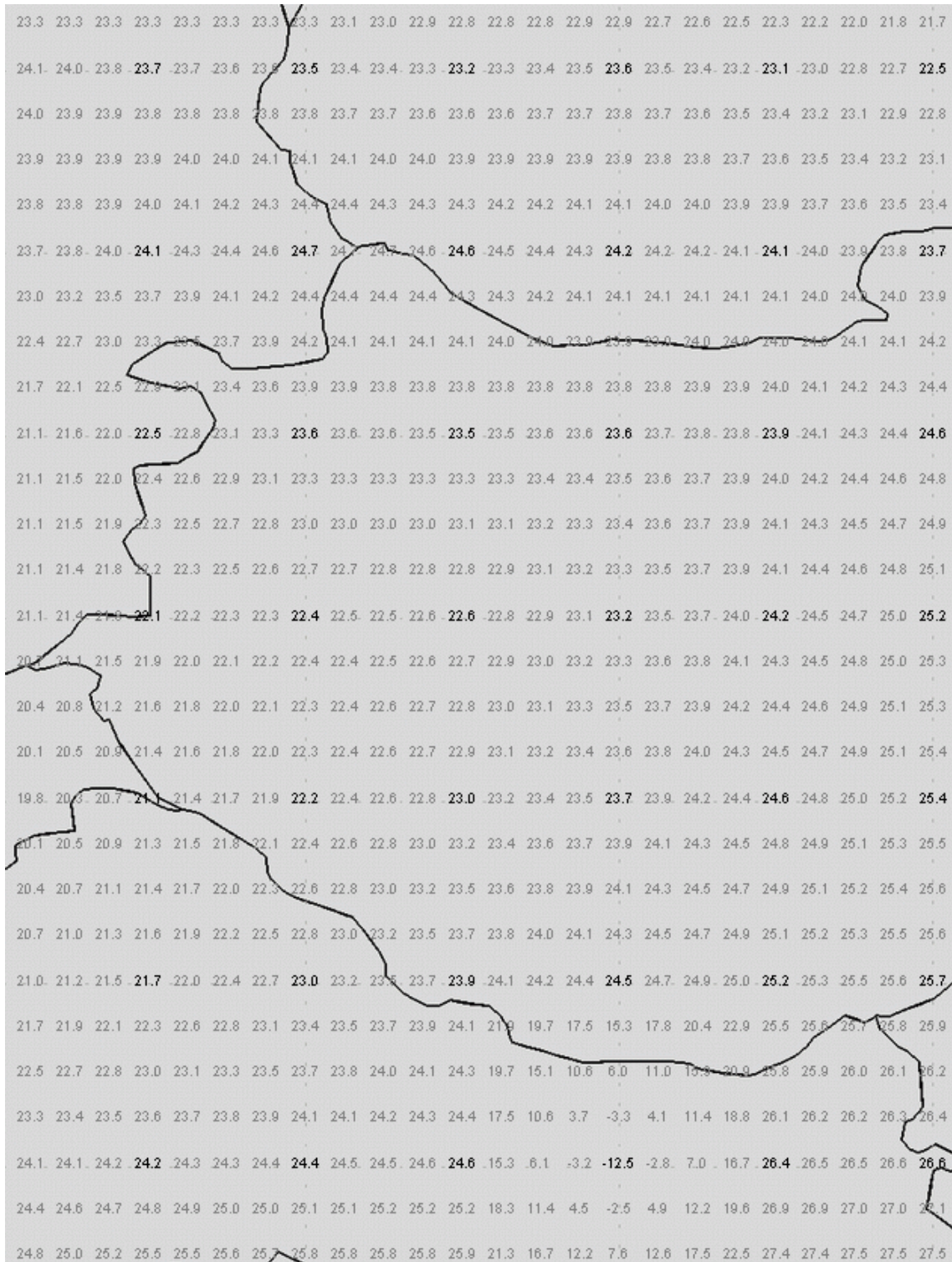
1. minimum hőmérséklet,
2. maximum hőmérséklet,
3. 2 méteres hőmérséklet,
4. 925 hPa hőmérséklet,
5. 850 hPa hőmérséklet,
6. teljes csapadék,
7. konvektív csapadék,
8. hó,
9. talajon létező hó mennyiség,
10. ónos eső,
11. felhőzet,
12. magas szintű felhőzet,
13. közép szintű felhőzet,
14. alacsony szintű felhőzet,
15. konvektív felhőzet,
16. átlagos szél erősség 10 méterre,
17. szél erősség 950 hPa magasságban,
18. szél erősség 925 hPa magasságban,
19. szél erősség 850 hPa magasságban,
20. szél irány.

4.4. Interpolálás Microsoft Excelben

A vizsgálataim során lineáris interpolációs eljárást alkalmaztam, mert a globális modell 0,5 x 0,5 fokos rácsfelbontásából a kívánt új felbontás eléréséhez ez is elegendőnek bizonyult. A fortran program segítségével előállított txt szövegfájl adatait először Microsoft Excelbe olvassuk be. Az adatok elrendezéséről részleges betekintést mutat a **3. függelék**. Minden egyes cella tartalmaz egy rácsponti adatot, maga a megjelenés teljesen hasonló, mint a txt fájlban.

A lineáris interpoláció alkalmazásával, megfelelő súlyozással a meglévő rácspontok közé újabb 3 db rácspont kerül, ezzel lényegesen jobb felbontású mezőt kaptunk, hiszen 55,6 km helyett most már közelítőleg 14 km-enként helyezkednek el az adataink, ezt a

29. ábra szemlélteti. A fekete színnel jelölt számértékek a txt fájlból kinyert, a szürkék pedig az interpoláció során létrejött értékek. Hasonlítsuk össze a **29. ábrán** szereplő hőmérsékleti értékeket a **10. ábrán** levő értékekkel!



29. ábra. Interpolált maximum hőmérsékleti adatsor Magyarország területére, 2010. május 4. 12–15 UTC között.

A lineáris interpolációt egy példán keresztül ismertetjük. Tegyük fel, hogy egy sorban létezik egy $Q5$, és egy $U5$ nevű cella, amik konkrét adatot tartalmaznak. A $Q5$ -ös cellával szomszédos $R5$ -ös cella interpolációs képlete a következőképpen néz ki:

$$(Q5 * 30 + U5 * 10) / 40 .$$

Ugyanezt a módszert alkalmazva felírhatjuk az $S5$ cellára:

$$(Q5 * 20 + U5 * 20) / 40 ,$$

majd a $T5$ cellára:

$$(Q5 * 10 + U5 * 30) / 40 .$$

Ezzel a rácspont sűrítéssel a későbbiek folyamán különféle statisztikai beválás-vizsgálatokat, majd a modell kimenetének javítását végezhetjük el. A mért és az előrejelzett adatok az interpoláció segítségével jobban illeszkednek, közelebb helyezkednek el egymáshoz.

5. A GFS modelleredmények beválás-vizsgálata

5.1. A beválás-vizsgálatról általában

A modellszámítások kimeneti értékeinek vizsgálata során (verifikáció) a mért és az előrejelzett értékekből egy, vagy több származtatott mérőszámot állítanak elő, és azt vizsgálják (Csima, 2003). A beválás-vizsgálat elsősorban a numerikus modellfejlesztők számára nyújt hasznos információkat. Miközben megtudjuk, hogy mely meteorológiai paramétereknél fordulnak elő szisztematikus hibák, megtudhatjuk azt is, hogy melyik elem előrejelzésén kell javítani. A verifikációs mérőszámok figyelésével nyomon követhetők a modell hibái, valamint a javulás is. Az előrejelző szakemberek ezen mérőszámokat figyelemmel kísérve megállapíthatják, hogy az alkalmazott modell előrejelzéseinek beválása mennyire tér el az általuk készített előrejelzéstől (Üveges, 2009).

Objektív és szubjektív beválás-vizsgálatot különböztetünk meg. Az objektív vizsgálat esetén a modell és a megmért értékekből egy hosszabb idősor adatainak felhasználásával statisztikai vizsgálatot végzünk. A szubjektív beválás-vizsgálatnál, pedig az egyes meteorológiai paramétereket térképen ábrázoljuk és vizuálisan hasonlítjuk össze (Tajti, 2009).

Egy verifikáció készítés előtt figyelembe kell venni a modell rácsfelbontását, a mért adatok reprezentativitását, helyi klimatológiai adatokból vett eloszlás- és sűrűség függvények származtatását. A felszíni megfigyelések mellett célszerű felhasználni a radart és a műholdképet is. A kiértékelésnél figyelembe kell venni a mérések sűrűségét (Jolliffe és Stephenson, 2003; Nurmi, 2003).

5.2. A determinisztikus előrejelzések verifikációja

A folytonos eloszlású változók verifikációja azt mutatja meg, hogy az előrejelzett érték mennyivel tér el a megfigyelt értéktől. Gyakori paraméterek pl.: a 2 méteres hőmérséklet, a légnyomás, szélesség, szélirány, (adott időpontban, vagy átlagoltan véve), a csapadékmennyiség (adott időpontra összegezve, pl: 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 óra), valamint a felhőborítottság.

Legelőször célszerű plot-diagramon ábrázolni a megfigyelt és az előrejelzett értékek eloszlását, így láthatjuk a különbségeket, illetve a kiugró értékeket.

Második lépésként megvizsgálhatjuk a hibákat számszerű értékekkel.

Átlagos hiba (*Mean Error*), vagy szisztematikus hiba:

$$ME = 1/n \sum (f_i - o_i).$$

A mért és az előrejelzett érték párok különbségének átlagát határozza meg, ahol az f_i az i -edik előrejelzést, az o_i az i -edik megfigyelést jelöli. ME mínusz végtelentől plusz végtelenig terjedhet, a tökéletes előrejelzésnél nullát venne fel. n az esetszám.

Átlagos abszolút hiba (*Mean Absolute Error*):

$$MAE = 1/n \sum |f_i - o_i|.$$

Értéke nullától végtelenig terjedhet, és megadja az abszolút eltérések átlagát. Ezt a két mérőszámot egyidejűleg érdemes használni.

Átlagos négyzetes hiba (*Mean Squared Error*):

$$MSE = 1/n \sum (f_i - o_i)^2.$$

A négyzetre emelésnek köszönhetően az MSE lényegesen érzékenyebb a nagyobb hibákra.

Lineáris hiba (*Linear Error in Probability Space*):

$$LEPS = 1/n \sum |CDF_0(f_i) - CDF_0(o_i)|.$$

Lineáris hiba a valószínűségi mezőben. Ez egy kevésbé elterjedt formula. A CDF_0 (*Cumulative Probability Density Function of the observation*) a kumulatív valószínűségi sűrűség függvény, mely egy adott meteorológiai paraméter sűrűség függvényéből nyert eloszlásfüggvény. Ez lehet egy klimatológiai eloszlásfüggvény is. Értéke nullától egyig terjed, tökéletes előrejelzésnél nulla lenne, egynél pedig 100%-os a hiba. Előrejelzések értékeléséhez használják. Az eloszlásfüggvényeket különböző súlyozásokkal is vehetjük:

Beválási tényező (Skill score):

$$SS = (A - A_{ref}) / (A_{perf} - A_{ref}) .$$

'A' a felhasznált hibastatisztika, ami akár *MAE*, *MSE*, vagy *LEPS* is lehet. A_{perf} értékét akkor kapnánk, ha az előrejelzés tökéletes lenne, A_{ref} a referencia előrejelzés értéke. Ennek segítségével egy viszonyítási – referencia szinthez képest megállapíthatjuk az előrejelzés javulását. Értéke mínusz végtelentől egyig terjed. A tökéletes előrejelzés értéke egy.

A beválási tényező egy másik, egyszerűsített alakja:

$$SS = 1 - A / A_{ref} .$$

A *MAE*, az *MSE*, illetve a *LEPS*-re is felírhatjuk a Skill score alakot:

$$MAE_SS = 1 - MAE / MAE_{ref} ,$$

$$LEPS_SS = 1 - LEPS / LEPS_{ref} ,$$

$$MSE_SS = 1 - MSE / MSE_{ref} ,$$

ahol:

MAE_SS: átlagos abszolút hiba Skill score-ja

LEPS_SS: lineáris hiba Skill score-ja

MSE_SS: átlagos négyzetes hiba Skill score-ja.

A fontos eseményeket **diszkrét eloszlású változó**ként kezeljük. Megkülönböztetünk két- (igen / nem), illetve több kategóriás előrejelzéseket. Kétkategóriás esetben azt határozzuk meg, hogy az adott esemény bekövetkezik-e, vagy nem. Ilyen, pl. az eső, hó, erős szél, éjjeli fagyás, valamint a köd. Első lépésként egy 2 x 2-es konfidencia táblázatot kell megalkotni, ahol négy esetet különböztetünk meg:

- jó az előrejelzés, és elfogadjuk,
- jó az előrejelzés, és elvetjük,
- rossz az előrejelzés és elfogadjuk,
- rossz az előrejelzés és elutasítjuk.

Ideális esetben az első kategória egy értéket kap, a többi pedig nullát.

Gyakorisági index (*Bias*):

$$B = (a + b) / (a + c) ,$$

ahol:

- *a*: az előrejelzés mutatta és bekövetkezett az esemény (találatok),
- *b*: az előrejelzés mutatta, de nem következett be az esemény (téves riasztások),
- *c*: az előrejelzés nem mutatta és bekövetkezett az esemény (hibázások),
- *d*: az előrejelzés nem mutatta és nem is következett be az esemény (találatok).

Értéke nullától végtelenig terjed, a hibátlan eset értéke egy. A szisztematikus hiba gyakoriságára utal. Összehasonlítja az előrejelzett gyakoriságot és a ténylegesen bekövetkezett események gyakoriságával.

Jósági arány (*Propotion Correct*):

$$PC = (a + b) / n ,$$

ahol 'n' az esetek száma. Értéke nullától egyig terjed, egy az ideális érték. Ez a módszer a rossz előrejelzést a jó modell esetén ugyan úgy értékeli, mint a jót, ezért előnyösebb használni a következő formulát:

Találati arány (*Probability Of Detection*):

$$POD = a / (a + c) .$$

Nullától egyig terjedő értékkel rendelkezik, ideális értéke egy. A megfigyelt események, és a találatok arányát vizsgálja. A hibás eseményeket nem veszi figyelembe.

Hibás találati arány (*False Alarm Ratio*):

$$FAR = b / (a + b) .$$

Az értéke nullától egyig terjed, és nulla az ideális. Érzékeny az esemény klimatikus gyakoriságára. A *FAR* észreveszi a hibás eseményeket is, de a kihagyásokat nem veszi figyelembe. A *FAR* és a *POD* együtt vizsgálandó.

A téves riasztásokat megnézhetjük, hogyan aránylanak a nem bekövetkezett eseményekhez:

Hibázás (*False*):

$$F = b / (b + d) .$$

Értéke ennek is nullától egyik terjed, és nulla az ideális érték.

A valós modell kiértékelésnél a **valódi képesség statisztikát** használják (*Kanssen-Kuipers Skill Score*):

$$KSS = POD - F .$$

Értéke mínusz egy és egy között változik, az ideális érték egy.

A ritka eseményeknél (pl. jégeső) a jó események elutasítása elég nagy. Így a *FAR* alacsony értékű lesz, *KSS* pedig a *POD*-hoz közelít. A ritka eseményekre külön indexet célszerű bevezetni.

Ritka események bekövetkezése (*Threat Score*):

$$TS = a / (a + b + c) .$$

Értéke nullától egyig terjed, az ideális értéke egy. A találatokat és a hibákat is figyelembe veszi, de az események klimatológiai gyakoriságára nagyon érzékeny. Ezt a következő formulával küszöbölik ki:

Veszélyességi index (*Equitable Threat Score*):

$$ETS = (a - ar) / (a + b + c - ar) ,$$

ahol a **véletlenszerű találatok aránya**:

$$ar = (a + b)(a + c) / n .$$

Értéke $-1/3$ -tól egyig terjed, és egy a tökéletes előrejelzés.

Ha mindent figyelembe veszünk, a konfidencia táblázatban, akkor a **Heidke Találati** arányt használjuk (*Heide Skill Score*):

$$HSS = (2 * (ab - bc)) / ((a + b)(c + a) + (a + b)(b + d)) .$$

Értéke mínusz egy és egy között változik, az ideális értéke egy.

Az előrejelzés találatának valószínűsége (*Odds Ratio*):

$$OR = ad / bc .$$

Az előrejelzés találatának a valószínűségét hasonlítja össze a téves riasztás valószínűségével. Értéke nullától végtelenig terjed. A tökéletes előrejelzés mérőszáma végtelenhez tart. Ha az értékét mínusz egy és egy között szeretnénk megkapni, akkor:

$$ORSS = (ad - bc) / (ad + bc) .$$

Ekkor a hibátlan előrejelzés értéke egy.

Léteznek **többkategóriás változók** is, ilyenek pl. a felhőzet borultsági mértéke, illetve a csapadék formája (eső, jégeső, szitálás, hó). Ezek nem vezethetők vissza a kétkategóriás (igen/nem) előrejelzésekre. Ebben az esetben is kigyújthatjuk eseménytáblázatba az eseteinket, például 3 x 3-asba. Minden táblázatot úgy kell konstruálni, hogy csak a valóban előrejelzett eseményt vesszük figyelembe, megkülönböztetve a nem előrejelzett eseménytől.

A *KSS*, illetve a *HSS* **mátrixos alakja** a következőképpen néz ki:

$$KSS = [\sum p(f_i, o_i) - \sum p(f_i) p(o_i)] / [1 - \sum (p(f_i))^2] ,$$

$$HSS = [\sum p(f_i, o_i) - \sum p(f_i) p(o_i)] / [1 - \sum p(f_i)p(o_i)] ,$$

ahol i a táblázat dimenziója, illetve futóindex. A $p(f_i, o_i)$ az előrejelzéseknek és a megfigyeléseknek az együttes eloszlást ábrázolja. A $p(f)$ és $p(o)$ a határvalószínűségi eloszlások az előrejelzésekre és a megfigyelésekre. *KSS* és *HSS* a helyes előrejelzések lehetséges javításainak mérőszámai a véletlenszerű előrejelzés felett.

Ha az adott előrejelzések bizonytalanságát is figyelembe vesszük, akkor **valószínűségi előrejelzésekről** beszélünk. Ez a bizonytalanság 0 és 100% között lehet. A vizsgálathoz igen nagymennyiségű előrejelzéshez van szükség.

A valószínűségi előrejelzések részletesebb ismertetésével a dolgozatban nem foglalkozom. A célom egy olyan gyakorlatorientált áttekintés volt a verifikációs módszerekről, amelyet sikerrel alkalmazhatunk a közeljövőben az EWS meteorológiai produktumainak minél részletesebb, automatizált beválás-vizsgálatában. E cél érdekében már megtettük az első lépéseket.

5.3. A beválás-vizsgálat eredményeinek ábrázolása

A GFS modell beválás-vizsgálatait Microsoft Excelben végeztem el. Célom, hogy megismerjük az előrejelzett értékeknek legalapvetőbb hibáit. A dolgozatban a 2 méteres szintre vonatkozó napi minimum és maximum hőmérséklettel, illetve a napi csapadékmennyiséggel foglalkozunk.

A vizsgálathoz a modell adatokat GRADS program segítségével nyertem ki, és azokat hasonlítottam össze az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) által végzett mérésekkel (*Napi jelentések*). A vizsgálat a 2009. november 14. és a 2010. április 7. közötti időszakot öleli fel, és a következő 9 magyar településre terjed ki: Budapest, Sopron, Siófok, Nagykanizsa, Pécs, Kecskemét, Szeged, Debrecen, valamint Nyíregyháza. A dolgozatban egy helyszínről (Budapestet) és a 9 település átlagairól készített vizsgálati eredményeket mutatom be. (Részletesebb vizsgálati eredmények a (<http://www.eumet.hu>) oldalon találhatóak.)

A vizsgálat során először a mért és előrejelzett adatokat jelenítem meg. Ezt követően ábrázolom a Budapestre meghatározott hibát (előrejelzés eltérése a mérésektől, E), valamint az abszolút hibát (AE), a hibák relatív gyakoriságát, majd egy plot-diagramon szemléltetem a mért és előrejelzett értékeket. Megjelenítem a 9 vizsgált állomás átlagos hibáit (ME), átlagos abszolút hibáit (MAE), illetve a hibák átlagos relatív gyakoriságát. Az (E) jelölés lényegében az (ME), az (AE) pedig az (MAE) jelölés definícióját takarja, de megkülönböztetési okokból, ahol csak egy előrejelzési és egy mérési adatból ($n = 1$ és $i = 1$, pl. Budapestre) határoztam meg a hibát és abszolút hibát,

ott a (*Mean, M*) jelölést elhagyom. A vizsgálathoz azért választottam ezeket az egyszerű verifikációs indexeket, mert a GFS modellel történő ismerkedéshez, az alapvető hibák feltárásához elegendő rálátást adnak. Fontos érv volt az egyszerű kezelhetőség is.

Megvizsgálom a különböző időtávokra (1–8 napig) terjedő előrejelzések hibáit is úgy, hogy veszem csak az 1. napra, csak a 2., végezetül csak a 8. napra vonatkozó előrejelzések átlagát, majd azokat ábrázolom. Nézzük a vizsgálat eredményeit!

A **4. függelékben** a mért és a GFS modell által előrejelzett napi minimum és maximum hőmérsékletet, valamint a csapadék mennyiségét látjuk Budapest-Pestszentlőrinc (12843) vonatkozóan. A különböző színű vékony vonalak a modell által, az aktuális naphoz képest 1–8 nappal korábban előrejelzett értékeket mutatják. Azt láthatjuk, hogy a vastag fehér vonallal kirajzolt mért értékekhez hogyan viszonyulnak a modell által előrejelzett értékek. Látható, hogy átlagosan a hosszabb időtávra készített előrejelzés bevalása (fekete, kék vonalak) rosszabb, mint kisebb időtávra, jobban eltérnek a mért értékektől, ugyanakkor a rövid időtávú előrejelzések (sárga, zöld vonalak) között is láthatók egy-egy napra történő nagyobb kilengések mind a hőmérséklet, mind pedig a csapadékmennyiség vizsgálatában, de a rövidebb előrejelzések összességében jobban közelítik a valóságot. Megfigyelhetjük, hogy a 2009. Karácsonya előtti erőteljes lehülés görbére (vastag fehér vonal) 1–2 futástól eltekintve jól illeszkednek a modellfutás eredményei (vékony, színes vonalak). Az azt követő jelentős mértékű enyhülést kifejezetten jól reprezentálta a GFS modell.

Az **5. függelékben** szintén Budapest-Pestszentlőrinc állomásra láthatjuk az előrejelzett és a mért értékek különbségeit (*E*). Ezek az ábrák azért szemléletesebbek az előzőekhez képest, mert itt a tökéletes előrejelzés értéke nulla lenne, tehát a nullától való eltéréseket figyelhetjük meg. A napi minimum hőmérséklet esetében az eltérés legfelső határa körülbelül 10 °C, az alsó határ közelítőleg –10 °C, kivéve 2010. február 10. környékét, amikor 15 °C-kal hidegebbet jelzett előre a modell 7 nappal korábban. Az ábrán jól nyomon követhető, hogy a rövid távú (1–2 napos) előrejelzések kisebb, a több napra szóló előrejelzések (6–8 napos) pedig nagyobb hibával rendelkeznek. A csapadék esetében a legnagyobb eltérés ~29 mm, ami a vizsgált időtartam alatt kétszer fordult elő.

A **6. függelékben** az abszolút hibák értékei (*AE*) vannak kivetítve. Itt a korábban negatív eltérések is a pozitív tartományban vannak kimutatva, ezáltal egységesebb képet kapunk a hibák mértékéről.

A **7. függelék**ben ugyanezen értékeknek a relatív gyakoriságát követhetjük nyomon. A függőleges tengelyen levő értékek azt mutatják, hogy a vizsgált idő intervallumnak (145 nap) hány %-át teszik ki a vízszintes tengelyen feltüntetett hőmérséklet-eltérések. Leolvasható, hogy a minimum hőmérsékletekre nézve, a mért adathoz képest 1 fokkal hidegebbet előrejelző modellfutások az esetek közel 25%-ában fordultak elő. Ugyanakkor 5 fokkal hidegebb futások (előrejelzett értékek) már csak körülbelül 3,5%-ban tapasztalhatók átlagosan. Egy-egy napra vonatkozó görbe minél magasabb és keskenyebb, annál közelebb van a mért értékekhez, és minél alacsonyabb, valamint szélesebb, annál inkább eltér a mért értékektől. Nagyobb eltéréseket ezen elemzés alapján is a távolabbi időpontra előrejelzett értékek esetén tapasztalhatunk.

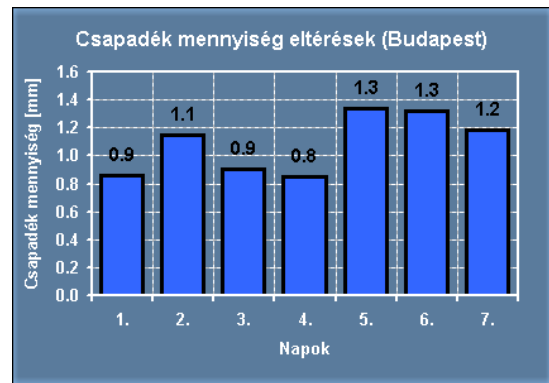
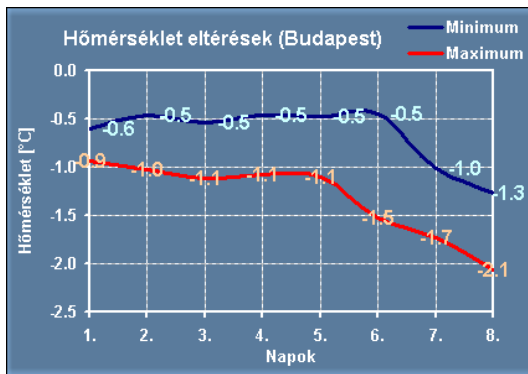
A napi csapadékösszeg elemzésénél kitűnik, hogy az esetek többségében, amikor nem hullott csapadék, a beválás sokkal jobb, mint amikor mérhető mennyiségű csapadék hullott.

A **8–10. függelék** a fenti görbéket 9 településre átlagolva mutatja (*ME*, *MAE*, valamint az átlagos hibák relatív gyakorisága). Így egy országos beválási képet kapunk a GFS modellre vonatkozóan. Ha összevetjük a budapesti és az országos átlagolt eredményeket, szembetűnik, hogy sokkal “egyenletesebben” jelennek meg a különböző időtávokra szóló hibák. A rövidebb időtávra vonatkozó előrejelzések hibái sokkal jobban elkülönülnek a 6–8. napra szóló előrejelzések hibáitól, mint amikor csak egy települést (Budapestet) vizsgáltuk.

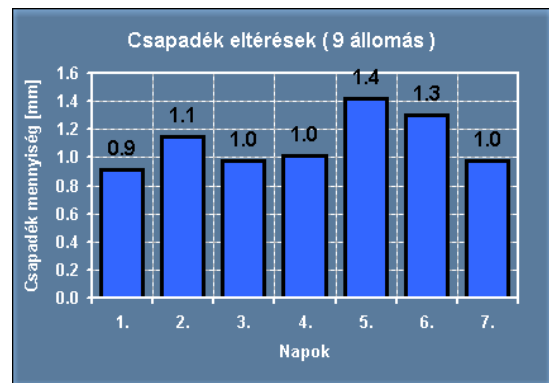
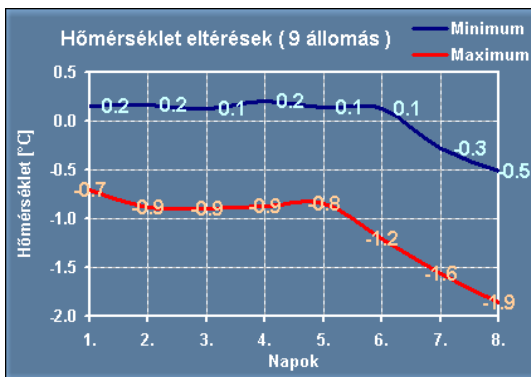
A **30. ábrán** a napi minimum és maximum hőmérséklet, illetve a napi csapadék átlagos hibáit (eltéréseit) láthatjuk az 1–8. nap között. Az 1. nap értéke csak az 1. napra szóló előrejelzés átlagának eredményét tükrözi, hasonlóan a 2., 3., stb. napra. Nincs jelentős eltérés egyik időjárási elem között sem annak függvényében, hogy mekkora időtávra készült az előrejelzés. Összességében a legkisebb eltérés az 1–5. nap között figyelhető meg, majd a 6. naptól kezdődően már nőtt az eltérés a mért és az előrejelzett értékek között. A napi minimum hőmérsékletet körülbelül 0,5 °C-kal, a maximum hőmérsékletet pedig 1,1 °C-kal jelezte alacsonyabban a modell, tehát megállapíthatjuk, hogy alábecsült. A napi csapadékmennyiség esetében túlbecslést vehetünk észre, melynek értéke az 1–4. nap között átlagosan 0,9 mm, az 5–7. napon pedig már 1,3 mm.

A **31. ábrán** ugyanezen mennyiségek 9 állomásra vonatkozó átlagos előrejelzési hibáit láthatjuk. Számottevő mértékű eltérés a Budapesti és az „országos” vizsgálat során nincs. Az eredmények alapján föl tudunk állítani egy statisztikát. Országos viszonylatban a GFS modell a napi minimum hőmérsékletek előrejelzését az 5. napig

0,1–0,2 °C-kal felülbecsülte, míg a napi maximum hőmérsékleteket már ugyanilyen időtávon 0,9 °C-kal alábecsülte. A csapadékot körülbelül 1–1,3 mm-rel becsüli fölé a modell. Ezen időtáv felett – különösen a napi minimum és maximum hőmérséklet esetében – már jelentősebb mértékben nő a bevalás hibája.



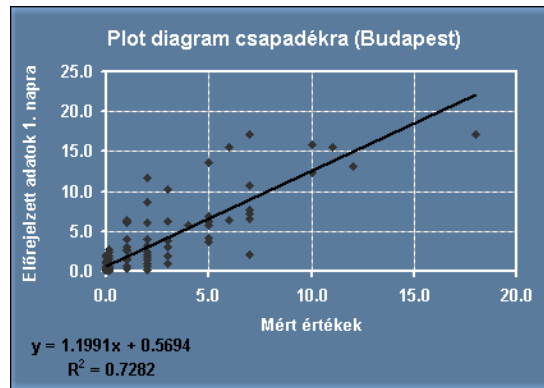
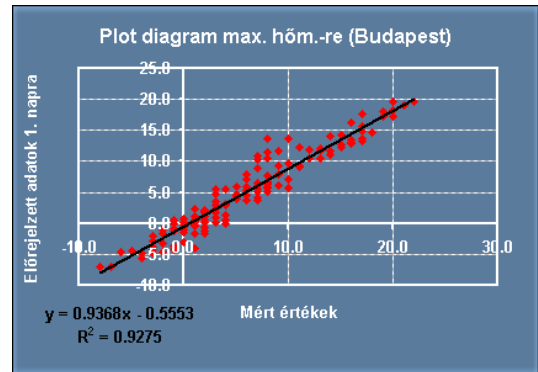
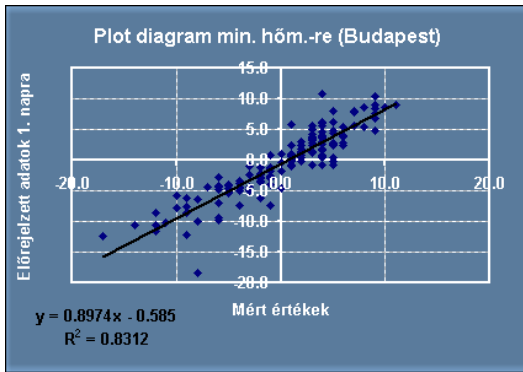
30. ábra. Átlagolt eltérések (ME) az előrejelzés különböző időtartamaira (1–8. nap) Budapestre (12843) a GFS modell alapján (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).



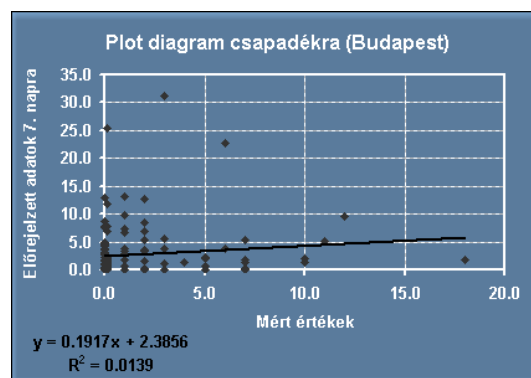
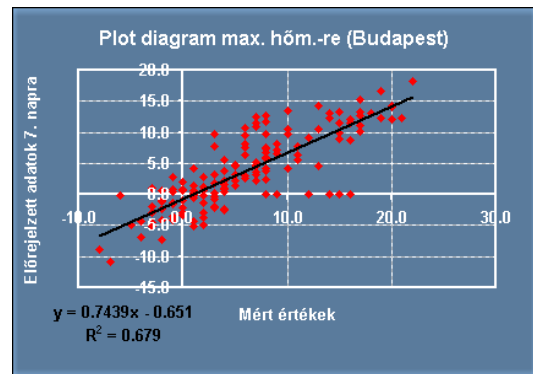
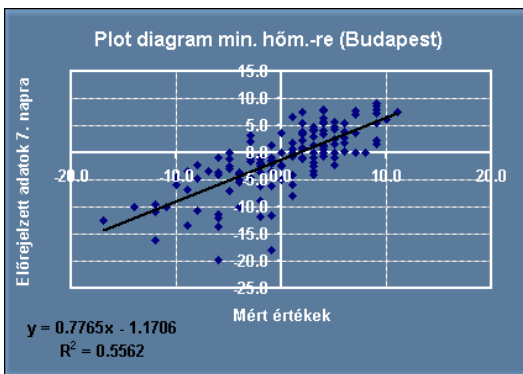
31. ábra. Átlagolt eltérések (ME) az előrejelzés különböző időtartamaira (1–8. nap) 9 hazai állomás átlagára a GFS modell alapján (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).

A **32. ábra** bal oldalán a napi minimum, jobb oldalán a napi maximum hőmérsékletet, alatta pedig a napi csapadék mennyiség mért és a 24 órás előrejelzett (1. nap) értékeit látjuk plot-diagramon Budapest-Pestszentlőrincre vonatkozóan. A **33. ábrán** pedig a 7. napra vonatkozó előrejelzések vannak párosítva a mért értékekkel. Akkor mondhatunk tökéletesnek egy előrejelzést, ha a pontokra illesztett egyenes 45 fokos szöget zár be, és a pontok teljesen illeszkednek rá.

Lényeges különbséget tapasztalhatunk az R^2 korrelációs együttható értékeiben az előrejelzés 1. napján, illetve az egy hetes előrejelzés végén.



32. ábra. Plot-diagram az 1. napra szóló (0–24 órás) előrejelzés és a mért adatok alapján Budapest-Pestszentlőrincre (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).



33. ábra. Plot-diagram a 7. napra szóló (144–168 órás) előrejelzés és a mért adatok alapján Budapest-Pestszentlőrincre (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).

Az ábrák alapján a GFS modell a napi maximum hőmérsékletet jelezte előre legmegbízhatóbban, a korrelációs együttható értéke az 1. napon 0,93, illetve 0,68 volt a 7. napon. A napi minimum hőmérséklet előrejelzések pontossága ennél kissé rosszabb, a napi csapadék esetében már lényegesen nagyobb a bizonytalanság. Míg nagyobb csapadék mennyiségeknél nagyobb az eltérés, addig a minimum és a maximum hőmérséklet előrejelzésénél nem függ a hiba attól, hogy mennyire van hideg, illetve meleg.

Összefoglalás

Diplomamunkámat az Európai Meteorológiai Szolgálatnál (EWS) készítettem. A dolgozat első részében röviden ismertettem a numerikus modellek felépítését. Bemutattam a legfontosabb időjárás-előrejelző modellek típusait, főbb jellemzőit, a megjelenítő rendszereket. Ismertettem a legalapvetőbb térkép megjelenési formákat. Ezt követően elemeztem a GRADS meteorológiai térképkészítő program segítségével elkészített előrejelzési térképeket, ismertettem a rajtuk ábrázolt elemeket, felhívtam a figyelmet a fontosságukra. Részletesen foglalkoztam a térbeli és időbeli metszetek felépítésével, együttes, kompozit térképek konstruálásával. Az egyes paraméterek együttes kezelése rendkívül fontos és hasznos a meteorológiában. Megmutattam, hogyan lehet ezeket a térképeket interneten megjeleníteni úgy, hogy azokat bárki ingyenesen elérhesse. Felhívtam a figyelmet az általam alkalmazott, és más nemzetközi internetes oldalakon elérhető megjelenítések közötti különbségekre. A dolgozat utolsó részeként ismertettem a verifikációval kapcsolatos főbb eljárásokat, illetve részleteztem a determinisztikus előrejelzések verifikációs módszereit. Végezetül grafikonokkal alátámasztva bemutattam az általam végzett beválás-vizsgálatok eredményeit Budapest-Pestszentlőrincen, és 8 további magyar településre átlagolva. Ennek alapján kiderültek a GFS modell fontosabb hibái, amelyekre a jövőben a használatánál fokozottan figyelni tudunk.

A közel két éve folyó munka, a megjelenítő rendszer kifejlesztése, nem ért véget. A továbbiakban újabb előrejelzési térképeket szeretnék előállítani, több paraméter ábrázolásával, új leszármaztatott mennyiségek bevonásával, más és más léptékkel. Szélesebb körben kívánom folytatni a beválás-vizsgálatot is, elemezve az évszakos beválások különbözőségeit is. Az eredményeket különböző matematikai módszerekkel, (pl. véges különbséges módszer) szeretném hozzacsatolni a GFS modell kimeneti adataihoz, és azt követően az előrejelzési térképeknek már egy javított változata jelenhet meg.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, az EWS igazgatójának Pártai Luciának, továbbá az EWS előrejelző részlegének irányítójának Aigner Szilárdnak az előrejelzési térképek kialakításánál nyújtott segítségükért, javaslataikért, valamint a munkafolyamathoz nélkülözhetetlen, nagyteljesítményű számítógép biztosításáért. Szeretném megköszönni Dr. Weidinger Tamás tanszéki konzulensemnek a dolgozat kialakítása során nyújtott segítségét és kitartó munkáját.

Függelékek

```
1 program konvertal]
2 c Deklaráció:
3 integer i,j,x,y,z,v,t1,t2,t3,g,sorszam
4 integer*4 today(3), now(3)
5 real a(20*61*170)
6
7 call idate(today) / today(1)=day, (2)=month, (3)=year
8 call itime(now) / now(1)=hour, (2)=minute, (3)=second
9
10 t1=1
11 t2=61
12 t3=20
13
14 c Fájl megnyitása:
15 open(9,file='gfs.bin',status='old',
16 x form='unformatted',access='direct',recl=t2*t3*4*170)
17
18 read(9,rec=1) a
19 close(9)
20
21 c Kiírás:
22 open(8,file='gfs.txt',status='unknown',
23 x form='formatted',access='sequential' )
24
25 write(8,99) today(3), today(2), today(1), now
26 99 format ( 'GFS, ', i4.4, '-', i2.2, '-', i2.2, ' ',
27 & i2.2, ':', i2.2, ':', i2.2 )
28
29 c ***** MINIMUM HŐMÉRSÉKLET *****
30
31 sorszam=1 ; t2=61*sorszam ; t1=t2-60 ; g=1
32 do k=t1,t2 ;
33 write(8,100) g ;
34 100 format ('T min, t = ',i2) ; v=(k-1)*170 ; x=v+153 ; y=x-153 ; z=-17
35 do j=x,y,z
36 write(8,101) a(j+1),a(j+2),a(j+3),a(j+4),a(j+5),a(j+6),a(j+7)
37 x,a(j+8),a(j+9),a(j+10),a(j+11),a(j+12),a(j+13),a(j+14),a(j+15),
38 xa(j+16),a(j+17)
39 101 format(17(F7.1)) ;
40 enddo ;
41 g=g+1 ; enddo
42
43 c ***** MAXIMUM HŐMÉRSÉKLET *****
44
45 sorszam=2 ; t2=61*sorszam ; t1=t2-60 ; g=1
46 do k=t1,t2 ;
47 write(8,102) g ;
```

1. függelék. Egy bináris fájlból txt file-t konvertáló fortran program részlete.

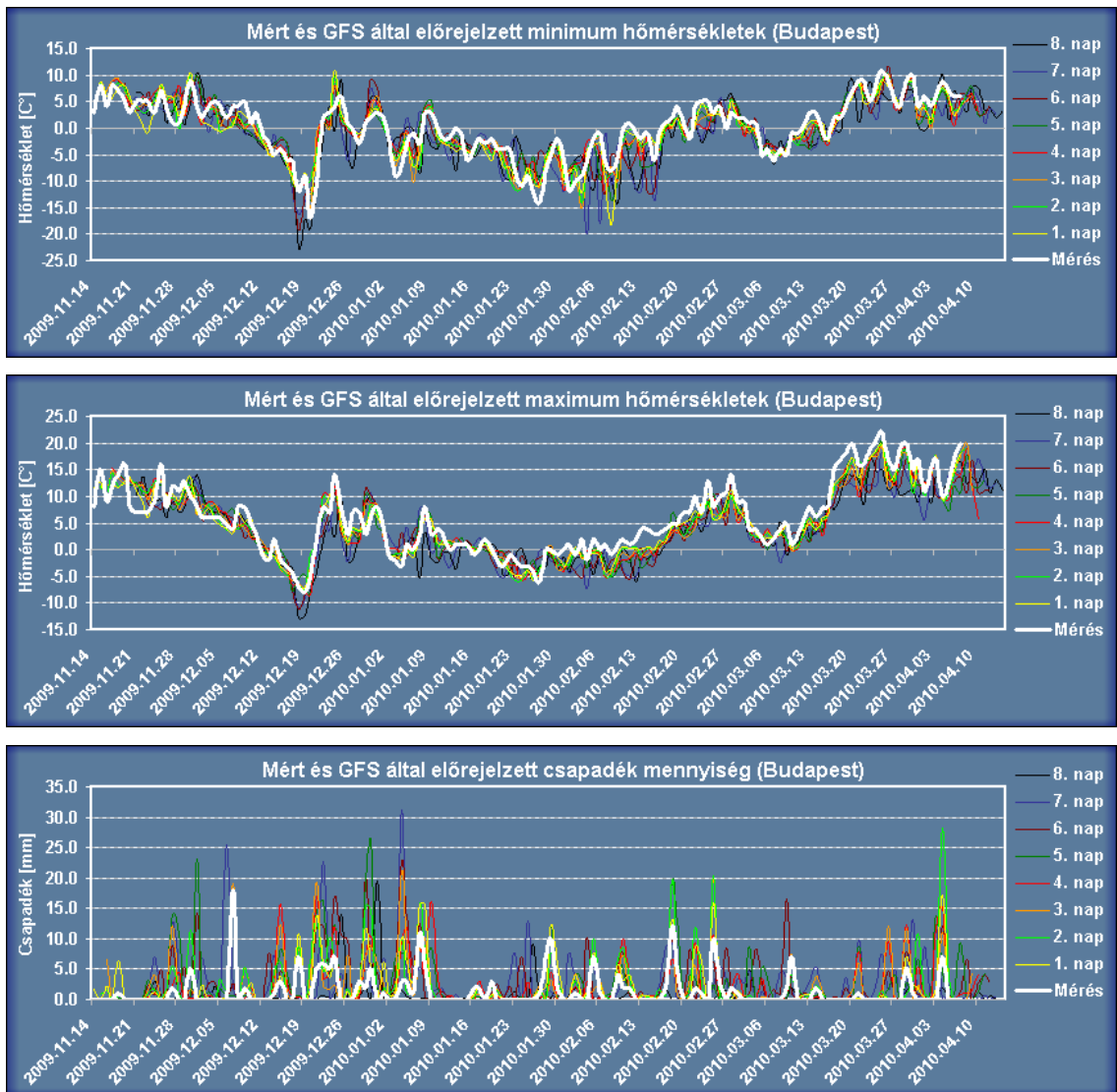
Microsoft Excel - Diplomamunka 2009-11-03 4

Fájl Szerkesztés Nézet Beszúrás Formátum Eszközök Adatok Ablak

G28 fx 7.4

	A	B	C	D	E	F	G	H
717	T	max,	t	=	5			
718		9.6	9.4	9.9	10.3	10.4	10.5	10.3
719		10.7	11.3	11.7	11.5	11.2	10.9	10.2
720		12.7	13.5	13	11.7	11.2	11.3	10.9
721		11.6	11.7	11.6	11.1	10.7	10.7	10.5
722		8.4	9.3	10.6	11.5	11.4	11.1	11.3
723		10.7	12.1	12.9	13.2	13.3	13.6	14.1
724		11	11.8	12.7	13.5	14.2	14.5	15
725		12.7	13.2	13.5	13.9	14.4	14.7	15.1
726		14.9	16.2	15.7	15	14.7	15	15.7
727		14.1	16	17	17	16.7	16.7	16.9
728	T	max,	t	=	6			
729		9.7	9.5	9.9	10.2	10.4	10.4	10.1
730		10.8	11.4	11.7	11.5	11	10.1	9.3
731		12.8	13.7	13.2	11.9	10.9	10.4	9.6
732		11.8	12.1	12.5	12.2	11.4	10.5	9.8
733		8.4	9.7	11.3	11.8	10.9	10.1	9.9
734		9.8	11.4	11.9	11.5	10.9	11	11.7
735		11.6	12.4	12.5	12.1	11.9	12.4	13.3
736		12.9	13.3	13.2	13.2	13.4	13.9	14.8
737		14.9	16	15.5	14.7	14.4	14.9	15.7
738		14	15.9	17	17	16.6	16.6	16.8
739	T	max,	t	=	7			
740		9.7	9.5	9.9	10.2	10.4	10.4	10.1
741		10.8	11.4	11.7	11.5	11	10.1	9.3
742		12.8	13.7	13.2	11.9	10.9	10.4	9.6
743		11.8	12.1	12.5	12.2	11.4	10.5	9.8
744		8.4	9.7	11.3	11.8	10.9	10.1	9.9
745		9.8	11.4	11.9	11.5	10.9	11	11.7
746		11.6	12.4	12.5	12.1	11.9	12.4	13.3
747		12.9	13.3	13.2	13.2	13.4	13.9	14.8
748		14.9	16	15.5	14.7	14.4	14.9	15.7
749		14	15.9	17	17	16.6	16.6	16.8

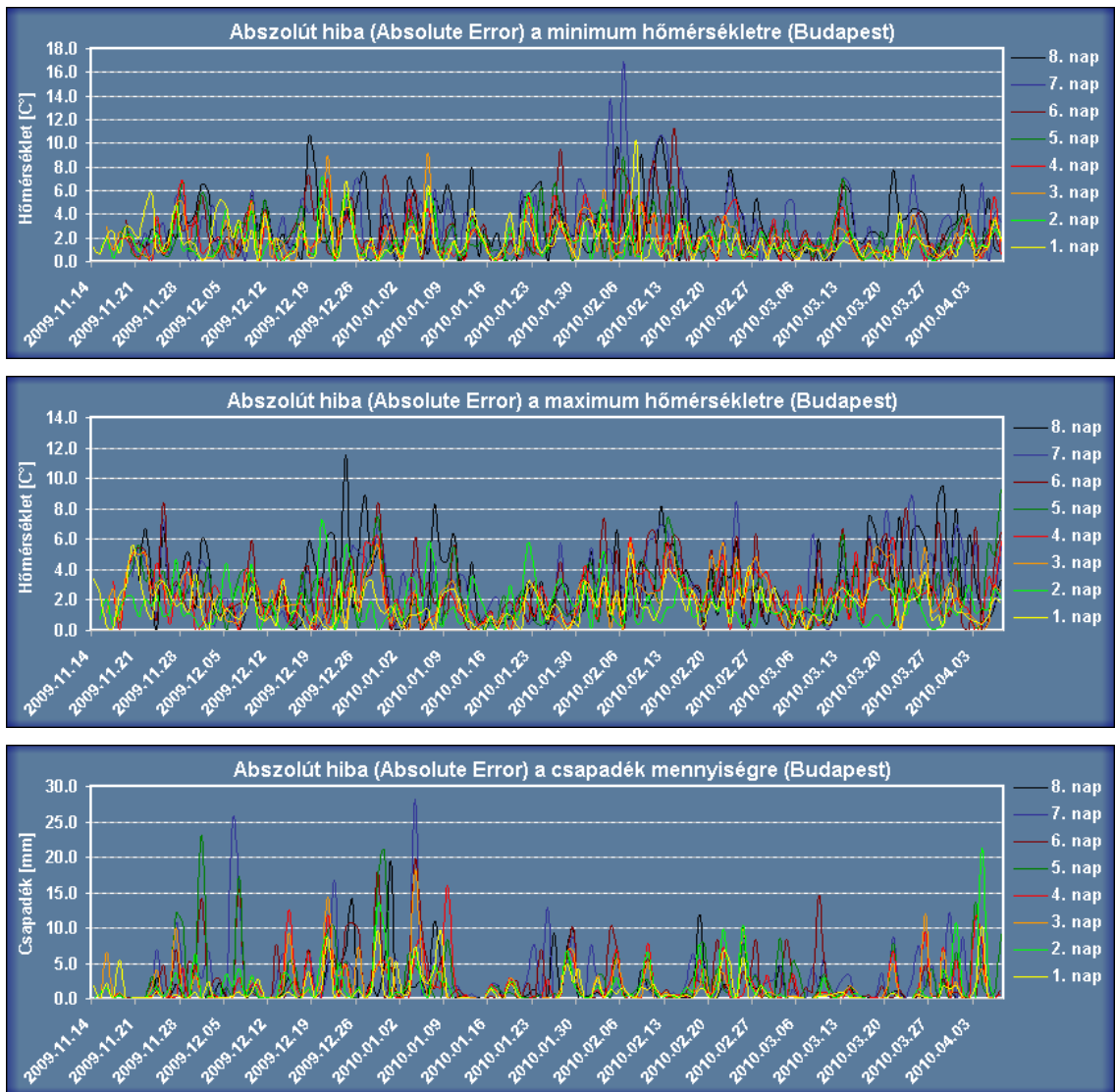
3. függelék. A minimum hőmérsékletek elhelyezkedése Microsoft Excelbe történő beolvasást követően.



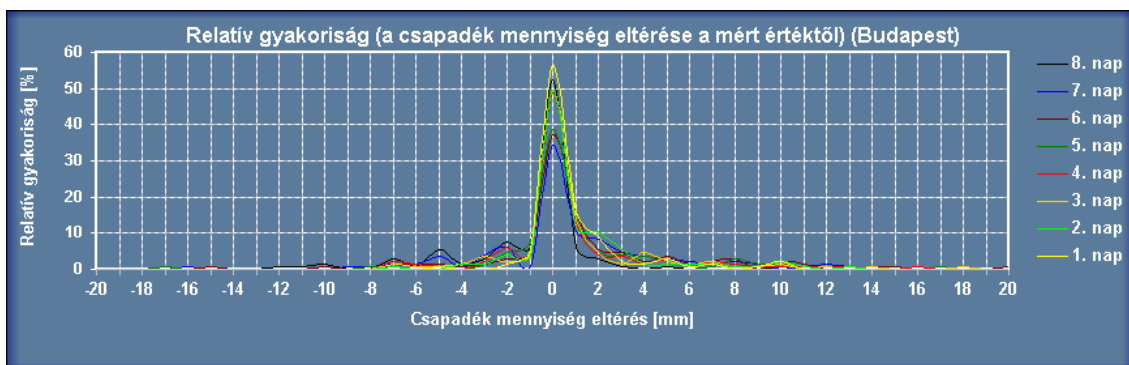
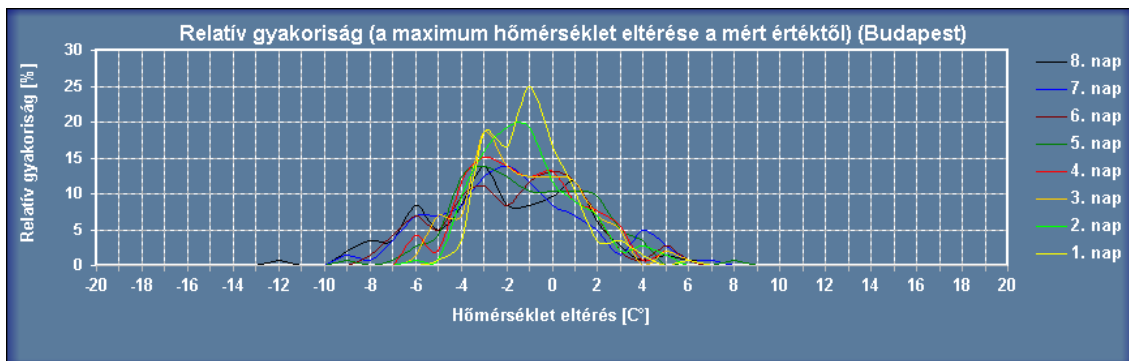
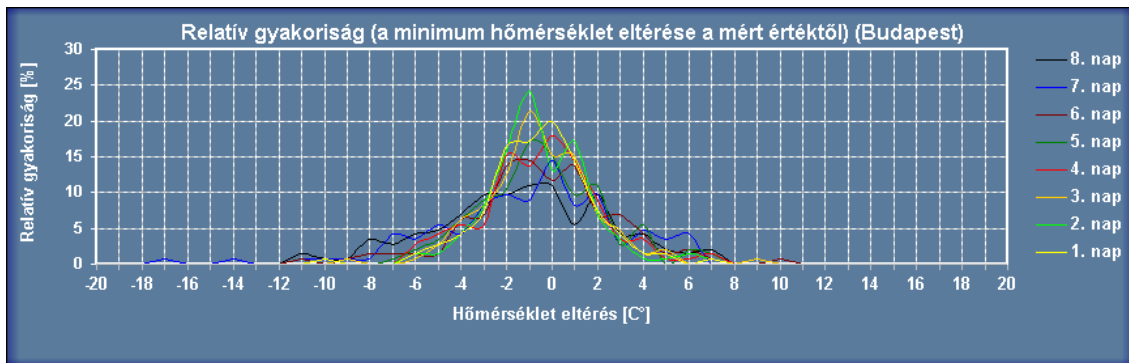
4. függelék. Budapest-Pestszentlőrincre vonatkozó, napi minimum és maximum hőmérsékletek, valamint a napi csapadék ábrázolása (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).



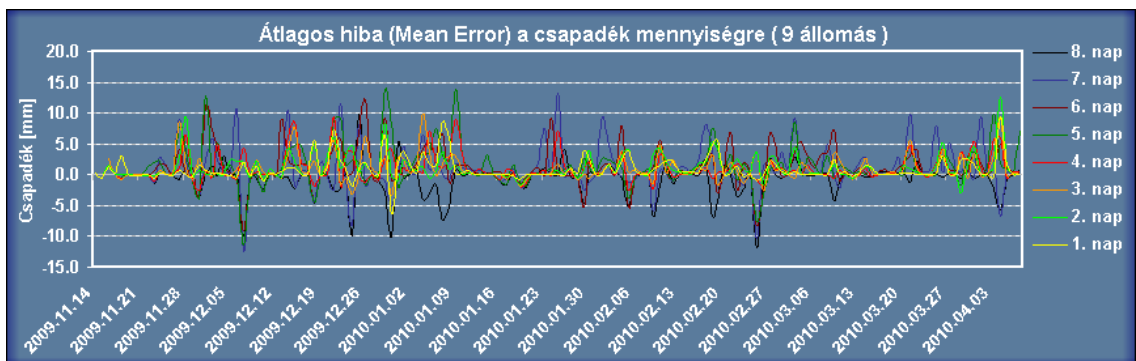
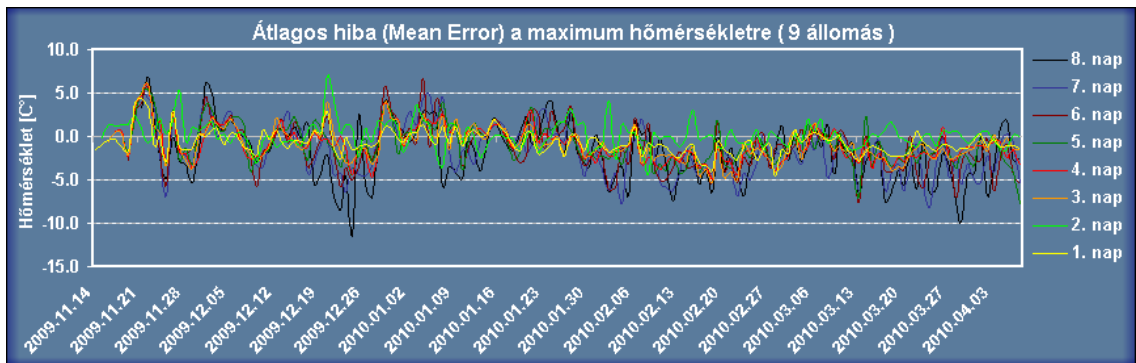
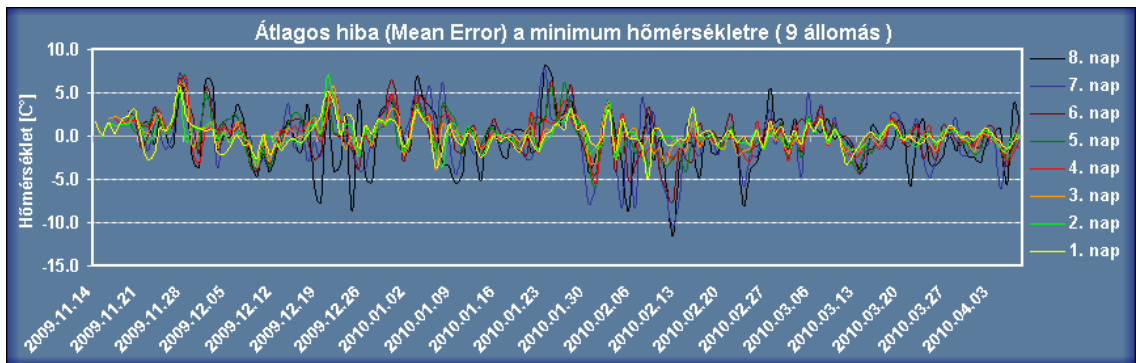
5. függelék. Budapest-Pestszentlőrincre vonatkozóan, a napi minimum, maximum hőmérséklet és a napi csapadék mennyiség hibái (eltérések a mért értékektől, E) 1–8 napos előrejelzések esetén (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).



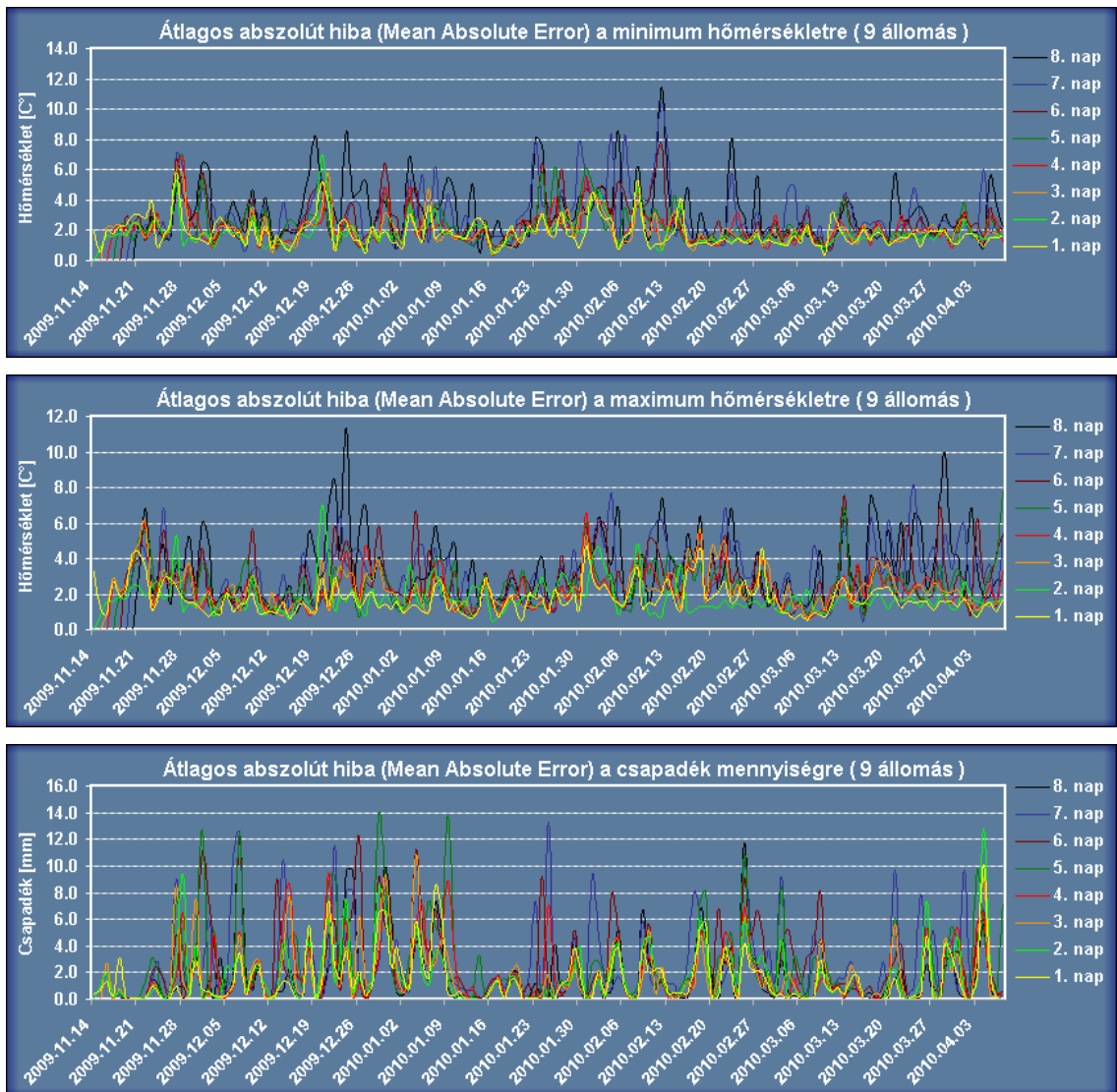
6. függelék. Budapest-Pestszentlőrincre vonatkozóan, a napi minimum és maximum hőmérséklet, illetve a napi csapadék mennyiség abszolút hibái 1–8 napos előrejelzésre (abszolút értékben vett eltérések a mért értékektől, *AE*) (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).



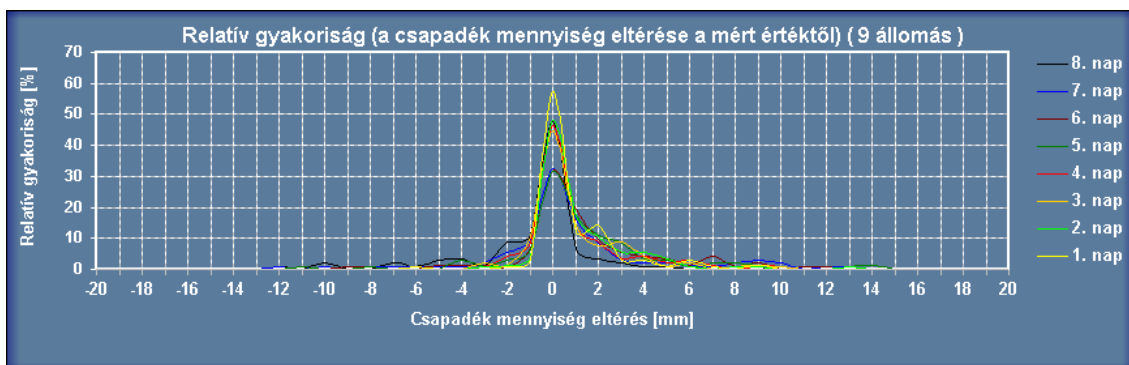
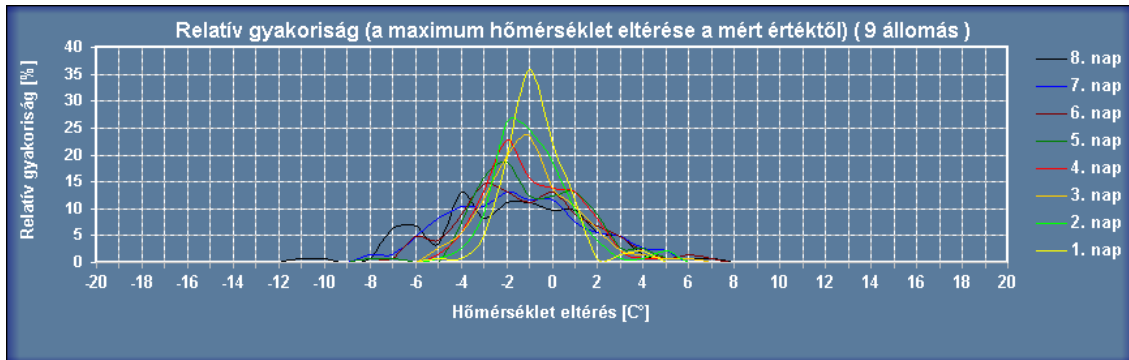
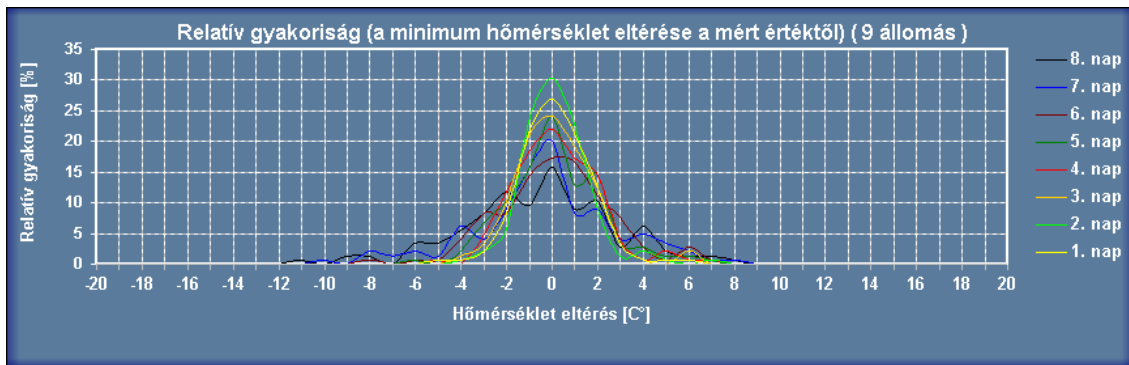
7. függelék. Budapest-Pestszentlőrincre vonatkozó napi minimum és maximum hőmérséklet, illetve a napi csapadék mennyiség mért értékektől vett eltéréseinek relatív gyakoriság eloszlása (hisztogramja) 1–8 napos előrejelzések esetén (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).



8. függelék. 9 állomásra (Budapest, Sopron, Siófok, Nagykanizsa, Pécs, Kecskemét, Szeged, Debrecen és Nyíregyháza) vonatkozó napi minimum és a maximum hőmérséklet illetve napi csapadék mennyiség átlagos hibái (*ME*) 1–8 napos előrejelzésekre (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).



9. függelék. 9 hazai állomásra vonatkozó napi minimum és maximum hőmérséklet illetve a napi csapadék mennyiség előrejelzés átlagos abszolút hibái (MAE) 1–8 napos előrejelzésekre (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).



10. függelék. 9 hazai állomásra vonatkozó napi minimum és maximum hőmérséklet illetve a napi csapadék előrejelzések átlagos relatív gyakoriság eloszlása (hisztogramja) 1–8 napos időtávra (2009. 11. 14. – 2010. 04. 07.).

Irodalomjegyzék

- Bjerknes, V.*, 1904: Das Problem der Wettervorhersage, betrachtet vom Standpunkte der Mechanik und der Physik. *Meteorol. Z.*, 21, 1–7.
- Csima G.*, 2003: A numerikus előrejelzés során alkalmazott utófeldolgozási és verifikációs eljárások. *29. Meteorológiai Tudományos Napok előadásai (Szerkesztette: Weidinger T.)*, Budapest, OMSZ, 86–96.
- Cullen, M.J.P., Davies, T., Mawson, M.H., James, J.A. and Coulter, S.C.*, 1997: An overview of numerical methods for the next generation UK NWP and climate model. *The Andre' J. Robert Memorial Volume*, Canadian Meteorological and Oceanographic Society, 425–444
- Cullen, M.J.P. and Davies, T.*, 1991: A conservative split-explicit integration scheme with fourth-order horizontal advection. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 117, 993–1002.
- Davies, J.M.*, 2004: Estimations of CIN and LFC Associated with Tornadic and Nontornadic Supercells. *Weather and Forecasting* 19, 714–726
- Götz, G.*, 2001: Káosz és prognosztika. *Országos Meteorológiai Szolgálat*, 411–413.
- Gyöngyösi, A.Z., Weidinger, T., Kiss, Á. and Bánfalvi, K.*, 2009: Uncertainties of wind power forecasts for western Transdanubium and for the trade wind region in Brazil from variomeso-scale meteorological models. *Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'09)*, Budapest University of Technology and Economics, Budapest, 2009. September 9-12. Conference Proceedings Volume I. (Edited by Vad, J.) 891–896.
- Hágel, E.*, 2009: Ensemble előrejelzések elméleti és gyakorlati háttere. *34. Meteorológiai Tudományos Napok előadásai (Szerkesztette: Weidinger T.)*, Budapest, OMSZ, 53–62.
- Horányi A.*, 2003: Numerikus előrejelzés: Nemzetközi áttekintés. *29. Meteorológiai Tudományos Napok előadásai (Szerkesztette: Weidinger T.)*, Budapest, OMSZ, 18–24.
- Horányi, A.*, 2009: Egységes időjárási és éghajlati előrejelző rendszer kifejlesztése az Országos Meteorológiai Szolgálatnál. *34. Meteorológiai Tudományos Napok előadásai (Szerkesztette: Weidinger T.)*, Budapest, OMSZ, 39–52.

- Ihász I, 2009: Közép- és hosszútávú előrejelzési modell-produktumok és alkalmazási lehetőségeik. *A 34. Meteorológiai Tudományos Napok előadásai* (Szerkesztette: Weidinger T.), Budapest, OMSZ, 97–112.
- Jolliffe, I.J. and B., Stephenson, 2003: Forecast verification. A practitioner's guide in atmospheric science. *John Wiley and Sons*.
- Kullmann, L., 2009: Az ALADIN numerikus előrejelző modell a rövid távú előrejelzés szolgálatában, *34. Meteorológiai Tudományos Napok előadásai* (Szerkesztette: Weidinger T.), Budapest, OMSZ, 74–83.
- Nurmi, P., 2003: Recommendations on the verification of local weather forecast. *ECMWF Technical Memoranda* 430.
- Práger T., 1982: Numerikus Prognosztika I. A hidrodinamikai előrejelzés elmélete. *Tankönyvkiadó*, Budapest, 7–10.
- Sallai, M., 2009: Az OMSZ időjárás-előrejelző rendszere, *34. Meteorológiai Tudományos Napok előadásai* (Szerkesztette: Weidinger T.), Budapest, OMSZ, 29–31.
- Simon, A., Horváth, Á and Vivoda, J., 2006: Case study and numerical simulations of the November 19, 2004 severe windstorm in Central Europe. *Időjárás* 110(2), 91–123.
- Smagorinsky, J., 1970: Numerical simulation of the global atmosphere. *In, The Global Circulation of the Atmosphere*, G. A. Corby, Editor, London, England: Royal Meteorological Society, 24–41.
- Tajti, D., 2009: Az ECMWF determinisztikus és valószínűségi előrejelzések összehasonlító verifikációja. *ELTE Diplomamunka*, 4–14.
- Üveges, Z., 2009: Az ECMWF havi előrejelzésének kalibrációja. *ELTE Diplomamunka*, 3–8.

Internetes címek

Answers honlap: <http://www.answers.com/topic/windchill/>

ELTE honlap: http://nimbus.elte.hu/oktatasi_anyagok/

ELTE honlap: http://nimbus.elte.hu/oktatasi_anyagok/gribex/bev.html

EUMET honlap: <http://www.eumet.hu>

GRADS honlap: http://atm.ucdavis.edu/program/computing_facilities/grads/ga10.htm

GRADS honlap: <http://www.iges.org/grads/>

GRADS honlap: <http://www.iges.org/grads/gadoc/gadocindex>

JMA honlap: http://www-pcmdi.llnl.gov/projects/modeldoc/amip2/jma_98a/jma_a.html

NCEP honlap: <http://www.emc.ncep.noaa.gov/gmb/moorthi/gam.html>

OMSz honlap:

http://www.met.hu/omsz.php?almenu_id=homepages&mpx=0&pid=numprog&pri=2

SHMU honlap: <http://www.shmu.sk/sk/?page=1186#tab/>

Wetterzentrale honlap: <http://www.wetterzentrale.de/>

Wetterzentrale honlap: <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsavnmgeur.html>

Wikipedia honlap: <http://hu.wikipedia.org/wiki/Interpoláció>

Wikipedia honlap: <http://hu.wikipedia.org/wiki/WRF>

WRF honlap: <http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users>

A dolgozatban a fenti honlap elérhetőségek utoljára 2010. május 4.-én voltak használva.