

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Meteorológiai Tanszék

**ALACSONY BEVÁLÁSÚ RÖVIDTÁVÚ
PROGNÓZISOK FELÜLVIZSGÁLATA
NUMERIKUS MODELLEK ÉS SZINOPTIKUS
MÓDSZEREK SEGÍTSÉGÉVEL**



KÉSZÍTETTE: Merics Attila

Meteorológus szak

Témavezető: Reisz Andrej

(Országos Meteorológiai Szolgálat)

Tanszéki konzulens: Reisz Andrej

(ELTE Meteorológiai Tanszék)

Budapest, 2012.

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezetés	3
2. Rövidtávú szinoptikus előrejelzés folyamata az Országos Meteorológiai Szolgálatnál	5
2.1 Bevezetés	5
2.2 Hagyományos szinoptikus módszerek használata	5
2.3 Távérzékelési eszközök adatainak felhasználása	5
2.4 A numerikus modellek analíziseinek és előrejelzéseinek feldolgozása	8
3. A HAWK-3 munkaállomás bemutatása	23
4. A rövidtávú alapprognózisok és azok kódolása az IEO-n	25
5. Az előrejelzés verifikációja	28
6. Esettanulmányok	30
6.1. Első esettanulmány (2010. 04. 14. 12 UTC – 04. 16. 00 UTC)	31
6.1.1.1. Az IEO aznap délutáni és az éjszakai előrejelzése (2010. április 14. 12 UTC – április 15. 06 UTC)	31
6.1.1.2. Az időjárási események összefoglalása	32
6.1.1.3. Az éjszakai prognózis verifikációja	35
6.1.1.4. A hidrosztatikus modellek előrejelzései	36
6.1.1.5. Szinoptikus elemzés	38
6.1.1.6. Összefoglalás	48
6.1.2.1. Az IEO nappali előrejelzése (2010. 04. 15. 06 UTC – 04. 16. 00 UTC)	49
6.1.2.2. Az időjárási események összefoglalása	50
6.1.2.3. A nappali prognózis verifikációja	52
6.1.2.4. A hidrosztatikus modellek előrejelzései	53
6.1.2.5. Szinoptikus elemzés	55
6.1.2.6. Összefoglalás	64
6.2. Második esettanulmány (2010. 05. 24. 12 UTC – 05. 26. 00 UTC)	65
6.2.1.1. Az IEO aznap délutáni és éjszakai előrejelzése (2010. 05. 24. 12 UTC – 05. 25. 06 UTC)	66
6.2.1.2. Az időjárási események összefoglalása	67
6.2.1.3. Az éjszakai prognózis verifikációja	69
6.2.1.4. A hidrosztatikus modellek előrejelzései	70

6.2.1.5. A nem-hidrosztatikus modellek előrejelzései	72
6.2.1.6. Szinoptikus elemzés	74
6.2.1.7. A figyelmeztető előrejelzés	85
6.2.1.8. Összefoglalás, észrevétel	86
6.2.2.1. Az IEO nappali előrejelzése (2010. 05. 25. 06 UTC – 05. 26. 00 UTC)	86
6.2.2.2. Az időjárási események összefoglalása	87
6.2.2.3. A nappali prognózis verifikációja	91
6.2.2.4. A hidrosztatikus modellek előrejelzései	92
6.2.2.5. A nem-hidrosztatikus modellek előrejelzései	94
6.2.2.6. Szinoptikus elemzés	96
6.2.2.7. A figyelmeztető előrejelzés	107
6.2.2.8. Összefoglalás	108
7. Összefoglalás	109
Irodalomjegyzék	112
Köszönetnyilvánítás	113
Függelék	114

1. Bevezetés

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) naponta ad ki időjárás-előrejelzéseket, melyeket számtalan szakterületen használnak fel, emellett az állampolgárok számára is elérhetővé válnak a közmédián keresztül. A szolgálatnak köszönhetően naponta friss információkat kapunk a várható időjárásról.

Az OMSZ Időjárás-Előrejelző Osztályán (OMSZ-IEO) operatív szinten készítene rövid, közép, illetve hosszútávú előrejelzéseket is. A szinoptikus szakemberek a prognózisok előállításánál ma már alapvetően a numerikus modellekre támaszkodnak, de különösen a rövidtávú előrejelzéseknél a hagyományos szinoptikus módszerek is fontosak. A hagyományok közül nagyobb súllyal szerepel az időjárás folyamatok szubjektív, empirikus megítélése a hagyományos szinoptikus térképek, megfigyelések felhasználásával, viszont jelentősen visszaszorult az időjárás folyamatok objektívebb, dinamikus meteorológiai értékelése, ami a numerikus modellek elterjedése előtt még nagy jelentőséggel bírt. Ez azzal magyarázható, hogy az elmúlt években többszörösére nőtt a modellek által nyújtott információ mennyisége, továbbá a modellek száma is, viszont a feldolgozásra szánt idő lecsökkent. Tehát a légköri folyamatokra vonatkozóan a modellek belső dinamikájától, illetve numerikus tulajdonságaitól függően több forgatókönyv is rendelkezésre áll, ami arra készteti a szinoptikust, hogy ezek között „válogasson”. A modellek közti különbségek mérlegelése bizonyos helyzetekben káoszt visz a prognóziskészítés folyamatába, és elveszik belőle az időjárás, a fizikai folyamatok reális felderítése, a szinoptika lényege. Ennek az a következménye, hogy a szakember bizonyos időjárás szituációkban komolyabb helyzetértékelés nélkül csak a modellek „kész” mezőire alapozza prognózisát, kiegészíti azt saját tapasztalatával, valamint a szinoptikus-klimatológiai sajátosságokkal.

A rövidtávú prognózisok készítésénél egy globális (ECMWF) és egy korlátos tartományú modellt (ALADIN/HU) használnak leginkább, ezen kívül már az amerikai GFS modellt is figyelembe veszik, 2011-től már objektíven is értékelik. Az operatív munka legfontosabb eszköze a HAWK (Hungarian Advanced Workstation) megjelenítő rendszer továbbfejlesztett változata, amely minden olyan információt képes hatékonyan megjeleníteni, ami fontos a prognózisok elkészítésében.

A jó rövidtávú előrejelzésekhez természetesen az aktuális időjárás helyzet részletes ismerete is szükséges. Az utóbbi kritérium teljesítéséhez fel kell használni a megfigyelési adatokat (szinoptikus észlelések) és a távérzékelési eszközök (műholdak, radarok)

információit, és ezek alapján a legrészletesebb **ok-okozati** összefüggéseket feltárni a már említett numerikus szimulációkkal kiegészítve.

Az előrejelzések készítése mellett fontos teendő a szinoptikusok által naponta készített prognózisok bevéálásának vizsgálata. A verifikációs eljárás során a két említett modell mellett az előrejelző szakember által kiadott prognózis is értékelésre kerül, így objektív képet kapunk az IEO előrejelzésének bevéálásáról, amit egy komplex mérőszámmal adnak meg.

Diplomamunkám során az OMSZ Időjárás-Előrejelző Osztályán 2010-ben készült prognózisok verifikációs táblázatából kiválasztott két legalacsonyabb bevéálású előrejelzését vizsgálom meg. A vizsgálat folyamán az ECMWF, az ALADIN/HU, az AROME és a WRF modellek aktuális futásaiból származó meteorológiai alap-, illetve származtatott mezőket, valamint a megfigyelési és távérzékelési adatokat használom fel arra a célra, hogy a prognózisok hibás vagy inkonzisztens részeit feltárhassam. A dolgozat lényege tehát két kiválasztott eset teljes körű szinoptikus és lehetőség szerint dinamikus meteorológiai felülvizsgálata, a konzekvenciák levonása. Dolgozatom nem közvetlenül a numerikus modellek bonyolult matematikai-fizikai problémáinak taglalására irányul, hanem felhasználói szemszögből, gyakorló szinoptikusi felfogással, kvalitatív formában kívánom felhívni az előrejelző szakemberek figyelmét az említett két eset hiányosságaira. Az adott időjárási helyzetekben mindig más fizikai folyamat kerül előtérbe, ezért esetenként az időjárási helyzettől függően más és más meteorológiai mezőt kell jobban kielemezni. Véleményem szerint a mezők nem megfelelő értelmezése nagymértékben hozzájárul ahhoz, hogy a szinoptikus ne vegye észre a folyamatok főbb mozgató elemeit, amely a hibás következtetéseken keresztül hibás prognózishoz vezethet.

A dolgozat elején bemutatom a rövidtávú előrejelzéshez felhasznált módszereket, eszközöket és a munkafolyamatot, itt ismertetem a felhasznált numerikus modelleket is. Ezt követően az előrejelzési mezők megjelenítésére szolgáló HAWK-3 rendszert mutatom be, majd a rövidtávú prognózis felépítéséről és kódolásáról lesz szó. Kitérek a verifikációs eljárásra is, ami alapján kiválasztottam a vizsgálni kívánt legrosszabb bevéálású előrejelzéseket. A 6. fejezetben két esetet vizsgáltam meg, melynek során felvázoltam az időjárási helyzetet, összefoglaltam az előrejelzést, majd részletes képet adtam az időjárás alakulásáról, ezután a verifikációt is ismertettem. A vizsgálatokban azonban nagy hangsúly a szinoptiko-dinamikus folyamatok értelmezésén volt.

2. Rövidtávú szinoptikus előrejelzés folyamata az Országos Meteorológiai Szolgálatnál

2.1 Bevezetés

Az OMSZ Időjárás-Előrejelző Osztályán (OMSZ-IEO) operatíván készítenek rövidtávú előrejelzéseket, melyek naponta kerülnek frissítésre. A prognózisok készítésénél a numerikus modellek és a távérzékelési eszközök mellett a hagyományos szinoptikus módszereket is alkalmazzák a meteorológusok. Diplomamunkám keretében megkérdeztem néhány előrejelző szakembert, akik az interjúk során beszámoltak a rövidtávú előrejelzői munkájukról és szokásaikról. A következő alfejezetekben az általuk felhasznált eszközökről és módszerekről, valamint a munkafolyamatról számolok be.

2.2 Hagományos szinoptikus módszerek használata

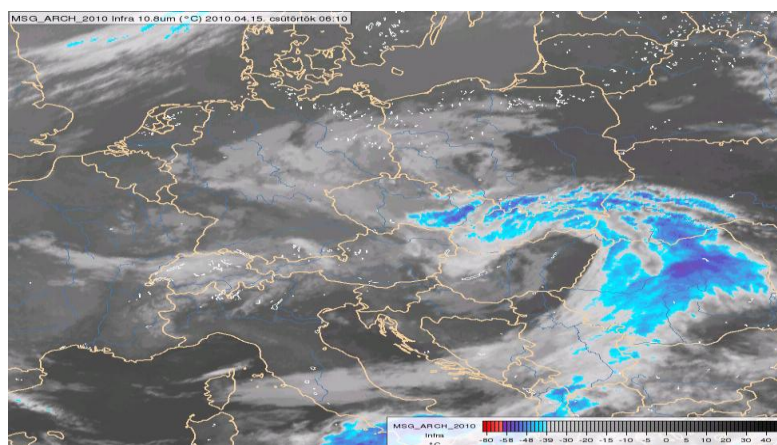
A prognózis készítésének első és elengedhetetlen lépése az aktuális időjárási helyzet áttekintése a hagyományos szinoptikus eszközök segítségével. Az áttekintő munka során elemzik az elmúlt órák felszíni méréseit, megfigyeléseit és kiértékelik a rádiószondás felszállások adatait, valamint azonosítják azokat a légköri szinoptikus rendszereket, objektumokat (ciklonok, anticiklonok, frontok, konvergencia vonal, mezoléptékű konvektív rendszerek), melyeknek szerepük van a Kárpát-medence, ezen belül Magyarország időjárásának alakításában.

2.3 Távérzékelési eszközök adatainak felhasználása

Az aktuális helyzet meghatározásakor a felszíni szinoptikus és a magaslégköri adatok mellett a távérzékelési eszközök (radar, műhold és villám-lokalizációs rendszerek) méréseiből származó képeket tekintik át. A prognózis készítésében a távérzékelési eszközöknek közvetlenül alapvetően a nowcasting (ultrarövidtávú) előrejelzésben van szerepük azáltal, hogy időben és térben közel folytonos információkat szolgáltatnak az aktuális időjárási helyzetről. Segítségükkel meglehetősen finom térbeli felbontásban nyomon követhető az időjárási objektumok mozgása, fejlődése, és olyan speciális információkat szolgáltatnak, mint például a műholdképnél a felhőzet jellege, vagy a radarnál a csapadékintenzitás. A műholdas információk ma már beépülnek modellekbe is, és ezáltal jelentősen hozzájárulnak ahhoz, hogy a modellek kezdeti feltételei pontosabbak

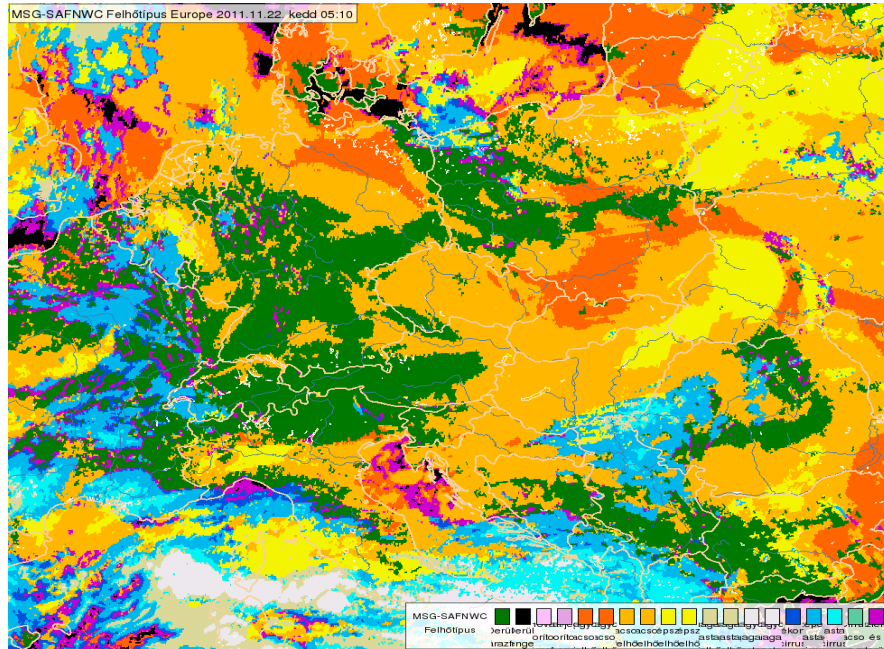
legyenek, és így ezek az információk nem csak az ultrarövidtávú, hanem a rövidtávú előrejelzéseknél is hasznosulnak.

Az operatív gyakorlatban az európai kivágatú infravörös (IR), látható (VIS) és felhőtípus műholdképeket nézik meg. Az infravörös tartományban készült műholdképeknek előnyük, hogy éjjel-nappal nyomon követhetik segítségével a szinoptikus, nagytérségű folyamatokat, illetve a nyári időszak instabil helyzetében kialakuló zivatarcellákat, mezoléptékű konvektív rendszerek esetében a fejlődés egyes fázisait követhetik a felhőtető hőmérsékletének változása alapján (1. ábra).



1. ábra. IR műholdkép (2010. 04. 15. 06UTC). Forrás: OMSz, HAWK.

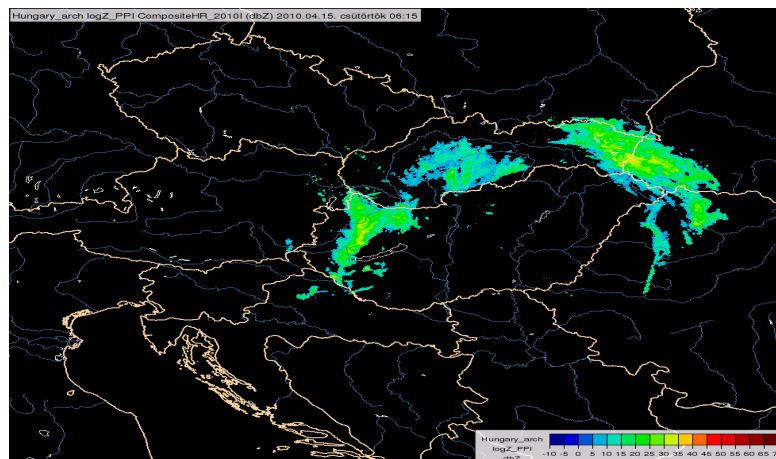
A látható tartományú műholdképek segítségével az alacsonyszintű felhőzetet, az MSG-SAFNWC produktumai közül pedig a felhőtípust jól behatároló képeket tekinthetik át (2. ábra). Zöld színnel vannak a derült, felhőtlen szárazföldi területek jelölve, rózsaszínnel és világoskékkel a fátyolfelhők vannak beazonosítva. A lila színű foltok jelzik a gomolyfelhőket. A citromsárga színű területek felett középszintű felhőzet detektálható, ezen a képen Északkelet-Magyarország felett látható erre példa. Narancssárga színnel az alacsonyszintű felhőzet van jelölve, hazánk nagy részét a kép alapján alacsonyszintű rétegfelhőzet borítja.



2. ábra. MSG-SAFNWC műholdkép (2011. 11. 22. 05UTC). Forrás: OMSz, HAWK.

A téli félévben kedvelt az előrejelzők körében az ún. éjszakai mikrofizikai MSG műholdkép, amelynek segítségével az éjszakai órákban is azonosíthatóvá válik a köd és az alacsony szintű felhőzet (stratus). Korábban erre csupán a nappali órákban volt lehetőség a látható tartományban készült műholdképek alapján.

Az előrejelzők az európai és a budapesti kivágatú kompozit radarképeket (3. ábra) használják leginkább. Az egymást követő radarképekből készített animációkon jól nyomon követhetik a csapadék objektumok (pl. záporok, zivatarok) kialakulását, mozgását, fejlődését és megszűnését (3. ábra). Nagy térbeli felbontású képeket is előállíthatnak, amelyekben akár az is meghatározható, hogy egy heves zivatar a főváros mely része fölött vonult át, és okozhatott nagy mennyiségű csapadékot (3. ábra).



3. ábra. Kompozit radarkép (2010. 04. 15. 06UTC). Forrás: OMSZ, HAWK.

A zivatarok felismerése a hozzájuk kapcsolódó villámtevékenység detektálása által a legeredményesebb. A SAFIR elnevezésű villám-lokalizációs rendszer mind a felhőn belüli, mind pedig a felhő és a földfelszín közötti villámokat érzékeli. A számos mért jellemző közül az előrejelzőket elsősorban a villámok pontos helye és ideje érdekli. A villámokat előfordulási idejük szerint különböző színekkel megjelenítve láthatóvá válik a teljes zivatarrendszer, illetve akár egyes zivatargócok mozgási iránya és sebessége. Az Időjárás-előrejelző Osztályon a magyarországi kivágatú villámtérképet használják, de újabban a LINET produktuma is használatban van, ami az Európában detektált villámok helyzetéről ad információt.

2.4 A numerikus modellek analíziseinek és előrejelzéseinek feldolgozása

A hagyományos eszközként használt talajtérképeket, melyek a szinoptikus észlelőhálózat adataiból állnak elő, a modern szinoptika korában már a numerikus modell analízis mezői váltják fel. A modell analíziseknek köszönhetően gyorsan át tudja tekinteni a szinoptikus a meteorológiai paraméterekre vonatkozó folytonos mezőket és a gyors helyzetértékelést is lehetővé teszi ez a numerikus eszköz. Az aktuális helyzet áttekintése után az előrejelző nekilát a modell-eredmények tanulmányozásának. Az OMSZ-IEO-n alapvetően két modellt, az ECMWF-t és az ALADIN-t használják, de az amerikai GFS modellt is naponta elbírálják, illetve elsősorban a nyári félév intenzívebb konvektív időszakában a nem-hidrosztatikus, korlátos tartományú AROME-ot és a WRF-et is kiértékelik. Kisebb hangsúllyal, de egyes előrejelzők a német DWD, illetve a brit UKMO modellt is megtekintik az időjárási helyzet függvényében. A fundamentális numerikus modelleknek azonban az Európai Középtávú Előrejelző Központ modelljét, az ECMWF modellt, és az OMSZ épületében futtatott korlátos tartományú, nagyjából Közép-Európa térségére szóló ALADIN/HU modellt tekintik.

Az ECMWF readingi központjában, naponta kétszer a 00 és 12 UTC-s kezdeti meteorológiai mezőkből kiindulva 10 napos modell determinisztikus előrejelzéseket futtatnak. A determinisztikus modell a hidro-termodinamikai egyenletrendszer a spektrális módszerrel oldja meg, szférikus harmonikusok alkalmazásával. A modell számos fizikai kölcsönhatást vesz figyelembe, így például az óceán - léggör, a talajnedvesség és a léggör, valamint a hótakaró és a léggör közötti kölcsönhatást. A determinisztikus modell a felszín és a 0.1 hPa nyomási felület között 91 réteget tartalmaz. A modell horizontális térbeli

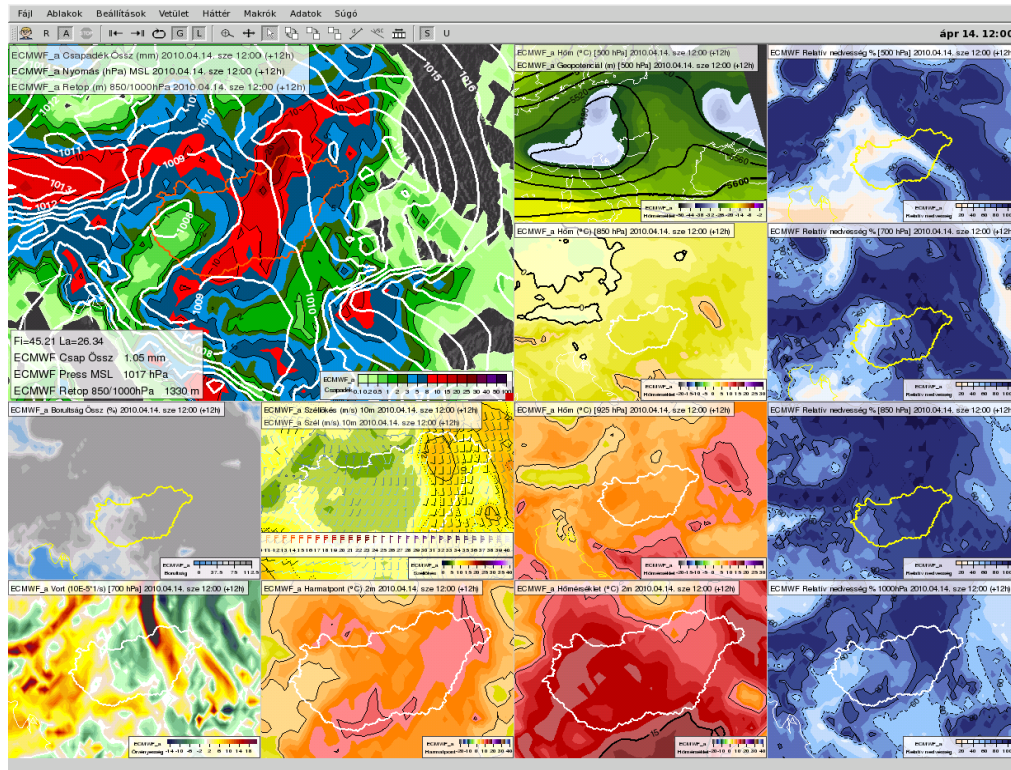
felbontása 25 km (0,25x0,25 fok) (Bonta et al., 2006). Az ECMWF-ről részletes tájékoztatást az ECMWF honlapján (www.ecmwf.int) kaphatunk.

Az ALADIN/HU naponta kétszer fut (00 és 12 UTC) automatikusan az OMSZ IBM Regatta szuperszámítógépén. Az előrejelzés időtartama 48 óra. Az ALADIN korlátos tartományú spektrális hidrosztatikus modell. A légköri folyamatokat (sugárzás, konvekció, planetáris határréteg, turbulencia, mikrofizika, stb.) a korszerű parametrizációnak köszönhetően viszonylag jól szimulálja (Kullmann L., 2003.).

Két-három évtizeddel ezelőtt a numerikus modellek csak néhány alapmezőt jeleztek előre, mint például különböző nyomási szintek magasságát és hőmérsékletét. Ma azonban a modellek már a 2 méteres magasságban várható hőmérsékletet, a szélirányt, a szélességet, az összfelhőzetet és a csapadékmennyiséget is előrejelzik, sőt a szinoptikusok számára rendelkezésre áll egyre finomabb felbontásban a modellből meghatározott csapadék halmazállapot, szellőkés, látástávolság, labilitási indexek prognózisa is. A mai modellek már képesek a nem-hidrosztatikus folyamatokat, a talaj és a légkör közötti kölcsönhatásokat és számos származatlan mennyiséget (hőmérsékleti advekción, örvényességi advekción) is szimulálni.

Az ezekből előálló mezők természetesen nagy segítséget jelentenek a szakemberek számára, de ez nem jelenti azt, hogy kizárólag a finomfelbontású rácsponti adatok alapján minden esetben nagy megbízhatóságú és igen részletes prognózisokat lehetne készíteni, és így a prognózis készítés folyamatát teljesen automatizálni lehetne. A szinoptikusnak fontos szerepe van a modellek output mezőinek elbírálásában, főleg a rövidtávú előrejelzéseknél. Például az inverziós helyzetek esetében a numerikus modellek nem teljesítenek elfogadhatóan, ezért a szinoptikus a saját eddigi tapasztalatával, a szinoptikus-klimatológiai ismereteivel korrigál. A kiindulási állapotot a szakember a már említett műhold- és radarképek, valamint a szinoptikus mérések segítségével tudja felmérni ebben a szituációban is.

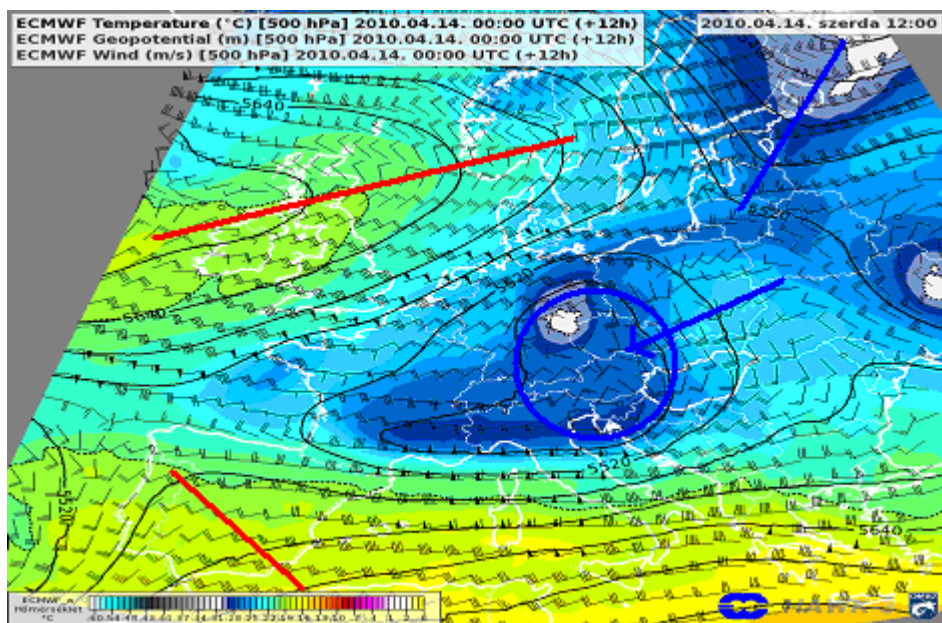
A mezők gyors és hatékony áttekintéséhez a HAWK3 megjelenítő rendszert használják, hiszen az időjárási helyzet függvényében akár 1000-nél is több mezőt tudnak a szinoptikusok áttekinteni (4. ábra).



4. ábra. A HAWK megjelenítő rendszer. Forrás: OMSZ, HAWK.

A szakember eleinte a nagy, hemiszférikus méretskálájú, majd a szinoptikus nagyságrendű folyamatokat vizsgálja, azaz először az Atlanti-óceán középső medencéje és az Urál-hegység közötti terület időjárási viszonyait tekinti át, majd fokozatosan Európára, azon belül Közép-Európára, majd végül pedig a Kárpát-medencére koncentrálna.

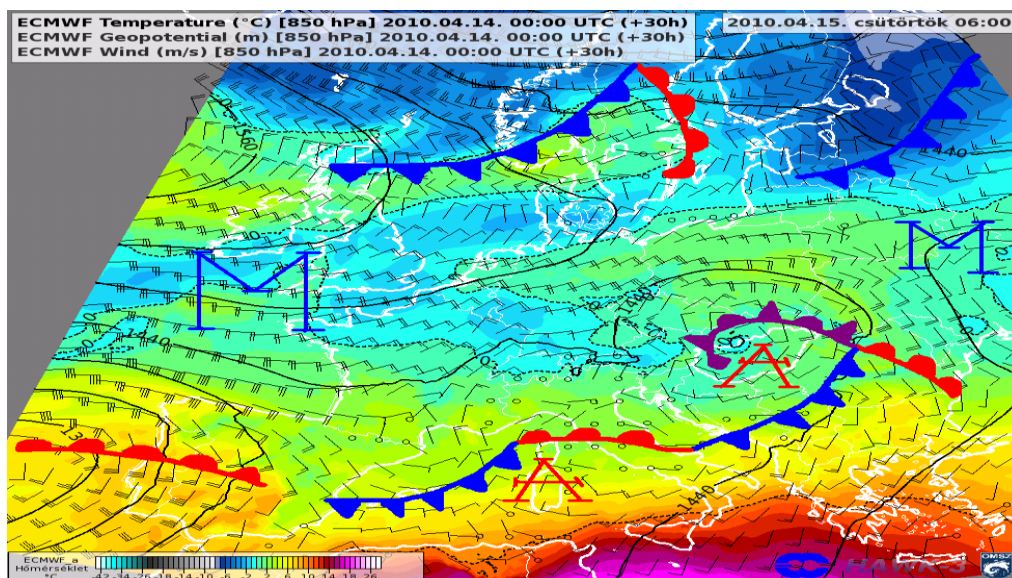
A szinoptikus skálájú képződmények azonosításához általában az 500 hPa-os hőmérséklet, szél és geopotenciál előrejelzési mezőt szokták használni az előrejelzők. A folytonos vonalak jelölik a geopotenciál vonalakat, a nyilak a szélességet és a szélirányt jelentik, a színes háttér a hőmérsékleti mezőt mutatja. Az ábra bal alsó sarkában levő színskála alapján meghatározható a hőmérséklet becsült értéke. Az izohipszák görbületéből és a szélmezőből kirajzolódnak a Rossby-hullámok, elkülöníthetők a teknők és a gerincek és a jetekhez kapcsolódó markáns szélzónák. A hőmérsékleti mező alapján hidegcseppek, teknők és gerincek azonosíthatók, ezáltal az anticiklonok és a ciklonok helyzete is leolvasható. Az 5. ábrán piros vonallal gerinc, kék vonallal teknő van jelölve, kék nyíllal pedig a hideg levegővel kitöltött, zárt geopotenciál vonallal körülhatárolt hidegcsepp van beazonosítva.



5. ábra. Az ECMWF-ből nyert 500 hPa-os hőmérséklet (színes mező), szél (nyilak) és geopotenciál (folytonos vonalak) előrejelzés 2010. 04. 14. 12:00 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

A frontális skálájú folyamatok elemzéséhez a 850 hPa-os topográfia térképeket (Gyuró, 2008) használják az előrejelzők. A frontanalízishez fontos a nagy hőmérsékleti kontraszt zónájának figyelembevétele, a konvergens területek kijelölése, és különösen a nyári félévben a szint hőmérséklete, amelyből a maximum hőmérsékletre lehet következtetni az adiabatikus módszer segítségével (T_{850+15} °C). A folytonos vonalak ezeken a térképeken is a geopotenciál vonalakat jelölik, a nyilak a szelet, a színezett mező a hőmérséklet eloszlását mutatják. Az ábra bal alsó sarkában levő színskála alapján meghatározható a hőmérséklet pontos értéke. Az operatív munka során közép-európai kivágatban is megjelenítik, hogy a kisebb skálájú folyamatok megértéséhez segítséget nyújtson.

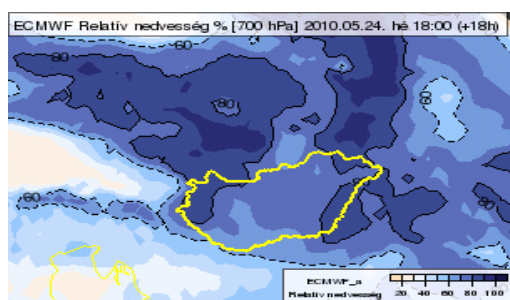
A hideg és a meleg légtömegek határán helyezkednek el a frontok, a hőmérsékleti és a szélmező alapján elkülöníthetők a szinoptikusok a meleg-, a hideg- és az okklúziós frontok helyzetét. A frontok pontosabb behatárolását elősegíti a szélmező konvergenciája. Az 6. ábrán például az látható, amit egy szinoptikus kiolvashat egy 850 hPa-os topográfiai térképről.



6. ábra. Az ECMWF modellből nyert 850 hPa-os hőmérsékleti, geopotenciál és szélmező előrejelzés 04. 15. 06 UTC-re a frontok helyzetével együtt. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az előrejelzők a nagytérségű folyamatok áttekintését követően Közép-Európára, ezen belül is a Kárpát-medencére koncentrálnak. A rövidtávú előrejelzéshez ezen a skálán már számtalan numerikus modellekből kinyert mezőt tekintenek át. A következőkben a leggyakrabban használt mezők kerülnek bemutatásra.

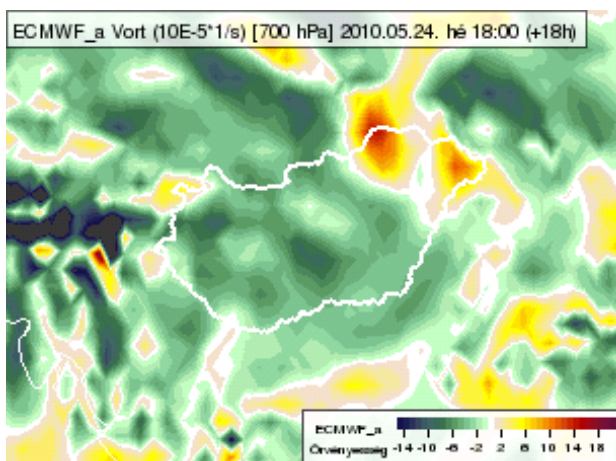
A felhőzet előrejelzéséhez a szakemberek a relatív nedvességi mezőket nézik meg. A skálát használva képet kapnak a légkör adott szintjeinek telítettségi viszonyairól. A mezők áttekintésével lehetősége van a szakembernek arra, hogy a felhőzet egzisztenciáját meghatározza egy adott nyomási szinten, például az 7. ábráról az olvasható le, hogy hazánk nyugati és keleti szélén 700 hPa-on a levegő közel telítési állapotban van, míg az ország más területei fölött kevésbé telített mező helyezkedik el, ebből az vehető észre, hogy a Dunántúl nyugati felén, valamint a Tiszántúlon középszintű felhőzet lehetősége áll fenn.



7. ábra. Az ECMWF 700 hPa-os relatív nedvességi mező előrejelzése 2010. 05. 24. 18 UTC-re.

Forrás: OMSZ, HAWK.

Az alapmezők közül gyakran használatos a 300, az 500 és a 700 hPa-os örvényességi mező is (8. ábra), időben léptetve az előrejelző számára információt nyújt az örvényességi mezők változásáról a felső troposzférában. A 700 hPa-os örvényességi advekciót is tudjuk származtatni a szélmező segítségével, amiből az olvasható ki, hogy az országban hol és mikor várható pozitív örvényességi advekció, ami feláramlásokat indukál és ezáltal felhő- és csapadékképződést generálhat. Az örvényesség előjeles és számszerű kiértékeléséhez az ábra jobb alsó sarkában lévő színskála ad támpontot. A 8. ábrán például az látható, hogy az ország északkeleti határvidékén pozitív örvényességi mező helyezkedik el, amiből a szinoptikus arra következtet, hogy ott valószínűleg felhőképződés zajlik. Az ország többi területei fölött negatív örvényességi mező látszik, ami leszálló, szárító hatású folyamatokat sugall.

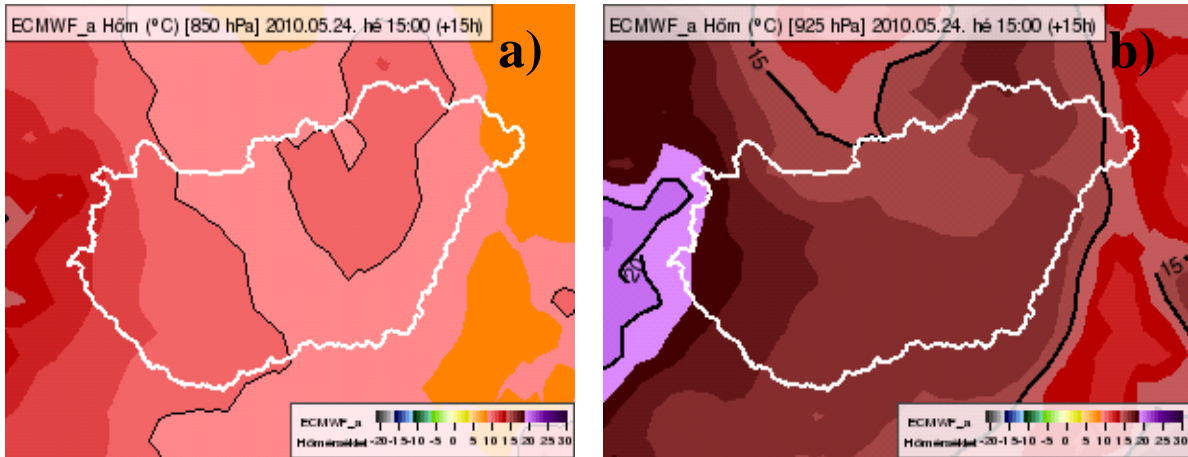


8. ábra. Az ECMWF-ből nyert 700 hPa-os örvényességi mező előrejelzés 2010. 05. 24. 18 UTC-re.

Forrás: OMSZ, HAWK.

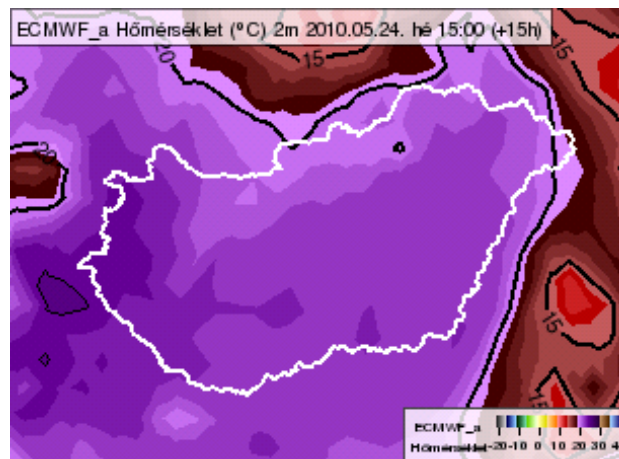
A maximum-hőmérséklet becsléséhez a 850 hPa-os (9. a, ábra) és a 925 hPa-os (9. b, ábra) közép-európai hőmérsékleti mezőket is felhasználják az előrejelzők. Főként a nyári időszakban, amikor a légkör alsó 1500-2000 méteres rétege kellőképpen át tud keveredni, akkor az adiabatikus módszert alkalmazva egy közelítő értéket tud adni a szinoptikus a 2 méteres szinten várható maximumokra. A 850 hPa-os értékhez kb. 15 fokot, míg a 925 hPa-os értékekhez kb. 8 fokot adhatnak hozzá átlagosan. A hőmérséklet előrejelzése mellett hőmérsékleti advekcióra is tud következtetni az előrejelző, ezen kívül télen különösen nagy szerepe van a halmazállapot előrejelzésében. A mező értelmezéséhez a jobb alsó sarokban látható színskála ad segítséget. A 9. a, ábrán az látható, hogy az ECMWF az ország északkeleti végére 8 fokot, míg a nyugati szélére 12 fokot ad 850 hPa-ra 05. 24. 15 UTC-s időpontra, amihez hozzáadva 15 fokot, a 2 méteres maximum-

hőmérsékletre 23 és 27 fok közötti értékeket kapunk. A 9. b, ábrából 925 hPa-ra 14 és 19 fok közötti értékek olvashatók ki, ehhez 8 fokot hozzáadva 22 és 27 fok közötti legmagasabb hőmérsékletre számíthatunk 2 méteres magasságban. A 850 hPa-os és a 925 hPa-os mezőkből származtatott értékek között minimális az eltérés.



9. ábra. Az ECMWF-ből nyert 850 hPa-os (a,) és 925 hPa-os (b,) hőmérséklet előrejelzés 2012. 05. 24. 15 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

A szinoptikus módszer által kapott maximum-értékeket összehasonlítjuk a modell 2 méteres hőmérsékleti mezőjével (10. ábra), amiből az olvasható ki, hogy az ország északi és északkeleti határainál 20-22 fok, az ország nagy részén 22-24 fok, míg a nyugati határvidéken körülbelül 25 fok várható a legmelegebb időszakban. Az adiabatikus módszer és a modell által adott értékek között 2 fokos eltérés adódott.

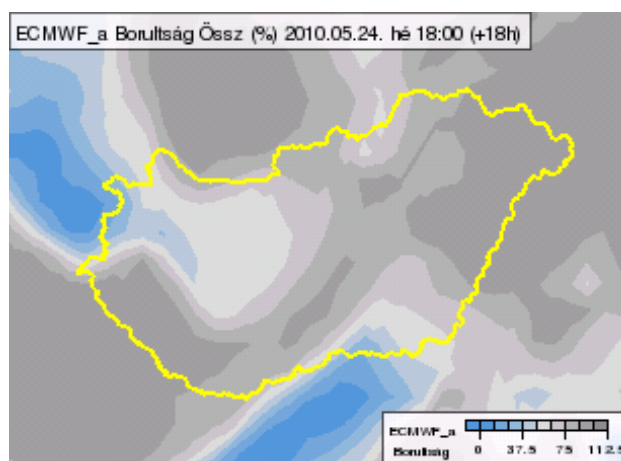


10. ábra. Az ECMWF-ből nyert 2 méteres hőmérséklet előrejelzés 2012. 05. 24. 15 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az Időjárás Napijelentés alapján az országban 22 és 26 fok között alakult a legmagasabb hőmérséklet, ezen belül északkeleten volt a hűvösebb és délnyugaton a melegebb, csupán az Északi-középhegységben fekvő mérőállomáson mértek 19 fokos

maximumot. Konklúzióként levonható, hogy az adiabatikus módszer ebben az esetben jobb becslést eredményezett.

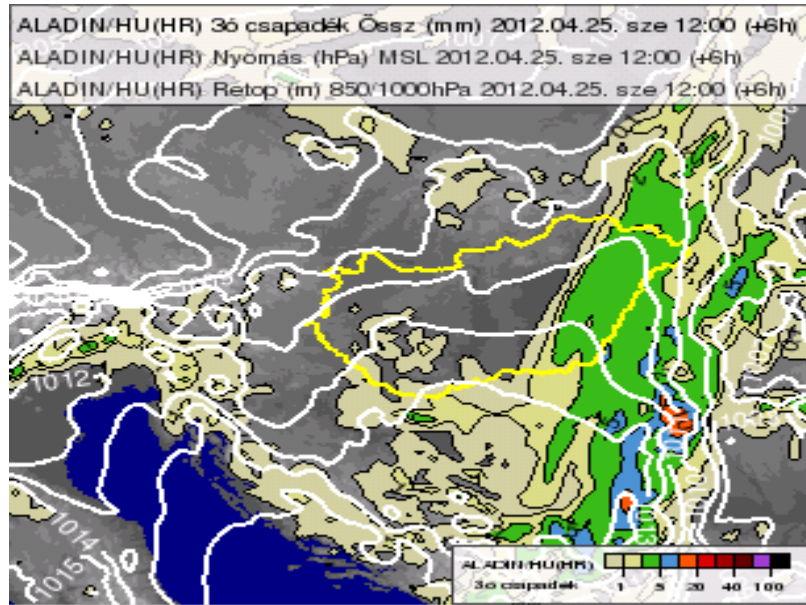
A származtatott mezők közül az összfelhőzetre vonatkozó mezőt (11. ábra) is átnézik a szinoptikusok. Ebből a mezőből átfogó képet kapnak a felhőzet idő-, és térbeli változásáról. A skála alapján százalékokban kifejezhető a borultság mértéke. A kék szín felhőtlen, a szürke szín fokozatai pedig eltérő mértékű borultságra utalnak. Ennek a mezőnek nagy hátránya, hogy ez egy parametrizáció eredménye, és a felhőzet típusát, jellegzetességét nem tudjuk belőle megállapítani - ez tipikusan egy kész produktum. A 11. ábrából csupán az olvasható ki, hogy az ország északkeleti harmadában és a délnyugati határszélen erősen felhős vagy borult az ég, míg másutt közepesen és gyengén felhős területek váltják egymást.



11. ábra. Az ECMWF-ből nyert összfelhőzet előrejelzés 2010. 05. 24. 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

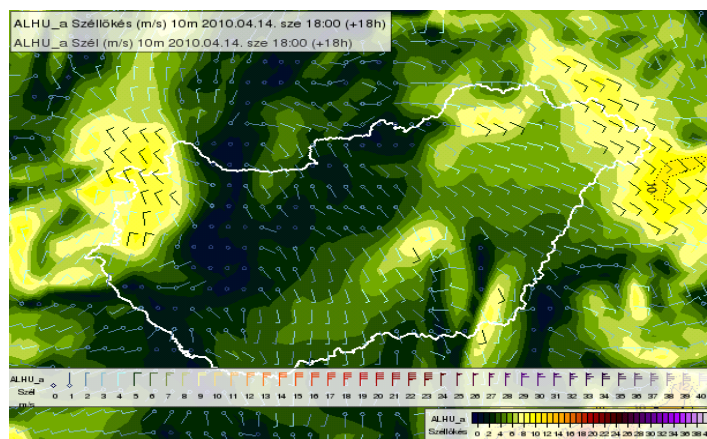
A szinoptikusok megnézik a tengerszintre redukált légnyomás, a 3 órás vagy 6 órás csapadékösszeg, illetve a relatív topográfia 850/1000-re vonatkozó előrejelzésből álló mezőket (12. ábra). A folytonos izobárvonalak által kirajzolódó nyomási mezőből a bárikus konfiguráció analizálható. A szinoptikus megállapítja, hogy milyen nyomási képződmény (ciklon, anticiklon, peremciklon, gerinc, teknő, nyereg) alakítja Közép-Európa időjárását. A csapadékösszegekből az adott időszakban, adott modell által számolt lehulló csapadék mennyiségét olvassa ki, melynek számszerűsítéséhez a jobb alsó sarokban látható színskála nyújt segítséget. A csapadékösszegekből és a csapadékszónák horizontális kiterjedéséből a csapadék jellegére is következtethet az előrejelző, de alapjában véve ez is egy olyan mező, ami a csapadék keletkezéséhez vezető folyamatokról csekély információt ad. A ReTop 850/1000-es előrejelzésben főként az 1300 gpm-es

relatív izohipszát használják, mivel ez az a kritikus érték, ami alapján durva közelítéssel becsülhető a folyékony és a szilárd halmazállapotú csapadék térbeli határa. A 12. ábrán nem található az 1300 gpm-es relatív geopotenciál vonal, mivel az ábra a tavaszi időszak közepére vonatkozó előrejelzés, s erre az időszakra már nem volt jellemző a téli csapadék.



12. ábra. Az ALADIN-ból nyert tengerszintre redukált légnyomás, 3 órás csapadékösszeg és ReTop 850/1000 előrejelzés 2012. 04. 25. 12 UTC-re. A folytonos fehér vonalak jelölik az izobárvonalakat, a színes mezők a csapadékösszeg eloszlását jelölik, a 850/1000-es relatív geopotenciál nincs feltüntetve. Forrás: OMSZ, HAWK.

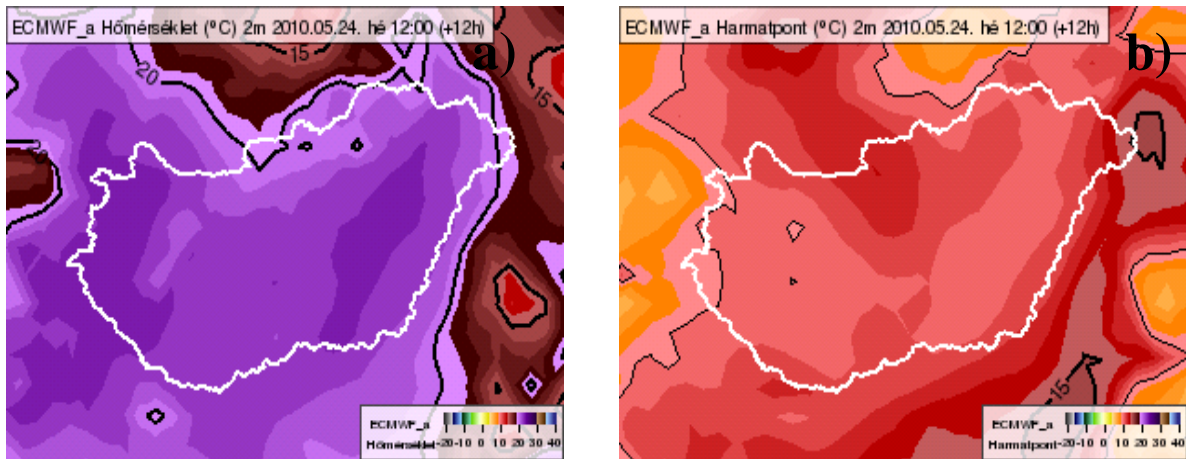
Alapvető feladat a 10 méteres szél és szellőkés előrejelzése (13. ábra), hiszen az áramlási viszonyokról pontos információra van szükség. Nagyobb skálán a szélsébségben és irányban történő változások kimutatják a frontok helyzetét és mozgását. A felszínen kirajzolódó konvergens mezők lokálisan elősegíthetik a felhő- és csapadékképződést, ami nyáron zivatarokhoz, télen kisebb körzetekben havazáshoz is vezethet. Az alapszél leolvasásában segítséget nyújt az ábra alján található jelmagyarázat, míg a szellökések erőssége a színskála alapján határozható meg.



13. ábra. Az ALADIN-ból nyert 10 méteres szél és széllökés előrejelzés 2010. 04. 14. 18 UTC-re.

Forrás: OMSZ, HAWK.

Fundamentálisnak tekintik a 2 méteres hőmérséklet (14. a, ábra) és a 2 méteres harmatpont mezőt (14. b, ábra) az előrejelzők, hiszen egyrészt ezek a paraméterek összetett módon függenek a meteorológiai folyamatoktól és a domborzati, tehát a szinoptikus klimatológiai viszonyoktól, vagyis az előrejelző ezen mezők alapján el is bírálhatja saját prognózisát vagy a modellt, átgondolva a hőmérsékletet befolyásoló tényezőket, folyamatokat. Másrészt a kiadott prognózisnak az alapját képezik a hőmérsékleti értékek. A harmatpont és hőmérséklet együttlátása lehetővé teszi, hogy a légkör talajközeli nedvességi viszonyait felmérje. Kis harmatpont-deficit (hőmérséklet és harmatpont különbsége) esetén például az előrejelző téli, anticiklonális helyzetben ködre, míg nyáron gomolyfelhő-képződésre számíthat. Nyugodt, nyári időjárási helyzetben a Ferrel formulát használva még a felhőalapot is megbecsülheti a szinoptikus a harmatpont-depresszióból. Az értékek értelmezéséhez az ábrák jobb alsó sarkában lévő színskála ad segítséget, mely alapján 05. 24. 12 UTC-kor 20 és 23 fok között alakult az országban a hőmérséklet, míg a harmatpont 10 és 12 fok között. A 10-12 fokos harmatpont-deficit alapján ebben az időben 1200-1500 méteres felhőalapot várhatott az előrejelző.



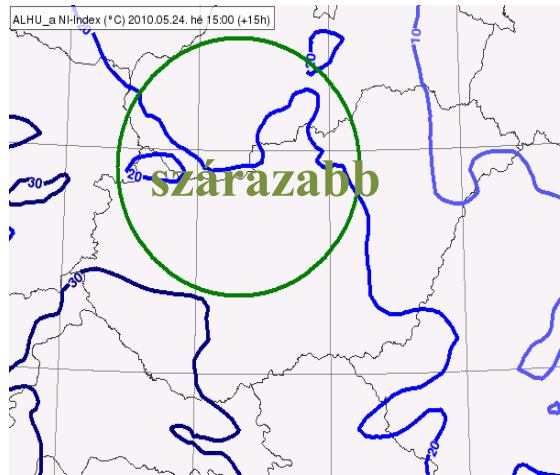
14. ábra: Az ECMWF-ből nyert 2 méteres hőmérséklet (a,) és 2 méteres harmatpont (b,) előrejelzés 2010. 05. 24. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

A részletesen bemutatott mezőkön kívül még napi rendszerességgel használják a felhőzeti szintekre vonatkozó borultsági térképeket, melyekből közvetett módon kiolvasható az adott szintű felhőzet mennyisége.

A csapadékmennyiségre és szélökésre vonatkozó valószínűségi mezők is elterjedtek az operatív gyakorlatban, hiszen a kódolt prognózis elkészítéséhez a 0 mm-es, a 2 mm-es és az 5 mm-es csapadékhozamok, valamint a 12 m/s-os, 17 m/s-os és a 25 m/s-os szélökéshatárok valószínűségi előrejelzése is szükséges. Az utóbbinak jelentős szerepe van a veszélyjelzésben is, hiszen a határértékek az erős, a viharos és az erősen viharos szélökéseket jelölik ki.

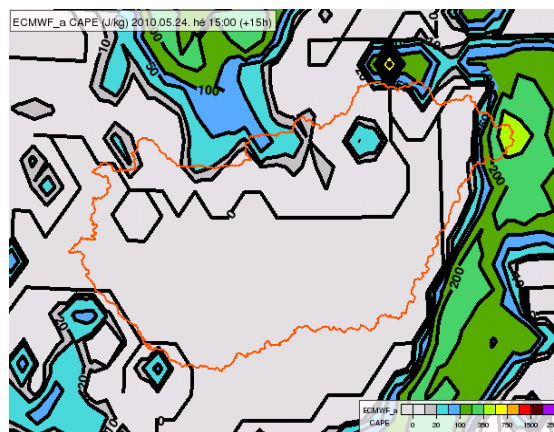
A nyári, konvektív időszakban természetesen az instabilitási indexeket is megnézik, leggyakrabban az NI-index, a CAPE-index, a K-index, az SSI-index, a Thompson-index, a Lifted-index és a VT-index mezőit tekintik meg. Ezen kívül még a 0-6 km-es szélnyírás is elbírálásra kerül, amit főleg szupercellás zivatarok előrejelzéséhez használnak, bár utóbbi inkább a veszélyjelző kollégáknál terjedt el. A következőkben ezen mezők közül kerül néhány bemutatásra.

A Lebegyeva-féle telítési indexet (NI-indexet) azért használják, hogy információt kapjanak a konvekció szempontjából érintett három főizobárszint telítettségéről. Az NI-index az 500 hPa-os, a 700 hPa-os és a 850 hPa-os szint harmatpont-depressziójának az összegéből áll elő. A nagy értékek szárazabb, az alacsony értékek telítettebb léghőmérsékletet sugallnak, a konkrét értékek az izovonalakon vannak feltüntetve. Az ALADIN 05. 24. 15 UTC-s előrejelzése alapján (15. ábra) például Szlovákia nyugati felén és hazánk nyugati kétharmadán szárazabb a levegő, ami nem kedvez a konvekciónak.



15. ábra. Az ALADIN NI-index előrejelzése 2010. 05. 24. 15 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az instabilitási viszonyok felméréséhez a CAPE előrejelzést is megtekintik, ami a szabad konvekciós és a kiegyenlítési szint között az emelkedő légrézecske és környezetének sűrűségkülönbségét reprezentálja, vagyis a felhajtó erőt számszerűsíti. Minél nagyobb értéket vesz fel a CAPE értéke, annál nagyobb a valószínűsége a zivatarok kialakulásának. Az 1000 J/kg érték felett már számíthatunk intenzívebb zivatarok képződésére is, de az ECMWF 05. 24. 15 UTC-s előrejelzési térképe (16. ábra) alapján például ilyen nem várhatunk hazánk területén, hiszen országhatárainkon túl is csak 200-300 J/kg közötti maximumok fordulnak elő. Természetesen a zivatarok képződéséhez más is kell.

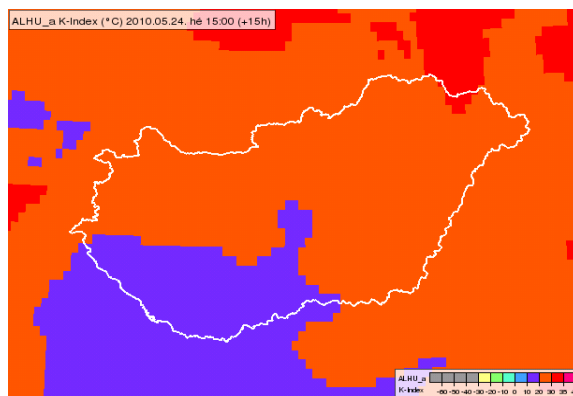


16. ábra. Az ECMWF CAPE előrejelzése a 2010. 05. 24. 15 UTC-s időpontra. Forrás: OMSZ, HAWK.

A K-indexet szintén zivatarok kialakulásának valószínűségi előrejelzése céljából tekintik meg, főleg emelt konvekciós esetben, mely a következő formulával adható meg:

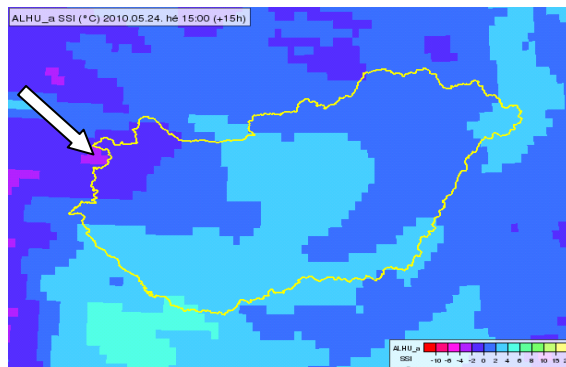
$$KI = (T_{850} - T_{500}) + T_{d850} - (T_{700} - T_{d700}),$$

ahol T és T a 850 hPa-os nyomási szint hőmérséklete és harmatpontja, T az 500 hPa-os nyomási szint hőmérséklete, T és T a 700 hPa-os nyomási szint hőmérséklete és harmatpontja (Csirmaz, 2012). Az ábra jobb alsó sarkában látható skála alapján hazánk területére 10 és 30 közötti K-indexeket jelzett előre az ALADIN 05. 24. 15 UTC-re (17. ábra), amiből azt állapíthatjuk meg, hogy legfeljebb záporos jellegű csapadék fordulhat elő.



17. ábra. Az ALADIN modell K-index előrejelzése 2010. 05. 24. 15 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az Showalter-féle indexet is az aktív konvekció előrejelzésére használják, melyből szintén valószínűségekre következtetnek. A negatív értékek aktív konvekcióra utalnak (Fischer, 2010), amire az ALADIN 05. 24. 15 UTC-re vonatkozó előrejelzésében (18. ábra) is találunk példát, hiszen Sopron környékén -2 és -4 körüli értékek is megjelentek.



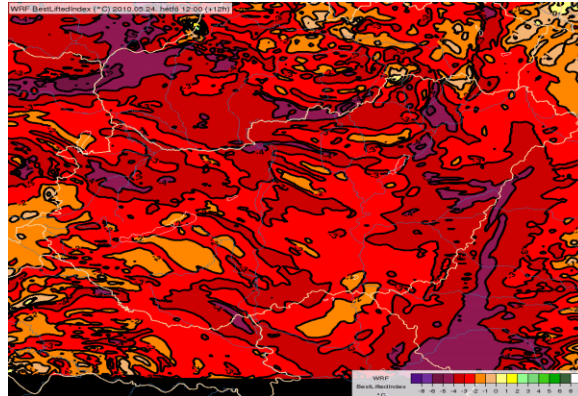
18. ábra. Az ALADIN modell SSI előrejelzése 2010. 05. 24. 15 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az operatív gyakorlatban gyakran használják a (Best) Lifted-indexet is, mely a következő képlettel áll elő:

$$LI = T_{500} - T_{a500},$$

ahol T az 500 hPa-os nyomási szint hőmérséklete, T a talajról száraz adiabatikusan indított, majd az emelési kondenzációs szint elérése után pszeudonedves adiabatikusan emelkedő légréteg hőmérséklete 500 hPa-on (Csirmaz, 2012). Minél negatívabb a Lifted-index értéke,

annál nagyobb a hidrosztatikai instabilitás. Például a WRF előrejelzési térképén (19. ábra) a színskála alapján látható, hogy a Kárpát-medencében -1 és -5 közötti LI értékek voltak jellemzőek 05. 24. 12 UTC-kor, amiből az szűrhető le, hogy zivatarok is kialakulhatnak ebben az időszakban.



19. ábra. WRF modellből nyert Best Lifted Index előrejelzés 2010. 05. 24. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

A nyári időszakhoz hasonlóan a téli periódusban is használnak az általános mezőkön kívül speciális mezőket, mint például a modellek halmazállapot (eső, havas eső, ónos eső, hó), hó-víz egyenérték, valamint a hó valószínűségi előrejelzéseit.

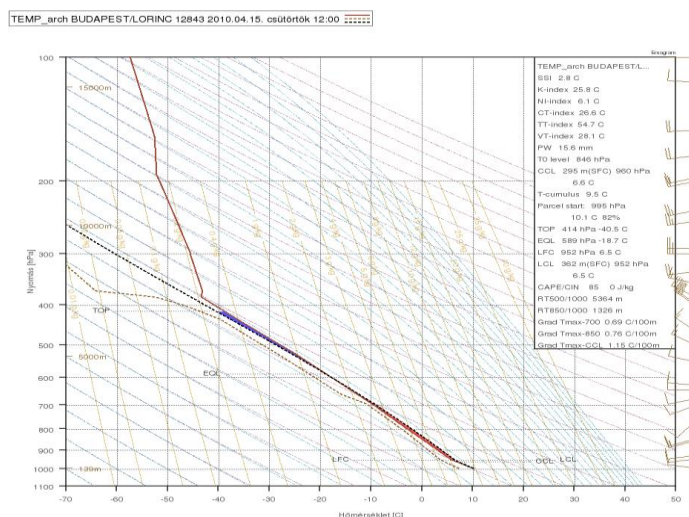
Az előrejelzés készítésekor a szakemberek az említett mezőket úgynevezett makrókba csoportosítva tekintik át abból a célból, hogy a paraméterek időbeli alakulását együttesen lássák, s így lehetővé váljon az összefüggések és a meteorológiai folyamatok feltárása. A sikeres prognózisnak ugyanis szükséges feltétele, hogy az előrejelző lássa a szinoptikus folyamatokat, illetve a kisebb skálán zajló változásokat.

A gyakorlatban használt makrókat több koncepció alapján állították össze a szinoptikusok. Vannak alpmakrók, amelyek egy modelltől származó alapmezőket (relatív nedvesség, hőmérséklet, borultság, szél, szellőkés, légnyomás, csapadék) tartalmaznak (1. számú melléklet), és vannak olyan makrók, amik több modell előrejelzését tartalmazzák az alapparaméterekre (2. számú melléklet). A konvektív események előrejelzésére szolgáló makrókból is van, ami egy modell instabilitási indexeit tartalmazza (3. számú melléklet) és olyan is használatban van, amelyik több modell adott instabilitási indexeit tünteti fel (4. számú melléklet). A nyárihoz hasonlóan a téli időszakra is készülnek specifikus mezőegyüttesek (5. számú melléklet). A több modell output adatait tartalmazó makrók segítségével a szinoptikusnak lehetősége van a modelleket összehasonlítani és a legvalószínűbb, mindegyik modell által támogatott állapotot elfogadni, egyfajta

valószínűségi előrejelzést tud készíteni. Olyan makrókat is használnak az IEO-n, melyek csak egy paraméterre vonatkozó, különböző modellekből nyert mezőket tartalmaznak (6. számú melléklet), ezzel lehetőség van a HAWK-ban megtalálható összes numerikus modell eredményét áttekinteni és a leginkább valószínű értéket elfogadni. Ilyen makrókat használnak a hőmérséklet, a szél, a csapadékösszeg, a csapadékösszeg valószínűség és a felhőzet előrejelzéséhez. A gyors és hatékony munkához legalább 10-12 ablakos makrókat használnak az előrejelzők, így rövid idő alatt számtalan modell előrejelzését tudják feldolgozni. A Függelékben láthatóak példák az operatív gyakorlatban használt makrókra.

A HAWK-ban megjeleníthető összes információ mellett az Országos Meteorológiai Szolgálat belső rendszerében (intra.met.hu) elérhető ECMWF modellből készített 10 napos fáklya diagramot is megtekinthet az előrejelzés készítésekor.

A rádiószondás mérések (Czelnai, 1994) megjelenítésére alkalmas ún. emagramot (Bordás et al., 2007) is használnak (20. ábra), amelyen a levegő vertikális tulajdonságait, a hidrosztatikai instabilitást és a hőmérsékleti rétegződést tanulmányozzák. Ennek segítségével azonosíthatják a száraz és nedves légrétegeket, a szélnyírást, illetve a szélfordulások alapján következtethetnek arra, hogy adott szinten hideg- vagy melegadvékción zajlik. Ezen kívül előnye még, hogy számos, főként a nyári időszakban hasznos labilitási paraméter származtatható a feltüntetett mérési adatokból, és télen a csapadék halmazállapotának szempontjából is nagy jelentőséggel bír a pozitív hőmérsékletű rétegek elhelyezkedése és vastagsága révén.



20. ábra. Rádiószondás felszállás Budapest-Lőrincre (2010. 04. 15. 12 UTC). Forrás: OMSZ.

A diplomamunkám során elkészített esettanulmányokat az Időjárás-Előrejelző Osztályon operatíván végzett rövidtávú előrejelzési munkafolyamat reprodukálásaként hajtottam végre. A kezdeti állapotot a távérzékelési eszközökből kinyert információk és a szinoptikus észlelések alapján mértem fel, az időjárási objektumokat beazonosítottam. A hidrosztatikus modellek közül az ECMWF és az ALADIN modellt használtam fel, míg a nem-hidrosztatikusak közül az AROME-ot és a WRF-et. A számtalan előrejelzési mező áttekintéséhez makrókat készítettem annak érdekében, hogy az időjárási folyamatokat megértssem és konzisztens módon tudjam vizsgálni az alacsony beválású prognózisokat.

3. A HAWK-3 munkaállomás bemutatása

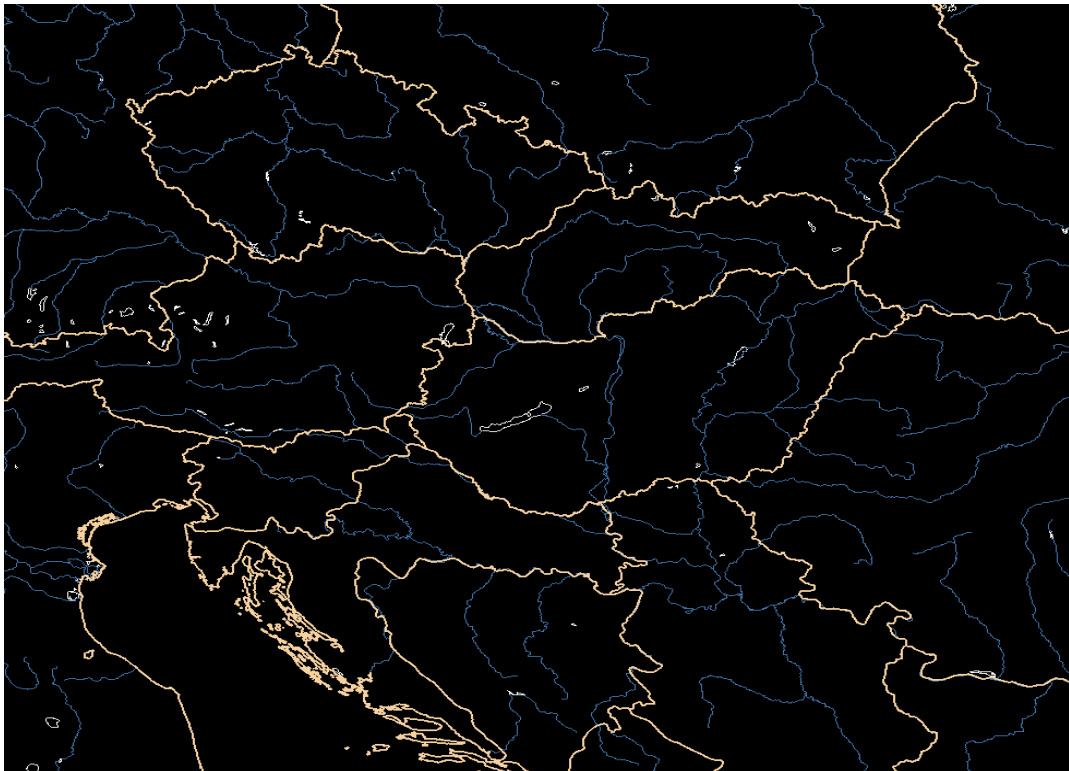
A HAWK-3 (Hungarian Advanced Workstation) az OMSZ saját fejlesztésű, operatíván használt interaktív megjelenítő rendszere, amely lehetővé teszi az előrejelző szakember számára a napi munka során rendelkezésre álló igen nagy mennyiségű meteorológiai információ rendszerezését. A program az adatokat térképeken és speciális meteorológiai diagramokon (pl. emagram) is képes ábrázolni és különleges megjelenítési funkciói révén hatékony eszközt jelent az időjárási folyamatok és a numerikus előrejelzések áttekintéséhez.

A HAWK-3 HP-UX és Linux operációs rendszerek alatt működik, a grafikához az X Windows rendszert használja. A program szinte teljes egészében objektum orientált stílusban C++ nyelven íródott. A rendszer nagyszámú grafikus parancstáblát tartalmaz, amelyek Motif-fal lettek kifejlesztve. A program kizárólag az OMSZ saját, speciális formátumú adatait képes megjeleníteni, amelyek a legtöbb esetben egyedi felépítésű ún. netCDF (network Common Data Format) file-okban vannak eltárolva. A dolgozatomhoz szükséges előrejelzési adatok is netCDF formátumú adatfile-okban kerültek felhasználásra.

A program grafikus felülete több ablakra tagolódik. Az ablakok egymástól függetlenül szerkeszthetők és tetszőleges mezőt képesek megjeleníteni. A program felszíni és magaslégköri megfigyelések, villámlokalizációs mérések, radar-, és műholdképek és előrejelzések tetszőleges kombinációjának megjelenítésére és nyomtatására képes. Lehetőség van a betöltött mezők időbeli léptetésére és hurokfilmek készítésére is. Az ablakok képei a léptetés és az animáció során időben szinkronizáltan mozognak. A rendszer automatikusan frissíti a megjelenített információkat. Minden esetben lehetséges a

beállítások elmentése, ill. visszatöltése. Lehetőség van a megjelenítési lépések elmentésére, ún. makrók definiálására is. Egyedi felhasználók létrehozásával az egyes felhasználók menü- és makró-struktúrája teljesen elkülöníthető egymástól. A program a meteorológiai adatokat térképen és emagramon valamint térbeli és időbeli metszeteken képes megjeleníteni. A térképek és az emagram esetén tetszőleges mező ki-, és visszanagyítható. A térképeknél többféle vetület és kivágat áll rendelkezésre, nagyszámú, interaktívan kiválasztható térképelemmel együtt (határok, folyók stb.). Lehetőség van a tengerek és szárazföldek eltérő színezésére és domborzati árnyékolással készült orográfia háttérrel használatára is. A megjelenített mezők kívánt pontjaiban a szkennelés funkció segítségével a meteorológiai változó pontos értéke is leolvasható. Numerikus modellek térbeli mezői 3D nézetben is megjeleníthetőek. A képernyő tartalmát a felhasználó elmentheti, kinyomtathatja, vagy e-mailen elküldheti. A program nem csak passzív megjelenítő rendszer: frontszerkesztője segítségével a teljes fronttérkép az alkalmazáson belül elkészíthető, módosítható.

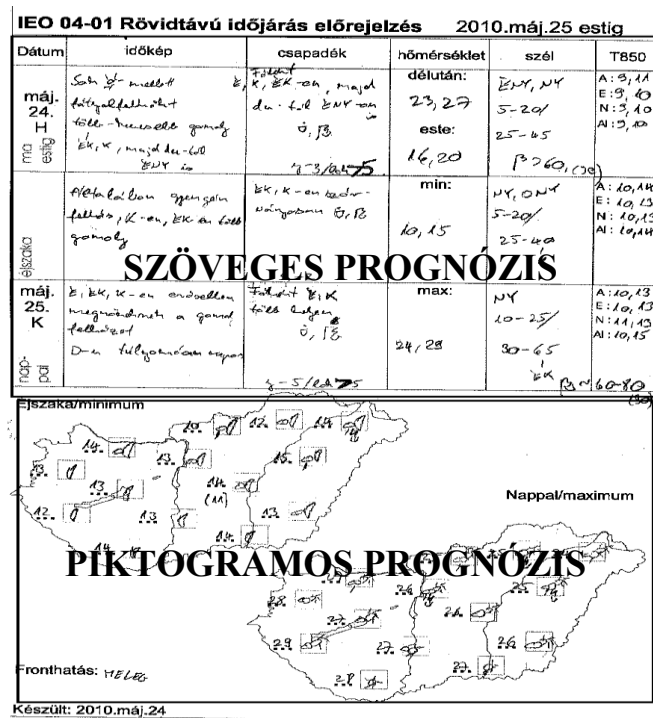
Például a 21. ábrán egy közép-európai kivágatú (mezo) és térképelemekkel bővített mező látható.



21. ábra. A HAWK megjelenítő rendszer mezo méretű panelja. Forrás: OMSz.

4. A rövidtávú alapprognózisok és azok kódolása az IEO-n

A szinoptikus szakember az előrejelzés készítésekor az időjárást meghatározó állapotjelzők jövőbeli alakulásáról kap egy átfogó képet, s ezt időszakokra lebontva részletezi. A rövidtávú (0-36 óra) szöveges formátumú előrejelzések aznap délutánra (12-18 UTC), következő éjszakára (18-06 UTC), illetve másnapra (06-00 UTC) vonatkozóan készülnek el az egész országra (22. ábra). A középtávú prognózisok napi felbontásban kerülnek kiadásra szintén Magyarország területére vonatkoztatva. A meteorológusnak a felhőzetet, a borultság időbeli változását, a csapadék típusát és idejét, a csapadékmennyiség területi eloszlását, a szélesebséget, a szellőkést, a szélirányt és a minimum-/ maximum-hőmérsékletet kell előrejeleznie az operatív gyakorlatban. A csapadékkal nem járó szignifikáns, illetve veszélyes időjárási jelenségek (például köd, hófúvás) várható idő-, és térbeli előfordulását is minél pontosabban kell meghatározni. A 36 órás szöveges előrejelzés térbeli átláthatóságát javítva országos piktogramos előrejelzés is készül a szolgálatnál éjszakai és nappali időszakokra (22. ábra), de az időjárási folyamat egyes fázisai ebben nincsenek feltüntetve, ezért a piktogramos és a szöveges előrejelzés együtt alkot egy teljes képet. A két piktogramos előrejelzés manapság kiegészül egy aznap délutáni térképes prognózissal, hogy a televízióban megfelelően legyen prezentálva az aznapra várható időjárási kép.

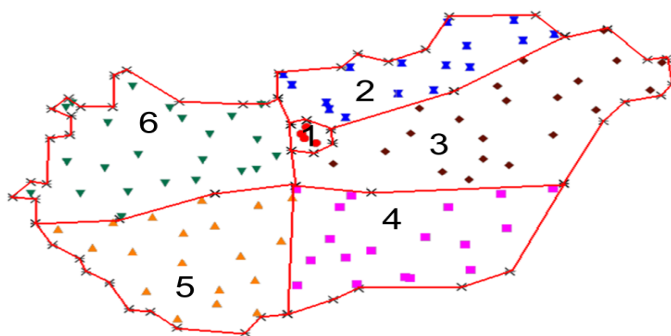


22. ábra. Az OMSZ-IEO hivatalos rövidtávú szöveges és piktogramos prognózisa 2010. 05. 24. 12 UTC-05. 26. 00 UTC időszakra. Forrás: OMSZ

A várható időjárás iránti fokozott érdeklődés, az előrejelzés felé mutatott igények kielégítéséhez az Időjárás-Előrejelző Osztályon nem elég a szöveges országos előrejelzést elkészíteni, hiszen a megrendelők a saját környezetük meteorológiai viszonyaira kíváncsiak, emellett pedig nincs kapacitás arra, hogy minden szerződéses partnernek személyre szabottan megfogalmazott prognózist készítsenek. A felmerülő igények kezelésére az előrejelzés kódolása jelenti a megoldást. Az eljárásnak köszönhetően regionális és adott régióra egységes előrejelzések készülnek automatikusan, ugyanis egy program segítségével a kódból szöveg generálódik, amit a médiának, ipari üzemeknek, magánszemélyeknek egyaránt el tudnak küldeni. A kódolt formában megjelenő prognózisoknak nagy hátrányuk, hogy a régió belül fellépő különbségek elmosódnak, kiátlagolódnak az értékek, illetve az időbeli felbontásuk is rosszabb (első időszak: kiindulási nap 12 UTC- másnap 06 UTC (itt nagyobb súllyal az éjszakai időjárási folyamatok szerepelnek), második időszak: másnap 06 UTC- 00 UTC (itt a nappali időszak időjárási folyamataira helyezik a hangsúlyt)). Az adott térségben előforduló szinoptikus klimatológiai sajátosságok is nehezen vehetők figyelembe a durva felbontás miatt, ennek kiküszöbölésére az OMSZ szerződéses munkatársa korrigálhatja a kódból előálló szövegeket, illetve az előrejelzési adatbázist, amiből a szerződéses partnerek és egyéb médiaszolgáltatók kapnak információt a várható időjárásról.

A szolgálatnál hat magyarországi régióra készül kódolt előrejelzés, ezek a következők:

1. Budapest és környéke
2. Északi-középhegység
3. Észak-Alföld
4. Dél-Alföld
5. Dél-Dunántúl
6. Észak-Dunántúl



23. ábra. A verifikációhoz használt állomás eloszlás és régió felosztás 2009. szeptember óta.

A rövidtávú előrejelzések esetében előállított kód szerkezete a következőképpen néz ki: **OOKI HHNN BBJJ CCMW SSSS AALL YYXX**. Az OO az ország azonosító

számát jelöli, a K a körzetszámot jelenti, az I azt mutatja meg, hogy melyik előrejelzési időszakra vonatkozik a kódsorozat. A HH a hónapot, az NN a napot jelenti. A BB a felhőzet alakulásáról, a JJ a csapadékkal nem járó szignifikáns jelenségekről ad információt. A CC a csapadékfajta jelöli, az M a csapadékmennyiség területi átlagáról ad információt, a W a 20 mm feletti csapadék valószínűségére utal. Az SSSS kódcsoporttal a szélirányt, az AA szakasszal az átlagos szélességet, az LL szakasszal pedig a széllelkést jellemezzük. Az YYXX részben a minimum-, és a maximum-hőmérsékletéről kapunk információt.

A szélirányt 10 fokként határozzuk meg (pl. a 2-es kód 20°-nak felel meg) és a változó irányú szelet 99-es kóddal jelöljük. A kódcsoport első felében az eleinte várható, a második részében pedig a később várható szélirányt adjuk meg. Az AA partícióban az átlagos szélességet adjuk meg m/s egységben, míg az LL részben a széllelkést.

Az YY csoportban a minimum-, az XX-ben pedig a maximum-hőmérsékletet határozzuk meg °C egységben, negatív értékek esetén a kódszámhoz 50-et kell hozzáadni (pl. -3 foknak 47-es kód feleltethető meg).

A Függelékben megtalálhatók a fenti kódoknak a különböző kategóriára vonatkozó értékei (7. és 8. számú melléklet).

Most nézzünk egy konkrét példát a kódolt prognózisra. Tekintsünk egy 2012. május 4-ei, Észak-Dunántúlra vonatkozót, ami a következőképpen néz ki:

1260 0504 7/7/ 683/ 33// 0310 14//,

ahol a 12-es Magyarország kódszámát jelöli, a 6-os pedig azt jelenti, hogy az észak-dunántúli térségre készült az előrejelzés. A 0-s jelzés azt mutatja, hogy a prognózis az első nap éjszakájára vonatkozik. A 0504-es csoport arra utal, hogy május 4-én került kiadásra a prognózis. A 3. csoport 7/-es szakasza azt jelenti, hogy az éjjel folyamán gyakran erősen megnövekszik a felhőzet, míg a második szakaszban a 7/ kód 46-60 km/h közötti széllelkésekkel kísért zivatarra utal. Ezt követően 68-as kód az eső és zápor lehetőségét jelenti a prognózisban. A 3/ tag alapján a régióban területi átlagban 2-5 mm-nyi csapadék várható, de 20 mm-t meghaladó mennyiség nem valószínű. A 33// csoport azt jelenti, hogy 330°-os (északnyugati) szél várható a térségben, és ez az időszak folyamán nem is változik. A 0310-es szélesség csoport azt mutatja, hogy a 3 m/s-os alapszelet 10 m/s-os lökések kísérik várhatóan, végül az utolsó csoportban a 14// jelenti a régiót jellemző 14 fokos minimum-hőmérsékletet területi átlagban.

5. Az előrejelzés verifikációja

Az OMSz Időjárás-Előrejelző Osztályán a szinoptikusok által naponta készített, illetve a modellekből automatikusan előálló rövid-, és középtávú alapprognózisok beválásának vizsgálata is megtörténik egy objektívebb verifikációs eljárással.

Az előrejelzések ilyen jellegű verifikálásának szükséges feltétele, hogy a prognózisok kódok formájában is előálljanak. A számszerűsített produktum az ismert adatok (megfigyelések, mérések) tükrében egyszerű módon értékelhető ki. Az eljáráshoz tehát elengedhetetlen az előző fejezetben bemutatott kódolt előrejelzés.

2009 őszétől a verifikálásban figyelembe vett állomások száma az eddigi 30-ról az összes elérhető, több mint 100 állomásra bővült (*Fehér et al., 2010*). Az új rendszerre való áttéréssel az előrejelzett területi eloszlások pontosabb kiértékelése vált lehetővé.

Az előrejelző szakember a numerikus modellek és az ezekből készült különféle produktumok alapján, valamint saját tapasztalatai és a szinoptikus klimatológiai sajátosságok figyelembe vételével minden nap elkészíti az említett kódfile-t. Ugyancsak elkészül, automatikus módon – az előrejelzőével teljesen megegyező formában – a prognózis készítés során használt két fő modellből, az ECMWF-ből (globál modell) és az ALADIN/HU-ból (korlátos tartományú modell) származó kódszerű prognózis is. Így nem csak a szinoptikus, hanem a két említett modell előrejelzése is összehasonlíthatóvá, értékelhetővé válik. A verifikációs eljárás során az egyes körzetekre meghatározott előrejelzett-tényleges értékpárok állnak elő, melyekből a legkülönbélebb statisztikai mérőszámok határozhatók meg (átlagos hiba, átlagos négyzetes hiba négyzetgyöke, stb.).

A rendszer képes arra, hogy a minimum-, és maximum-hőmérséklet, a csapadékegzisztencia, a csapadékmennyiség, az átlagszél, a szellőkés és a felhőzet előrejelzését objektív módon verifikálja. Emellett felmerült annak az igénye is, hogy a prognózisok összteljesítményét egyetlen mérőszámban is meghatározzák. Ezt a célt szolgálja az úgynevezett komplex mérőszám, amelyben a verifikált meteorológiai paraméterek beválását súlyozva veszik figyelembe. Ehhez meghatároztak egy-egy statisztikai mérőszámot minden egyes elemre, illetve kijelölték azokat a küszöbértékeket, amelyek esetén az adott paraméter beválása 100 illetve 0%-os. A paraméterek előrejelzésének százalékos beválása a két küszöbérték alapján számítható, majd pedig ezek súlyozott átlagaként a komplex mérőszám is meghatározható.

A komplex mérőszám bevezetése az objektív verifikációs rendszer egy szubjektív pontját jelenti, ennek ellenére igyekeztek az OMSZ munkatársai az említett mérőszámot oly módon megalkotni, hogy a lehetőségekhez képest minél jobban tükrözze vissza az előrejelzések teljesítményét. Az egyes elemek 0%-os beválásához rendelt küszöbértékeket úgy kellett meghatározni, hogy a teljesen sikertelennek számító előrejelzéshez tartozó hiba mértéke nagyjából megfeleljen egy átlagfelhasználó igényeinek. A paraméterek közül a hőmérsékletet veszik figyelembe a legnagyobb súllyal, ugyanis ez az az elem, amely a legracionálisabban verifikálható és az esetek nagy részében az összes többi paraméter hatását tükrözi. Szintén fontos szerepet kap a felhőzet, míg az átlagszél beválását tekintik a legkevésbé dominánsnak.

A verifikációt táblázatos formában jelenítik meg, aminek egy része a 23. ábrán látható, ahol a fejlécben vannak feltüntetve a meteorológiai paraméterek, a bal szélső oszlopban pedig a régiók, valamint az értékelt előrejelzés forrásai (a két modell és a szinoptikus). Az adott paraméterhez három oszlopot rendelnek hozzá, az elsőben az előrejelzett értékek, a másodikban az észlelt adatok, míg a harmadikban a hibák szerepelnek.

Éjszaka	Minimum (°C)			Csapadék egz. (0/1)			Csapadékmenny. (mm)			Szélesség (m/s)			Széllökés (m/s)			Borultság (okta)			
	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	
Budapest																			
ieo	8		1	1		0	3	0,76	1	2		0	6	-3	4,5-5,5			-1,3	
ecmwf	3	7,0	-4	1	1	0	3	(2)	1	2	2,0	0	7	9,4	-2	5,5-6,5	6,8	-0,3	
aladin	8		1	1		0	3		1	2		0	6		-3	6,4-7,2		0,0	
Miskolc																			
ieo	8		1	1		0	5	14,85	0	2		0	6	-2	5,9-7,0			-0,7	
ecmwf	5	7,1	-2	1	1	0	4	(5)	-1	2	1,9	0	8	8,3	0	7,4-8,0	7,7	0,0	
aladin	8		1	1		0	5		0	2		0	7		-1	7,4-8,0		0,0	
Debrecen																			
ieo	9		2	1		0	5	11,94	0	4		2	10		2	5,9-7,0		0,0	
ecmwf	7	6,9	0	1	1	0	4	(5)	-1	3	2,3	1	11	8,3	3	6,5-7,4	6,7	0,0	
aladin	9		2	1		0	5		0	3		1	7		-1	7,4-8,0		0,7	
Szeged																			
ieo	7		2	1		0	4	9,04	0	3		1	8		-4	4,8-5,9		0,0	
ecmwf	5	4,6	0	1	1	0	3	(4)	-1	3	2,2	1	7	12,1	-5	4,5-5,5	5,6	-0,1	
aladin	8		3	1		0	4		0	2		0	7		-5	5,9-7,0		0,4	
Taszár																			
ieo	6		0	1		0	3	2,36	0	3		1	7		-4	3,2-4,2		-1,0	
ecmwf	3	5,7	-3	1	1	0	2	(3)	-1	3	2,1	1	7	10,8	-4	3,0-4,5	5,2	-0,7	
aladin	6		0	1		0	3		0	2		0	6		-5	4,5-5,5		0,0	
Pápa																			
ieo	8		1	1		0	2	6,43	-2	3		0	8		-1	3,2-4,2		-3,0	
ecmwf	5	6,7	-2	1	1	0	4	(4)	0	2	2,5	-1	6	8,6	-3	6,5-7,4	7,2	0,0	
aladin	6		-1	1		0	3		-1	2		-1	7		-2	6,5-7,4		0,0	

24. ábra. Verifikációs táblázat (részlet). Forrás: OMSZ-IEO

A dolgozatnak nem célja a verifikációs folyamat és az annak során felhasznált statisztikai eljárások számszerű és részletes bemutatása. Azonban szükségesnek találtam röviden felvázolni az előrejelzés objektív értékelésének főbb lépéseit, hiszen az előrejelzéseket a legtömörebben minősítő komplex mérőszám segítségével választottam ki a 2010-es prognózisok közül a legkisebb beválásúakat.

6. Esettanulmányok

A szolgálat „Az IEO-n 2010-ben készült előrejelzések verifikációja” című kiadványához kapcsolódó Excel-táblázatban fel vannak tüntetve minden napra vonatkozóan az ECMWF, az ALADIN numerikus modellek és az Időjárás-Előrejelző Osztály (IEO) prognózisainak objektív értékelésére használt komplex mérőszámok. A legkisebb beválású rövidtávú előrejelzés idejét az IEO prognózisaira kiszámított komplexek vizsgálatával állapítottam meg, hiszen munkám célja a szinoptikus által készített legkevésbé sikeres előrejelzés felülvizsgálata.

A kutatómunkához az IEO-n operatíván használt, a 3. fejezetben bemutatott ECMWF és ALADIN hidrosztatikus modelleket, valamint az AROME és a WRF nem-hidrosztatikus modellt használtam annak figyelembe vételével, hogy lehetőleg azokkal a modelladatokkal dolgozzak, amik az előrejelzés készültekor is rendelkezésre álltak. Természetesen alkalmazhatott a szakember más modelleket is, mint például a GFS vagy a DWD, de ezek jelentőségüknél fogva, illetve a rendelkezésre álló technikai feltételek hiányában nem kerülnek feldolgozásra. Azt is meg kell jegyezni, hogy a verifikációs eljárás során csak az ECMWF és az ALADIN/HU van értékelve, vagyis ezek előrejelzéseit lehet összehasonlítani a szinoptikuséval. A nagy kivágatú ($\varphi: 70^\circ$, $\lambda: -15^\circ$; $\varphi: 34^\circ$, $\lambda: 40^\circ$) ECMWF modell adott nap 00 UTC-s, a korlátos tartományú ($\varphi: 56^\circ$, $\lambda: 2^\circ$; $\varphi: 37^\circ$, $\lambda: 31^\circ$) ALADIN modell adott nap 12 UTC-s futásából eredő alap- és származtatott mezőket használtam fel a munka során. A közép-európai tartományú WRF modell 2010. 05. 24. 00 UTC-s, valamint a 05. 25. 13 UTC-s futását használtam fel a konvektív időjárású esethez. A Kárpát-medence térségét lefedő AROME modell 05. 24. 12 UTC-s futása állt rendelkezésemre.

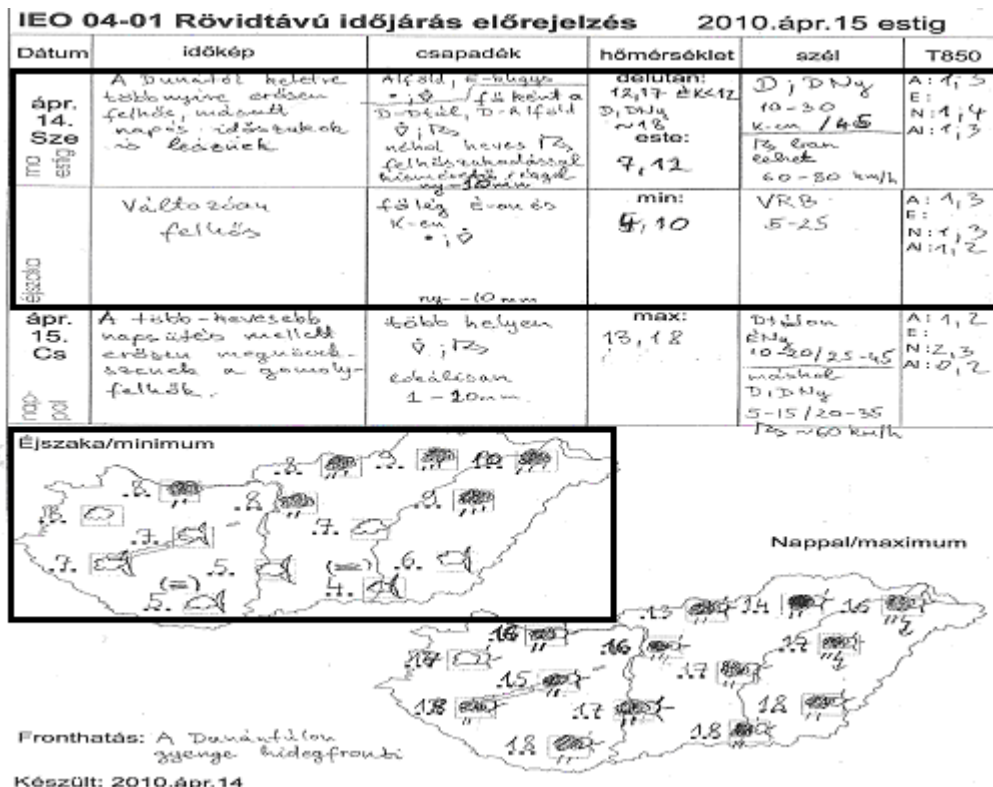
A szükséges archív modelladatokat az Éghajlati Osztálytól kaptam meg az előzetes megrendelés alapján. A diplomamunkához lekért modellmezők listája a Függelékben olvasható (9-12. számú melléklet). A radar, a műhold, a rádiószonda és a szinoptikus észlelők, valamint az automata műszerek által előállt képeket, adatokat az Éghajlati Osztályról és az Időjárás-Előrejelző Osztályról egyaránt beszerezhettem témavezetőm, Reisz Andrej és Kolláth Kornél közreműködésével.

6.1. Első esettanulmány (2010. 04. 14. 12 UTC – 04. 16. 00 UTC)

Az első esetben egy olyan tavaszi időjárási helyzetet kívánok vizsgálni, amikor a Kárpát-medence fölött egy sekély ciklon örvénylett, melynek okklúziós frontja az időszak során visszakanyarodott retrográd módon fölénk. A Dél-Európa felett húzódó jet-stream bal kilépő ágán elhelyezkedő szinoptikus skálájú légörvényben a nagytérségű, rendezett feláramlások uralkodtak, ezért kedvezőek voltak a feltételek a tartósabb, jelentős mennyiségű csapadékot produkáló felhőzet kialakulásához, melynek mennyisége közvetlenül befolyásolta a hőmérséklet menetét is. A hidrosztatikus modellek használatával az ilyen időjárási helyzet már nem jelent nagy kihívást a szinoptikus számára. Azonban előfordulhat, hogy ilyen körülmények között is valamilyen megfontolásból a szakember a modellektől eltérően vélekedik a várható időjárásról, és ront a modellekből nyerhető prognózison. A modellek rossz elbírálása most a nappali időszakra volt jellemző.

6.1.1.1. Az IEO aznap délutáni és az éjszakai előrejelzése (2010. április 14. 12 UTC – április 15. 06 UTC)

Estig a Dunától keletre többnyire erősen felhős időt, máshová több-kevesebb napsütést, az éjszakai időszakra pedig változóan felhős időt várt a szinoptikus. Az előrejelzés alapján az esti órákig az Alföldön és az Északi-középhegységben eső, záporosó volt várható, emellett főként a Dél-Dunántúlon és a Dél-Alföldön záporok, zivatarok kialakulására is számíthattunk 60-80 km/h-s szellőkésekkel. Néhol kialakuló, felhőszakadással, kisméretű jéggel kísért heves zivatar lehetősége is említésre került. Területi átlagban nyom-10 mm csapadék szerepelt a prognózisban a hétfő délutáni időszakra vonatkozóan. Éjszakára főleg az északi és a keleti országrészre volt várható eső, záporosó nyom-10 mm csapadékkal. A délutáni szélre vonatkozó előrejelzés mérsékelt, élénk déli, délnyugati szélről tett említést, a keleti országrészre erős szellőkésekkel. Éjszakára gyenge, mérsékelt változó irányú légmozgást (VRB) adott a szinoptikus. Az előrejelző 12 és 17 fok közötti délutáni maximumokat várt általában, de északkeletre 12 foknál alacsonyabb, míg délnyugatra 18 foknál magasabb értékeket is elképzelhetőnek tartott. A legalacsonyabb hőmérsékletet 4 és 10 fok közé várta az előrejelző, emellett kiemelte, hogy északkeleten lesz az enyhébb, míg délnyugaton a hidegebb idő (25. ábra).

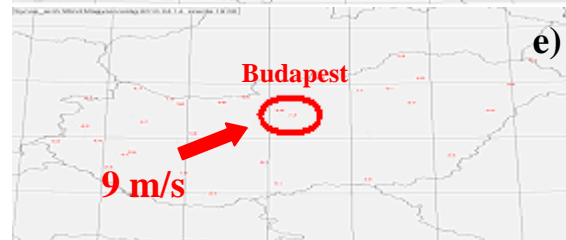
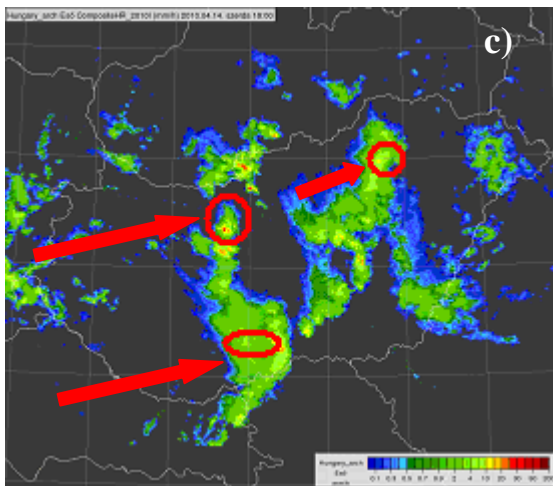
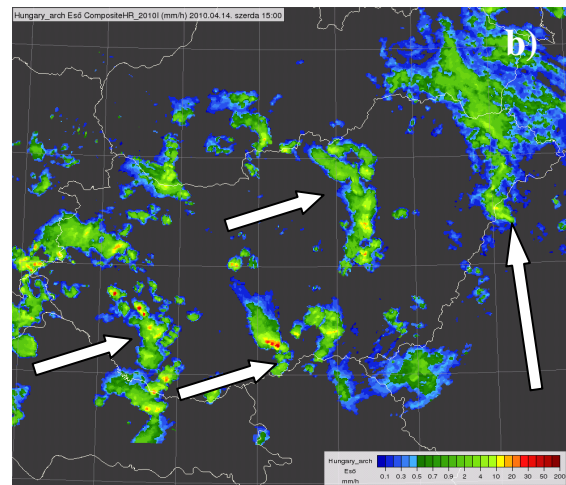
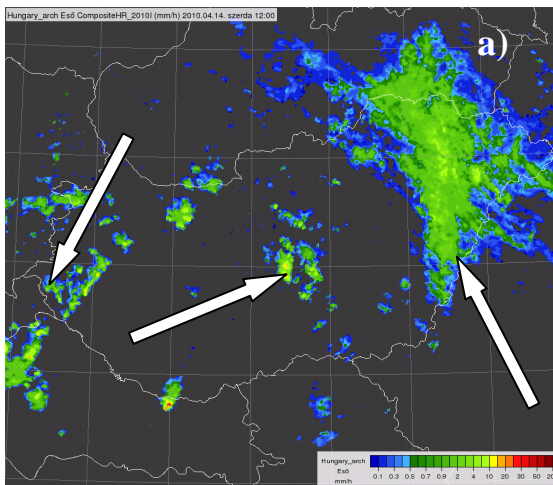


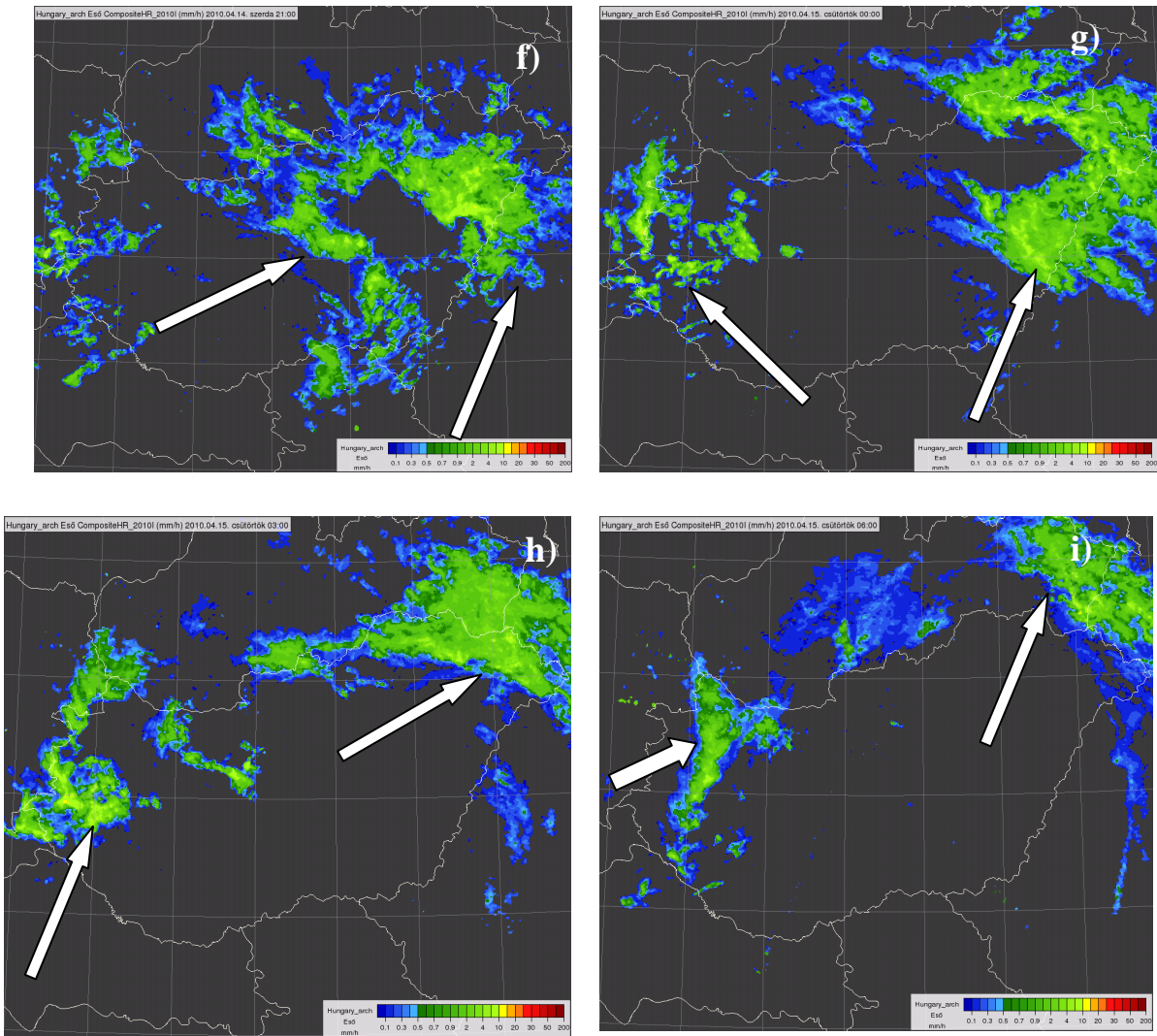
25. ábra. Az OMSz-IEO hivatalos rövidtávú szöveges és piktogramos prognózisa 2010. 04. 14. 12 UTC-04. 15. 06 UTC időszakra (bekeretezett rész). Forrás: OMSz

6.1.1.2. Az időjárás események összefoglalása

Április 14-én 12 UTC-kor (26. a, ábra) az ország északkeleti területén összefüggő csapadékszóna helyezkedett el, másutt elszórtan alakult ki konvektív csapadék. 15 UTC-kor a nagy kiterjedésű csapadéksáv északkelet felé távolodott (b, ábra), miközben egyre több konvektív cella alakult ki az országban, ezek az idő előrehaladtával vonalakba rendeződtek. Nagy reflektivitású gócból csak néhányat lehetett detektálni, melyek között az észlelések és a dBz értékek alapján zivatarok is voltak. 18 UTC-re (c, ábra) a záporos jellegű csapadékot egyre inkább a nagy területre kiterjedő, egyenletes intenzitású váltotta fel. Egy-két helyen még, a dBz értékek alapján feltételezhetően, előfordultak zivatarok, melyekhez élénk szellőkések kapcsolódtak. A magassági hidegmag miatt a légkör hideg és viszonylag nedves volt, ezért nem kísérte az intenzívebb cellákat viharos erejű szél. A miskolci állomás felett 16 és 18 UTC között áthaladt csapadékszónába beágyazott zivatar 8 m/s-os lökéseket, a Dél-Dunántúl felett átvonult csapadékmezőben előforduló intenzívebb gócból 11 m/s körüli lökéseket produkáltak (d, ábra). A budapesti mérőállomásokat 18 és 19 UTC között érintő zivatarokat 9 m/s-os szellőkések kísérték (e, ábra). 21 UTC-re a nagyméretű

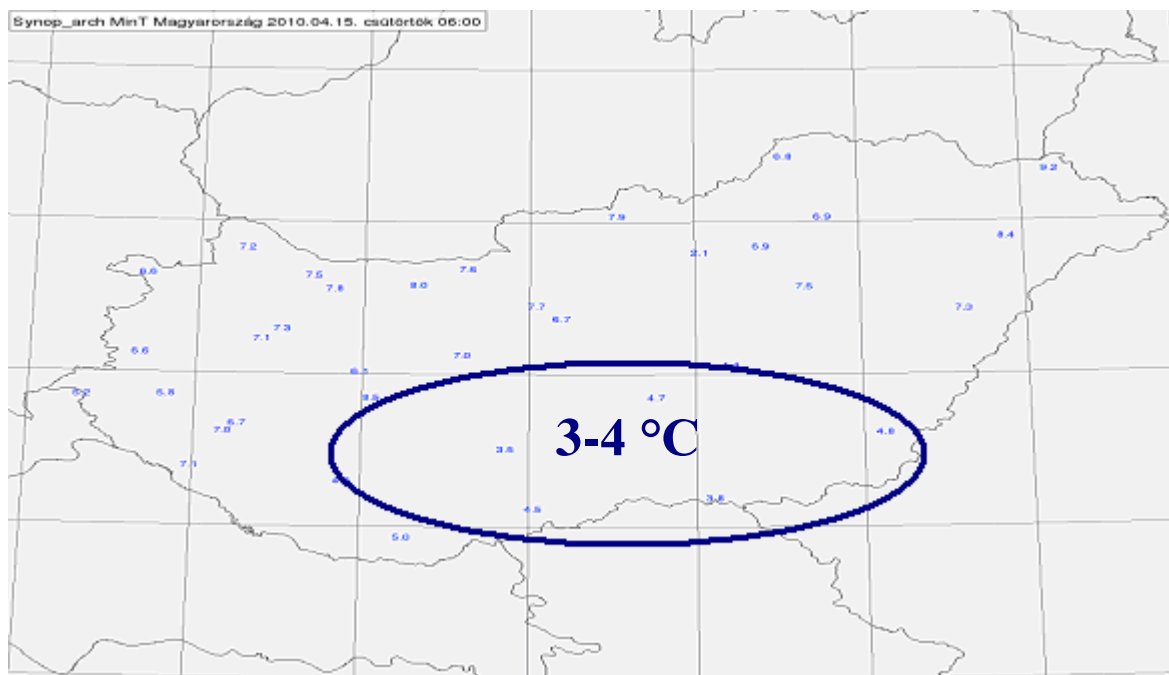
csapadéksávok már a Dunától keletre helyeződtek, a Dunántúl nyugati részén újabb cellák képződtek (f, ábra). 15-én 00 UTC-kor továbbra is analizálható a radarképen az ország északkeleti része felett örvénylő csapadékmező, miközben tovább terjeszkedtek a Dunántúl nyugati felén kipattanó cellák. A 03 UTC-s (h, ábra) és a 06 UTC-s (i, ábra) radarképeken látható, hogy fokozatosan elhagyja térségünket északkelet felé a nagy kiterjedésű csapadékszóna, azonban nyugat felől újabb keskeny csapadéksáv érkezett.





26. ábra. Országos kompozit radarkép 2010. 04. 14. 12 (a.), 15 (b.), 18 (c.), 21 (f.) UTC-kor, illetve 04. 15. 00 (g.), 03 (h.) és 06 (i.) UTC-kor, valamint maximális szellőkés térkép 04. 14. 17 UTC-re (d.) és 19 UTC-re (e.). Forrás: OMSZ, HAWK.

Az észlelések alapján a hajnali órákban az ország délnyugati és délkeleti tájai felett átmenetileg csökkent a felhőzet, ezért a hőmérséklet ezeken a tájakon 3-4 fokig süllyedt, míg az erősen felhős, borult területeken, ahol még az eső is esett, 7-8 fokra hűlt a levegő (27. ábra).



27. ábra. 2010. 04. 15. 06:00 UTC-s minimum-hőmérséklet térkép. Forrás: OMSZ, HAWK.

6.1.1.3. Az éjszakai prognózis verifikációja

Az éjszakai időszakra vonatkozó verifikációs táblázatból (28. ábra) kiolvasható, hogy a legnehezebben előrejelezhető paraméter a szélökés volt, hiszen majdnem az összes régióban 2-4 m/s-os tévedés adódott a modellek és a szinoptikus részéről egyaránt, emellett a minimum-hőmérsékletben fordult elő hiba. A szegedi régióra vonatkozó minimum-hőmérséklet előrejelzése sikeres volt a térképes prognózis alapján, azonban a verifikációs eljárás során rossz érték került be a rendszerbe a vélhetően hibás kódolásnak köszönhetően, ezért a beválás még alacsonyabb lett. Ilyen jellegű hibák sajnos előfordulnak a gyakorlatban, amikor a meteorológiai paraméterek területi átlagát rosszul ítélik meg.

Éjszaka	Minimum (°C)			Csapadék egz. (0/1)			Csapadékmenny. (mm)		Szélsebesség (m/s)			Széllökés (m/s)			Borultság (okta)				
	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	
Budapest																			
ieo	8		1	1		0	3	0,76	1	2		0	6		-3	4,5-5,5			-1,3
ecmwf	3	7,0	-4	1	1	0	3	(2)	1	2	2,0	0	7	9,4	-2	5,5-6,5	6,8		-0,3
aladin	8		1	1		0	3		1	2		0	6		-3	6,4-7,2			0,0
Miskolc																			
ieo	8		1	1		0	5		0	2		0	6		-2	5,9-7,0			-0,7
ecmwf	5	7,1	-2	1	1	0	4	14,85	-1	2	1,9	0	8	8,3	0	7,4-8,0	7,7		0,0
aladin	8		1	1		0	5	(5)	0	2		0	7		-1	7,4-8,0			0,0
Debrecen																			
ieo	9		2	1		0	5		0	4		2	10		2	5,9-7,0			0,0
ecmwf	7	6,9	0	1	1	0	4	11,94	-1	3	2,3	1	11	8,3	3	6,5-7,4	6,7		0,0
aladin	9		2	1		0	5	(5)	0	3		1	7		-1	7,4-8,0			0,7
Szeged																			
ieo	7	!!!	2	1		0	4		0	3		1	8		-4	4,8-5,9			0,0
ecmwf	5	4,6	0	1	1	0	3	9,04	-1	3	2,2	1	7	12,1	-5	4,5-5,5	5,6		-0,1
aladin	8		3	1		0	4	(4)	0	2		0	7		-5	5,9-7,0			0,4
Taszár																			
ieo	6		0	1		0	3		0	3		1	7		-4	3,2-4,2			-1,0
ecmwf	3	5,7	-3	1	1	0	2	2,36	-1	3	2,1	1	7	10,8	-4	3,0-4,5	5,2		-0,7
aladin	6		0	1		0	3	(3)	0	2		0	6		-5	4,5-5,5			0,0
Pápa																			
ieo	8		1	1		0	2		-2	3		0	8		-1	3,2-4,2			-3,0
ecmwf	5	6,7	-2	1	1	0	4	6,43	0	2	2,5	-1	6	8,6	-3	6,5-7,4	7,2		0,0
aladin	6		-1	1		0	3	(4)	-1	2		-1	7		-2	6,5-7,4			0,0

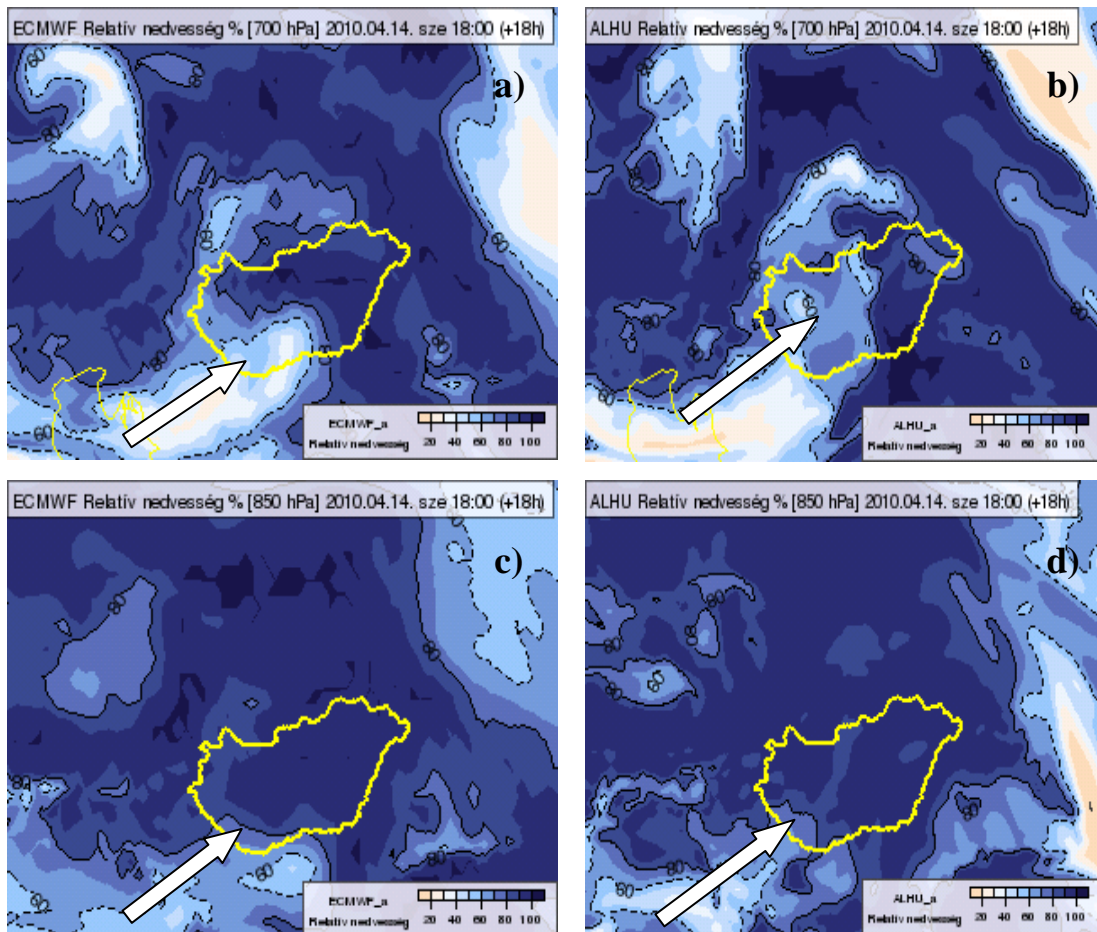
28. ábra: Verifikációs táblázat az éjszakai (2010. 04. 14. 12 UTC-04. 15. 06 UTC) időszakra vonatkozóan. Forrás: OMSz-IEO

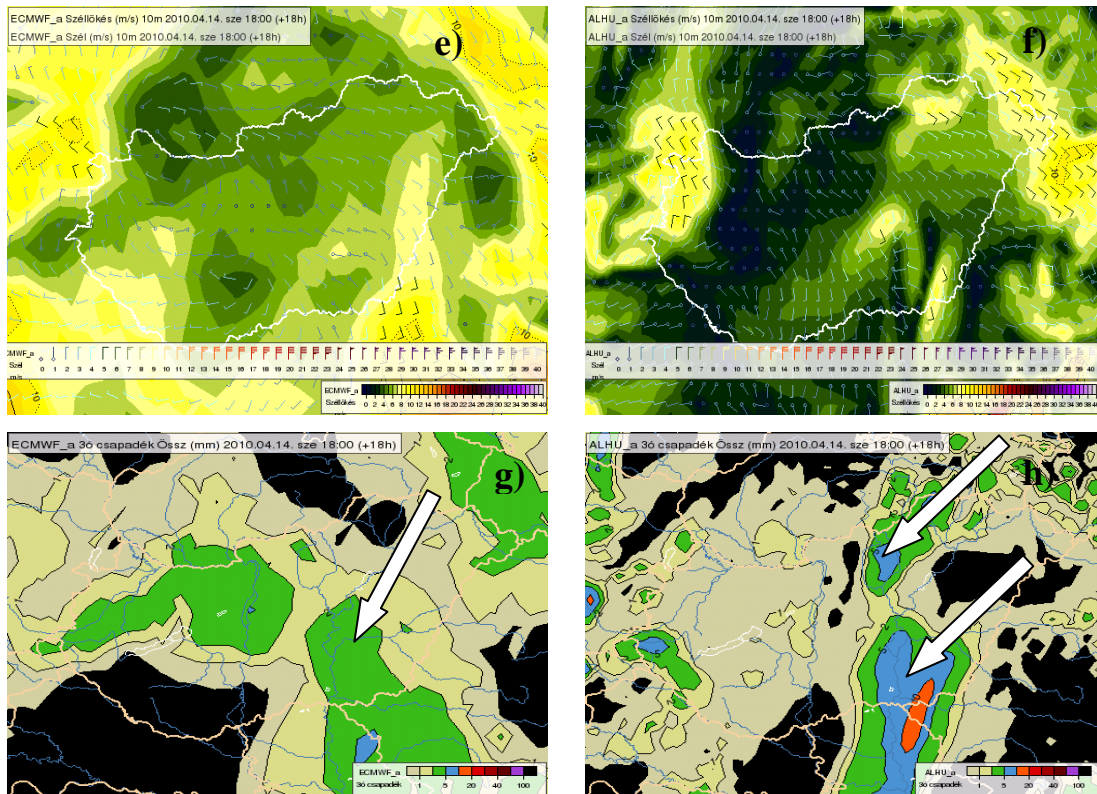
A szinoptikus munkájának beválási mutatója 82,7%, az ECMWF modellé 78,1%, az ALADIN komplex száma pedig 85,0% volt. Az értékek alapján az előrejelző viszonylag jól prognosztizálta az időjárás folyamatot, melyben a modellek is segítséget nyújtottak.

6.1.1.4. A hidrosztatikus modellek előrejelzései

Az **ECMWF** modell klasszikus mezőit tekintetem át. A különböző nyomási szintekre (500, 700, 850, 925 hPa) vonatkozó relatív nedvességi mezők, illetve a csapadék előrejelzések alapján elmondható, hogy a felhőzet tér és időbeli változását a modell nagyon pontosan leírta, az éjszaka délnyugat felől felszakadozó felhőzet és az északi, illetve a keleti tájakon tartósan fennálló vastag felhőtakaró előrejelzése sikeres volt (29. a, és c, ábra). A nagy kiterjedésű csapadékvonal elhelyezkedését megfelelően mutatta, a lehulló csapadék mennyiségére jó becslést adott: a Dunántúl nyugati felére 2-5 mm, a keleti felére 5-10 mm, a Duna-Tisza köze középső és déli részére 5-15 mm, a Tiszántúlon nagy területére 5-10 mm, míg az Északi-középhegység térségére 20-35 mm mennyiségű csapadékot termelt ki. 18 UTC-re is nagy területre várt csapadékot (29. g, ábra). A széllökések előrejelzése azonban nem sikerült, fölé és alábecslések egyaránt előfordultak, 18 UTC-kor például gyengébbnek mutatta a szelet az ország jelentős részére (29. e, ábra). A minimum-hőmérséklet prognózisában szintén adódtak hibák, általában alacsonyabb értékeket mutatott a valóságosnál.

Az **ALADIN** modell telítettségi mezői alapján is látszott, hogy ugyan délnyugat felől felszakadozik, csökken a felhőzet, de marad az északi és a keleti tájakon az összefüggő, vastag felhőtakaró (29. b, és d, ábra). A csapadék előrejelzés még az ECMWF-nél is jobban sikerült az ALADIN-nak, nagyon pontos becslést adott: a Dunántúlra 1-3 mm, a Duna-Tisza köze nagy részére 12-25 mm, a Tiszántúl északi részére 10-20 mm, a déli részére 1-5 mm csapadékot számolt összességében 04. 15. 06 UTC-ig. Az orografikus tényezőket is jól szimulálhatta, hiszen az Északi-középhegységre közel 25 mm-nyi csapadékot jelzett. 18 UTC-re is az Északi-középhegység térségére adott csapadékot, illetve az ECMWF-hez hasonlóan az Alföldre is sok csapadékot mutatott (29. h, ábra). A szellőkéseket általában alulbecsülte, főleg a déli országrészre adott jelentősen kisebb szelet a valóságnál, ez a 18 UTC-s mezőben is megmutatkozott (29. f, ábra). A hőmérséklet előrejelzésében a keleti régiók esetén adódtak 2-3 fokos hibák.





29. ábra. Az ECMWF-ből és ALADIN-ból nyert 700 hPa-os (a, és b,) és 850 hPa-os (c, és d,) relatív nedvesség, 10 m-es szél és szellőkés (e, és f,) valamint 3 órás csapadékösszeg (g, és h,) előrejelzés 04. 14. 18 UTC-re vonatkozóan. Forrás: OMSZ, HAWK.

Összességében megállapítható, hogy a hidrosztatikus modellek jól szimulálták a nagytérségű, frontális felhő- és csapadékképződés folyamatát, de ez nem is lehet meglepő, hiszen ezeket a modelleket alapvetően a nagytérségű, szinoptikus skálájú folyamatok előrejelzésére használjuk. Mindössze a szellőkések előrejelzésével voltak problémák.

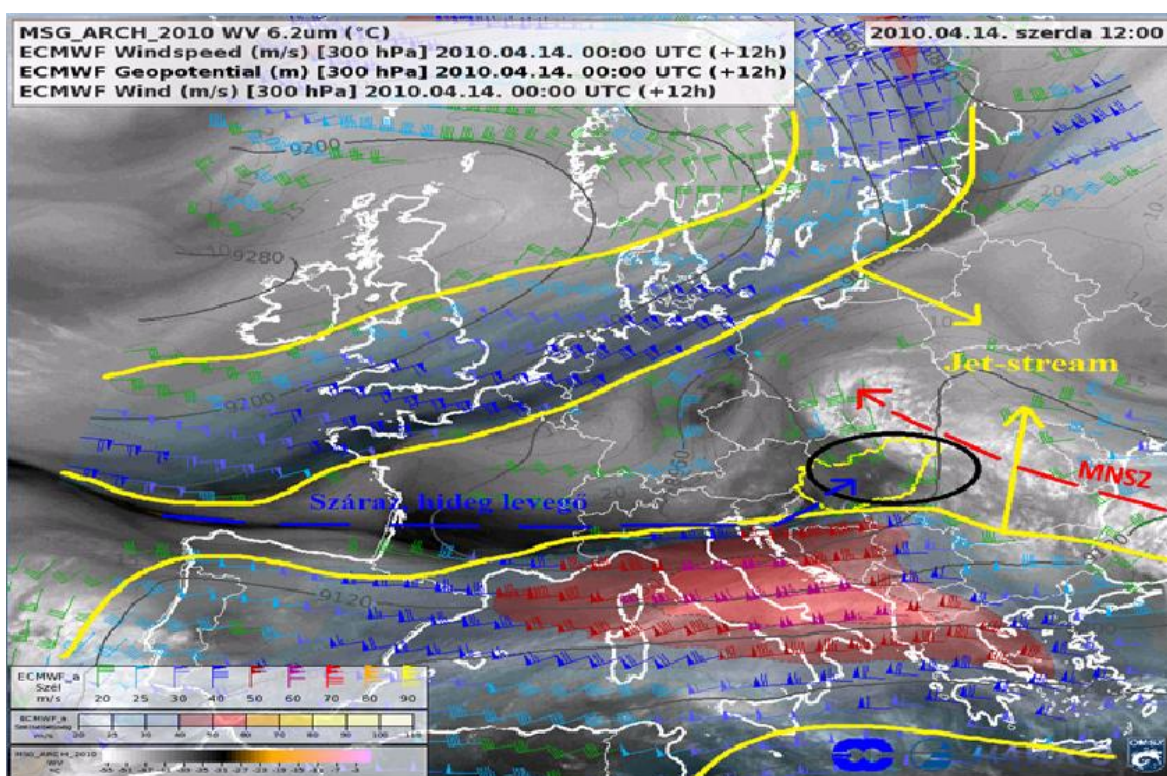
6.1.1.5. Szinoptikus elemzés

a, Nagytérségű, kvázi-geosztrófikus folyamatok

A makroszinoptikus helyzetet tekintve érdekes helyzet állt elő Európában. A kontinens felett egy északkelet-délnyugat tengelyű, nagy amplitúdójú teknő húzódott, és ebben egy stabil ciklonális cirkuláció alakult ki (30. ábra). Ezen belül a Kárpát-medence, ahol a tanulmány szempontjából lényeges felhőrendszer fejlődött és deformálódott, az említett teknő előoldalán, közvetlenül a jet-stream (Holton, 1992) bal kilépő ágán helyezkedett el. A felhőrendszer az itt kialakult mediterrán jellegű ciklonhoz tartozott,

melyben a nagytérségű feláramlások domináltak. Ebben az esetben nagy horizontális kiterjedésű réteges felhőzetre és tartós csapadékhullásra számíhattunk.

A vízgőz tartományban készült műholdfelvételen a jet bal kilépő ágán, a kijelölt terület keleti felén fehér színű sáv húzódik, ami magas folyékony víztartalomra utal a troposzférában, így ezen a területen vastag, tartós csapadékot adó felhőzetet vehetünk észre. Ez nem meglepő, hiszen itt helyezkedik el a ciklon meleg, nedves szállítószalagja (MNSZ), ami a ciklon felett fokozatosan megemelkedik. Magyarország nagy része felett szürke színű a műholdfelvétel, ami kevesebb vízgőztartalomra utal, de a felhőzet kialakulásához elegendő nedvesség rendelkezésre állt a légkörben ebben az időszakban. Hazánk délnyugati része már a ciklon hideg oldalához, hátoldalához tartozik, és a felső-troposzférában itt már leáramlás és kiszáradás a jellemző, amit a vízgőz kép sötét sávja mutat.

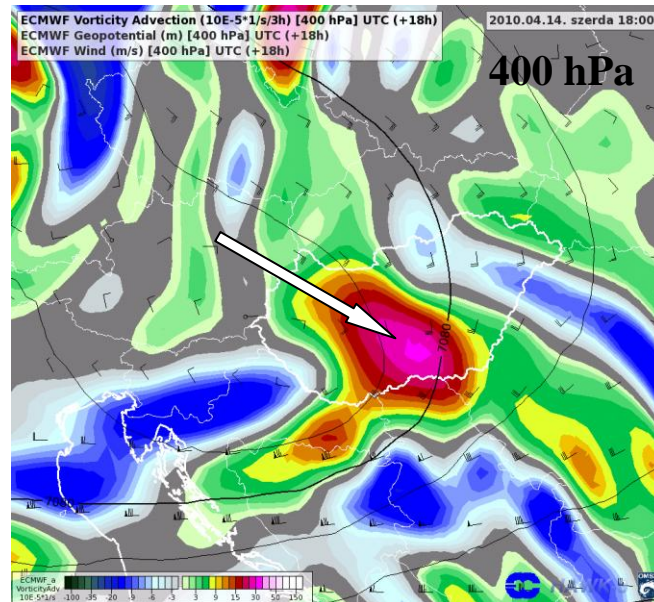


30. ábra: Az ECMWF modellből nyert 300 hPa-os geopotenciál és szél mező előrejelzés és a vízgőztartományban készült MSG műholdkép analízis (2010. 04. 14. szerda 12 UTC). Forrás:

OMSZ, HAWK

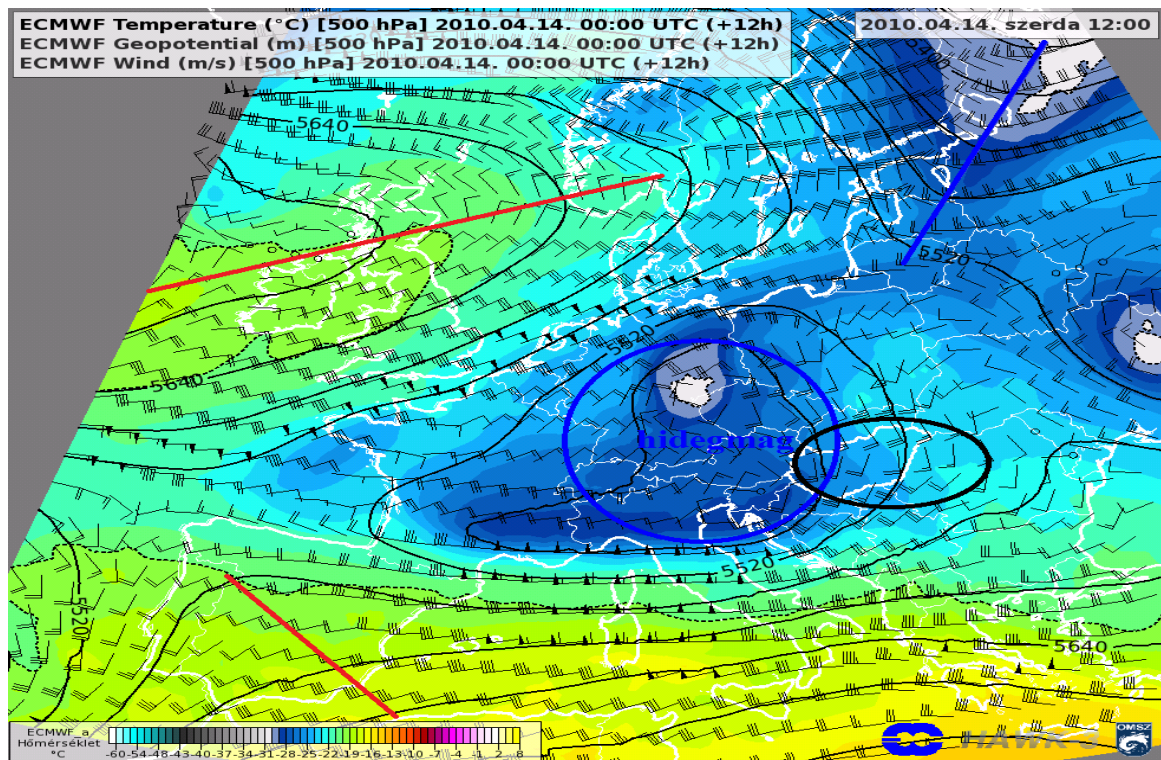
Hazánk felett nem meglepő módon markáns pozitív örvényességi advekción zajlott az időszak során 300, 400 (31. ábra) és 500 hPa-os szinteken egyaránt, ami a kvázi-geosztrófikus elmélet (Bodolainé, 2008) értelmében rendezett, nagytérségű feláramlást

okoz, ezért a felhő- és csapadékképződéshez ez a dinamikai hatás jelentősen hozzájárult. Az örvényességi advekciót azért vizsgáljuk általában a felsőtroposzférában, mert ezen a szinten a szélmező örvényes, tehát a szél-, és az örvényesség-vektor közel derékszöget zár be, így lehetőségünk van a nagyskálájú örvényességi advekciót érdemlegesen vizsgálni.



31. ábra. Az ECMWF modellből nyert 400 hPa-os örvényességi advekció, geopotenciál és szélmező előrejelzés 04. 14. 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

500 hPa-os topográfiai térképen (32. ábra) nagy amplitúdójú Rossby-hullám analizálható. Látható, hogy az óceán felől gerinc nyúlik be Északnyugat-Európába, illetve a Pireneusi-félsziget felett is egy gyenge gerinc rajzolódik ki (piros vonalak). Az Északkelet-Európa felett található igen hideg légtömegről leszakadó hidegmag a kontinens középső területére vándorolt és tovább mélyült. A vizsgált térség szinoptikus helyzetét egyértelműen ez a hidegörvény határozta meg.

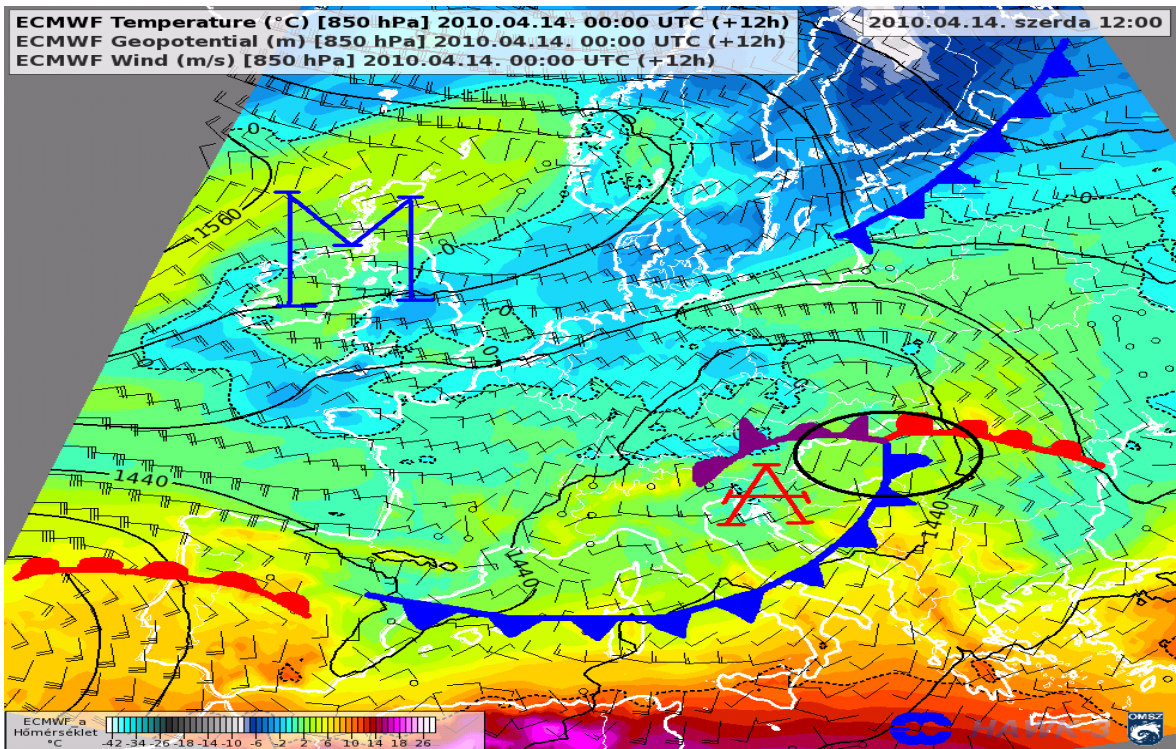


32. ábra. Az ECMWF modellből nyert 500 hPa-os hőmérsékleti, geopotenciál és szélmező előrejelzés 04. 14. 12 UTC időpontban. Forrás: OMSZ, HAWK.

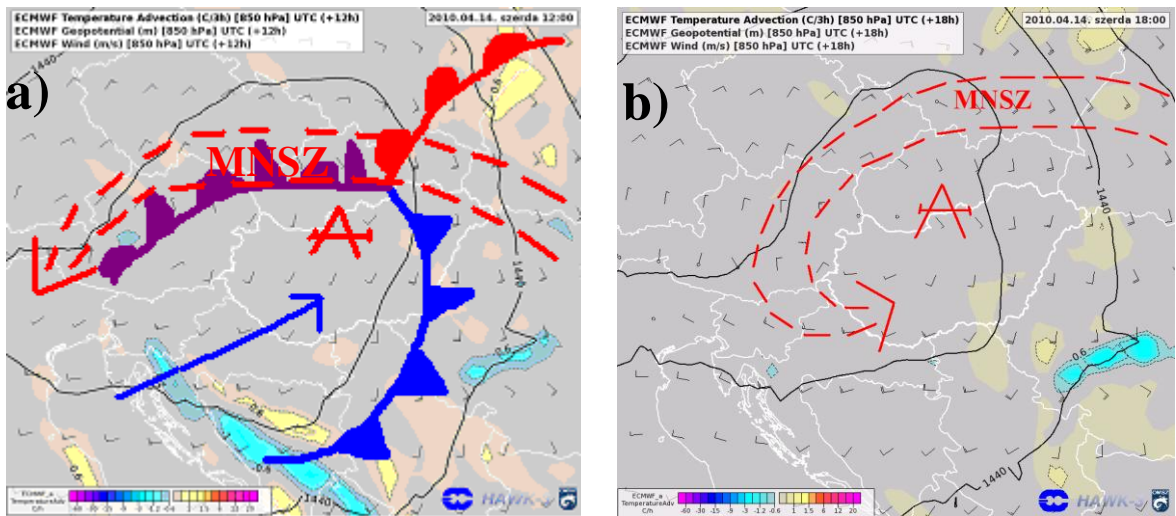
b, Frontális folyamatok

A polárfront egészen a Földközi-tenger medencéjéig húzódott, melynek vonalát a markánsabb szélfordulás és a hőmérséklet-különbség is kirajzolja (33. ábra). A számunkra érdekes terület felett található az a ciklon, ahol a nyugat, délnyugat felől érkező hűvös és a délkeleti áramlással érkező meleg levegő keveredett egymással, az ország keleti részén még hidegfront húzódott, máshol az okklúziós front (34. a, és b, ábra). A Kárpát-medence keleti részén még a 850 hPa-on zajló melegedés fokozta a feláramlást, de hazánkban már nem volt jelentős az advekción, mivel nem volt erős szél és hőmérsékleti gradiens (Bluestein, 1993).

Összességében elmondható, hogy szinoptikus skálán felhőképző és telítettséget fokozó légáramlások uralkodtak a frontálzónában. A kijelölt területen a markáns pozitív örvényességi advekción, a hidegfront, az okklúzió illetve az orografikus hatások miatt ki tudtak alakulni a nagytérségű felhőrendszerek, melyek nagy mennyiségű csapadékot produkáltak.



33. ábra. Az ECMWF modellből nyert 850 hPa-os hőmérsékleti, geopotenciál és szélmező előrejelzés 04. 14. 12 UTC-re, valamint a frontok helyzete. Forrás: OMSZ, HAWK.

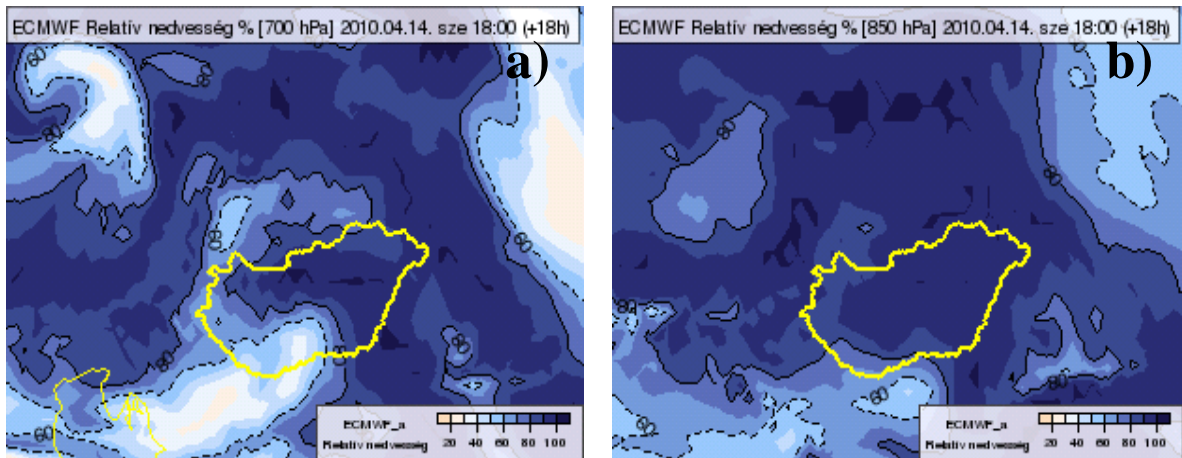


34. ábra. Az ECMWF modellből nyert 850 hPa-os hőmérsékleti advekciónak, geopotenciál és szélmező előrejelzés 04. 14. 12 UTC-re (a.), illetve 18 UTC-re (b.) és a frontok helyzete. Forrás: OMSZ, HAWK.

c, Magyarország időjárási helyzetének elemzése

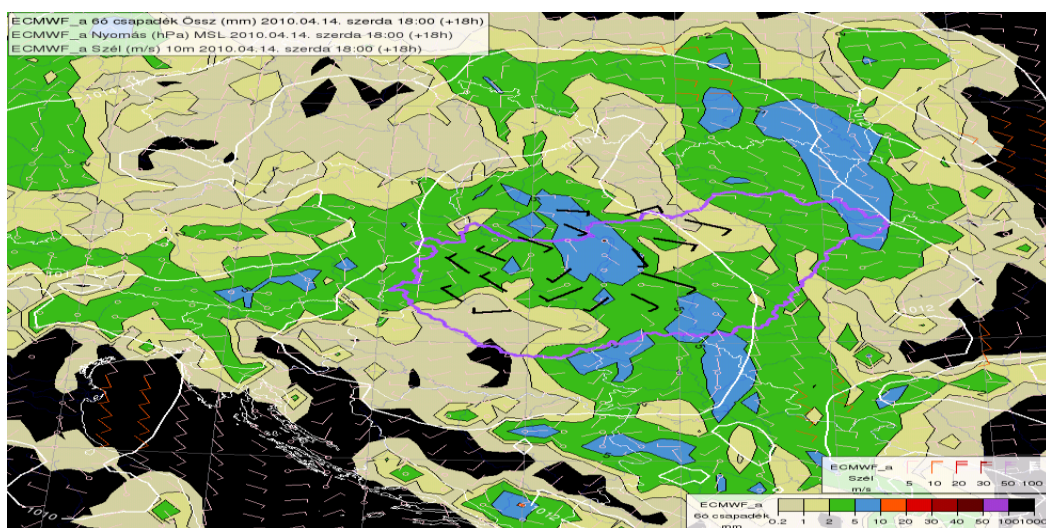
Április 14-ére az ország területére telített légkörre következtethetünk a relatív nedvességi mezők alapján. A 18 UTC-s ECMWF 700 hPa-os (35. a, ábra) és 850 hPa-os

(35. b, ábra) szintre vonatkozó telítettségi mezői is 80-100%-os értékeket mutattak az ország jelentős részére, amiből arra számíthattunk, hogy sok felhő borítja be hazánkat.



35. ábra. Az ECMWF modellből nyert 700 hPa-os (a,) és 850 hPa-os (b,) relatív nedvesség előrejelzés 04. 14. 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

A felhőzetből csapadékot is vártak a modellek, a két hidrosztatikus modell összhangban volt a csapadék tér- és időbeli eloszlását, valamint a mennyiségét illetően. Az ECMWF 18 UTC-s előrejelzése (36. ábra) azt mutatta, hogy délután az ország nagy területén hullik csapadék, melynek mennyisége 2-10 mm között alakul. A szélmező konvergens jellegéből kiderült, hogy a ciklon középpontja rajtunk van. A talajmenti konvergencia emelőhatással bírt, elősegítve ezzel a hidegfront és az okklúziós front mentén a nagytérségű felhő-, és csapadékképződést. A ciklon középpontja körül inkább a vonalba rendezett, záporos jellegű csapadékot adó konvektív cellák alakultak ki, melyek a nyomási központ körül vonultak.

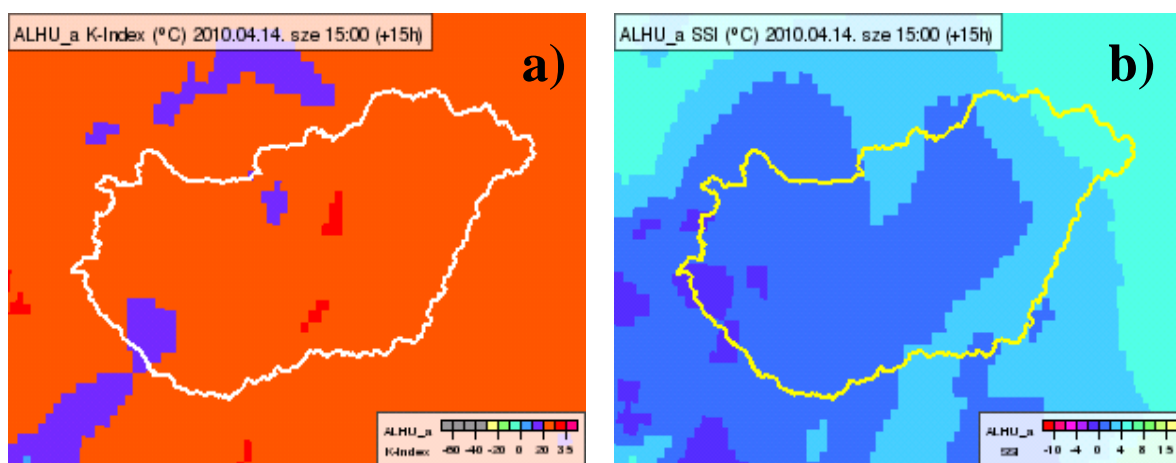


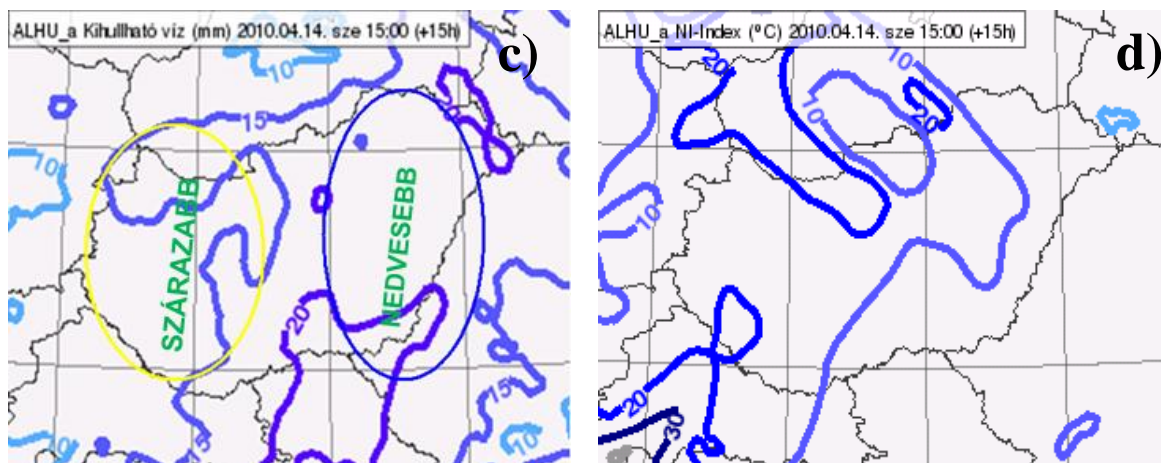
36. ábra. Az ECMWF modellből nyert 6 órás csapadékösszeg, légnyomás és 10 m-es szél előrejelzés 04. 14. 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Délután az okklúziós frontozóval közvetlenül kapcsolódó felhőzet mellett az észlelések szerint tornyos gomolyfelhők, zivatarfelhők is megjelentek az égen, melyekből záporosó hullott helyenként villámtevékenység kíséretében. A modellek által prognosztizált csapadék tehát nem csak stratiform felhőzetből származott. A ciklonban lévő nedvesség és a talajközeli konvergencia áramlás mellett a konvektív felhőképződéshez hozzájárult a légkörben fellépő kismértékű hidrosztatikai instabilitás is.

Az ALADIN 20-25 közötti K-indexeket (37. a, ábra) és 0 körüli SSI-indexeket (37. b, ábra) jelzett előre 04. 14. 15 UTC-s időpontra az ország nyugati felére. Ezek az értékek gyenge konvekcióra utaltak, záporosó, kis valószínűséggel zivatarok kialakulására számíthatunk a Dunántúlon a szakirodalom alapján (Fischer, 2010). Összességében az indexeket vizsgálva tehát megállapítható, hogy intenzívebb zivatarok kialakulásához nem volt elegendően nagy a hidrosztatikai instabilitás.

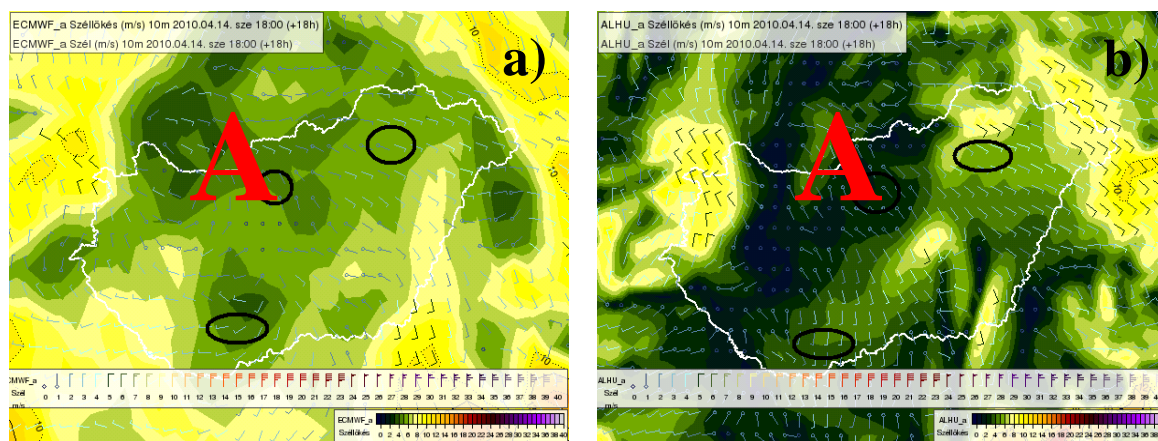
15 UTC-kor hazánk felett a kihullható víz mennyisége 15 és 20 mm között alakult (37. c, ábra), ami azt mutatta, hogy kellő víztartalmú légtömeg helyezkedett el felettünk. A telítési index (NI) értékei 10 és 20 között alakultak az ország nyugati felén (37. d, ábra), ami szintén elég volt ahhoz, hogy kis emelkedés mellett beinduljon a kondenzáció.





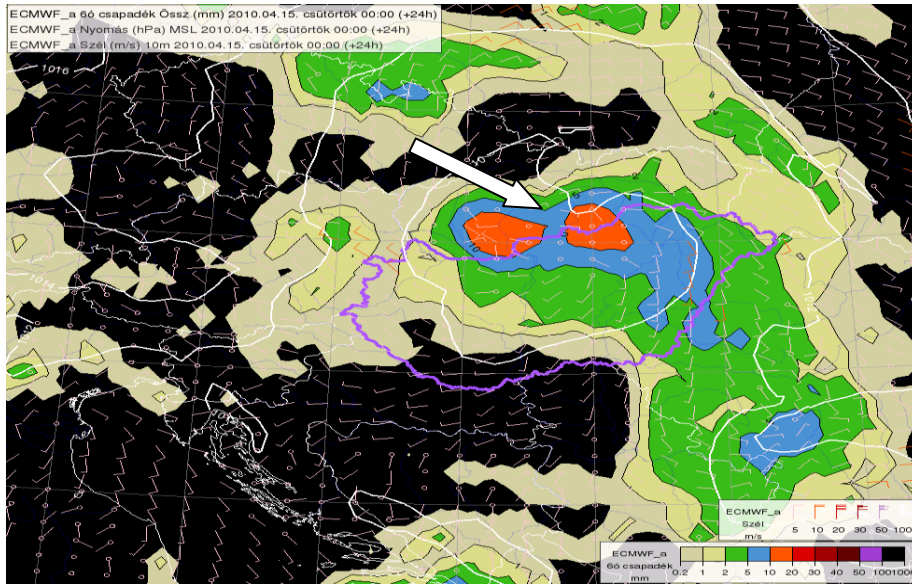
37. ábra. Az ALADIN modell K-index (a), és SSI-index (b), kihullható víz (c), és NI (d), előrejelzése 2010. 04. 14. 15 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az időjárási események összefoglalásából kiderült, hogy az érett stádiumban lévő zivatarokhoz kapcsolódó kifutószél élénk lökéseit regisztrálták a mérőállomásokon elhelyezett szélmérők. Mivel a hidrosztatikus modellek közvetlenül nem termelték ki a kijelölt területek felett a zivatarokat, ezért azt nem is várhattuk el, hogy egyszerű módon kiolvasható legyen a szélmezőkből a valóságot tükröző széllelkések maximális értéke, de a ciklonális konvergencia jól kirajzolódik (38. a, és b, ábra).



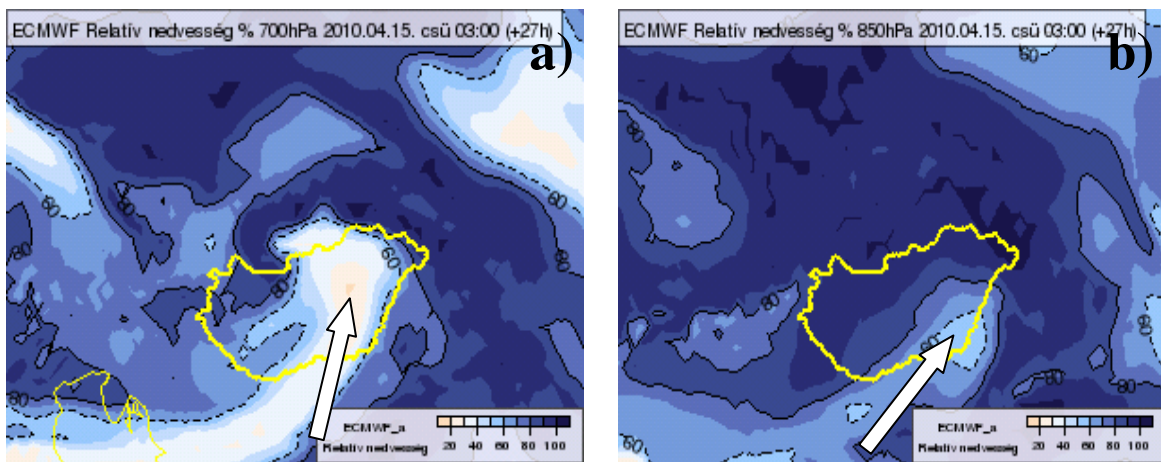
38. ábra. Az ECMWF (a), és az ALADIN modellből (b), nyert 10 m-es szél, széllelkés előrejelzés 04. 14. 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az ECMWF 00 UTC-s előrejelzése az ország jelentős részére csapadékos időt mutatott az esti órákra vonatkozóan, ezen belül északkeletre jelentős, míg a délnyugati megyékre minimális mennyiségű csapadékot számolt a modell. A csapadéktevékenység súlypontja az okklúziós front környezetében helyezkedett el, amit a szélmező konvergens jellege is kirajzolt (39. ábra).



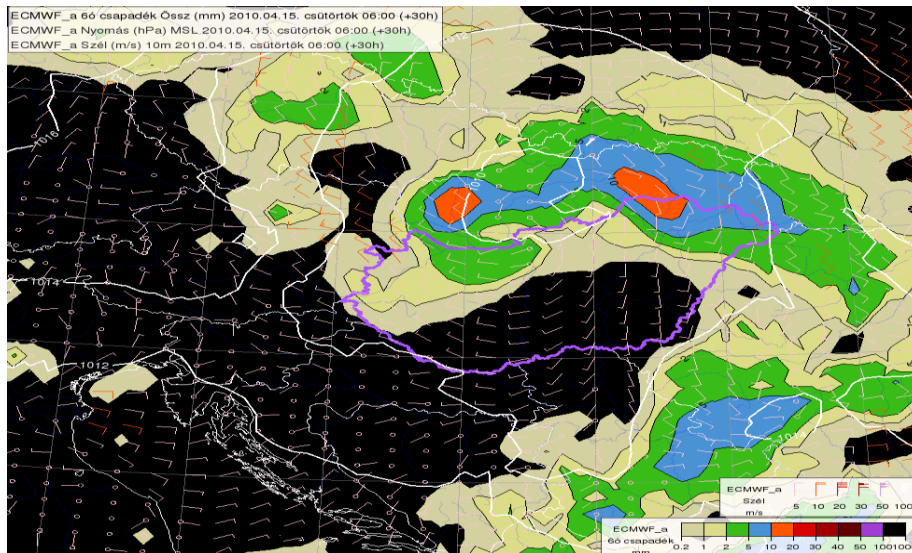
39. ábra. Az ECMWF modellből nyert 6 órás csapadékösszeg, légnyomás és 10 m-es szél előrejelzés 04. 15. 00 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az éjszaka folyamán a magasabb rétegekben dél felől átmenetileg telítetlenebb levegő áramlott az országba, ami az ECMWF modell 700hPa-os relatív nedvességi mezijében vehető észre leginkább (40. a, ábra), az 40. b, ábra alapján még 850 hPa-os szinten is volt egy gyengébb kiszáradási folyamat a délkeleti országrész fölött. A telítettségi viszonyok alapján arra számíthatunk, hogy a dél-alföldi régióban átmeneti jelleggel jelentős mértékben csökken a felhőzet. Ez be is következett és a szinoptikus is jól adta a piktogramos előrejelzés alapján, azonban a szöveges előrejelzésben ez a folyamat nem jelent meg, mivel túl árnyalt felhőzeti képet adott.



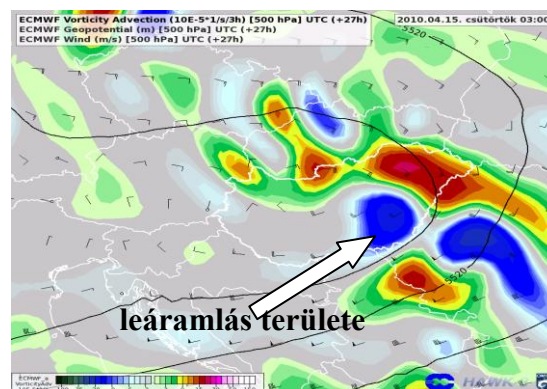
40. ábra. Az ECMWF modellből nyert 700 hPa-os (a.) és 850 hPa-os (b,) relatív nedvesség előrejelzés 04. 15. 03 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az ECMWF 06 UTC-s előrejelzése alapján az ország déli felén nem kellett számítani csapadéokra, a csapadéközóna az északi területekre korlátozódott (41. ábra).



41. ábra. Az ECMWF modellből nyert 6 órás csapadékösszeg, légnyomás és 10 m-es szél előrejelzés 04. 15. 06 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az éjszakai órákban az Alföld felett markáns negatív örvényességi advekciónak zajlott a középtroposzférában (500 hPa-on), ami törvényszerűen kedvezett a leáramlásnak és ezáltal a kiszáradásnak (42. ábra). 300 és 400 hPa-os szinteken is negatív örvényességi advekciónak zajlott az áttekintett előrejelzések szerint.

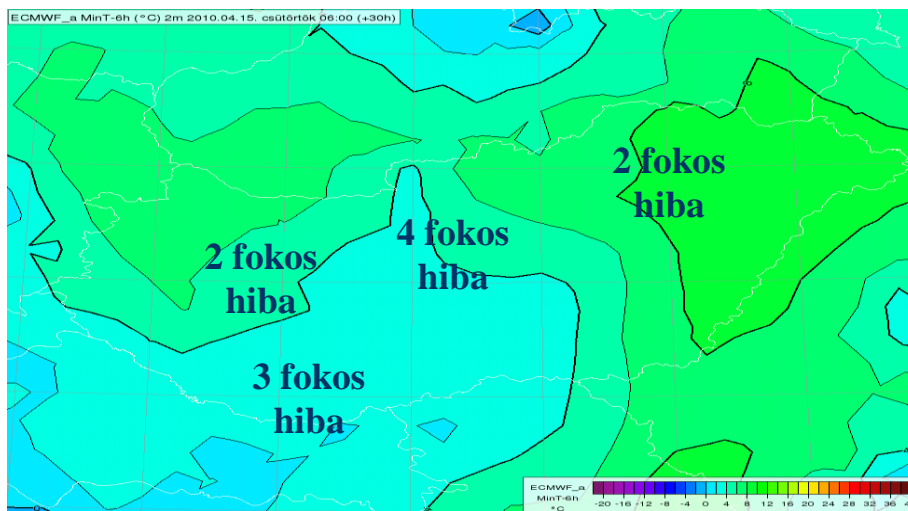


42. ábra. Az ECMWF modellből nyert 500 hPa-os örvényességi advekciónak, geopotenciálnak és szélmező előrejelzés 04. 15. 03 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

A numerikus előrejelzések alapján azt várhattuk tehát, hogy az ország délkeleti részében az éjszaka során csökken a felhőzet, s ez a várakozás helyesnek is bizonyult.

A szinoptikus ebben az esetben leginkább a felhőzeti viszonyokat figyelembe véve tudott dönteni a minimum-hőmérséklet előrejelzésében. A felhős, csapadékos tájakra a magasabb, a kevésbé felhős dél-dunántúli és dél-alföldi régiókra az alacsonyabb értékeket adott. A pontos prognózishoz azonban kénytelen volt ilyenkor is az előrejelző a modellek kimeneti mezőire támaszkodni, hiszen a sugárzási folyamatokat nem a szakembernek a feladata kiszámolni, hanem a modellbe beépített bonyolult parametrizációs sémáknak kell

megfelelő pontossággal kiértékelni. Másrészt a szinoptikus klimatológiai sajátosságok ismeretanyagát sem tudta alkalmazni az előrejelző, mivel nem helyi hatások érvényesültek. Annyit tehetett az előrejelző, hogy a számára pontosabbnak vélt modellt, ebben az esetben az ALADIN-t bírálta el. A térképes prognózis alapján megállapítható, hogy sikeresen hajtotta végre a szinoptikus a minimumok becslését, azonban a verifikációs táblázatban a hibás kódolás miatt a szegedi régióban tévesen szerepel az előrejelzett érték, ezért a munka beválási mutatója a ténylegesnél kisebbnek mutatkozott. Az ECMWF viszont jelentősen alábecsülte a minimumokat, az Alföld kivételével mindenhová 2-4 fokkal adott alacsonyabb értékeket (43. ábra).



43. ábra. Az ECMWF modellből nyert minimum-hőmérséklet előrejelzés 04. 15. 06 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

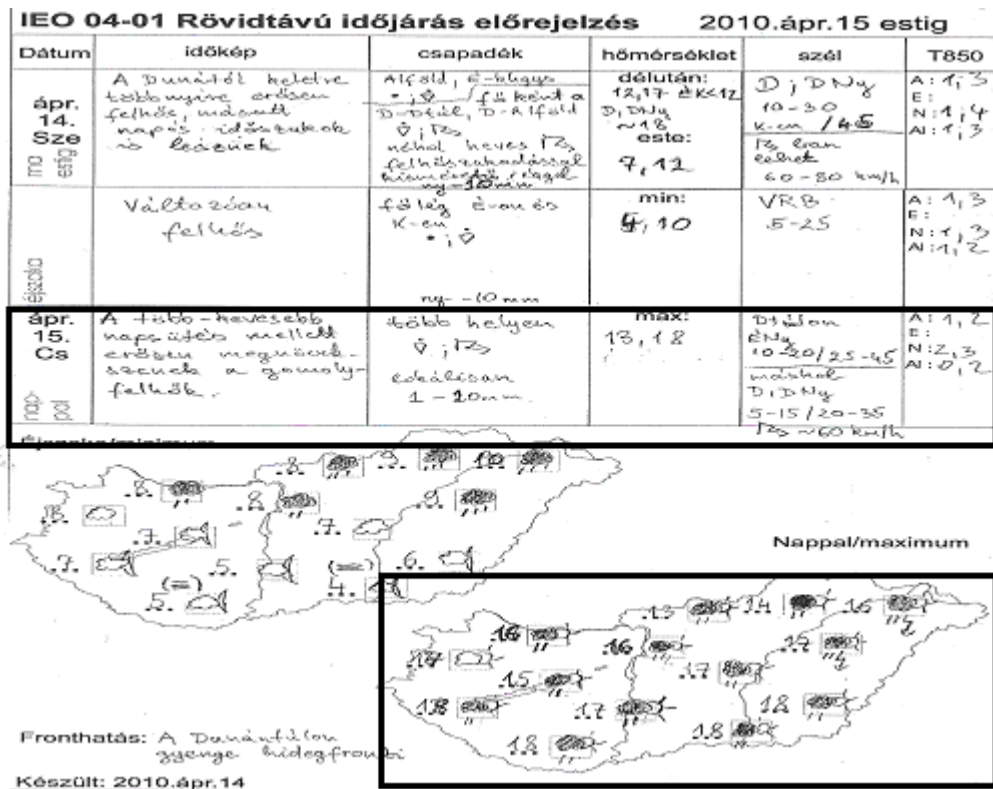
6.1.1.6. Összefoglalás

Az április 14-e délutáni és éjszakai időszakban a jet-stream bal kilépő ágán egy mediterrán jellegű ciklon örvénylett térségünkben, melynek környezetében a pozitív örvényességi advekciónak és a talajmenti konvergencia rendezett, nagytérségű feláramlást generált, emellett kismértékű hidrosztatikai instabilitás is volt a légkörben. A tartós, egyenletes jellegű csapadékon kívül jellemző volt a záporos jellegű is. Helyenként zivatar is előfordult, melyekhez élénk szellőkészek társultak. A hidrosztatikus modellek az időjárási folyamatokat jól szimulálták, csupán a szellőkészeket becsülték kissé alul. Az előrejelző a modellekre hagyatkozva szintén a szellőkészeket jelezte előre kevésbé sikeresen, a hőmérséklet előrejelzésében csak azért jelent meg hiba, mert a szinoptikus rosszul kódolta a szegedi régióra vonatkozó átlagot.

6.1.2.1. Az IEO nappali előrejelzése (2010. április 15. 06 UTC – április 16. 00 UTC)

Az előrejelzési időszak legrosszabb beválású része következik.

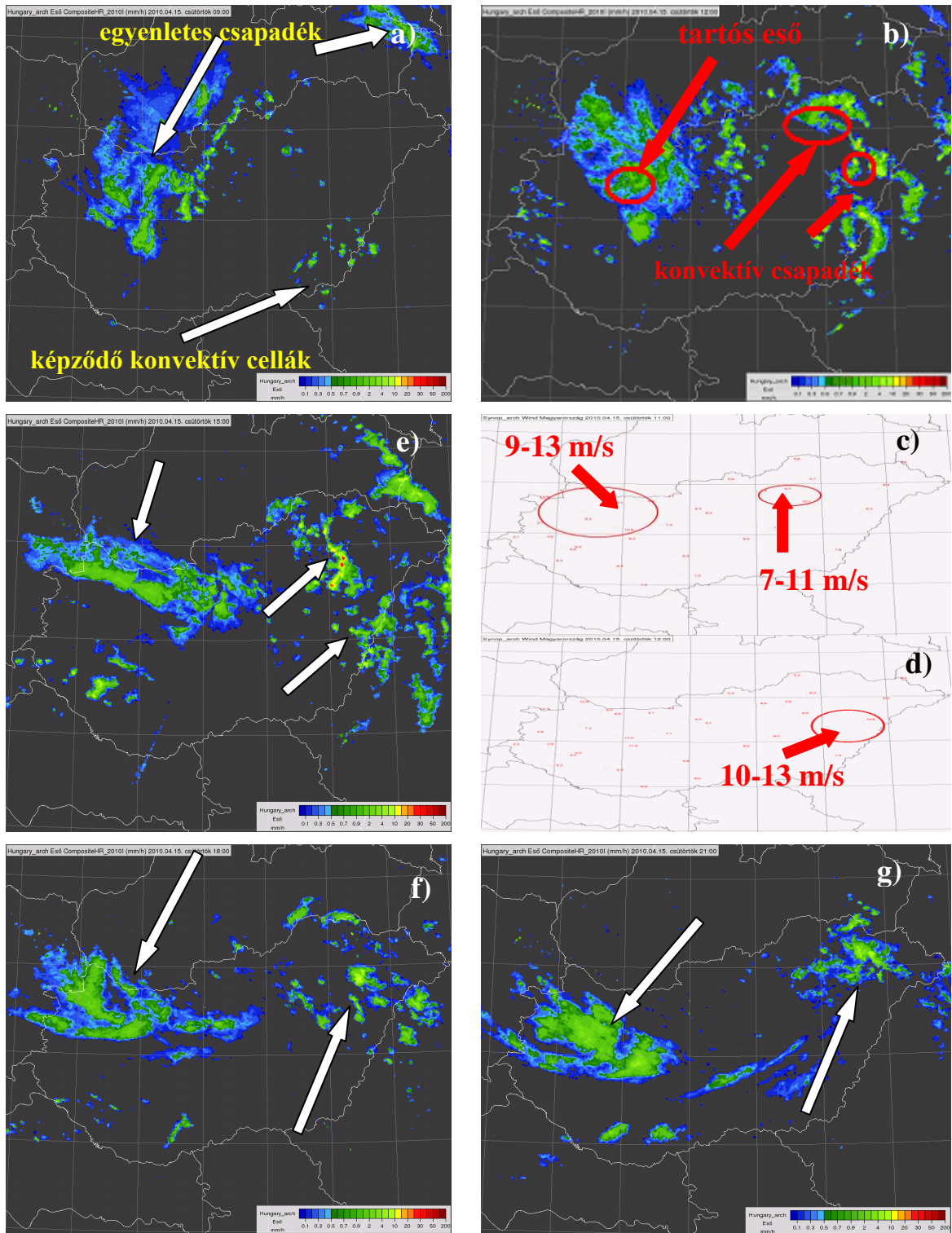
A prognózis alapján napközben a több-kevesebb napsütés mellett erősen megnövekedtek a gomolyfelhők és több helyen volt várható záporosó, zivatar. A csapadékmennyiséget illetően nagy intervallum szerepelt az előrejelzésben, a szinoptikus 1-20 mm csapadékot várt. A Dunántúlra vonatkozóan mérsékelt, élénk, időnként erős északnyugati, az ország többi részére pedig mérsékelt, élénk déli, délnyugati irányú légmozgás szerepelt a prognózisban. 13 és 18 fok közötti legmagasabb hőmérsékletről esett szó, ezen belül kiemelte az előrejelző, hogy az északi határvidéken lesz a hidegebb, míg a déli, délnyugati területeken az enyhébb idő (44. ábra).



44. ábra. Az OMSz-IEO hivatalos rövidtávú szöveges és piktogramos prognózisa 2010. 04. 15. 06 UTC-04. 16. 00 UTC időszakra (bekeretezett rész). Forrás: OMSZ-IEO

6.1.2.2. Az időjárási események összefoglalása

Április 15-én 09 UTC-kor (45. a, ábra) az éjszakai tartós csapadékot produkáló zóna már határainkon kívül helyezkedett el, azonban a Dunántúl északnyugati felén újabb és újabb csapadéggócok alakultak ki, melyekből az alacsony reflektivitásukból következően inkább egyenletes és folyamatos csapadék hullott, amit a szinoptikus észlelések is alátámasztottak. A Duna-Tisza köze északi részén és a Dél-Alföldön konvektív cellák képződtek, itt több helyen záporosőről érkezett jelentés. 12 UTC-re az észak-dunántúli csapadékmező megerősödött, eközben a konvektív cellák megszorodtak és rendezett formában haladtak kelet, északkelet felé (b, ábra). Egy-egy gócban intenzívebb csapadékhullás és élénk, erős szellőkések fordultak elő, a miskolci és a debreceni régióhoz tartozó állomásokat el is érték ezek a b, ábrán feltüntetett cellák, így a jelentésekben 10 és 11 UTC között 10 m/s-ot meghaladó szellőkésekről esett szó (c, és d, ábra). Az észak-dunántúli régióban, főleg a Kisalföld térségében 10-13 m/s-os lökésekkel regisztráltak 10 UTC-től. Valószínűleg ez már az okklúziós front hátoldalán megerősödő légmozgás eredménye volt. 15 UTC-s kompozit radarképen az ország északkeleti felében záporok, helyenként zivatarok analizálhatóak, az észak-dunántúli csapadékszóna alig változtatta helyzetét az elmúlt három órában, s az intenzitás mértéke is állandósulni látszott (e, ábra). A 18 UTC-s (f, ábra) kivágtalon csak annyi változást láthatunk a 15 UTC-s ábrához képest, hogy gyengültek a konvektív cellák az északkeleti régiókban. 21 UTC-kor a dunántúli csapadéksáv még további tartós csapadékot produkált, eközben az északkeleti cellák összeálltak, a reflektivitás alapján már nem számíthatunk zivatar-tevékenységre az országban (g, ábra).

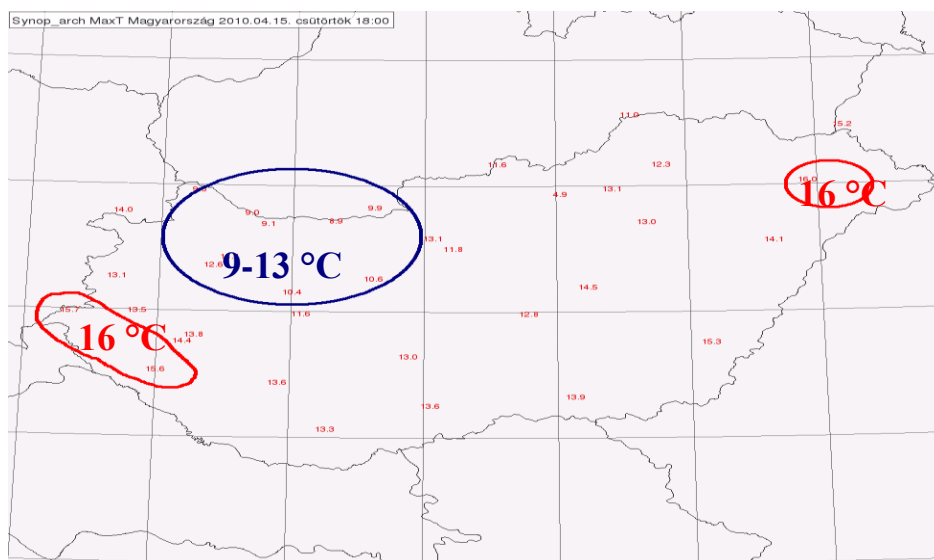


45. ábra. Országos kompozit radarkép 2010. 04. 15. 09 (a), 12 (b), 15 (e), 18 (f), és 21 (g.) UTC-kor, illetve maximális szellőkés térkép 04. 15. 11 UTC-re (c.) és 12 UTC-re (d). Forrás: OMSz, HAWK.

Az észlelések alapján elmondható, hogy az időszak során erősen felhős vagy borult volt az ég az országban, az északnyugati területeken réteges felhőzet, másutt konvektív

felhőzet volt a jellemző, ami a radarképeken analizálható csapadékmezők struktúrájából is kikövetkeztethető.

A maximum-hőmérsékletek a csapadékos észak-dunántúli régióban 9 és 13 fok között alakultak, itt volt a leghidegebb április 15-én. Az ország többi részén a borultság mértékétől függően 11 és 15 fok közé melegedett a levegő, csupán egy-két helyen mértek 16 fok körüli értéket (46. ábra).



46. ábra. 2010. 04. 15. 18:00 UTC-s maximum-hőmérséklet eloszlás. Forrás: OMSZ, HAWK.

6.1.2.3. A nappali prognózis verifikációja

A nappali időszakra vonatkozó verifikációs táblázatból (47. ábra) kiolvasható, hogy a szinoptikusnak nem sikerült megfelelően prognosztizálni a maximum-hőmérsékletet, a szellőkéseket és a felhőzet mennyiségét. Azt is megfigyelhetjük, hogy azokban a régiókban, ahol a felhőzet előrejelzésében nagyobb a tévedés, ott nagy a hőmérséklet túlbecslése is. A legrosszabb előrejelzések a miskolci és a pápai régiókra készültek, ami feltehetően a felhős, csapadékos időjárás számlájára írható. A modellek sem voltak tökéletesek, hiszen a szellőkéseket azok is alábecsülték, de a hőmérséklet és a felhőzet előrejelzése terén jobban teljesítettek, mint a szinoptikus.

Nappal	Maximum (°C)		Csapadék egz. (0/1)			Csapadékmenny. (mm)		Szélsebesség (m/s)		Széllökés (m/s)			Borultság (okta)					
	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.			
Budapest																		
ieo	16		4	1		0	3		-1	2		0	7		-1,9			
ecmwf	14	12,5	2	1	1	0	2	5,14	-2	3	2,0	1	7	7,6	-1	4,2-5,2	7,4	-2,2
aladin	13		1	1		0	2	(4)	-2	2		0	7		-1	5,5-6,4		-1,0
Miskolc																		
ieo	14		2	1		0	3		0	2		0	7		-3	4,5-5,5		-1,6
ecmwf	13	12,3	1	1	1	0	4	3,96	1	2	1,9	0	7	9,9	-3	5,5-6,4	7,1	-0,7
aladin	11		-1	1		0	3	(3)	0	1		-1	5		-5	6,5-7,4		0,0
Debrecen																		
ieo	16		2	1		0	3		0	2		-1	7		-3	4,5-5,5		-1,3
ecmwf	15	13,9	1	1	1	0	3	3,70	0	2	2,9	-1	7	10,3	-3	6,5-7,4	6,8	0,0
aladin	14		0	1		0	3	(3)	0	2		-1	6		-4	6,5-7,4		0,0
Szeged																		
ieo	17		2	1		0	2		0	2		-1	7		-5	4,5-5,5		-0,8
ecmwf	15	14,9	0	1	1	0	2	1,90	0	2	3,1	-1	6	11,9	-6	6,5-7,4	6,3	0,2
aladin	15		0	1		0	3	(2)	1	3		0	7		-5	6,4-7,2		0,2
Taszár																		
ieo	17		3	1		0	2		-1	3		1	8		-1	3,0-4,5		-2,2
ecmwf	14	13,6	0	1	1	0	2	2,29	-1	2	2,4	0	6	8,9	-3	5,5-6,4	6,7	-0,2
aladin	13		-1	1		0	2	(3)	-1	2		0	6		-3	6,5-7,4		0,0
Pápa																		
ieo	16		5	1		0	1		-3	4		0	10		0	3,0-4,5		-2,7
ecmwf	13	11,4	2	1	1	0	3	7,21	-1	3	3,6	-1	8	9,7	-2	5,5-6,5	7,2	-0,7
aladin	12		1	1		0	2	(4)	-2	3		-1	7		-3	6,5-7,4		0,0

47. ábra: Verifikációs táblázat az éjszakai (2010. 04. 15. 06 UTC-04. 16. 00 UTC) időszakra vonatkozóan. Forrás: OMSZ-IEO.

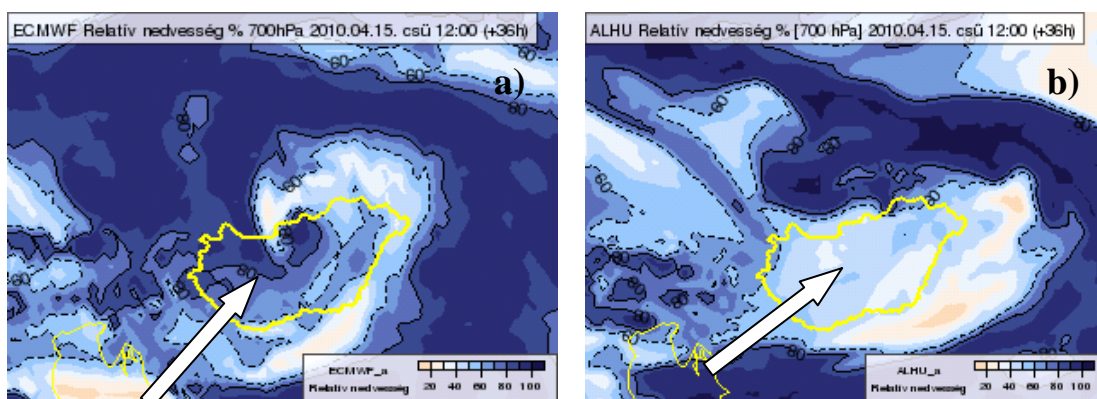
A szinoptikus előrejelzésének beválási mutatója 68,6%, az ECMWF modell prognózisának mérőszáma 82,7%, az ALADIN komplex mutatója pedig 86,5% volt. Az értékekből kiderült, hogy az előrejelző jelentősen rontott a modellekhez képest, sikertelen volt az előrejelzés. A 2010-es esztendő második legrosszabb előrejelzéseként könyvelhető el ez a prognózis.

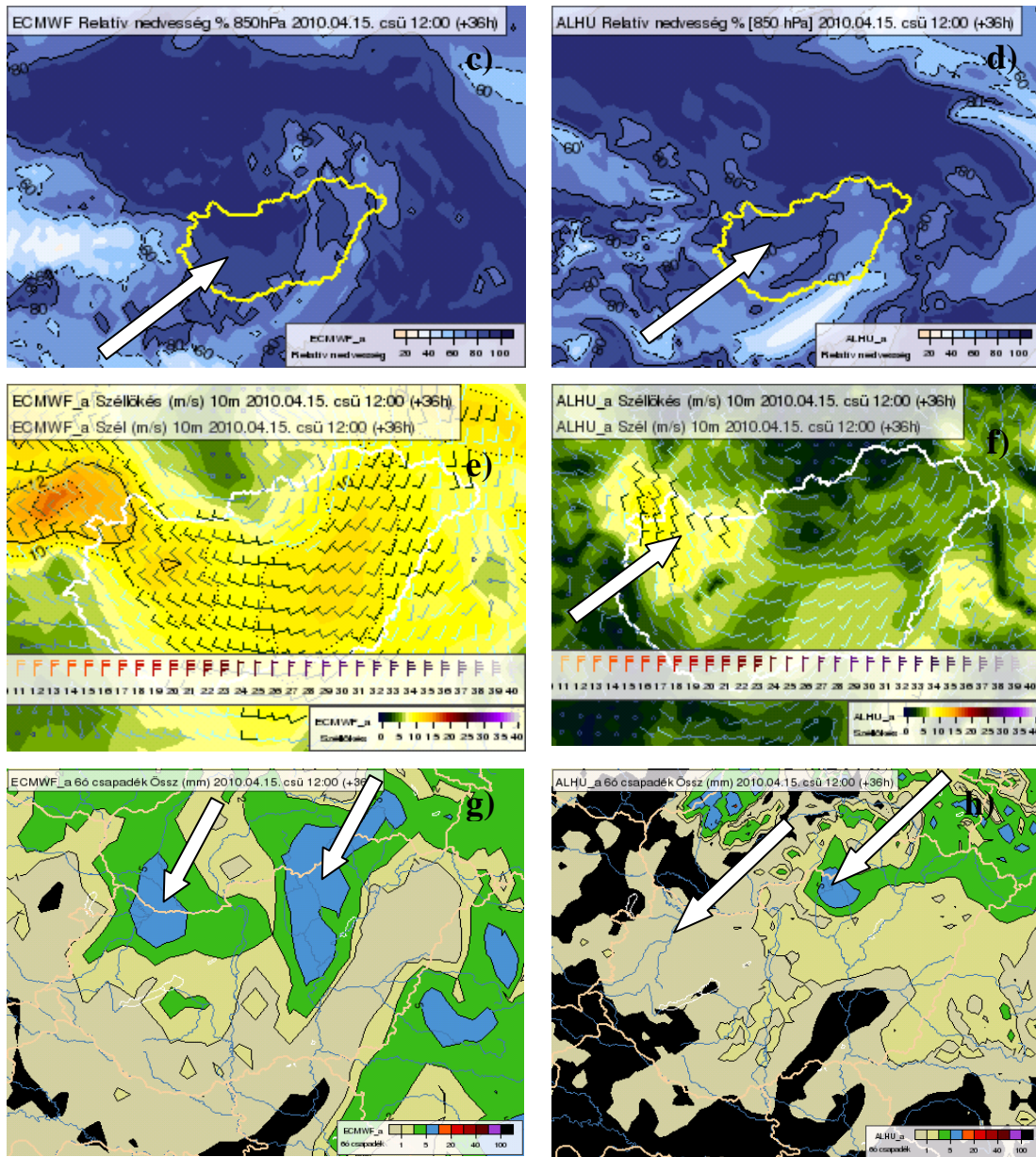
6.1.2.4. A hidrosztatikus modellek előrejelzései

Az ECMWF telítettségi mezőit áttekintve elmondható, hogy jól reprezentálta a felhőzet mennyiségét és eloszlását a modell, például a 700 hPa-os mezőkön kirajzolódott a spirális alakot mutató okklúziós front felhőrendszere is (48. a, ábra). A 850 hPa-os mező nagy telítettséget adott az alsó szintekre (48. c, ábra). A csapadéksávok helyzetét is jó közelítéssel adta a modell, csupán a mennyiségi előrejelzésben fordultak elő kisebb alábecslések. Az okklúziós front csapadékmezejét is felfedezhetjük a 12 UTC-s előrejelzésen (48. g, ábra). A széllökések prognózisa jelentős hibával volt terhelt, a szinoptikusnak nem tudott megfelelő információt nyújtani ennek a paraméternek a helyes előrejelzésében. Hol túlságosan gyenge széllökéseket, hol erős légáramlást jelzett előre, az utóbbira jó példa a 12 UTC-s előrejelzés (48. e, ábra). A maximum-hőmérsékleteket azonban egy-két régiót leszámítva nagyon pontosan számolta a modell, az előrejelzőhöz képest sokkal sikeresebb eredményeket produkált, ennek is köszönhető, hogy összességében az ECMWF jobb teljesítményt ért el, mint a szinoptikus.

Az ALADIN relatív nedvességi mezői (850, 925, 1000 hPa) szintén jól szimulálták a ciklon felhőrendszerének struktúráját, a becsavarodó felhőspirál látványosan jelent meg, ez alól a 700 hPa-os mező azonban kivételt jelentett, mert a visszahajló felhőzetet az országhatáron kívülre mutatta (48. b. ábra). A 850 hPa-os mező már nagy telítési értékeket mutatott 12 UTC-re (48. d, ábra). A felhőzet mennyiségi előrejelzése nagyon pontosnak mutatkozott, a szinoptikusnak ebben az esetben nagy segítséget jelentett volna. A csapadékmennyiségeket csekély mértékben, de a szélökések erősségét jelentős mértékben alábecsülte a modell, ez utóbbi paraméterre még az ECMWF-nél is gyengébben teljesített, pedig ebben általában jobb szokott lenni. Csupán a Kisalföldre adott 8-10 m/s-os szélökéseket 12 UTC-re (48. f, ábra). A csapadékösszeg tekintetében nagyobb hibát az észak-dunántúli régióban produkált a modell, mert nem termelte ki időben a front csapadékát (48. h, ábra). A legmagasabb hőmérsékletet azonban az ALADIN-nak sikerült a legjobban prognosztizálni, mindössze 1-1 fokkal adott többet vagy kevesebbet a mért értékeknél.

Összefoglalva a hidrosztatikus modellek előrejelzéseit, elmondható, hogy a szélökéseket és a pápai és a budapesti körzetre vonatkozó csapadékösszegeket a szinoptikushoz hasonlóan alábecsülték. Azonban az előrejelző még annyi csapadékot sem adott, mint a modellek. A felhőzet és a maximum-hőmérséklet előrejelzése viszont sokkal eredményesebb volt a modellek részéről, mint a szinoptikus részéről, ami azt eredményezte, hogy a numerikus modellekből kinyert prognózis nagyobb beválású volt, mint az IEO munkatársa által kiadott. A mai elvárásoknak megfelelően az ECMWF és az ALADIN átfogó, pontos képet adott a nagytérségű időjárási folyamatokról, azonban a szinoptikus gomolyosabb felhőzetet és ezáltal magasabb maximumokat várt.





48. ábra. Az ECMWF-ből és az ALADIN-ból nyert 700 hPa-os (a, és b,) és 850 hPa-os (c, és d,) relatív nedvesség, 10 m-es szél és szélirány (e, és f,) valamint 3 órás csapadékösszeg (g, és h,) előrejelzés 04. 15. 12 UTC-re vonatkozóan. Forrás: OMSZ, HAWK

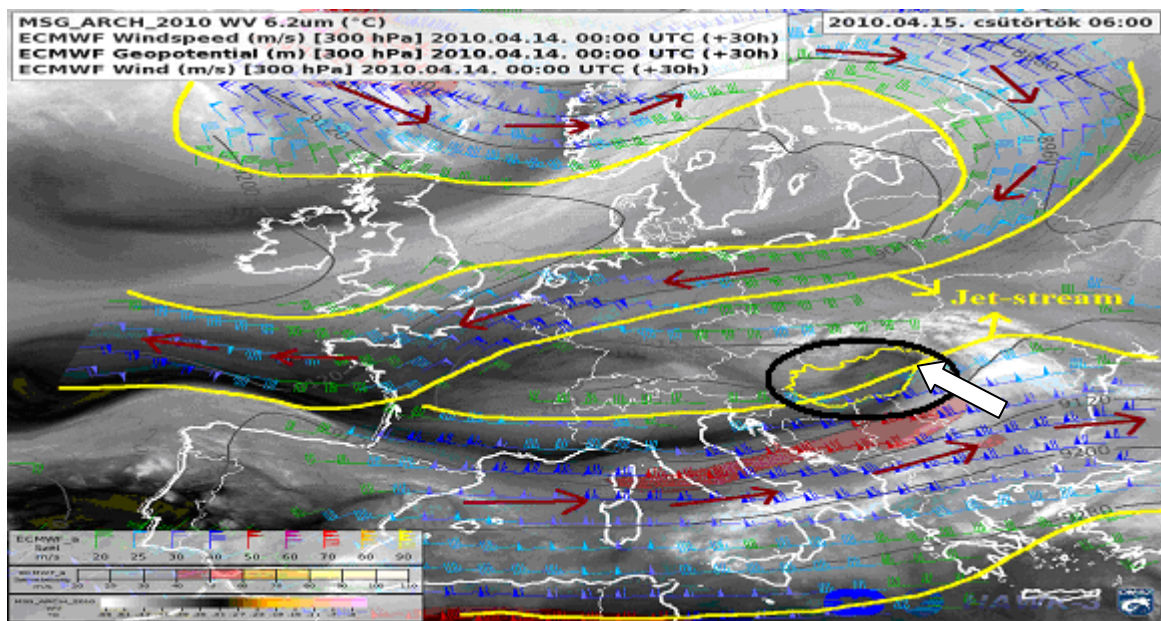
6.1.2.5. Szinoptikus elemzés

a, Nagytérségű, kvázi-geosztrófikus folyamatok

A makroszinoptikus helyzetet tekintve érdemi változás nem történt. A kontinens középső része felett egy északkelet-délnyugat tengelyű, nagy amplitúdójú tekő húzódott továbbra is, és ebben egy stabil ciklonális keringés maradt fenn (49. ábra). Ezen belül a Kárpát-medence, ahol a tanulmány szempontjából lényeges felhőrendszer fejlődött és deformálódott, az említett tekő előoldalán, közvetlenül a jet-stream bal kilépő ágán

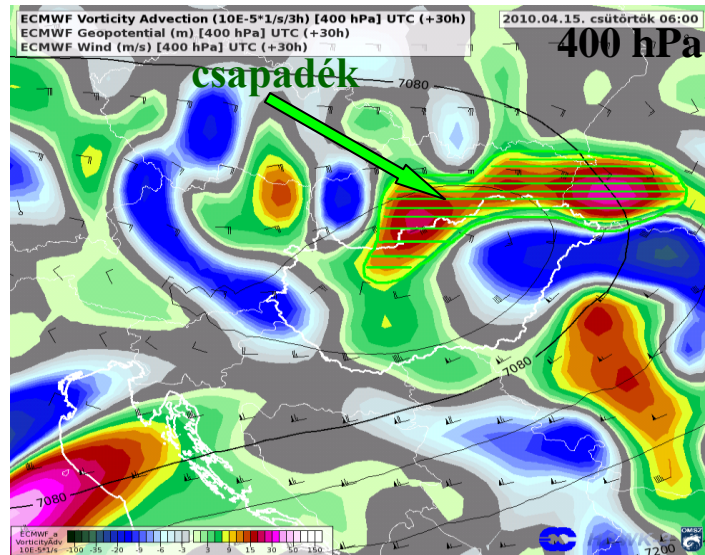
helyezkedett el ebben az időszakban is. A felhőrendszer az itt kialakult mediterrán jellegű ciklonhoz tartozott, ami szemmel láthatóan visszakanyarodott az okklúziós fronttal együtt.

A vízgőz tartományban készült műholdképen (49. ábra) fehér színnel rajzolódik ki az említett ciklon vastag, tartós csapadékot adó felhőzete. A felvételen egy fekete vékony sáv húzódik Magyarország keleti és déli határainál, ami nagyon alacsony nedvességtartalmú légtömegre utal, ez a száraz és egyben hideg levegő nagy magasságokból lekeveredve potenciális instabilitást idézett elő a déli és a keleti megyékben.



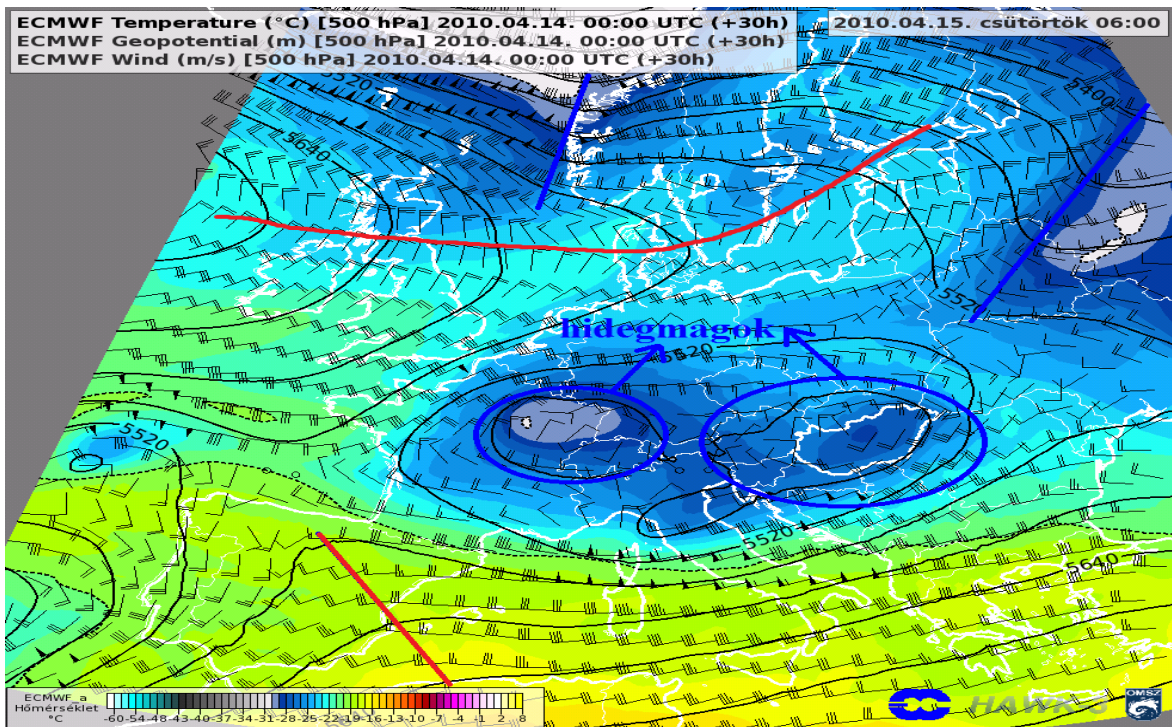
49. ábra: Az ECMWF modellből nyert 300 hPa-os geopotenciál és szél mező előrejelzés és a vízgőztartományban készült MSG műholdkép analízis (2010. 04. 15. csütörtök 06 UTC). Forrás: OMSZ, HAWK

Az északnyugati országrészben, ahol a felhőzet zöme és a csapadék hullott, markáns pozitív örvényességi advekció zajlott a középtroposzférában (50. ábra), ami törvényszerűen rendezett, nagytérségű feláramlást okozott a felsőtroposzférában, ezért a felhő-, és csapadékképződéshez ez a dinamikai hatás is jelentősen hozzájárult.



50. ábra. Az ECMWF modellből nyert 400 hPa-os örvényességi advekción, geopotenciál és szélmező előrejelzés 04. 15. 06 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

500 hPa-os topográfiai térképen (51. ábra) látható, hogy Észak-Európában tekő és gerinc váltja egymást, Afrika felől pedig egy gerinc húzódik az Ibériai-félszigetig. Közép-Európában az északkelet felől leszakadó hidegcsepp kettévált és önálló hidegmagok képződtek, melyek közül a jobb oldali a Kárpát-medence felett helyezkedett el az időszak során. Ez a hideg mag (hidegcsepp) idézte elő a részleges hidrosztatikai instabilitást.

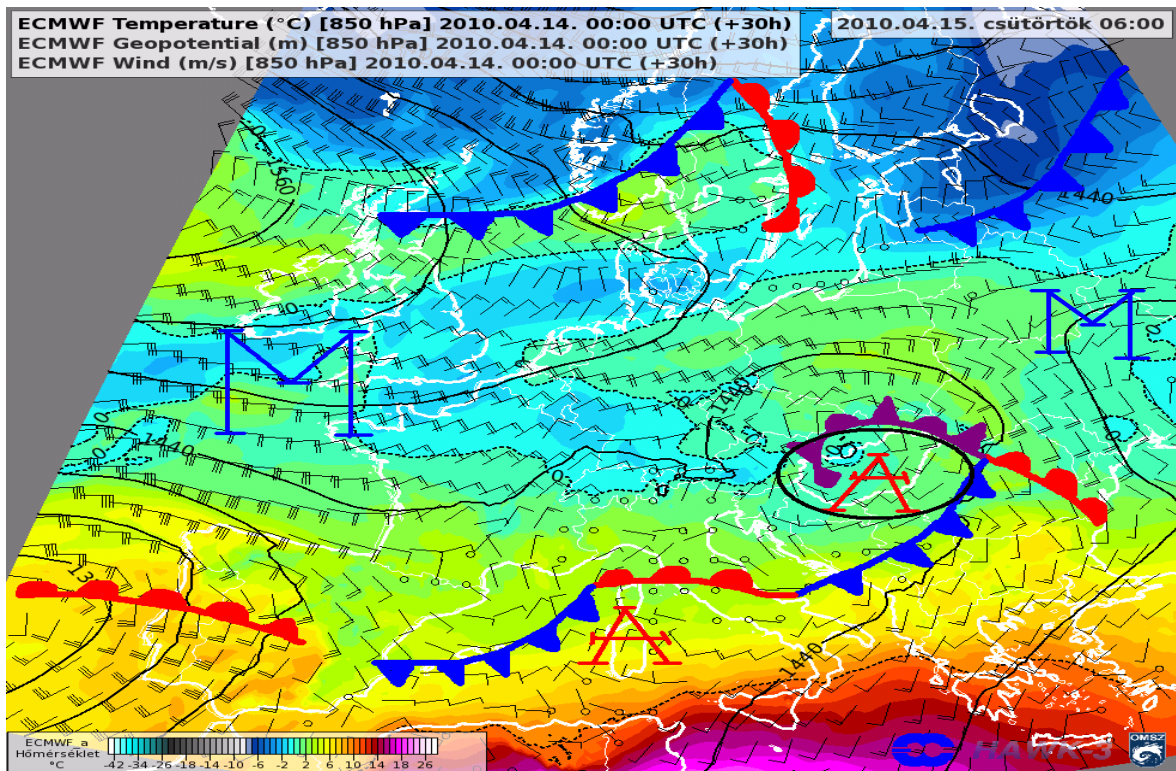


51. ábra. Az ECMWF modellből nyert 500 hPa-os hőmérsékleti, geopotenciál és szélmező előrejelzés 04. 15. 06 UTC időpontban. Forrás: OMSZ, HAWK

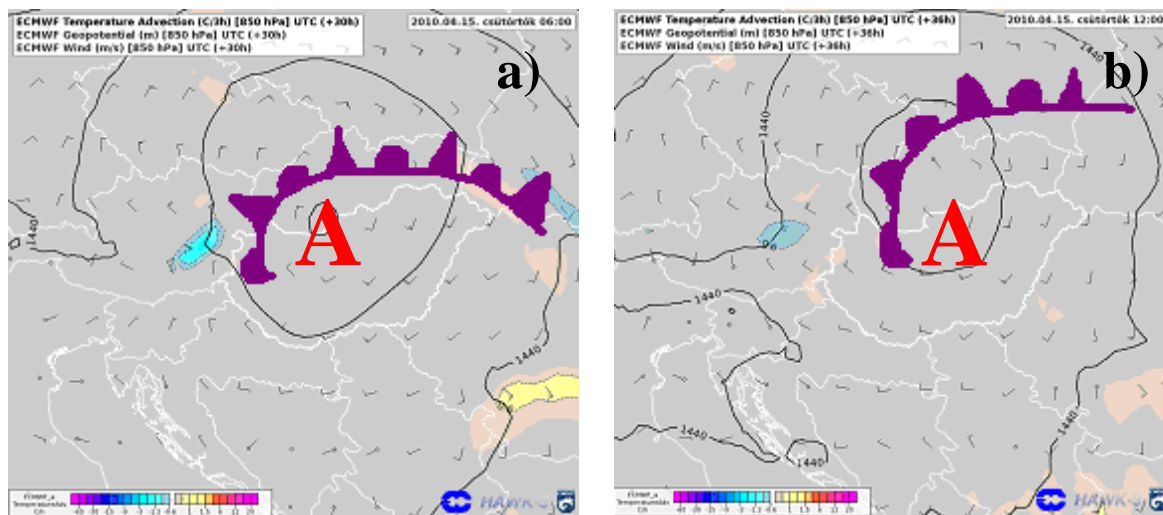
b, Frontális folyamatok

A polárfront továbbra is a kontinens déli partjainál húzódott, melynek vonalát a markánsabb szélfordulás és a hőmérséklet-különbség is kirajzolta (52. ábra). A Kárpát-medence felett örvénylett az a ciklon, melynek visszahajló okklúziós frontja látható hazánk térségében. Az okklúzió mentén hőmérsékleti advekciónak már nem volt, 12 UTC-kor már elhanyagolható volt ez a folyamat (53. a, b, ábra).

Az előregező ciklon okklúziós frontja visszahajlott az ország északi és nyugati területei fölé, ennek megfelelően a tartós csapadékot adó felhőzet is áthelyeződött az északkeleti területekről az észak-dunántúli régióra. Az okklúziós front mentén továbbra is konvergencia volt a talajmenti szélmező. Délnyugat felől a magasban beáramló száraz, hideg levegő hidrosztatikai instabilitást okozott, ezért a ciklon középpontja körül mozgó konvektív cellák alakultak ki az ország keleti felén.

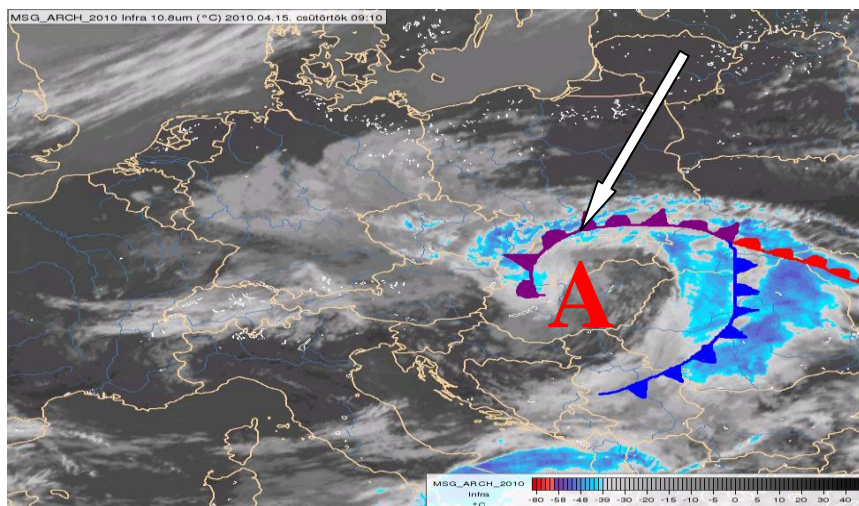


52. ábra. Az ECMWF modellből nyert 850 hPa-os hőmérsékleti, geopotenciál és szélmező előrejelzés 04. 15. 06 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK



53. ábra. Az ECMWF modellből nyert 850 hPa-os hőmérsékleti advekciónak, geopotenciál és szélmező előrejelzés 04. 15. 06 UTC-re (a.), illetve 12 UTC-re (b.). Forrás: OMSZ, HAWK

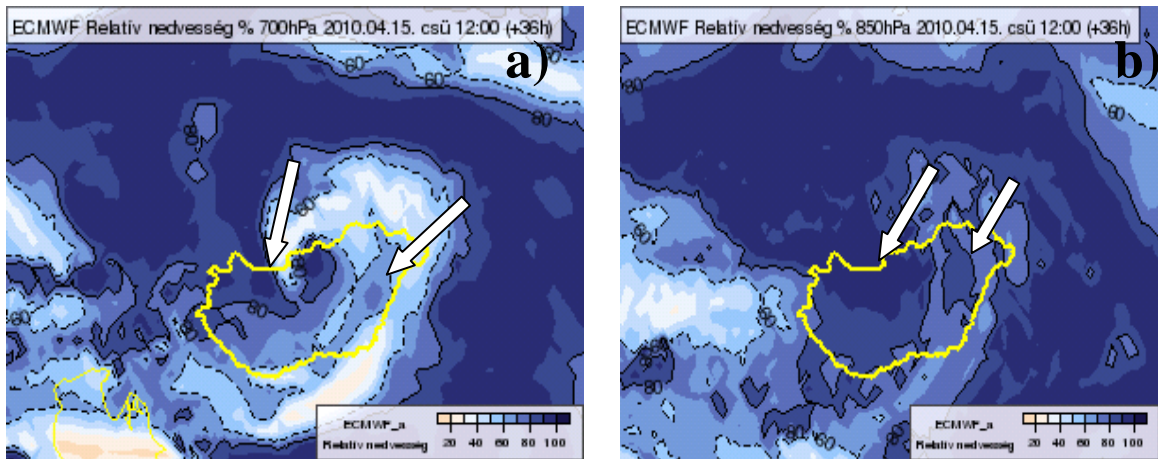
Az 04. 15-e 9:10 UTC-s infravörös tartományban készült műholdképen látható a hazánk időjárását alakító okklúziós front felhősírája (54. ábra).



54. ábra. 2010. 04. 15. 09 UTC-s MSG infra műholdkép. Forrás: OMSZ, HAWK.

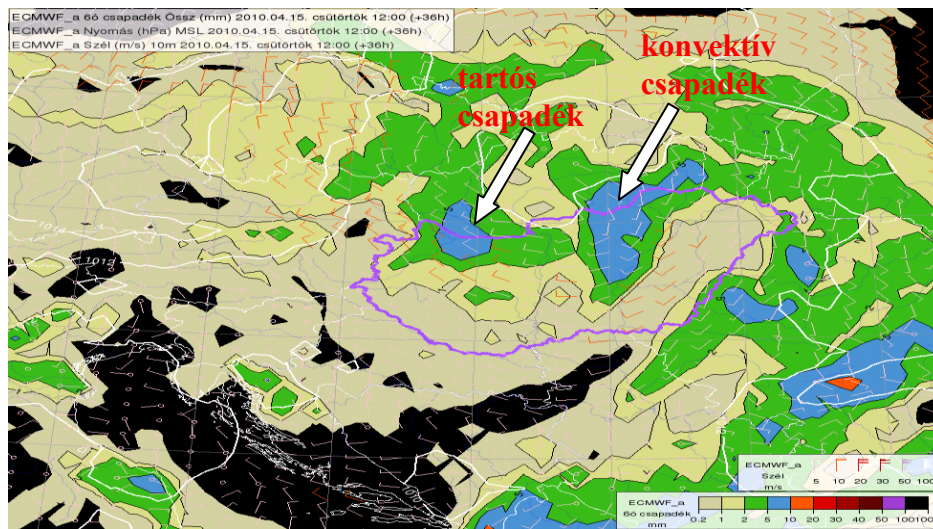
c, Magyarország időjárás helyzetének elemzése

Április 15-én az ECMWF előrejelzése alapján az ország felett alacsony szinteken nagy a telítettség, amit a 12 UTC-s 850 hPa-os relatív nedvességi térkép is reprezentál (55. b, ábra), az ország északnyugati részén a közel 100%-os mező a frontális felhőzetet rajzolta ki, míg a keleti terület felett látható 80-90%-os mező a konvektív felhőzet kialakulásának helyét. A 12 UTC-s ECMWF 700 hPa-os (55. a, ábra) szintre vonatkozó telítettségi mezeje az okklúziós front felhőzeti struktúráját rajzolta ki, emellett szintén megjelent egy telítettebb zóna a Tiszántúl felett is, ahol erőteljes gomolyfelhő-képződés zajlott. A modell jól tükrözte a telítettségi viszonyokat, amiből a Dunántúl északi felére borult égbe, míg másutt gomolyos szerkezetű felhőzetre számíhattunk.



55. ábra. Az ECMWF modellből nyert 700 hPa-os (a.) és 850 hPa-os (b.) relatív nedvesség előrejelzés 04. 15. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

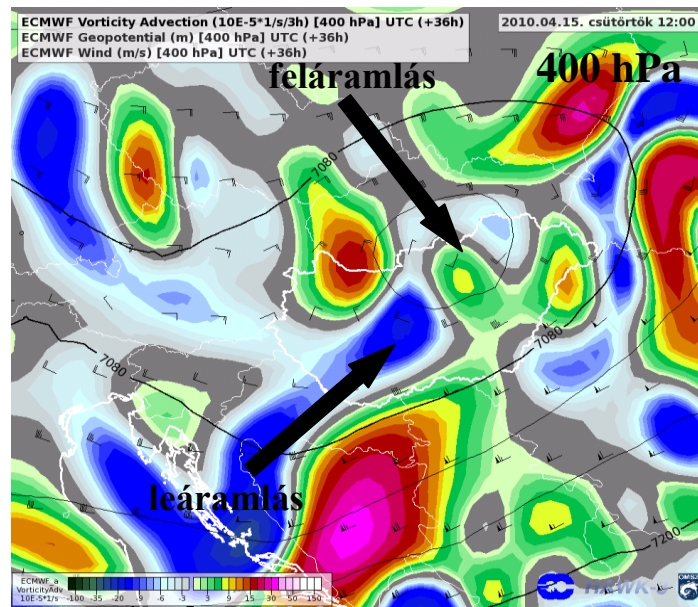
A felhőzetből csapadékot is vártak a modellek, a két hidrosztatikus modell ezúttal is összhangban volt a csapadék tér-, és időbeli eloszlását, valamint a mennyiségét illetően. Az ECMWF 12 UTC-s előrejelzése (56. ábra) azt mutatta, hogy délelőtt az ország nagy területén hullik csapadék, melynek mennyisége 2-10 mm között alakul, a több csapadékot a Dunántúl északnyugati részére és a Duna-Tisza közére számolta a modell. A talajmenti szélmező irány szerint konvergens maradt a front környezetében, ami további emelőhatással bírt, elősegítve ezzel a nagytérségű csapadékképződést.



56. ábra. Az ECMWF modellből nyert 6 órás csapadékösszeg, légnyomás és 10 m-es szél előrejelzés 04. 15. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

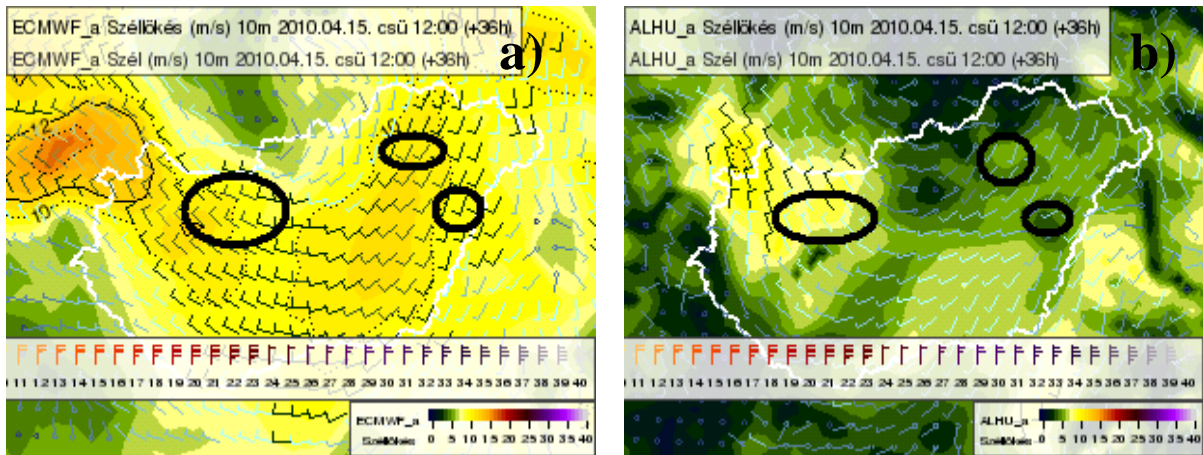
Már a délelőtt során az okklúziós fronthoz közvetlenül kapcsolódó felhőzet mellett az észlelések szerint gomolyfelhők is megjelentek az égen a Dunától keletre eső területeken, melyekből napközben záporosó hullott helyenként villámtevékenység kíséretében. A modellek által prognosztizált csapadék tehát nem csak stratiform

felhőzetből hullott. A ciklonban lévő nedvesség és a talajközeli konvergens áramlás mellett a keleti országrészben történt konvektív felhőképződéshez hozzájárult a légkörben fellépő pozitív örvényességi advekciónak (57. ábra). Az alsó rétegekbe szivárgó hűvös levegő hatására a hidrosztatikai instabilitás ugyan minimálisnak mutatkozott, de a magasban érkező szárazabb, hidegebb levegő potenciális instabilitást generált, hideg légcsepp területén ez gyakori jelenség.



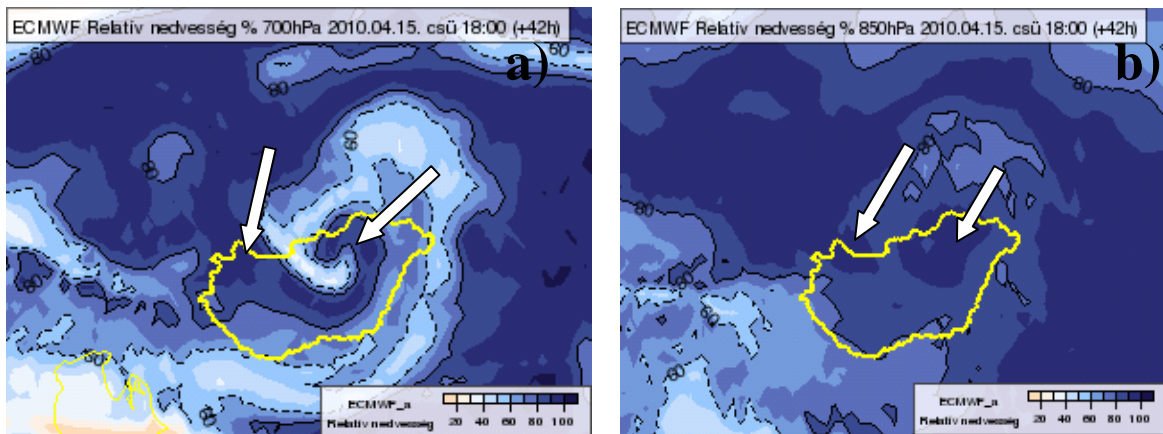
57. ábra. Az ECMWF modellből nyert 400 hPa-os örvényességi advekciónak, geopotenciálnak és szélmező előjelzés 04. 15. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

Az ALADIN 12 UTC-re a Kisalföldre számolt élénk, erős szellőkéseket, ami a nyomási gradiensből származott, de az északkeleti országrészben kialakult zivatarokhoz kapcsolódó szellőkéseket nem jelezte előre (58. a, ábra). Az ECMWF 12 UTC-re felülbecsülte a szellőkéseket, a zivataros kifutósíj ebben a mezőben sem jelent meg (58. b, ábra), s összességében a teljes időszakra (04.15. 06 UTC – 04.16. 00 UTC) alábecsülte a maximális szellőkéseket. A prognózisban szó esett a zivatarokat kísérő erős, viharos szellőkésekről, de a gradiens szellőkések szintén alá lettek becslve, hiszen a modellekre hagyatkozott a szinoptikus.



58. ábra. Az ECMWF (a.) és az ALADIN modellből (b.) nyert 10 m-es szél, szélőkés előrejelzés 04. 15. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

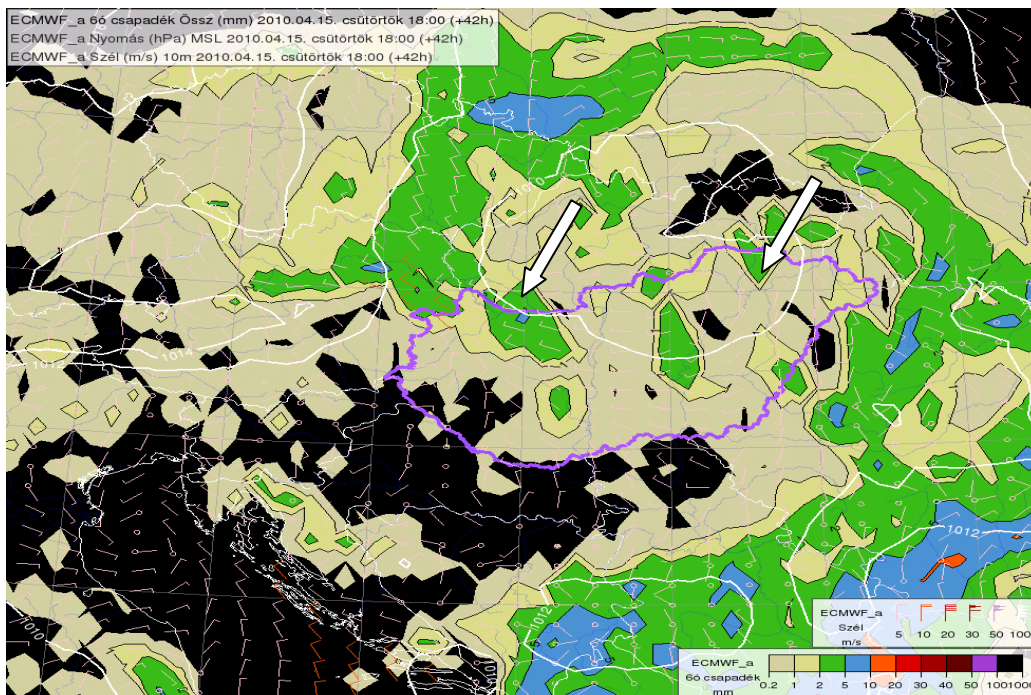
Április 15-én délután és este is nagy telítettségűek voltak felettünk a légkör alsó szintjei az ECMWF előrejelzése alapján. A 18 UTC-s 850 hPa-os relatív nedvességi térkép is mutatja (59. b, ábra), hogy az ország északnyugati és északkeleti részén a közel 100%-os volt a relatív nedvesség. A 18 UTC-s ECMWF 700 hPa-os (59. a, ábra) szintre vonatkozó telítettség mezeje a visszahajló okklúziós front felhőzeti struktúráját rajzolta ki, emellett látható, hogy száraz levegő is bekeveredett a magasban, ami a potenciális instabilitást fokozva gomolyfelhő-képződést generálhatott.



59. ábra. Az ECMWF modellből nyert 700 hPa-os (a.) és 850 hPa-os (b.) relatív nedvesség előrejelzés 04. 15. 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

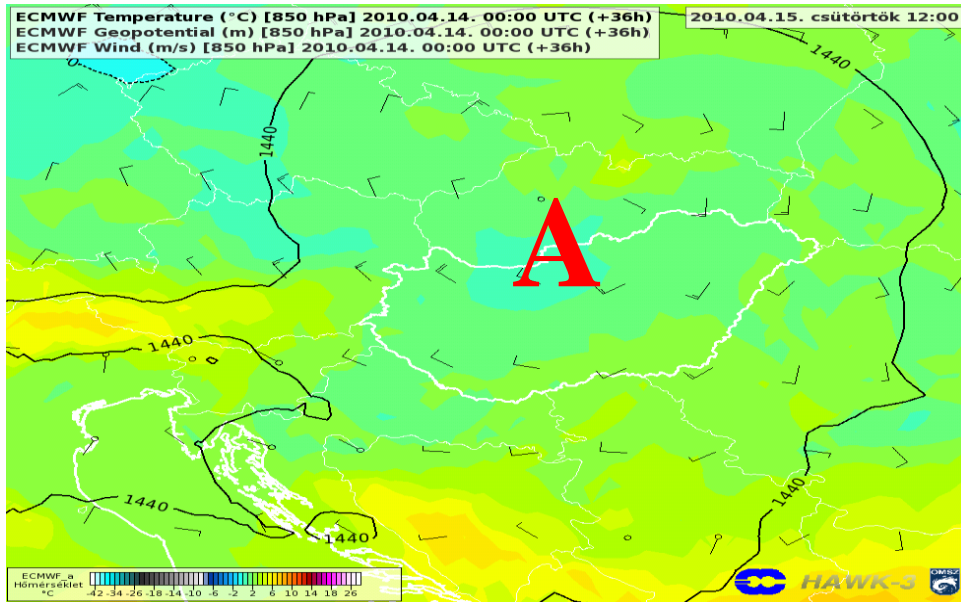
A felhőzetből csapadékot is vártak a modellek, a két hidrosztatikus modell ezúttal is összhangban volt a csapadék tér-, és időbeli eloszlását, valamint a mennyiségét illetően. Az ECMWF 18 UTC-s előrejelzése (60. ábra) azt mutatja, hogy az ország északnyugati részén tovább folytatódott a tartós esőzés, másutt szórványosan és kis mennyiségben fordult elő

csapadék. A talajmenti szélmező irány szerint konvergens maradt a front környezetében, ami további emelőhatással bírt, elősegítve ezzel a csapadékképződést.



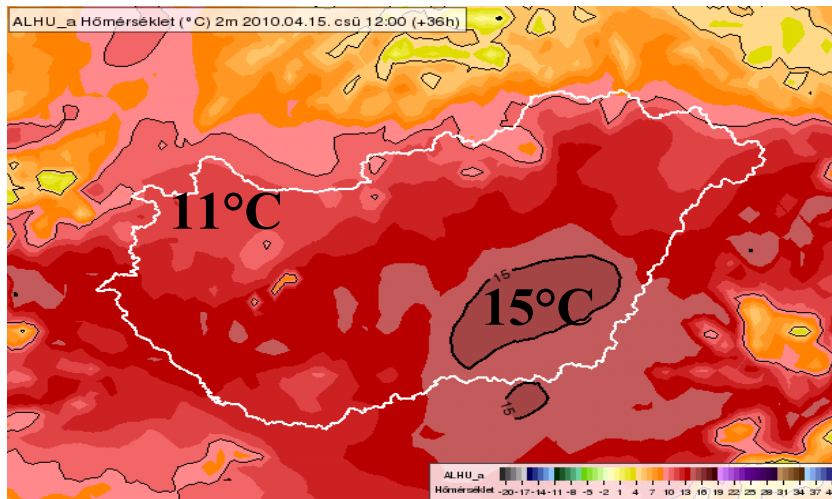
60. ábra. Az ECMWF modellből nyert 6 órás csapadékösszeg, légnyomás és 10 m-es szél előrejelzés 04. 15. 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az okklúziós front környezetében, így Magyarország területén a hőmérsékleti advekciónak nem, de a felhős és csapadékos időjárás azonban jelentősen befolyásolta a maximum-hőmérséklet alakulását. Ebben az időszakban általában már át tud keveredni annyira a légkör az alsó 1500-2000 méteren, hogy a szinoptikus az adiabatikus módszert használva prognosztizálhatja a legmagasabb hőmérsékletet, vagyis a 850 hPa-os szint hőmérsékletéhez 15 fokot hozzáadva becsülheti meg a maximumokat. Ebben az esetben azonban az északnyugti tájak felett zárt és a keleti területekre jellemző erősen gomolyos szerkezetű felhőzet nem tette lehetővé az állapotgörbe kirugódását, illetve a csapadékhullás is gátolta a melegedést, ezért a 850 hPa-os hőmérsékleti mezőből kiolvasott 1-2 fokos értékek alapján (61. ábra) várt 14-17 fokos maximumok helyett csupán 11 és 15 fok közötti értékek fordultak elő területi átlagban.



61. ábra. Az ECMWF modellből nyert 850 hPa-os hőmérséklet, szél és geopotenciál mező 04. 15. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

A hidrosztatikus modellek jól szimulálták a maximum-hőmérséklet alakulását, bizonyára a sugárzás átviteli folyamatok és a látens hőáramok számszerű becsléséből eredően voltak sikeresek. Az ALADIN 12 UTC-s előrejelzése jól mutatja a hőmérséklet akkori eloszlását (62. ábra). A szinoptikus az adiabatikus módszert használhatta abból a megfontolásból, hogy a zárt felhőzet felszakadozik, illetve több-kevesebb napsütés fordul elő, ami segíti a légkör átkeveredését.



62. ábra. Az ALADIN modellből nyert 2 méteres hőmérséklet előrejelzés 04. 15. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

6.1.2.6. Összefoglalás

Összefoglalásképpen elmondható, hogy április 15-én napközben egy középpontjával felettünk lévő hidegcsepp és egy visszahajló okklúziós front határozta meg

Magyarország időjárását. A jet-stream bal kilépő ágán a pozitív örvényességi advekciónak, a kényszerként fellépő talajmenti konvergencia és a nagy telítettség lehetővé tette, hogy felhő- és csapadékképződés történjen. A magasban áramló szárazabb és hidegebb légtömeg instabilitást okozott, ezért a keleti országrészben záporok, helyenként zivatarok is ki tudtak alakulni, melyekhez az alapáramlástól függetlenül élénk, erős szellőkésések társultak. A felhős és csapadékos időjárás gátolta a nappali felmelegedést, ezért az ilyenkor megszokottnál hűvösebb idő volt.

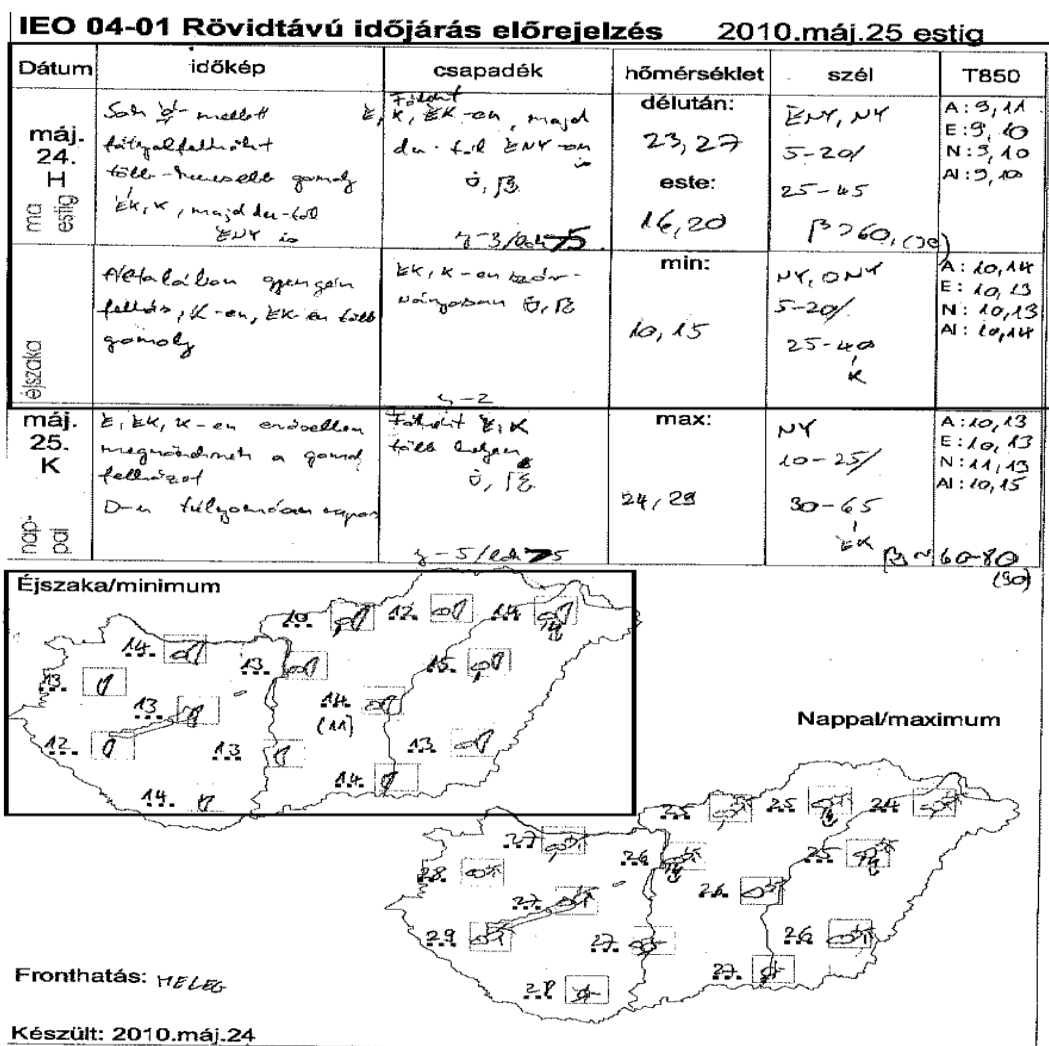
A modellek a felhőzeti képet és a csapadékviszonyokat jól szimulálták, a hőmérsékleteket is jelentéktelen hibával mutatták, de a szellőkésések becslése nem volt sikeres. Az előrejelző valószínűleg nem ilyen időjárási folyamatra számított, ezért a felhőzet, a szellőkésés és a hőmérséklet előrejelzése nem sikerült jól, annak ellenére, hogy a modellek alapmezőiből ezt ki lehetett volna következtetni. Ráadásul elnagyolt volt az éjszakára szöveges formában kiadott felhőzeti kép, ami a piktogramos előrejelzéssel nem volt összeegyeztethető. A fogalomhasználatban is voltak hibák, hiszen a heves zivatart 2 cm-t meghaladó méretű jégeső és 90 km/h-t túllépő szellőkésések kísérik definíció szerint, míg a szinoptikus csupán 60-80 km/h-s szellőkéséseket adott.

6.2. Második esettanulmány (2010. 05. 24. 12 UTC – 05. 26. 00 UTC)

A második esettanulmányban két olyan tavaszi időjárási helyzetet kívánok vizsgálni, amikor Európa középső részén markáns zonális áramlás uralkodott, ezzel egy időben a légkör hidrosztatikailag instabil volt. Erős szélnyírás állt fenn, ezért a labilitást figyelembe véve adottak voltak a feltételek heves zivatarok, sőt szupercellák kialakulásához is. A konvektív folyamatokat ebben az esetben bármilyen kis trigger hatás beindíthatta, hiszen igen nagy függőleges instabilitás alakult ki. Az első esetben feltehetően kisebb pozitív örvényességi advekciónak (*Dési és Rákóczi, 1970*), illetve orográfia indukált erős konvekciónak, míg a második esetben egy súroló hidegfront hatására billent ki egyensúlyából a légkör és alakultak ki heves feláramlások. A nagy vertikális gyorsulásokat és azok hatását még ma is nehéz térben és időben egyaránt prognosztizálni, de ma már rendelkezésre állnak nem-hidrosztatikus numerikus modellek is az operatív gyakorlatban, melyekkel már határozottabbak lehetünk a kisebb skálájú, mezo képződmények előrejelzésében, ezért a tanulmány készítése során ezeket a modelleket is felhasználom.

6.2.1.1. Az IEO aznap délutáni és éjszakai előrejelzése (2010. május 24. 12 UTC – május 25. 06 UTC)

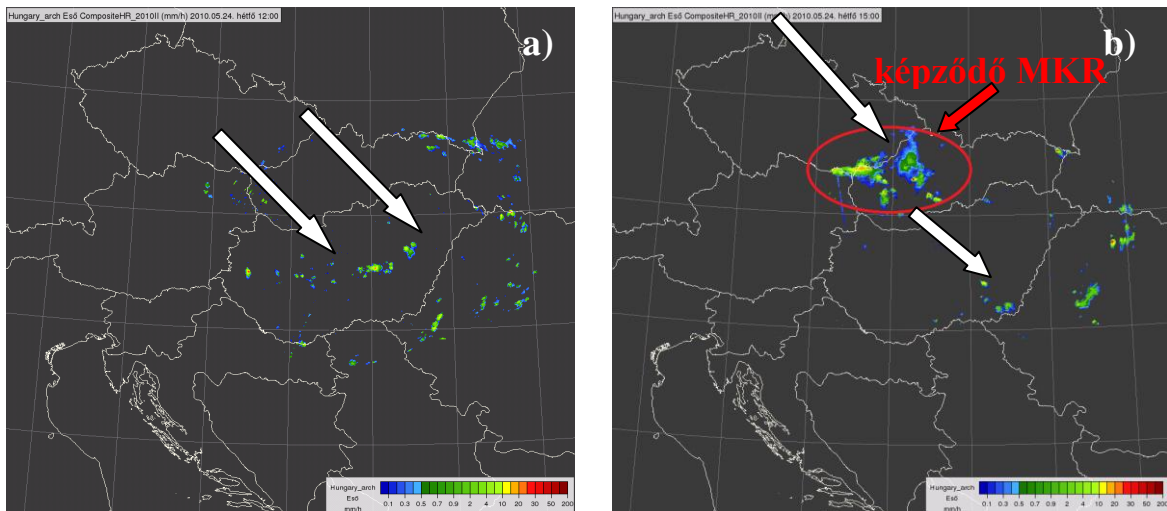
Az Időjárás-előrejelző Osztály által kiadott prognózis (63. ábra) május 24. délutánra a sok napsütés mellett fátyolfelhőket és több-kevesebb gomolyfelhőt várt az ország északkeleti, keleti, illetve az északnyugati részére. Záporokat, zivatarokat várt a szinoptikus az északi, északkeleti, keleti és az északnyugati tájakra lokálisan akár több mint 5 mm csapadékkal és zivatarokhoz kapcsolódóan 60, esetleg 90 km/h-s szellőkésekkel is! Az éjszakai időszakban általában gyengén felhős égre számíthatunk volna, csak a keleti, északkeleti tájakra jeleztek előre több gomolyfelhőt, szórványos záporokkal, zivatarokkal. Zivataros kifutószél nem került megemlítésre, a keleti országrészre várt élénk szellőkéseket.

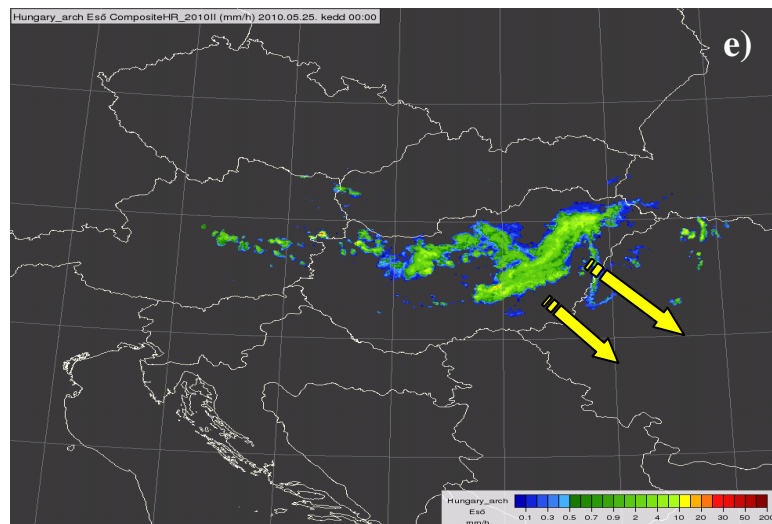
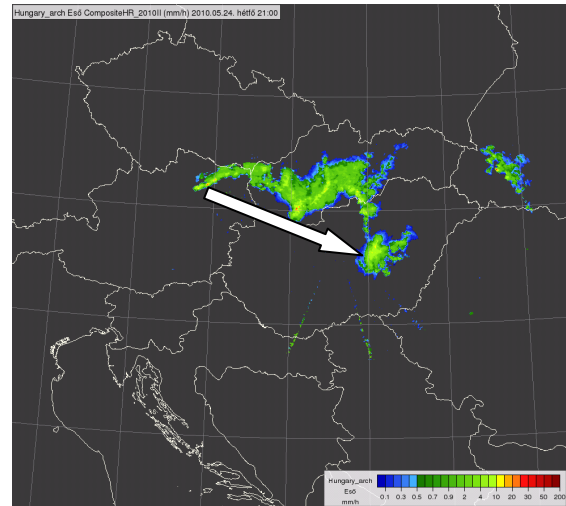
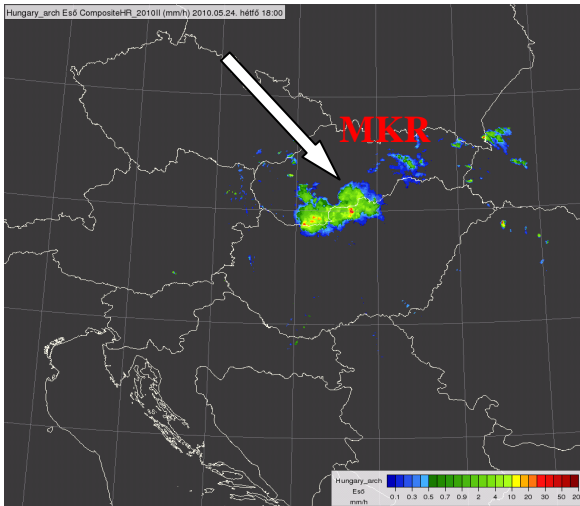


63. ábra. Az OMSz-IEO hivatalos rövidtávú szöveges és piktogramos prognózisa 2010. 05. 24. 12 UTC- 05. 25. 06 UTC időszakra (bekeretezett rész). Forrás: OMSZ-IEO.

6.2.1.2. Az időjárási események összefoglalása

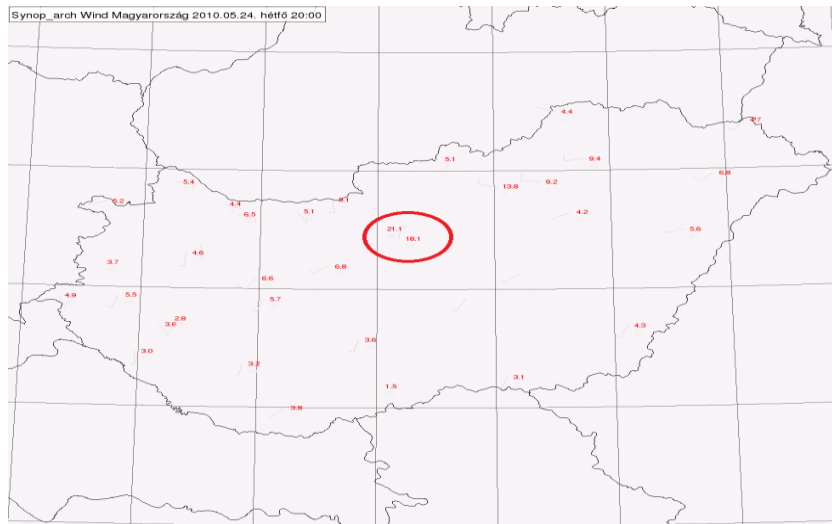
Május 24-én 12 UTC-kor (64. a, ábra) az ország középső sávjában elszórtan alakultak ki izolált zivatarcellák, melyekhez viharos erősségű kifutószelek társultak, de ezek még nem befolyásolták a verifikáció eredményét, mivel lokalizáltak voltak és nem érintettek túl sok szinoptikus mérőállomást. 15 UTC-kor (64. b, ábra) a Viharsarokban egy-két cella látható a radarképen, másutt nincs csapadékra utaló jel az ország területén, azonban a cseh-szlovák határ felől fokozatosan közelednek az eset szempontjából érdekes zivatargócok. A 18 UTC-s képről (64. c, ábra) leolvasható, hogy a zivatarok egy mezoléptékű konvektív rendszerbe (MKR) szerveződtek, s déli irányba mozogva az ország középső harmadán lépték át az északi határt. A prognózisban ugyan szó volt a zivatarok lehetőségéről, de azoknak kiterjedéséről, szervezettségéről és az időbeli lefolyásáról nem tett említést a szöveg. A 21 UTC-s (64. d, ábra) és a 05. 25. 00 UTC-s (64. e, ábra) radarképek sem kifejezetten az előrejelzésben várt szórványosan kialakuló cellákat mutatják, hanem Szlovákia térségéből származó konvektív rendszer hazánk keleti felén történő átvonulását, melynek irányát a sárga nyilak jelzik.





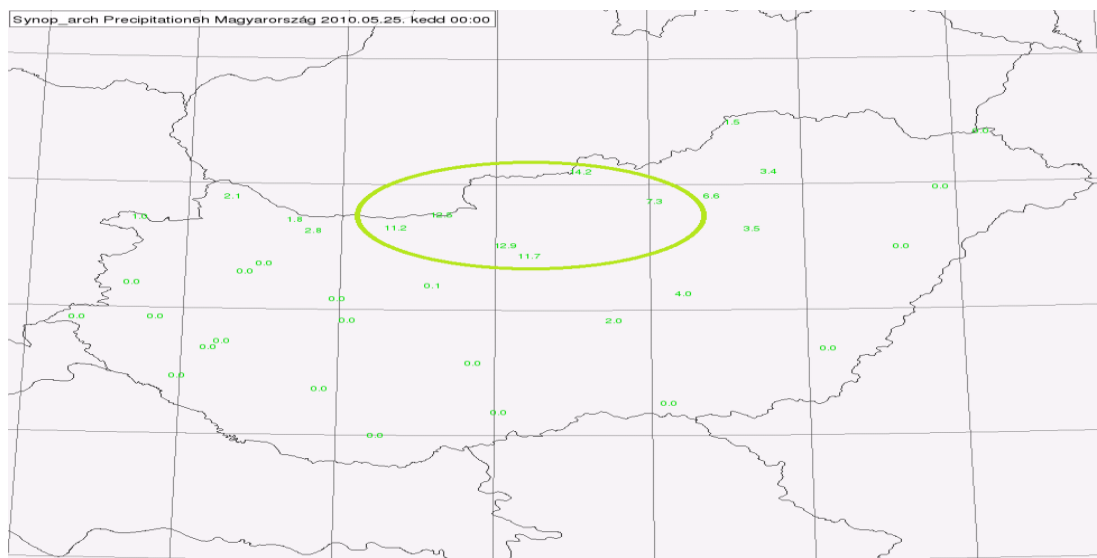
64. ábra. Országos kompozit radarkép 2010. 05. 24. 12, 15, 18, 21 UTC-kor és 05. 25. 00 UTC-kor. Forrás: OMSZ, HAWK

A zivatarok környezetében lévő állomásokon erős, viharos szellőkéseket regisztráltak. 20 UTC-kor (65. ábra) a budapesti régióban 18-21 m/s-os szélrohamok kísérték a zivatarokat, 21UTC-kor Szolnok környékén 18 m/s-os, 22 UTC-kor az északnyugati országrészben 14-19 m/s-os maximális órás szellőkések fordultak elő.



65. ábra. 2010. 05. 24. 19:00 és 20:00 UTC között mért legerősebb széllokések. Forrás: OMSZ, HAWK.

A 05. 25. 00 UTC-ig az ország északi részén lehullott, 10 mm-t meghaladó csapadék egyértelműen a mezométerű konvektív rendszer átvonulásából származott. A csapadék mennyisége nem rendkívüli, de a legtöbb esetben egy-két órán belül lehullott mennyiségről van szó (66. ábra).



66. ábra. 2010. 05. 24. 18:00 UTC és 05. 25. 00:00 UTC között lehullott csapadékösszegek. Forrás: OMSZ, HAWK.

6.2.1.3. Az éjszakai prognózis verifikációja

Az éjszakára vonatkozó verifikációs táblázat alapján (67. ábra) megállapítható, hogy a legrosszabb előrejelzés a budapesti régióra készült, emellett a keleti régiókra és az észak-dunántúli körzetre sikerült kevésbé jól az előrejelzés. A legnagyobb hibák a csapadékmennyiség, a széllokés és a borultság kategóriában fordultak elő. A főváros

térségében például 11 m/s-mal erősebb szellőkés, 3 oktával nagyobb felhőborítottság és több mint 10 mm-rel több csapadék hullott az előrejelzethez képest.

Éjszaka	Minimum [°C]			Csapadék egz. (0/1)			Csapadékmenny. (mm)			Szélsebesség (m/s)			Szellőkés (m/s)			Borultság (okta)				
	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.		
Budapest	ieo	13		0	1		0	1		11,74	-4	3		0	8		-11	2,0-3,0	-3,3	
	ecmwf	13	13,1	0	1	1	0	2		(5)	-3	3	2,8	0	11	18,5	-8	3,2-4,2	6,3	-2,1
	aladin	15		2	1		0	2			-3	4		1	11		-8	3,8-4,8		-1,6
Miskolc	ieo	12		0	1		0	2		8,90	-2	3		0	8		-5	3,0-4,5		-1,4
	ecmwf	12	11,9	0	1	1	0	2		(4)	-2	3	3,2	0	11	13,3	-2	3,8-4,8	5,9	-1,2
	aladin	14		2	1		0	2			-2	3		0	7		-6	3,0-4,5		-1,4
Debrecen	ieo	13		0	1		0	2		5,33	-2	3		0	9		-4	3,0-4,5		-2,0
	ecmwf	14	13,1	1	1	1	0	2		(4)	-2	4	3,3	1	11	13,2	-2	3,8-4,8	6,5	-1,8
	aladin	15		2	1		0	2			-2	4		1	10		-3	4,2-5,5		-1,0
Szeged	ieo	14		0	1		0	1		2,55	-2	3		1	8		-4	2,0-3,0		-3,1
	ecmwf	13	13,6	-1	1	1	0	1		(3)	-2	3	2,4	1	11	11,8	-1	2,8-4,0	6,1	-2,1
	aladin	14		0	1		0	2			-1	4		2	10		-2	3,2-4,2		-1,9
Taszár	ieo	13		0	0		1	0		0,03	-1	2		0	7		-3	1,0-2,0		-3,2
	ecmwf	13	12,8	0	1	1	0	1		(1)	0	3	2,2	1	8	9,7	-2	3,2-4,2	5,2	-0,9
	aladin	13		0	1		0	1			0	3		1	8		-2	2,8-3,8		-1,4
Pápa	ieo	13		1	1		0	1		2,75	-2	2		0	7		-6	2,0-3,0		-1,8
	ecmwf	12	12,5	0	1	1	0	1		(3)	-2	3	2,5	1	10	13,0	-3	2,0-3,2	4,8	-1,5
	aladin	13		1	1		0	2			-1	3		1	7		-6	2,8-3,8		-1,0

67. ábra: Verifikációs táblázat az éjszakai (2010. 05. 24. 12 UTC-05. 25. 06 UTC) időszakra vonatkozóan, amiben benne van a délutáni időszak is. Forrás: OMSz-IEO

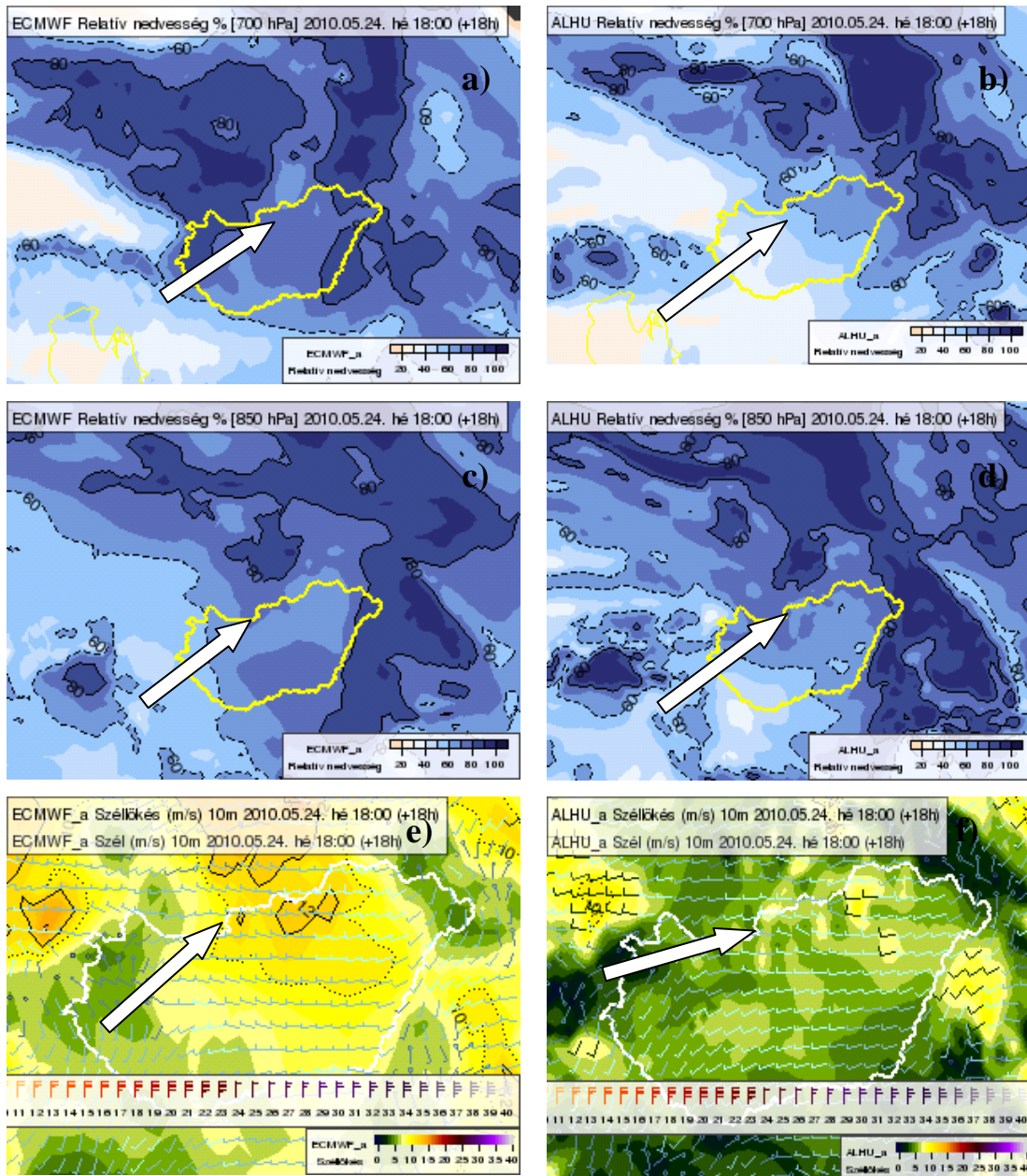
Az előrejelző által kiadott prognózis beválási mutatója 76,2% volt, ehhez hasonlóan teljesített az ALADIN is (76,1%), míg az ECMWF modell előrejelzésének beválása 80,5%-os volt.

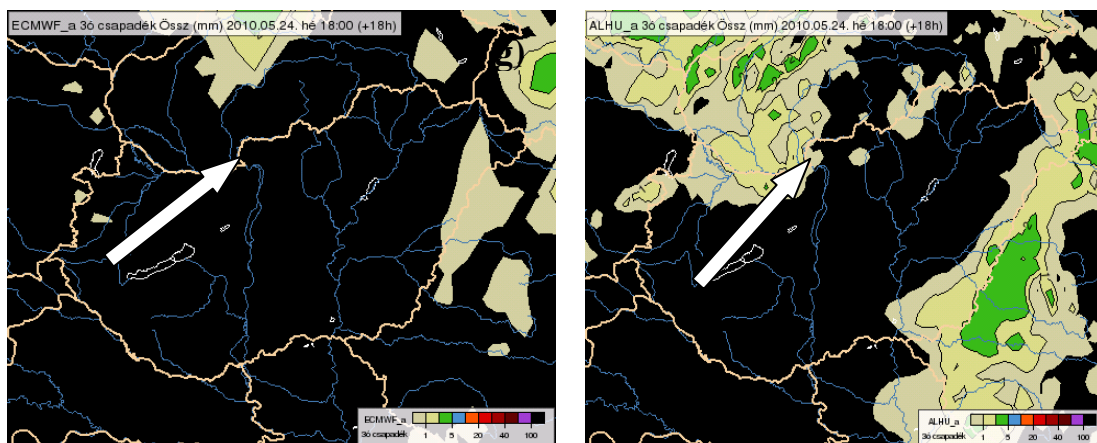
6.2.1.4. A hidrosztatikus modellek előrejelzései

Az ECMWF modell klasszikus mezőit tekintetem át. A különböző nyomási szintekre (500, 700, 850, 925 hPa) vonatkozó relatív nedvességi mezők, illetve a csapadék előrejelzések alapján nem következtethetett a szinoptikus kiterjedt felhő- és csapadéközönára, az értékek túl alacsonynak mutatkoztak (68. a, c, ábra). Az előrejelzett csapadékösszegek 0,5-2 mm között alakultak, csapadékot az ország peremterületeire, ezen belül is a hegyvidéki régiókra számolt, a 18 UTC-s előrejelzésben egyáltalán nem látszik a mezoléptékű rendszer (68. g, ábra). A modell valószínűleg az orografikus hatásokat vette súlyozottan figyelembe, csupán helyben kialakult cellákat olvasható ki az előrejelző. Besodródó, nagy kiterjedésű konvektív csapadékrendszert nem lehetett feltételezni kizárólag ezekre a mezőkre támaszkodva. A szellőkés előrejelzése jobban sikerült a modellnek, mint a szinoptikusnak, de alulbecslések jellemezték az ECMWF-et is, főleg a budapesti régió esetén volt jelentős az eltérés, ahogyan azt a verifikációs táblázat is mutatja. A hiba visszavezethető arra, hogy a modell által közvetlenül nem kitermelt

konvektív cellák által generált kifutószél nem szerepelt a mezőben, erre jó példa a 18 UTC-s előrejelzési mező is, csak 10 m/s-os szellőkéseket adott a modell (68. e, ábra).

Az ALADIN modell relatív nedvességi mezői szintén téves helyzetet mutattak, ezekből legfeljebb kevés fátyolfelhőre, a hegyvidéki területeken gomolyfelhőkre számíthatunk volna, konvektív rendszer nem jelent meg a mezőkben (68. b, és d, ábra). A 0,5-2 mm mennyiségű csapadék ebben a modellben is a domborzat emelő hatásának köszönhetően termelődött ki, vagyis az ország jelentős részére száraz időt adott a modell, a 18 UTC-s előrejelzési kép (68. h, ábra) volt a jellemző. Az ALADIN alapján sem várható a szinoptikus kiterjedt csapadékrendszer. A szellőkések előrejelzése még az ECMWF-nél is gyengébben sikerült, kifejezetten a nagy térségű áramlást volt képes a modell szimulálni (68. f, ábra).





68. ábra. Az ECMWF-ből és ALADIN-ból nyert 700 hPa-os (a, és b,) és 850 hPa-os (c, és d,) relatív nedvesség, 10 m-es szél és szellőkés (e, és f), valamint 3 órás csapadékösszeg (g, és h,) előrejelzés 05. 24. 18 UTC-re vonatkozóan. Forrás: OMSZ, HAWK.

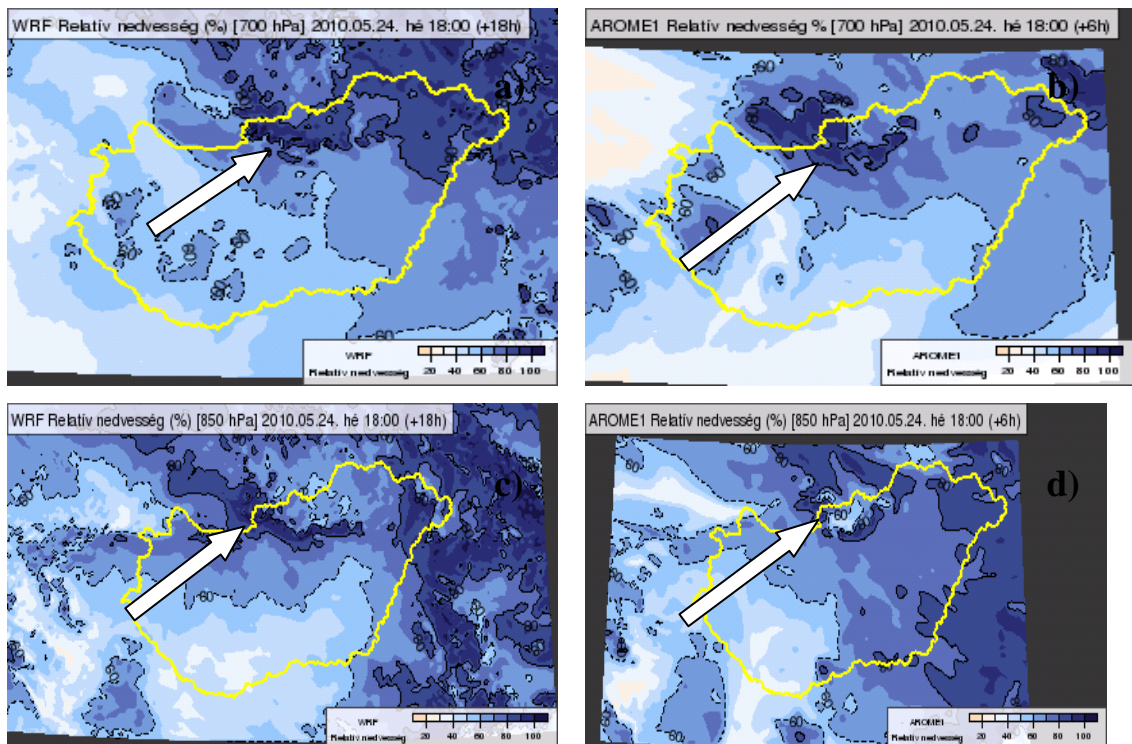
Összességében megállapítható, hogy a hidrosztatikus modellek a hidrosztatikai instabilitásból eredő konvektív eseményeket egyáltalán nem tudták közvetlenül kimutatni, ezért a felhőzet és a csapadék előrejelzésében kudarcot vallottak. Ez nem is lehet meglepő, hiszen ezeket a modelleket alapvetően a nagytérségű, hidrosztatikai folyamatok előrejelzésére használjuk, a mezoléptékű időjárási rendszereket nem képesek szimulálni!

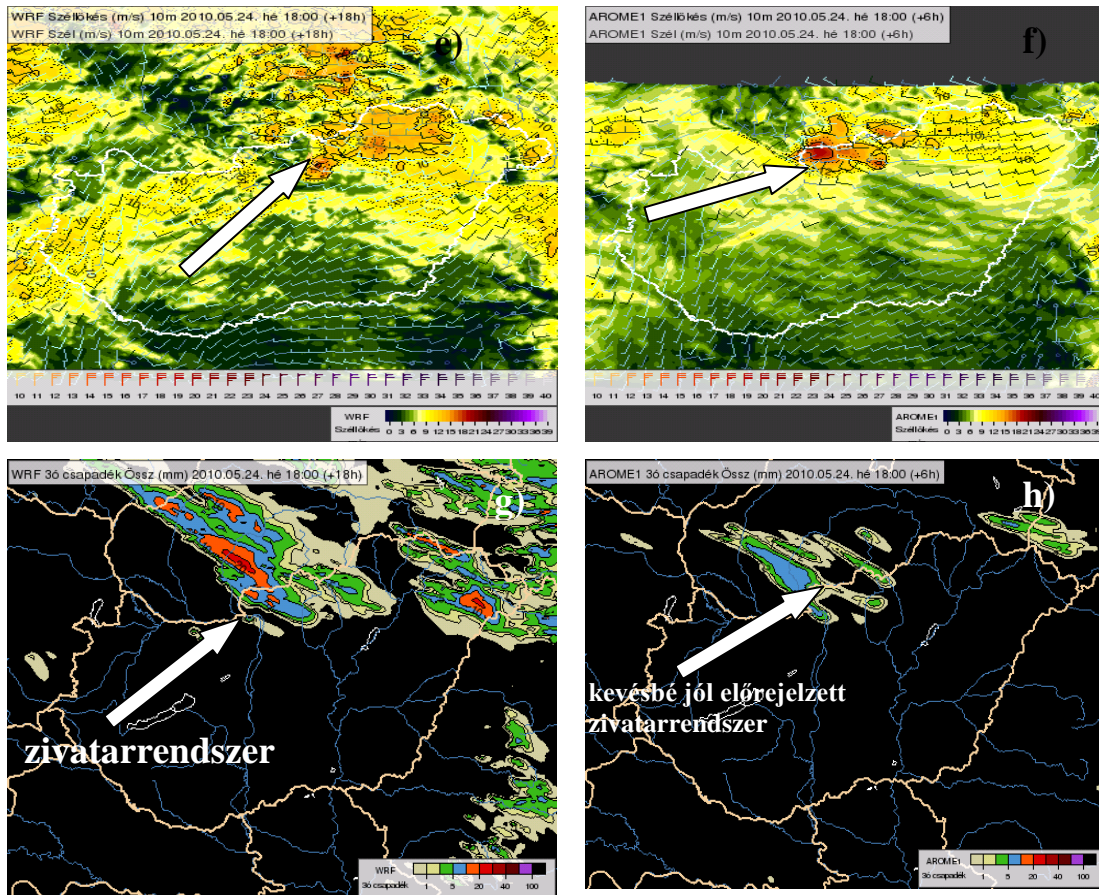
6.2.1.5. A nem-hidrosztatikus modellek előrejelzései

A WRF összfelhőzetre vonatkozó mezőiből erőteljes gomolyfelhő-képződésre és hazánkba besodródó konvektív rendszerekre lehetett következtetni 18 UTC-re az ország északi részére. A 700 és a 850 hPa-os telítettségi mezők is jól kirajzolták a felhőzet eloszlását (69. a, és c, ábra). A közelítőleg pontos felhőzeti előrejelzés mellett a csapadékösszegek prognózisa is sikeresnek könyvelhető el. Egy-egy csapadékgócból 10-15 mm csapadékot számolt, amit egy tipikus zivatar cella ki is tud termelni a tavaszi időszakban. A 18 UTC-ig hazánk északi részét elérő konvektív rendszerből kihullott csapadékot is jó pontossággal adta meg az aktuális előrejelzés (69. g, ábra). Ebben a modellben szerepelt a konvektív rendszerek esetén említést érdemlő maximális radar reflektivitás is, ami azért segíthette a szinoptikust, mert ennek vizsgálata során is felmerülhetett benne annak a lehetősége, hogy intenzív csapadékszónák sodródjanak be Szlovákia felől hazánkba. Meglepően jól szimulálta a modell a markánsabb cellák kialakulását és átvonulását, a tapasztalatok alapján azonban a reflektivitási értékeket összességében felülbecsli a modell. A felszíni szélmező előrejelzése is megfelelő volt, hiszen a zivatarok alapjához konvergens áramlási struktúrát társított a modell, illetve

megjelent a zivataros kifutószél is, amit a zivatarok környezetében megjelenő viharos szellőkések formájában adott a numerikus modell 18 UTC-re is (69. e, ábra). A szélmező kiváló prognózisán nem csodálkozhatunk, hiszen a nem-hidrosztatikus modellben már a harmadik mozgásegyenlet is szerepel, így a vertikális gyorsulás és az általa generált horizontális áramlások konzisztens módon jelennek meg a konvektív rendszerekben és azok környezetében.

Az AROME modellből is kiolvasható volt a gomolyfelhő-képződés, de inkább csak cellás konvekcióna számíthatott az előrejelző. A telítettségi mezők is jól mutatták a felhőzet konvektív jellegét (69. b, és d, ábra), hiszen csoportokban jelentek meg a telített zónák. Az órás felbontású csapadék előrejelzés alapján csak góccokban előforduló, 10 mm körüli csapadékmennyiségek fordulhattak volna elő, a kialakult csapadékrendszernek csak bizonyos hányadát termelte ki a modell, erre jó példa a 18 UTC-s 3 órás csapadékösszeg előrejelzés is (69. h, ábra). A mezőkben megjelenő cellákhoz általában megfelelő szellőkés értékeket rendelt hozzá az AROME, ahogyan az a 18 UTC-s előrejelzésből (69. f, ábra) is kiderült, hiszen a konvektív csapadékgóchoz 18-20 m/s-os lökéseket társított, azonban a gradiens szellőkésekben alábecslés jelentkezett. Mivel a csapadék előrejelzés nem volt túl sikeres, ezért a szélelőrejelzés sem tükrözte a valóságot, de a modell belső dinamikája jól működött.



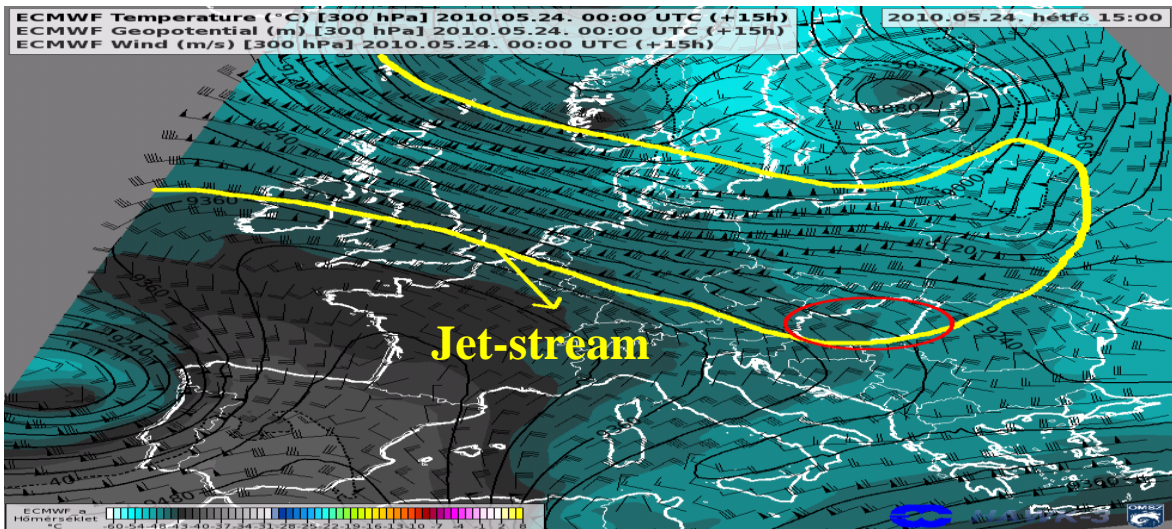


69. ábra. A WRF-ből és az AROME-ból nyert 700 hPa-os (a, és b,) és 850 hPa-os (c, és d,) relatív nedvesség, 10 m-es szél és szellőkés (e, és f), valamint 3 órás csapadékösszeg (g, és h,) előrejelzés 05. 24. 18 UTC-re vonatkozóan. Forrás: OMSZ, HAWK.

6.2.1.6. Szinoptikus elemzés

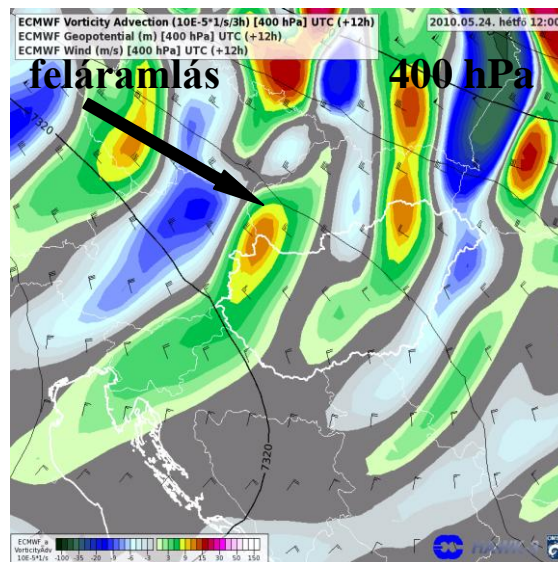
a, Nagytérségű, kvázi-geosztrófikus folyamatok

A makroszinoptikus helyzetet tekintve a vizsgált terület, ahol a tanulmány szempontjából lényeges zivatarcellák alakultak ki, a 300 hPa-on analizált jet-stream (*Sándor és Wantuch, 2005*) jobb kilépő ágán helyezkedett el (70. ábra). Az izohipszák anticiklonális görbülettel rendelkeztek, illetve itt a szélmező sebesség szerinti konvergenciája volt analizálható, amelyekből következik, hogy a nagytérségű leáramlások domináltak. Ebben az esetben, ha a légköri viszonyok hidrosztatikailag stabil állapotot tükröztek volna, akkor lényegesen nyugodtabb, kiegyensúlyozottabb időjárásra számíthatnánk volna komolyabb csapadék és szelerősödés nélkül.



70. ábra: Az ECMWF modellből nyert 300 hPa-os geopotenciál és szél mező előrejelzés (2010. 05. 24. hétfő 15 UTC). Forrás: OMSZ, HAWK

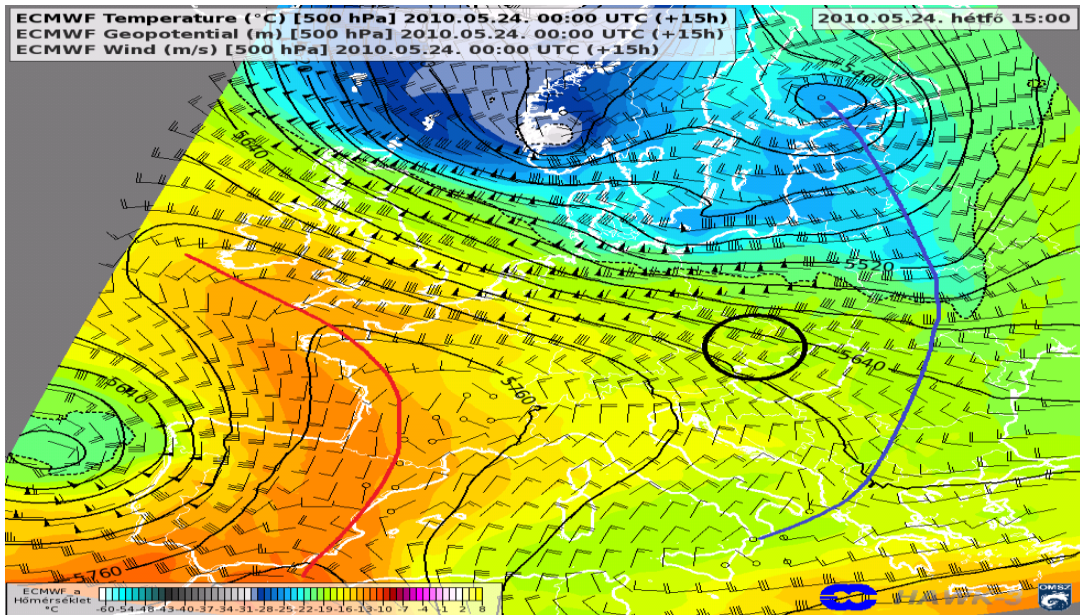
A markáns pozitív örvényességi advekciónak, ami a kvázi-geosztrófikus elmélet értelmében rendezett, nagytérségű feláramlást okoz, a jet bal oldalán volt, de a jobb kilépő ághoz tartozó megjelölt területen is előfordult (71. ábra), így hozzájárult a konvektív rendszerek kialakulásához szükséges háttéremeléshez. A 400 hPa-os mezőhöz hasonlóan a 300 és az 500 hPa-os szinteken is pozitív örvényességi advekciónak zajlott a zivatarok kialakulásának kezdetén, 12 UTC-kor.



71. ábra: Az ECMWF modellből nyert 400 hPa-os örvényességi advekciónak, geopotenciál és szélmező előrejelzés 05. 24. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

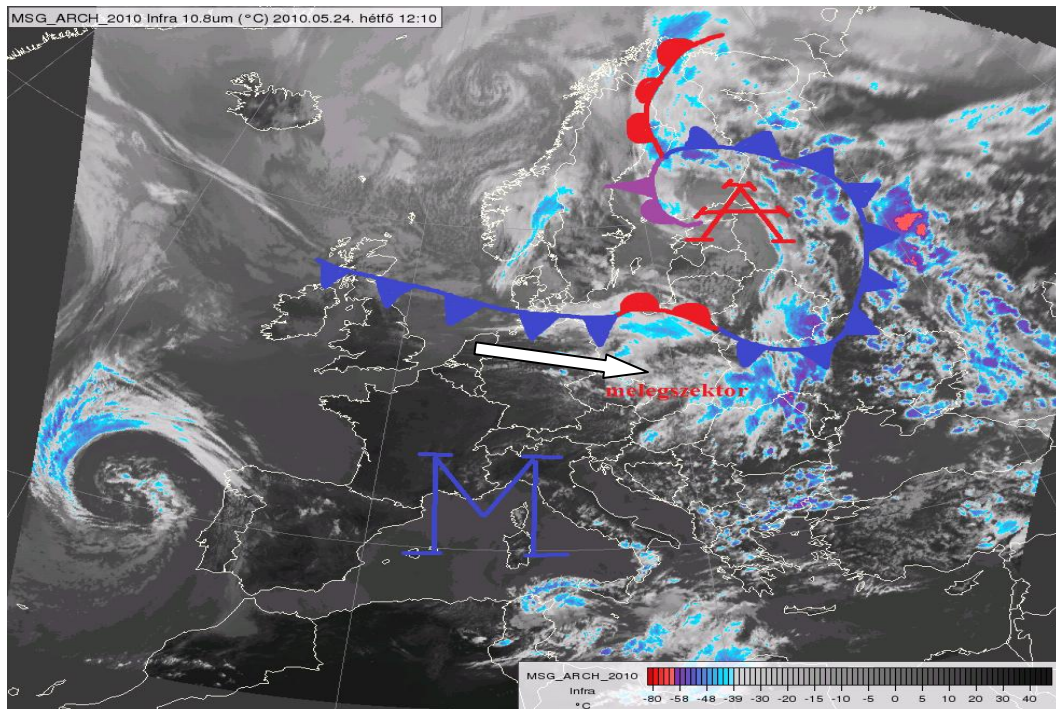
500 hPa-os topográfiai térképen kis amplitúdójú Rossby-hullám (Gyuró, 2009) analizálható (72. ábra). A kijelölt terület a Kelet-Európa felett húzódó teknő (kék vonal)

hátoldalán és a Nyugat-Európa felett húzódó gerinc (piros vonal) előoldalán helyezkedett el, ahol erős zonális (nyugat-keleti) áramlás és szélnyírás volt a jellemző. Észak-Európa felett hideg levegő halmozódott fel, ezzel szemben a Pireneusi-félszigetet szubtrópusi légtömeg érte el.



72. ábra. Az ECMWF modellből nyert 500 hPa-os hőmérsékleti, geopotenciál és szélmező előrejelzés 05. 24. 15 UTC időpontban. Forrás: OMSZ, HAWK.

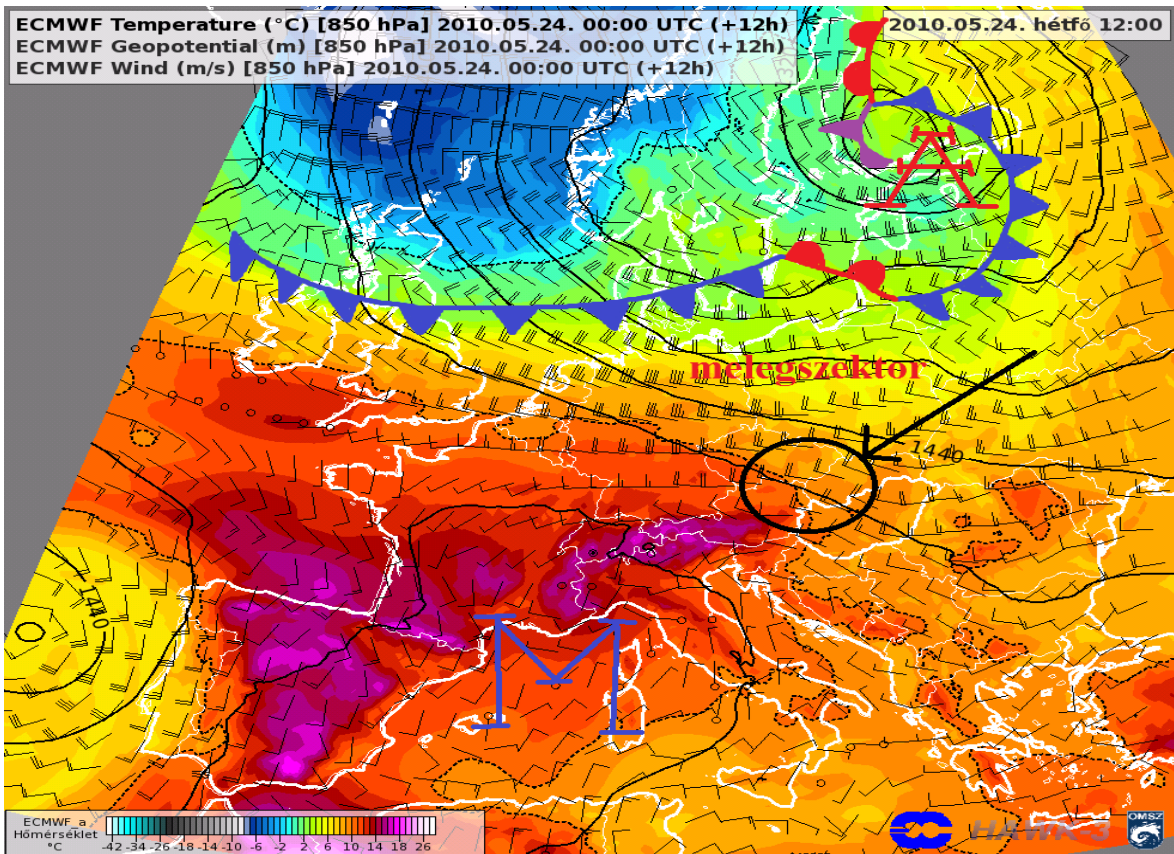
Az infravörös (IR) tartományban készült műholdképen jól látható, hogy sok felhő borította Közép-Európát (73. ábra). A Baltikum felett örvénylő ciklon hosszan elnyúló hidegfrontján hullám képződött, így a közép-európai térség melegszeletorba került. Ebben a meleg és instabil állapotú légtömegben alakultak ki a zivatarok. A gerinc területén, Franciaország térségében alig volt felhő, hiszen itt az anticiklonra jellemző leszálló légmozgások domináltak.



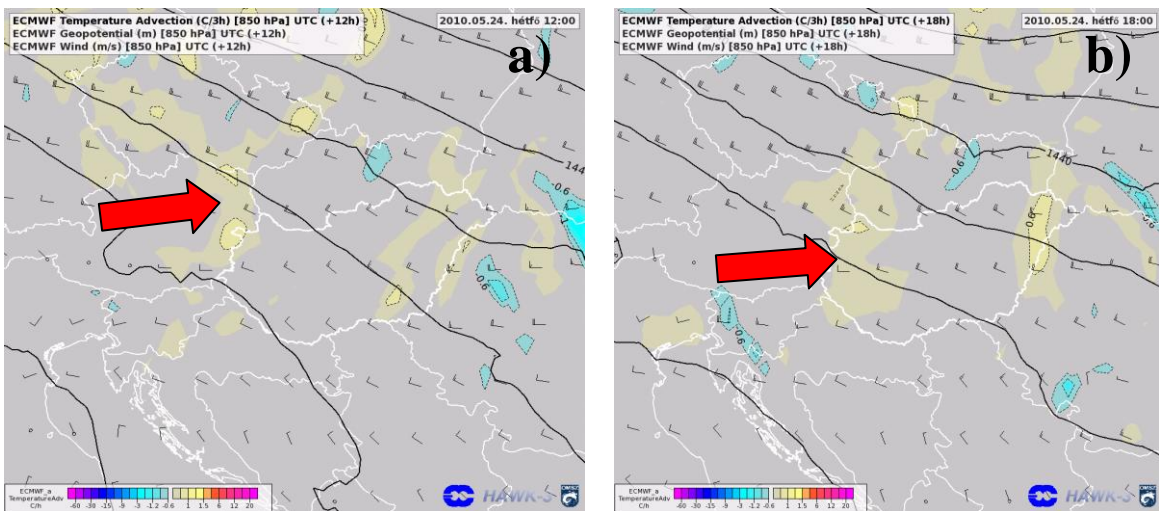
73. ábra. Infravörös tartományban készült MSG műholdkép (2010. 05. 24. hétfő 12.10 UTC). Forrás: OMSZ, HAWK

b, Frontális skálájú folyamatok

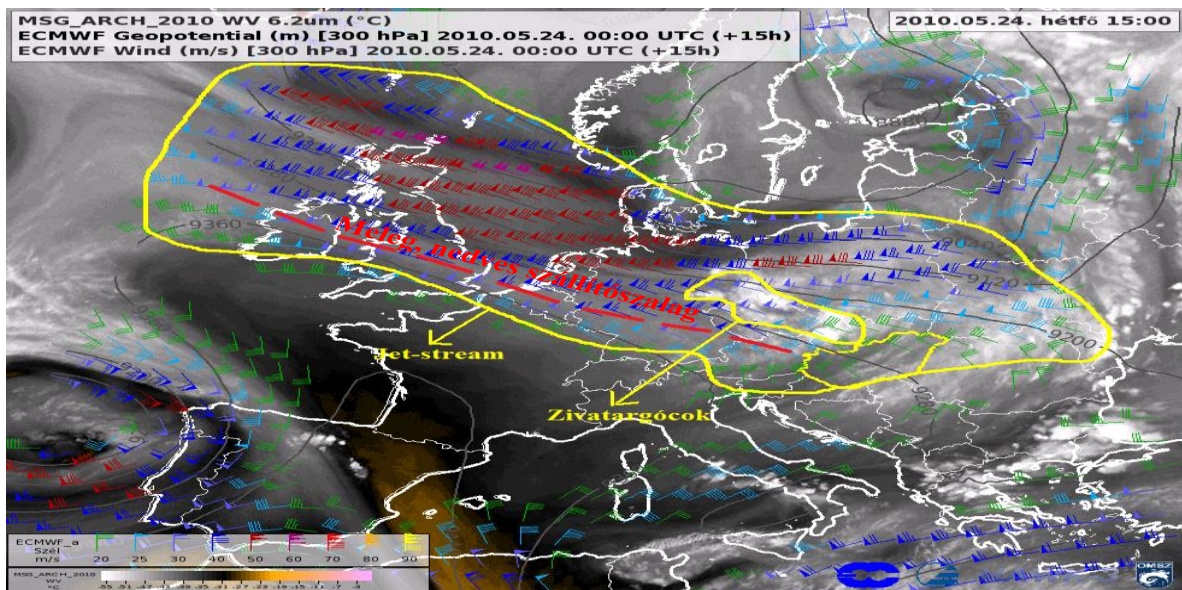
A polárfront a Brit-szigetektől a Fekete-tenger térségéig húzódott, melynek vonalát a markánsabb szélfordulás és a hőmérséklet-különbség is kirajzolja (74. ábra). A számunkra érdekes terület a Baltikum felett örvénylő ciklon hosszan elnyúló hidegfrontjának előoldalán, a melegszeletorban helyezkedett el, ahová az alsó szinteken nyugat, délnyugat felől meleg levegő áramlott (75. a, és b, ábra). Az itt végbemenő meleg-advekciónak, a kisebb pozitív örvényességi advekciónak, illetve az orográfia is segítette a feláramlást, aminek köszönhetően nagy víztartalmú, magasra törő zivatarfelhők is borították a melegszeletor területét, amit a vízgőz tartományú műholdfelvételen világos foltok mutatnak (76. ábra). A hidegfront előtt húzódó, a fronttal párhuzamosan elhelyezkedő nedves szállítószalagot a szürkés színű sáv mutatja. A melegedés és az 76. ábrán feltüntetett nedves szállítószalag együttesen kedvező feltételeket alakítottak ki a légköri instabilitáshoz, ami az erős szélnyírással együtt intenzív, rendezett konvekciót eredményezett.



74. ábra. Az ECMWF modellből nyert 850 hPa-os hőmérsékleti, geopotenciál és szélmező előrejelzés 05. 24. 12 UTC-re a frontokat is jelölve. Forrás: OMSZ, HAWK.



75. ábra. Az ECMWF modellből nyert 850 hPa-os hőmérsékleti advekciónak, geopotenciál és szélmező előrejelzés 05. 24. 12 UTC-re (a.), illetve 18 UTC-re (b.). Forrás: OMSZ, HAWK.



76. ábra: Az ECMWF modellből nyert 300 hPa-os geopotenciál és szél mező előrejelzés és a vízgőztartományban készült MSG műholdkép analízis (2010. 05. 24. hétfő 15 UTC). Forrás: OMSZ, HAWK

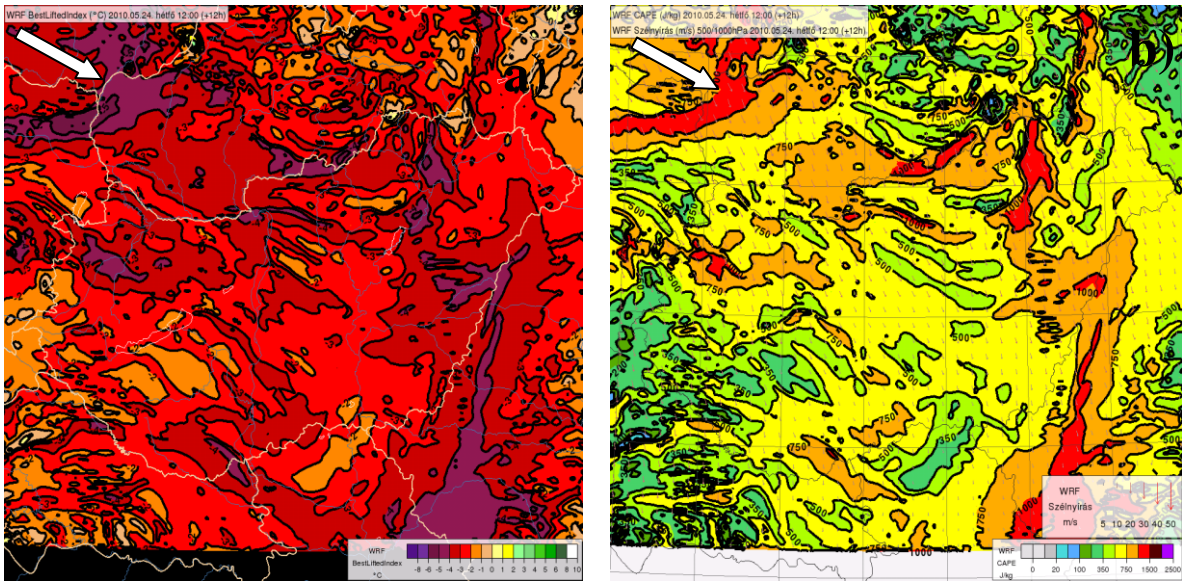
Elmondható, hogy szinoptikus skálán összességében felhőoszlató, szárító hatású légáramlások uralkodtak a kijelölt területen, azonban a hidrosztatikailag instabil viszonyok, a kisebb pozitív örvényességi advekciónak, a meleg nedves szállítoszalag jelenléte, illetve helyi orografikus hatások miatt mégis ki tudtak alakulni zivatarok, melyek az országba belépve nagy mennyiségű csapadékot produkáltak, ezért nagy hangsúlyt kellett volna fektetni a mezoskálájú folyamatok előrejelzésére is.

c, Mezoléptékű folyamatok

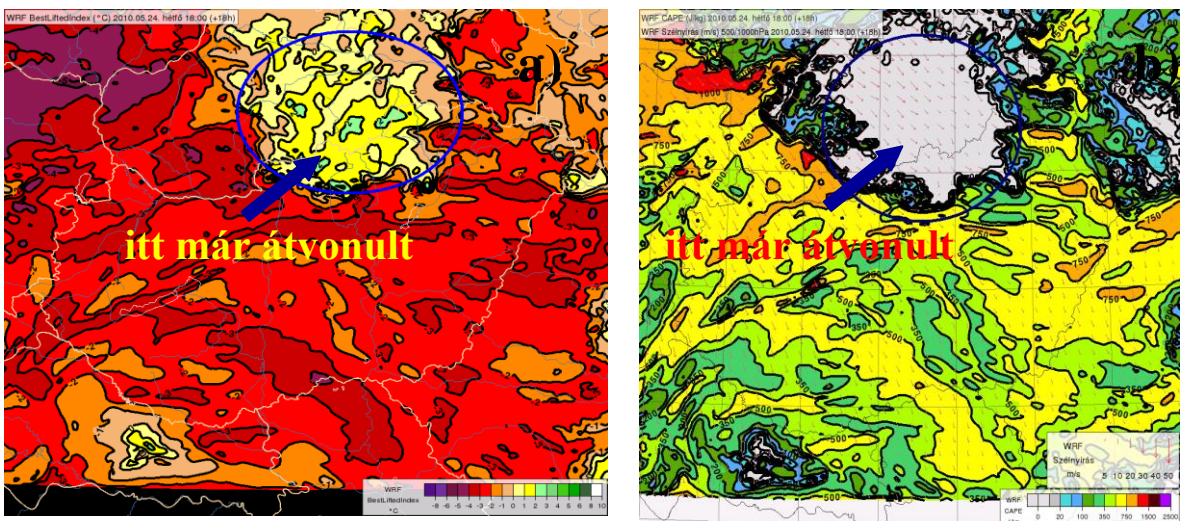
A mezoléptékű folyamatok kialakulásához a nagy hidrosztatikai instabilitás járult hozzá jelentős mértékben, emellett meleg, nedves szállítoszalag biztosította a nedvességet. A kifejlődött cellák további alakulását erős szélnyírás irányította, melynek eredményeképpen helyenként szupercellává fejlődtek a zivatargóccok. Az eredményes prognózishoz ebben az esetben feltétlenül szükséges áttekinteni az instabilitási indexeket, a kihullható vízmennyiséget, valamint a szélnyírás erősségét.

A zivatarcellák kialakulásakor, 05. 24. 12 UTC-kor a számunkra érdekes térségben, Csehország és Szlovákia határán -4 és -5 közötti Best Lifted Index értékeket mutatott a WRF modell (77. a, ábra), ami alapvetően labilis légrétegzettségéről árulkodott. Az 1000 J/kg körüli CAPE értékek is alátámasztották a nagymértékű labilitást, kellő mennyiségű emelési energia állt rendelkezésre a légkörben (77. b, ábra). A konvektív gátlás minimális, 10 J/kg volt, tehát még trigger hatás nélkül is létrejöhetnek a gomolyfelhők, a szabad konvekciós folyamatok a talajról indulhattak. Az 500/1000 hPa-os (kb. 0-6 km-es)

szélnyírás elérte a 20 m/s-ot (77. b, ábra), ami alapján szupercellás zivatarok kialakulását is lehetett feltételezni (Csirmaz, 2012). A WRF 18 UTC-re (78. a, és b, ábra) vonatkozó Best Lifted Index (BLI) és CAPE előrejelzése azt sugallhatta, hogy komolyabb rendszer halad Magyarország északi határán át, hiszen ekkor Szlovákia középső részén a BLI értékek pozitív tartományban voltak már, s a labilitási energia is nullára redukálódott. Ez azzal magyarázható, hogy a modellben előrejelzett konvektív rendszerekhez köthető kifutószél és a nagy csapadék lehűtötte az alsó légréteget, a konvektív emelést gátolták.

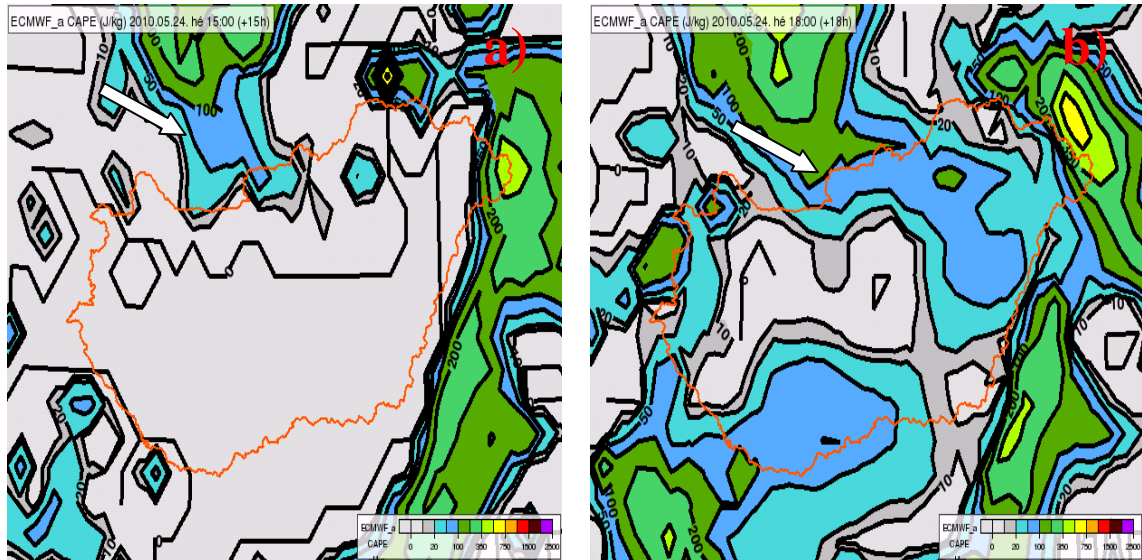


77. ábra. WRF Best Lifted Index (a.) és CAPE (b.) előrejelzés 2010. 05. 24. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.



78. ábra. WRF Best Lifted Index (a.) és CAPE (b.) előrejelzés 2010. 05. 24. 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

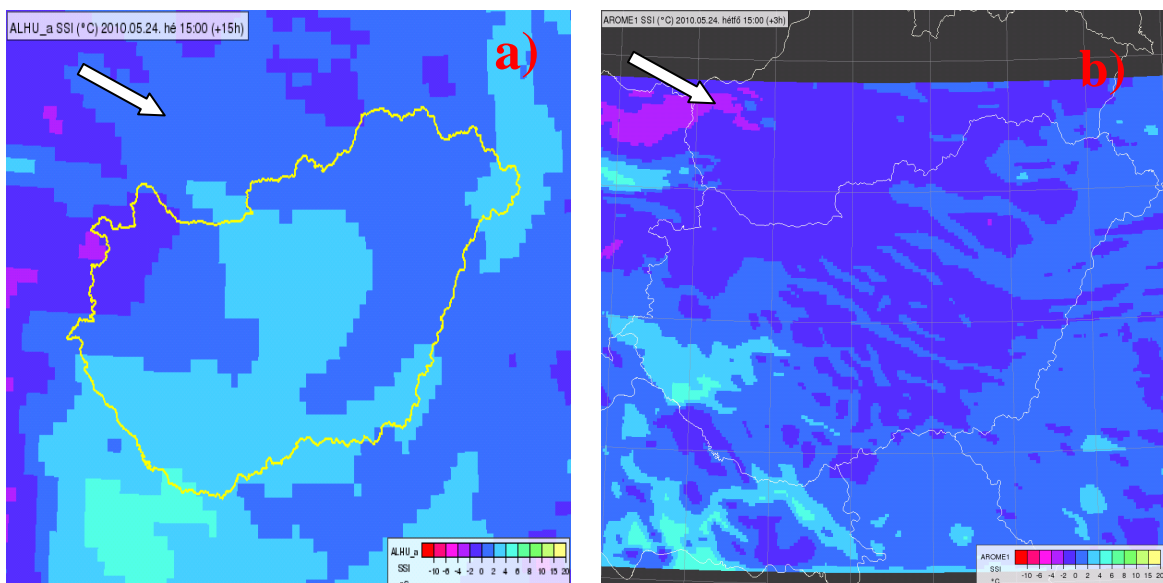
A WRF-el ellentétben az ECMWF hidrosztatikailag stabilabb légállapotot mutatott a 05. 24. 15 és 18 UTC-re vonatkozó CAPE előrejelzései (79. ábra) alapján, hiszen az előrejelzett legmagasabb értékek is csupán 200-300 J/kg között alakultak, ráadásul azok sem a konvektív rendszerek által érintett területekre voltak érvényesek.



79. ábra. Az ECMWF CAPE előrejelzése a 2010. 05. 24. 15 UTC-s (a,) és 18 UTC-s (b,) időpontokra.

Forrás: OMSZ, HAWK.

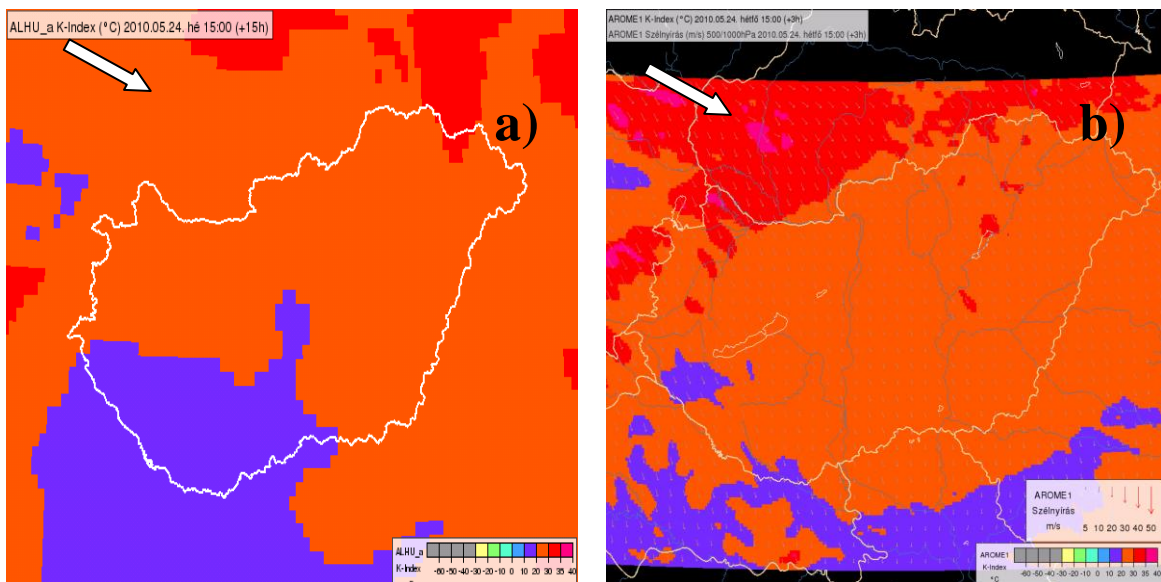
Az ALADIN a zivatarok képződésének területére 0 - -2-es (80. a, ábra), az AROME -2 - -4-es (80. b, ábra) Showalter-indexet (SSI-t) számolt 05. 24. 15 UTC-re, a hidrosztatikus és a nem-hidrosztatikus modell is instabil állapotot mutatott. Az ilyen SSI értékek mellett már komolyabb, zivartart eredményező konvekcióra lehetett számítani.



80. ábra. Az ALADIN (a,) és az AROME (b,) modell SSI előrejelzése 2010. 05. 24. 15 UTC-re. Forrás:

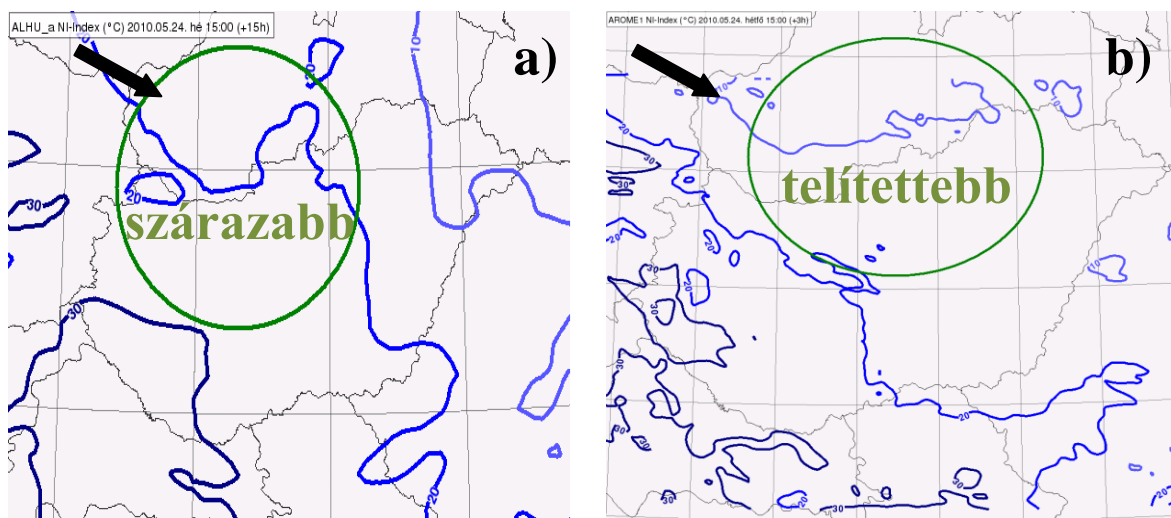
OMSZ, HAWK.

Az ALADIN 20 és 30 közötti (81. a, ábra), míg az AROME 30 és 35 közötti, sőt, helyenként 40 körüli K-indexet prognosztizált az eset szempontjából érdekes régióra (81. b, ábra). Ugyan a hidrosztatikus modell is adott némi labilitást, de a nem-hidrosztatikus még nagyobb labilitással számolt, s végül is ez utóbbi tekinthető a pontosabbnak, mivel a 35-40 közötti KI értékek tükrözték a valóságnak megfelelő 85-100%-os zivatarvalószínűséget (Csirmaz, 2012).



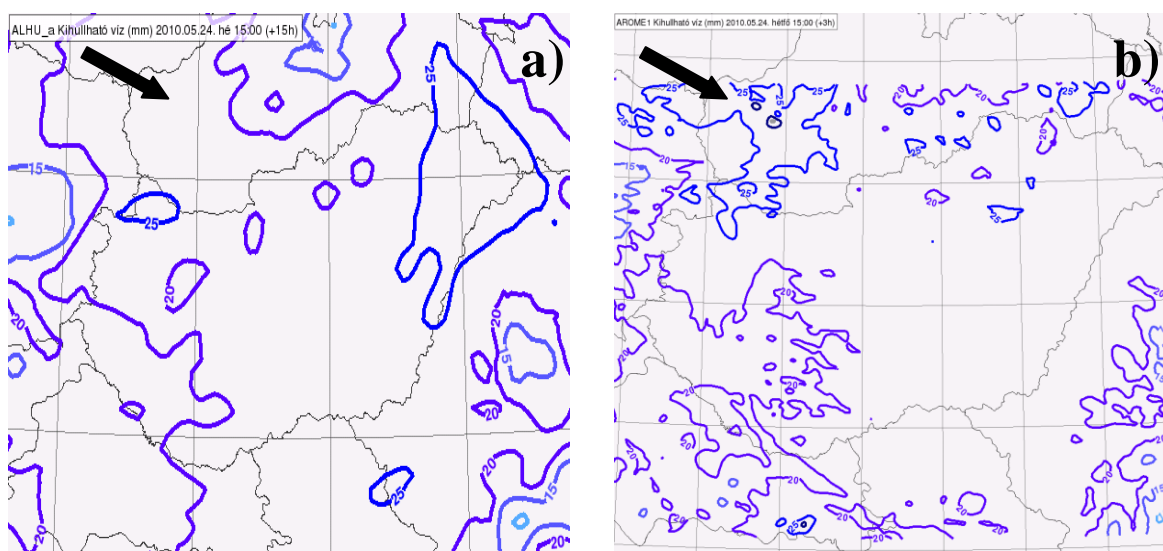
81. ábra. Az ALADIN (a.) és az AROME (b.) modell K-index előrejelzése 2010. 05. 24. 15 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az AROME nem csak labilisabb, de telítettebb légtömeget vázolt fel 05. 24. 15 UTC-re, hiszen az általa előrejelzett telítési index (NI) értékek 10 °C körüliek voltak (82. b, ábra), míg az ALADIN közel 20-as NI értékeket mutatott (82. a, ábra), ami már nem kedvezett volna a szervezett zivatarkepződésnek.



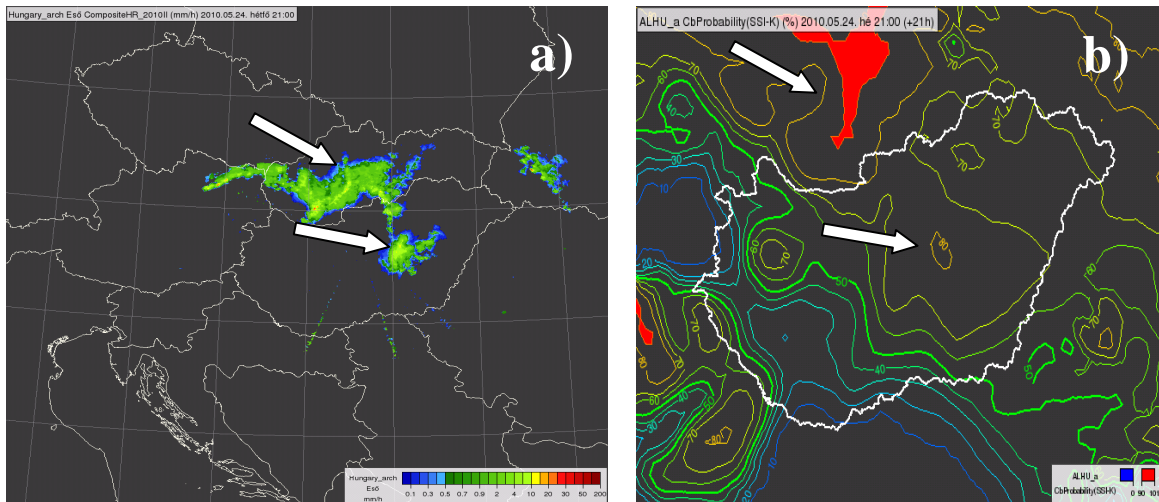
82. ábra. Az ALADIN (a.) és az AROME (b.) modell NI előrejelzése 2010. 05. 24. 15 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

A kihullható vízmennyiség becslésében is a nem-hidrosztatikus modell volt a sikeresebb, hiszen a konvektív rendszer kiindulási helyére 25-30, sőt 35 mm-es értékeket adott (83. b, ábra), ami az ALADIN becslésénél (83. a, ábra) 10 mm-rel több. Tehát az AROME nem csak a kijelölt körzet feletti légoszlop telítettségét, hanem a nedvességtartalmát is jól szimulálta, hiszen a nagy csapadékot produkáló zivatarrendszerekhez szükséges víztartalom jelent meg a mezőben. Az NI-index értékeket és a kihullható víztartalmat együtt tekintve az AROME-ból kiolvasható volt, hogy a nedvességi viszonyok megfelelőek voltak a felhőképződéshez.



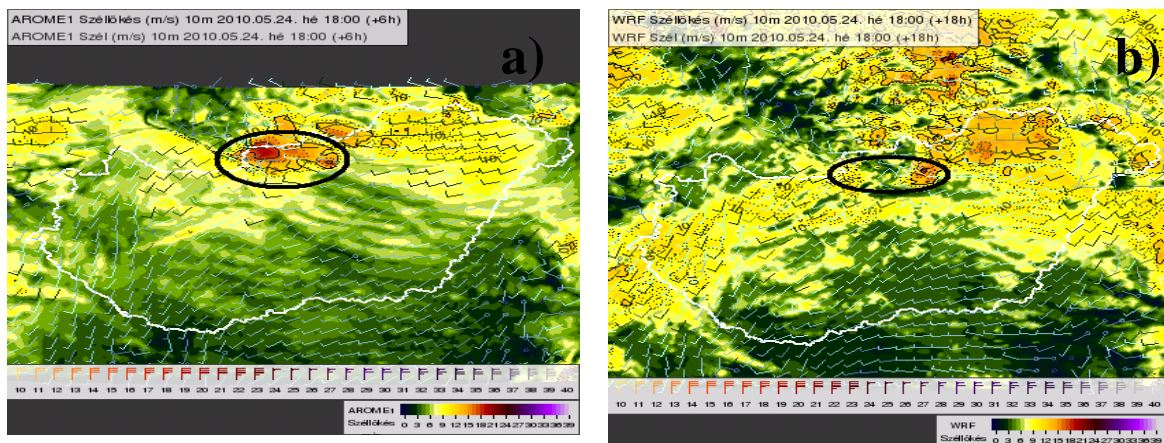
83. ábra. Az ALADIN (a,) és az AROME (b,) modell által előrejelzett kihullható vízmennyiség 2010. 05. 24. 15 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK.

Az ALADIN modellben az SSI és a KI indexből származtatott „Zivatarfelhő valószínűség” (Cb probability) mezők (84., b, ábra) is rendelkezésre álltak, melyeket a radarképekkel történő összehasonlítás során sikeresnek találtam. A nagy reflektivitású csapadékszónák (84., a, ábra) a 80% feletti Cumulonimbus valószínűségi zónában helyezkedtek el. Erre jó példa a 05. 24. 21 UTC-s előrejelzési mező is, amin látható, hogy a nyíllal jelölt fejlett konvektív csapadékmezőket pontosan behatárolta a modell. Annak ellenére, hogy a modell nem képes a vertikális gyorsulásokat közvetlenül szimulálni, és a nedvességi viszonyokat is alábecsülte ebben az esetben, az instabilitási indexek kombinálásából megfelelő becslést adott a zivatarfelhők térbeli eloszlására, igaz, hogy ez egy nyers produktum.



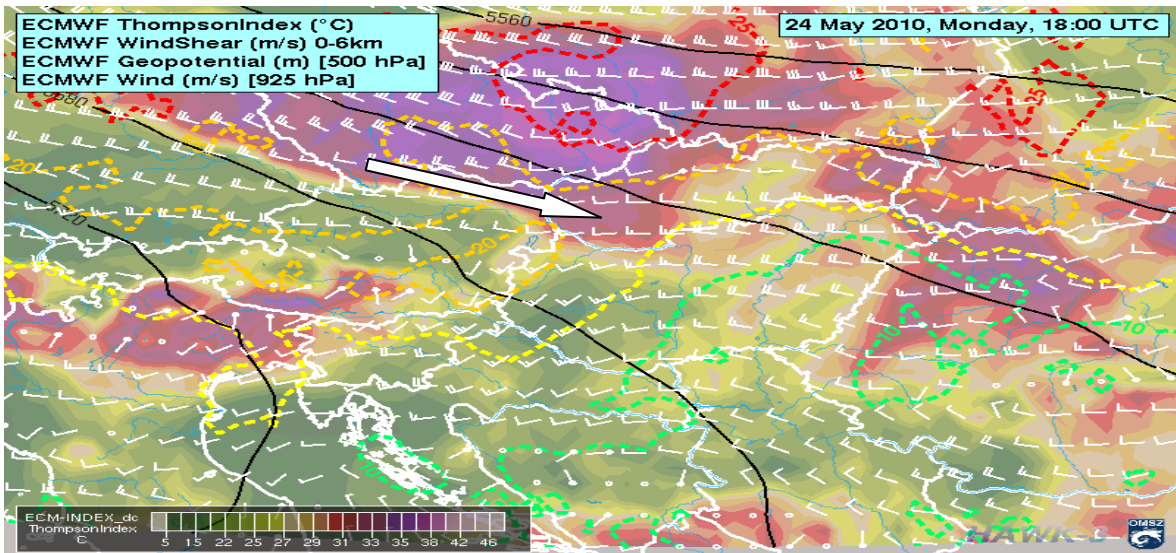
84. ábra. Mezo kivágatú radarkép (a.), és az ALADIN modell „Zivatarfelhő valószínűség” (Cb probability) előrejelzése (b), 2010. 05. 24. 21 UTC-kor. Forrás: OMSZ, HAWK.

A feláramlás által indukált konvergencia szélmező és a konvektív cellákhoz kapcsolódó erős széllokések az AROME és a WRF modellben egyaránt megjelentek, erre láthatunk példát a 05. 24. 18 UTC-s előrejelzésekben (85. ábra).



85. ábra: Az AROME-ból és a WRF-ből nyert 10 m-es szél, széllokés előrejelzés 2010. 05. 24. 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

Az ECMWF 05. 24. 18 UTC-s reanalízise (86. ábra) is azt támasztotta alá, hogy a viharos széllokéseket és a nagy mennyiségű csapadékot produkáló zivatarrendszerek kialakulásához a nagy hidrosztatikai instabilitás járult hozzá, mivel a keletkezési területeken a Thompson Index értéke meghaladta a 35-ös értéket, ami többfelé kialakuló zivatarnak a valószínűségét hordozta magában (Csirmaz, 2012). Az index alapvetően az emelt konvekcióra utal, ezért szoros kapcsolatban van a meleg nedves szállítószalaggal. A 0-6 km-es széllyírás értéke a genezis területén meghaladta a 20 m/s-t, ami szupercellás helyzetre utalt.



86. ábra. ECMWF analízis a 2010. 05. 24. 18 UTC-s időpontra. A fekete vonalak az 500 hPa-os geopotenciál vonalakat jelölik. A nyilak a 925 hPa-os szelet jelölik, a szaggatott színes vonalak a 0-6 km-es szélnyírás mezőit rajzolják ki. A színezés a Thompson értékekre vonatkozó skála szerint értelmezendő. Forrás: OMSZ, HAWK

6.2.1.7. A figyelmeztető előrejelzés

A Repülésmeteorológiai és Veszélyjelző Osztály (RVO) 05. 24-én három alkalommal frissítette a figyelmeztető előrejelzést. A keleti és az északkeleti országrészre elszórtan vártak zivatart 15-30 mm csapadék, 1 cm körüli átmérőjű jégeső és 60-80 km/h-s széllökések kíséretében, kis valószínűséggel északkeleten előforduló heves zivatart is említettek 2 cm körüli átmérővel rendelkező jégesővel és 80 km/h feletti széllökéssel. Az esti órákra az északnyugati országrészre kis eséllyel heves zivatart vártak 90 km/h feletti széllökések, 15-30 mm csapadék és 2 cm körüli vagy afeletti jégátmérő kíséretében. Az éjszakai időszakban az ország északi és keleti felén elszórtan előforduló zivatarokról esett szó az RVO prognózisában.

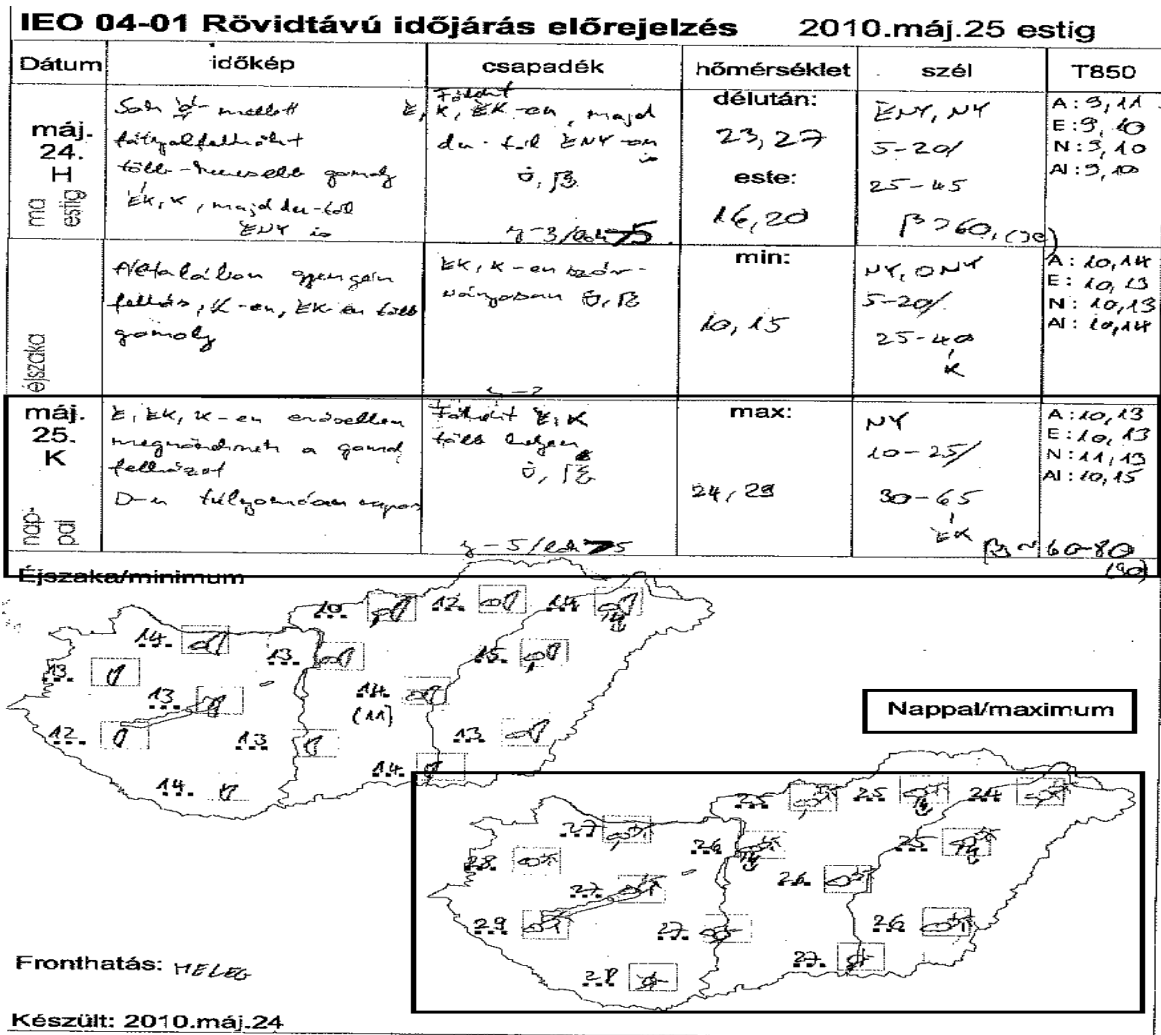
A veszélyjelző szakemberek a nem-hidrosztatikus modellek különböző futásainak áttekintésével, valamint a radar és a villámlokalizációs rendszer képeinek nyomonkövetésével precízebben tudták felvázolni a mezoszinoptikus eseményeket, ezért ha a sodródó konvektív rendszerről nem is tettek említést, de a zivatarok intenzitását és a hozzájuk járuló kísérőjelenségeket pontosabban behatárolták. Talán az északnyugatra várt hevesebb zivatarok említése lehetett egyfajta jele annak, hogy abból az irányból számítottak a veszélyjelzők komolyabb eseményekre, ami utólag helyesnek is bizonyult.

6.2.1.8. Összefoglalás, észrevétel

A május 24-e délutáni és éjszakai időszakban a makroszinoptikus körülmények ugyan nyugodt időjárási helyzetet tükröztek, azonban a nagy hidrosztatikai instabilitás és a szállítószalagon érkező nedves levegő miatt ki tudtak alakulni konvektív cellák, illetve egy mezoléptékű konvektív rendszer is a megfelelő szélnyírási viszonyok miatt. A hidrosztatikus modellek nem termelték ki a zivatarokat, de a nem-hidrosztatikusak azonban mutatták, hogy nagyobb kiterjedésű zivatarrendszer kialakulására is van esély. A szinoptikus a modelleket áttekintve ugyan számított szórványos záporokra, zivatarokra, de mezométerű rendszert nem várt. Azonban azt meg kell jegyezni, hogy még ma sem várható el egy szinoptikustól, hogy rövidtávon előre tudjon jelezni mezométerű rendszereket, ehhez sokkal komplexebb áttekintő munka szükséges, amire jelenleg nincs elég időkapacitás.

6.2.2.1. Az IEO nappali előrejelzése (2010. május 25. 06 UTC – május 26. 00 UTC)

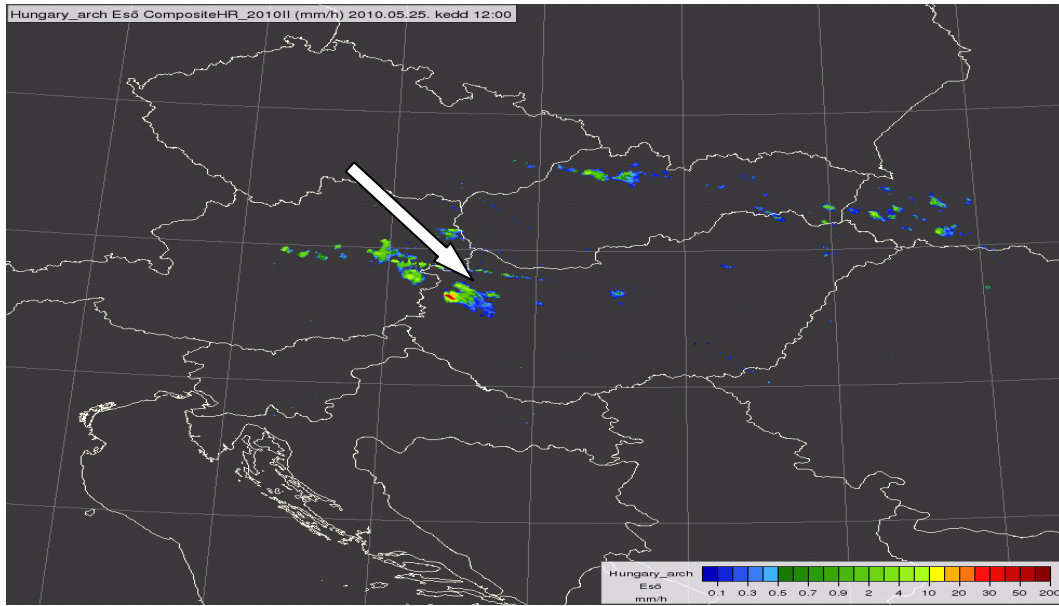
A május 25-re kiadott prognózisban (87. ábra) az ország északi, északkeleti és keleti területeire erősebben megnövekvő gomolyfelhőzet szerepel, a déli országrészre túlnyomóan napos időt várt az előrejelző. A szöveg szerint főként az északi és a keleti tájakon volt várható több helyen záporosó, zivatar, egy-egy zivatarban jégesőre is számított a szinoptikus. A várható lehulló csapadék mennyisége általában nyom és 5 mm közötti volt, de lokálisan több mint 5 mm-nyi csapadékról is szó esett. Élénk, erős, az északkeleti régióban viharos széllokációk számíthatunk a prognózis alapján. Zivatarokhoz kapcsolódóan 60-80, esetenként 90 km/h-s szélrohamokat várt az előrejelző.



87. ábra. Az OMSz-IEO hivatalos rövidtávú szöveges és piktogramos prognózisa 2010. 05. 25. 06 UTC - 05. 26. 00 UTC időszakra (bekeretezett rész). Forrás: OMS-IEO

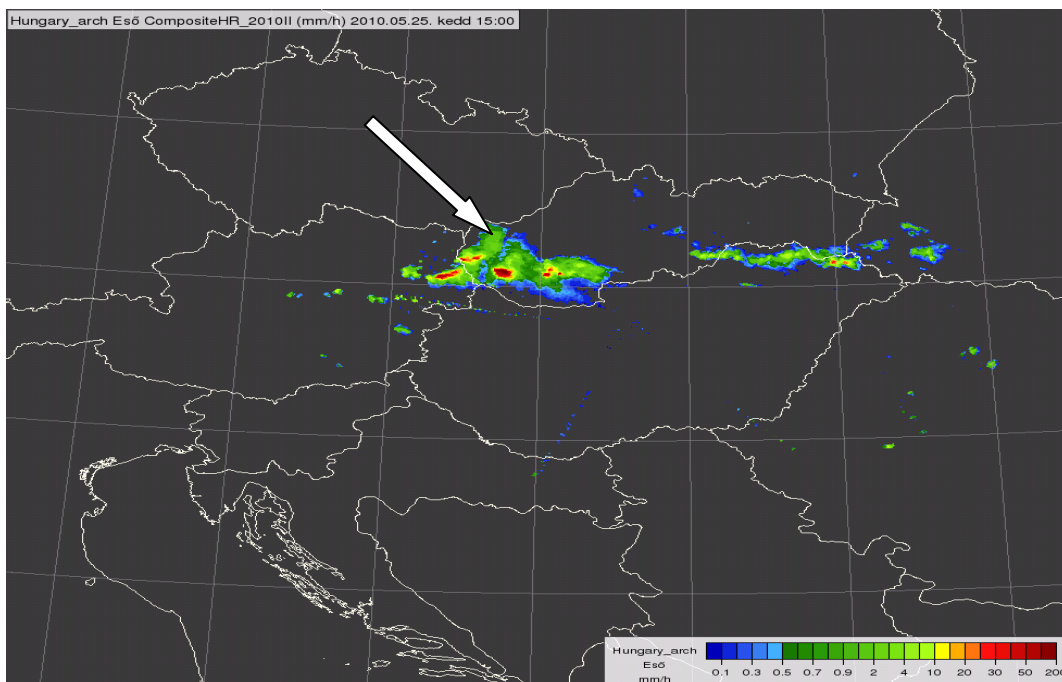
6.2.2.2. Az időjárási események összefoglalása

Május 25-én 12 UTC-kor (88. ábra) az Alpok és a Kárpátok térségében elszórtan alakultak ki konvektív cellák, országhatárainkon belül északnyugaton detektálhattunk egy zivatargócot, emellett az északi részeken egy-egy gyenge záport produkáló cella látható.



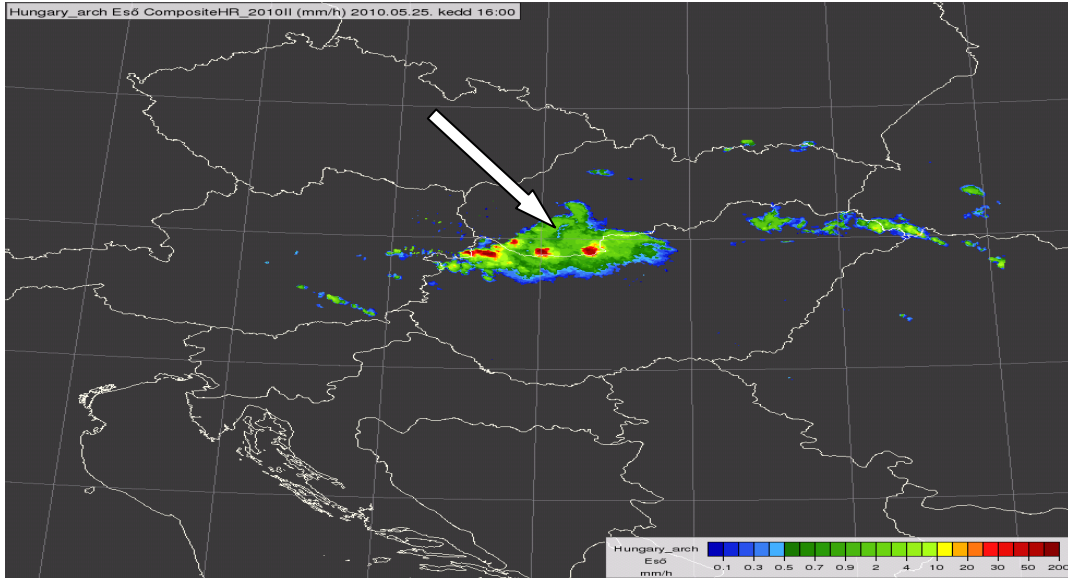
88. ábra. Országos radarkép 2010. 05. 25. 12 UTC-kor. Forrás: OMSZ, HAWK

15 UTC-kor (89. ábra) az északkeleti határainknál egy vonalba rendezett, keskeny csapadéksáv helyezkedett el, illetve Szlovákia nyugati harmadában egy intenzívebb, nagyobb kiterjedésű csapadékszóna látható, amiben nagy reflektivitású gócok azonosíthatóak. A gócok szupercellás jelleget is mutathattak, hiszen a reflektivitásuk meghaladta a 60 dBz-t és a kampós forma is fellelhető többségüknél (*Polyánszky és Horváth, 2007*).



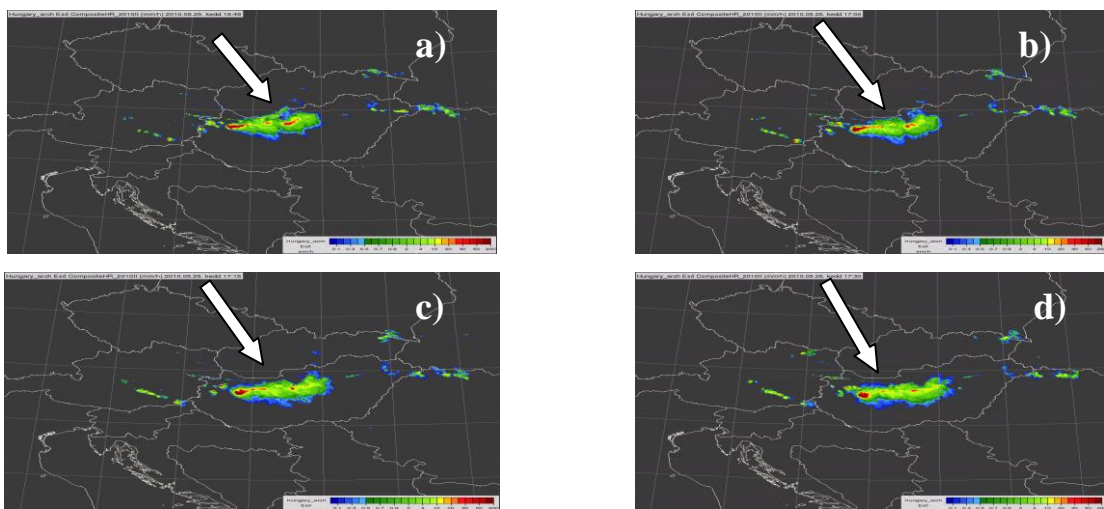
89. ábra. Országos radarkép 2010. 05. 25. 15 UTC-kor. Forrás: OMSZ, HAWK

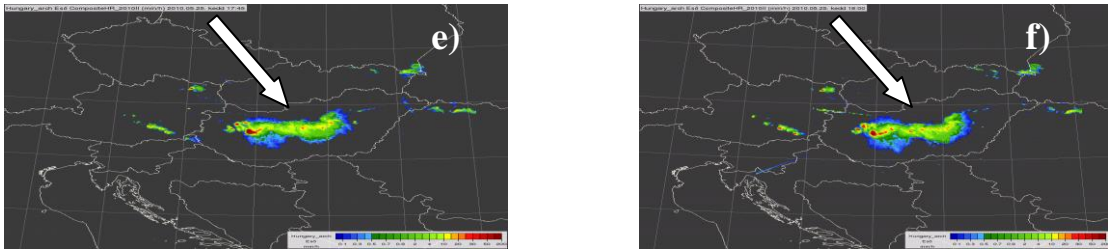
16 UTC-kor (90. ábra) a zivatarzóna már belépett az országba, a három nagyon erős cella közül a bal szélső mutatott leginkább szupercellás jegyeket.



90. ábra. Országos radarkép 2010. 05. 25. 16 UTC-kor. Forrás: OMSZ, HAWK

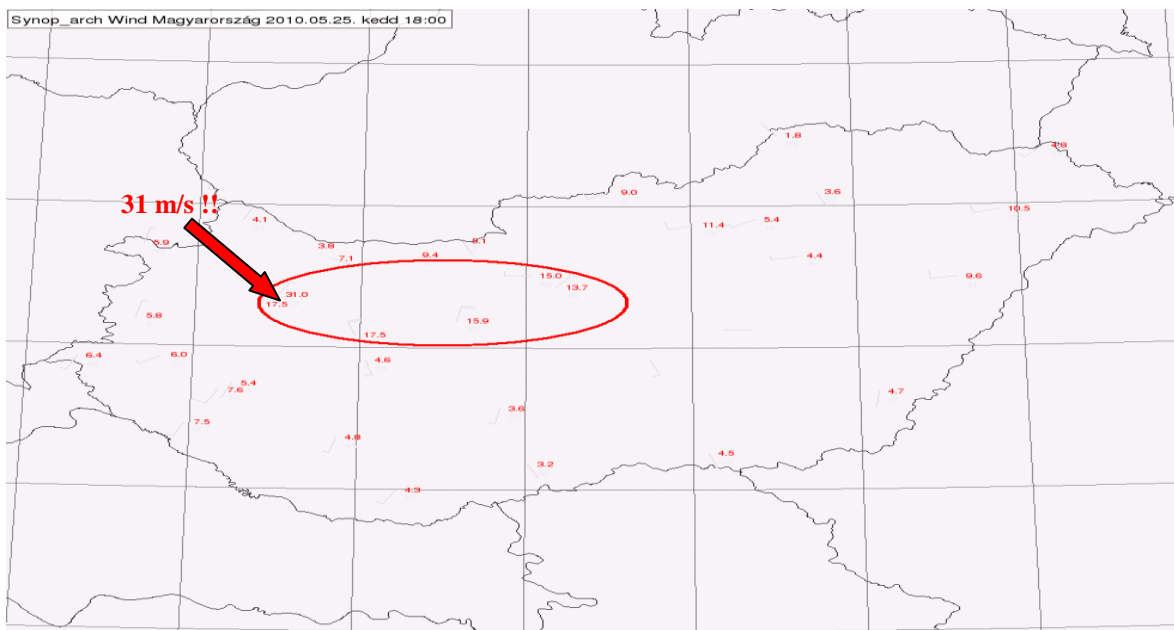
A kisebb kivágatú radarfelvételek (91. a.-f, képek) alapján sejthető, hogy az instabil légköri állapotban trigger hatás miatt bekövetkező „robbanás” eredményeként még az országhatáron kívül szupercellás zivatarrendszer alakult ki. Ez a konvektív rendszer az alapáramlás irányában haladt át az országon északnyugat-délkelet tengellyel. A radarképek sorozatából megállapítható, hogy a szupercellák élettartama körülbelül 2 óra volt, így nem meglepő, hogy az ország nem egy régiójában mértek nagy mennyiségű csapadékot.





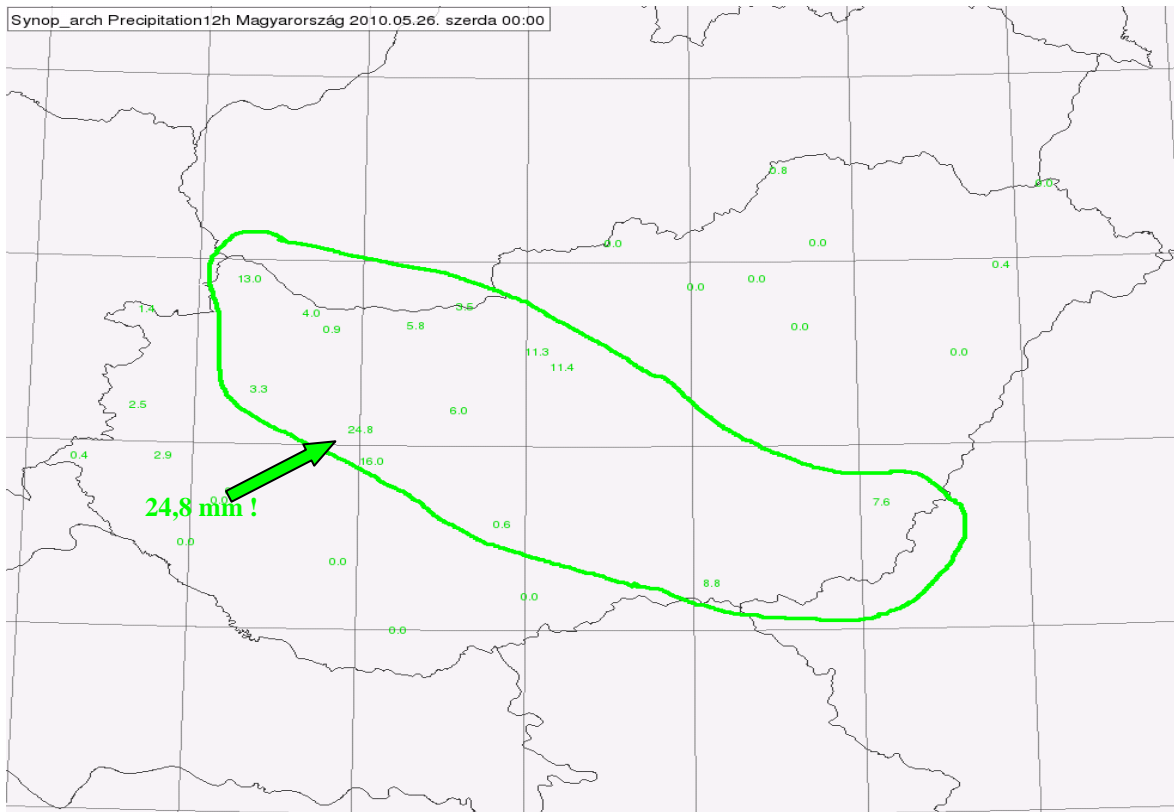
91. ábra. Országos radarkép 2010. 05. 25. 16:45 és 18:00 UTC között. Forrás: OMSZ, HAWK

Az órás szinoptikus jelentésekben megjelenő legerősebb szellőkések eloszlásából az derült ki, hogy az országon átvonuló szupercellákat kis területen 20 m/s-t meghaladó, sőt közel 30 m/s-ot elérő szellőkések kísérték, a cellákban esetleg lehetett orkánerejű szél is, de ez mérési pontot nem érintett. 05. 25. 17 UTC-kor a Dunántúli-középhegység környezetében lévő állomásokról 15-21 m/s-os szellőkésekről érkezett jelentés. 18 UTC-kor az észak-dunántúli régióban általában 15-18 m/s-os lökések voltak a jellemzőek, azonban a pápai reptéren 31 m/s-os, erősen viharos erejű maximális szellőkést regisztráltak (92. ábra). 1 órával később a Balatonnál és Szolnok környékén pusztított a viharos, olykor erősen viharos erejű szél. Késő este (21 UTC) a dél-alföldi régióban fordult elő viharos szellőkés (17 m/s).



92. ábra. 2010. 05. 25. 17:00 és 18:00 UTC között mért legerősebb szellőkések. Forrás: OMSZ, HAWK.

A 05. 25. 12 UTC és 05. 26. 00 UTC között az országon átvonuló mezoléptékű konvektív rendszer az észak-dunántúli és a dél-alföldi régióban okozott 10 mm körüli vagy azt meghaladó mennyiségű csapadékot, de a Dunántúli-középhegységben 20 mm feletti értékeket is mértek (93. ábra).



93. ábra. 2010. 05. 25. 12:00 UTC és 05. 26. 00:00 UTC között lehullott csapadékösszegek. Forrás: OMSZ, HAWK.

6.2.2.3. A nappali prognózis verifikációja

A nappali időszakra vonatkozó verifikációs táblázatból (94. ábra) kiolvasható, hogy a fővárosi, a dél-alföldi és az észak-dunántúli régióra sikerült legkevésbé jól elkészíteni az előrejelzést. Ebben az időintervallumban is a csapadékösszeg és a szélőkés paraméterek prognózisában jelentek meg nagyobb hibák. A legrosszabb előrejelzés a dél-alföldi régióra készült el, hiszen a csapadék mennyisége 10 mm-rel, a maximális szélőkés 5 m/s-mal, a felhőzet 4 oktával lett alábecsülve. A verifikált, hidrosztatikus modellek is rosszul teljesítettek, jelentősen alábecsülték a csapadékösszeget, a szélőkéseket és a borultságot az említett régiókra.

Nappal	Maximum [°C]			Csapadék egz. [0/1]			Csapadékmenny. [mm]			Szélsebesség [m/s]			Széllökés [m/s]			Borultság [okta]			
	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	for.	obs.	err.	
Budapest																			
ieo	26		1	1		0	2		-3	5		2	14		-4	3,0-4,5			-0,5
ecmwf	24	24,8	-1	1	1	0	2	14,66	-3	4	2,5	1	13	18,3	-5	2,0-3,0	5,0		-2,0
aladin	24		-1	1		0	3	(5)	-2	3		0	11		-7	2,0-3,0			-2,0
Miskolc																			
ieo	25		3	1		0	2		0	5		2	15		3	3,0-4,5			0,0
ecmwf	22	22,5	0	1	1	0	2	1,75	0	5	3,2	2	15	12,5	3	2,0-3,0	3,2		-0,2
aladin	21		-1	1		0	3	(2)	1	4		1	11		-1	3,0-4,5			0,0
Debrecen																			
ieo	25		1	1		0	2		-1	5		1	14		1	3,0-4,5			-0,4
ecmwf	24	24,1	0	1	1	0	2	2,06	-1	5	3,5	1	15	13,3	2	2,0-3,0	4,9		-1,9
aladin	24		0	1		0	3	(3)	0	4		0	12		-1	3,0-4,5			-0,4
Szeged																			
ieo	27		1	1		0	1		-4	4		1	11		-5	1,0-2,0			-3,7
ecmwf	25	26,4	-1	1	1	0	2	10,50	-3	4	2,7	1	11	15,8	-5	2,0-3,0	5,7		-2,7
aladin	25		-1	1		0	2	(5)	-3	4		1	12		-4	1,0-2,0			-3,7
Taszár																			
ieo	28		0	1		0	1		-2	3		1	9		-2	1,0-2,0			-1,5
ecmwf	26	27,5	-2	1	1	0	2	2,23	-1	3	2,3	1	10	10,9	-1	2,0-3,0	3,5		-0,5
aladin	26		-2	0		1	0	(3)	-3	4		2	11		0	0,0-1,0			-2,5
Pápa																			
ieo	27		1	1		0	2		-2	4		2	11		-3	2,0-3,0			-0,4
ecmwf	25	26,0	-1	1	1	0	2	7,66	-2	3	2,1	1	10	14,0	-4	2,0-3,0	3,4		-0,4
aladin	25		-1	1		0	2	(4)	-2	2		0	7		-7	2,0-3,2			-0,2

94. ábra: Verifikációs táblázat az éjszakai (2010. 05. 25. 06 UTC-05. 26. 00 UTC) időszakra vonatkozóan.

Forrás: OMSz-IEO.

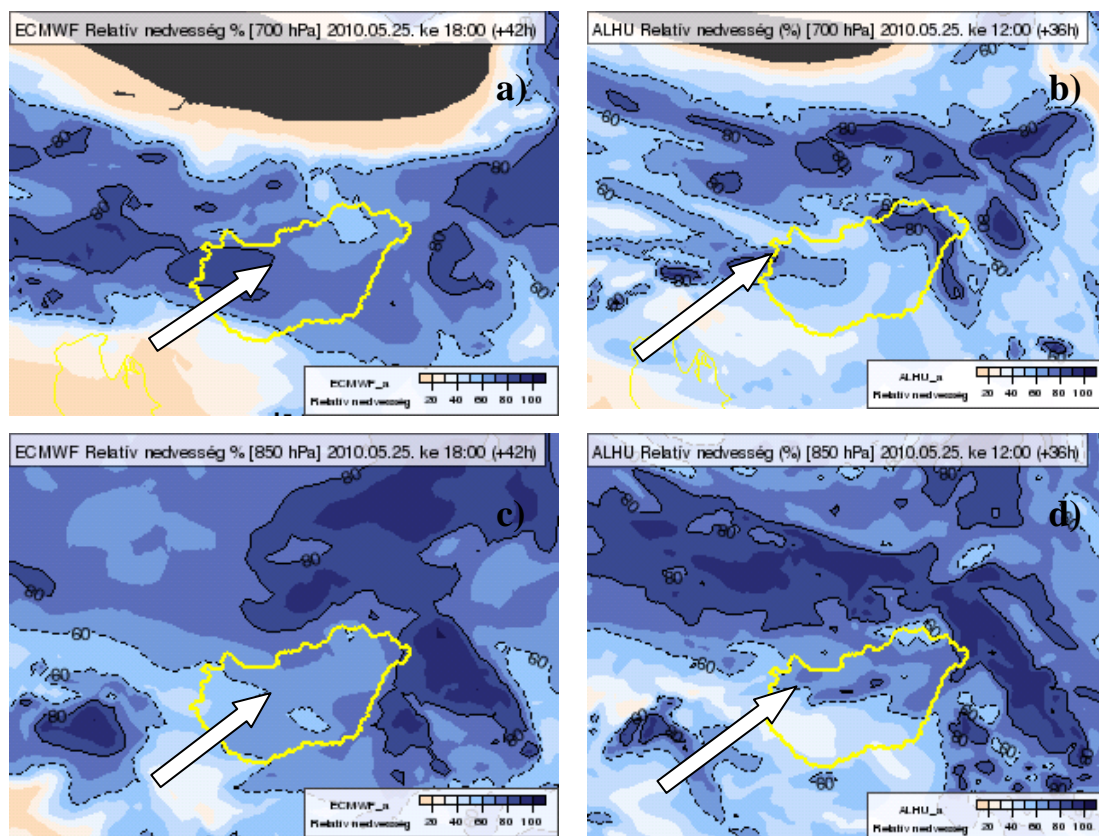
Az előrejelző munkájának beválása 74,0%, az ALADIN prognózisának komplex mutatója 75,4%, az ECMWF modell beválása 78,1% volt. A szinoptikus kissé rontott a modellekhez képest, de alapvetően a modellek sem adtak megfelelő előrejelzést, mivel nem szimuláltak megfelelően az időjárási folyamatokat.

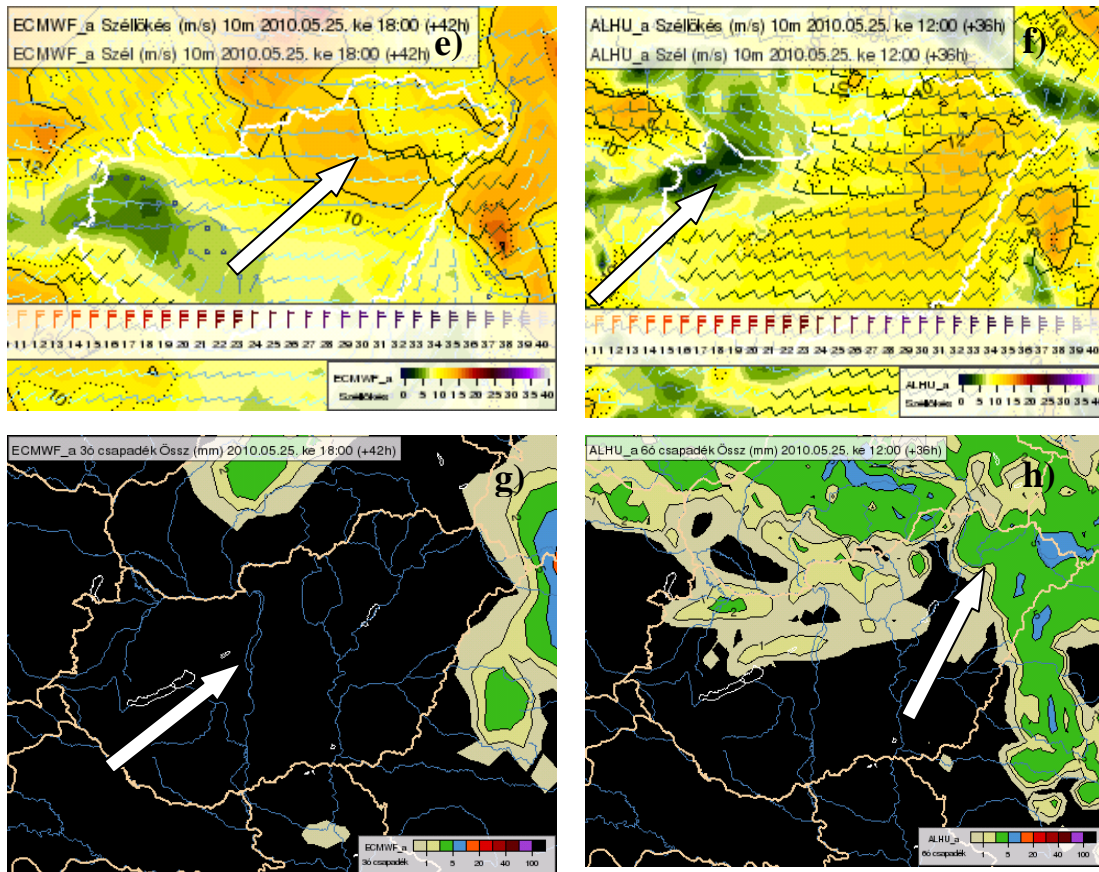
6.2.2.4. A hidrosztatikus modellek előrejelzései

Az ECMWF modell különböző nyomási szintekre (500, 700, 850, 925 hPa) vonatkozó relatív nedvességi mezők ezúttal sem tükrözték a valóságot, a mezoléptékű rendszer nem jelent meg bennük, a 18 UTC-s 700 hPa-os és a 850 hPa-os mezők is ezt a megállapítást erősítették meg (95. a, és c, ábra). Az előrejelzett csapadékösszegek csupán 1-2 mm között alakultak, de egzisztencia szempontjából az előző délutáni és éjszakai időszakhoz képest jobb volt a modell, mivel az ország teljes egészére mutatott csapadékot. Azonban a 18 UTC-s előrejelzés szerint nem hullott csapadék az országban 15 és 18 UTC között, pedig ekkor már az országon vonult át a szupercellás zivatarrendszer (95. g, ábra). A lokális, nagy csapadékösszegek, illetve a besodródó, nagy kiterjedésű konvektív csapadékrendszer nem jelent meg az előrejelzési mezőkben. A széllökések előrejelzése sem sikerült a modell számára, hiszen az általa nem látott konvektív rendszerekből származó széllökéseket természetesen nem tudta kimutatni, illetve a keleti országrészre túlbecsülte a gradiens széllökéseket (95. e, ábra), bár az utóbbi tévedés nem jelentős.

Az ALADIN modell relatív nedvességi mezői ebben az időszakban valamelyest tükrözték a valóságot, hiszen az ország északkeleti részére nagyobb telítettségi értékeket mutattak, ám a többi régióra továbbra is alacsony értékek adódtak (95. b, és d, ábra). A csapadék előrejelzést tekintve nem álltak rendelkezésemre részletes adatok, mivel a lekért futtatás előrejelzési intervalluma nem ölelte fel a 05. 25. 12 UTC és 05. 26. 00 UTC közötti időszakot, ám a verifikációs táblázatból kiderült, hogy az északkeleti régiókra vonatkozó mennyiségi előrejelzés jól sikerült a modell számára, amit a 12 UTC-s mező is alátámasztott (95. h, ábra). Azonban az ország többi részére vonatkozóan, ahol a szupercellás zivatarok átvonultak, jelentős hibát produkált a modell. Az ALADIN alapján ugyan várható a szinoptikus kiterjedt csapadékrendszer, ám ezt csak az ország egy-két régiójára. A szellőkések előrejelzése a mezoléptékű rendszerek által érintett területeken kudarcba fulladt, most is csak a nagy térségű áramlást volt képes a modell szimulálni. A 12 UTC-kor az ország északnyugati részén kialakult zivatarokhoz köthető szellőkések nem jelentek meg az előrejelzésben (95. f, ábra).

Összességében megállapítható, hogy a hidrosztatikus modellek a hidrosztatikai instabilitásból eredő konvektív eseményeket egyáltalán nem tudták közvetlenül kimutatni ebben az esetben sem, ezért a felhőzet és a csapadék előrejelzésében ismét jelentős hibák következtek be.





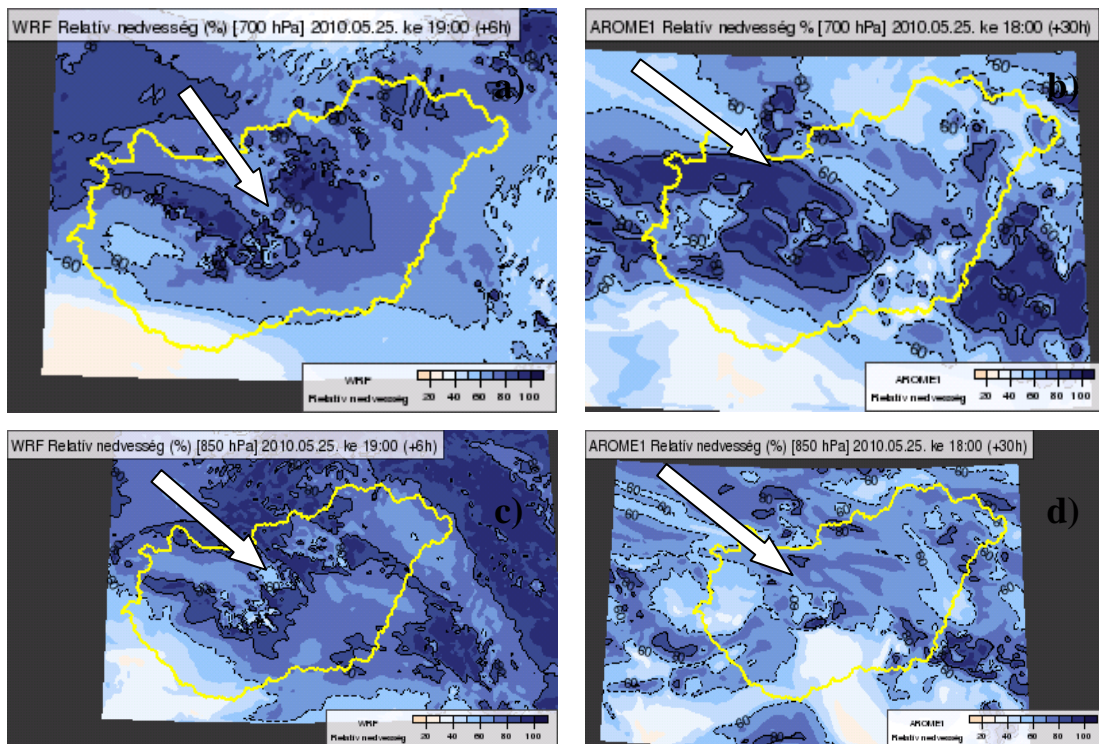
95. ábra. Az ECMWF-ből nyert 700 hPa-os (a,) és 850 hPa-os (c,) relatív nedvesség, 10 m-es szél és szellőkés (e,) valamint 3 órás csapadékösszeg (g,) előrejelzés 05. 25. 18 UTC-re vonatkozóan. Az ALADIN-ből nyert 700 hPa-os (b,) és 850 hPa-os (d,) relatív nedvesség, 10 m-es szél és szellőkés (f,) valamint 3 órás csapadékösszeg (h,) előrejelzés 05. 25. 12 UTC-re vonatkozóan. Forrás: OMSZ, HAWK

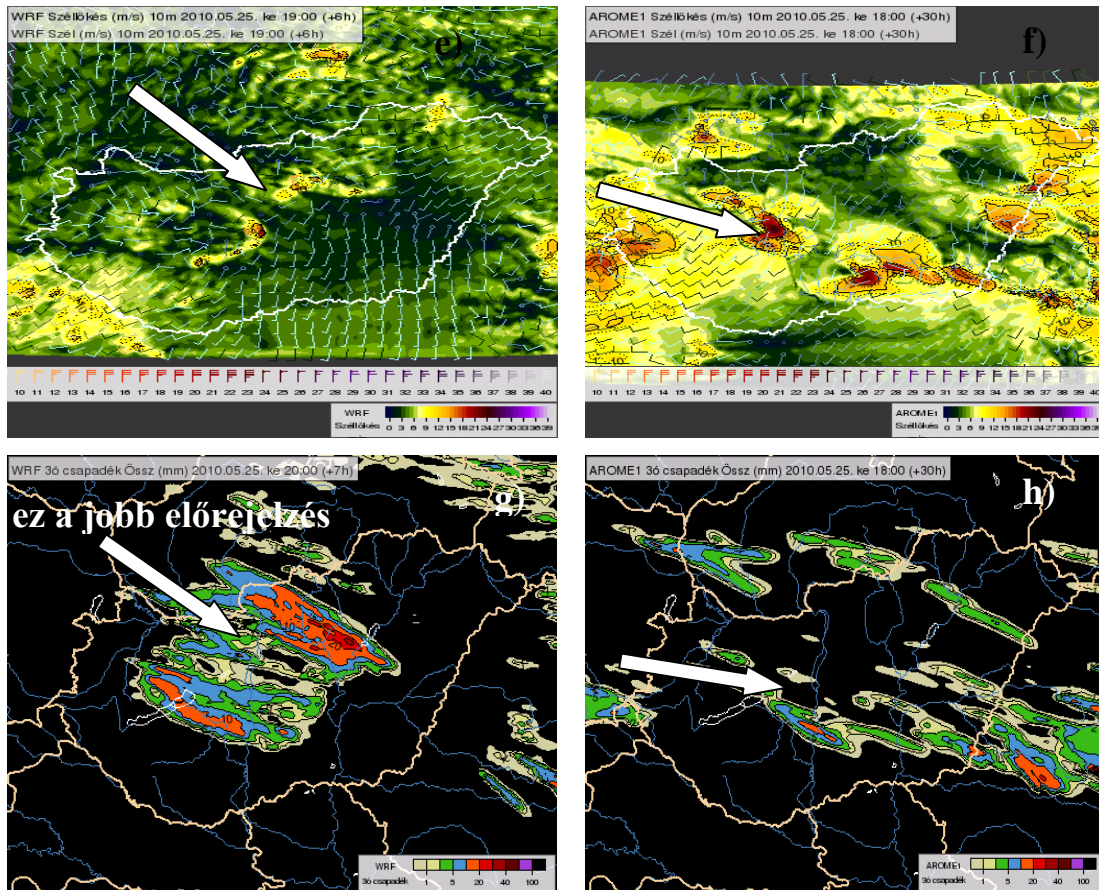
6.2.2.5. A nem-hidrosztatikus modellek előrejelzései

A WRF relatív nedvességi mezőiből egyértelműen kiderült, hogy konvektív jellegű felhőzetre számíthatunk 05. 25. délutánján. Csoportokba rendeződve helyezkedtek el a nagy telítettségű zónák, vagyis gomolyfelhőkre és záporos csapadéokra következtethetett az előrejelző, sőt arra utaló jelek is felmerültek a mezőket áttekintve, hogy esetleg rendezett struktúrába szerveződnek az izolált cellák (96. a, és c, ábra). Megállapítható, hogy a modell dinamikai szempontból megfelelően termelte ki a konvektív felhőket és a csapadékat. A hiba a hidrosztatikus modellekhez képest elenyésző volt, hiszen csak térbeli és időbeli tévedések akadtak a mezőkben. Egy-egy csapadékgócból 10-15 mm csapadékat számolt a modell, amit egy tipikus zivatar cella ki is tud termelni a tavaszi időszakban. A maximális radar reflektivitást vizsgálva a modell a 15 UTC-s időpontban még nem termelte ki a három szupercellát, aztán 16 UTC-kor már kialakította az egyik cellát, de ez a valóságos

rendszernek még csak a bal oldali széle volt. 18 UTC-kor még mindig csak a rendszer nyugati egyharmadát látta. Ám 19 UTC-re már a teljes mezoléptékű rendszert felépítette, ami a 20 UTC-s 3 órás csapadékösszegre vonatkozó előrejelzés is alátámasztja (96. g, ábra). Másfél óras késéssel mutatta a szupercellás zivatarrendszer pontos helyzetét, de azt manapság nem is várhatjuk el még egy nem-hidrosztatikus modelltől sem, hogy mind térben és időben pontosan építsen fel egy zivatarfelhőt. A felszíni szélmező előrejelzése megfelelő volt, hiszen a zivatarok alapjához konvergens áramlási struktúrát társított, illetve megjelent a zivataros kifutószél is. Az látható a 19 UTC-s előrejelzésen is (96. e, ábra), hogy a zivatarok környezetében viharossá fokozódik a szél (18-20 m/s).

Az AROME modell a nappali és esti időszakra izolált felhőcsoportokat mutatott, felhőrendszert nem termelt ki, ami a telítettségi mezőkből is kiderült (96. b, és d, ábra). A 15 UTC-s csapadék-előrejelzés alapján egy-két cellát várhatott a szinoptikus. A 18 UTC-s mezőben a mezoléptékű konvektív rendszer nem jelent meg, csupán néhány pontszerűen elhelyezkedő csapadékgóc 10-15 mm körüli órás csapadékhozammal (96. h, ábra). A kitermelt zivatarokhoz jelentősen túlbecsült maximális szélökéseket rendelt hozzá, 20-25 m/s-os, a ténylegesnél 10 m/s-mal magasabb értékek jelentek meg (96. f, ábra). Ennek a konvektív helyzetnek a közvetlen előrejelzése nem sikerült jól a modellnek, de a hidrosztatikai instabilitás feltételeit megfelelően tükrözték a későbbiekben bemutatott mezői.



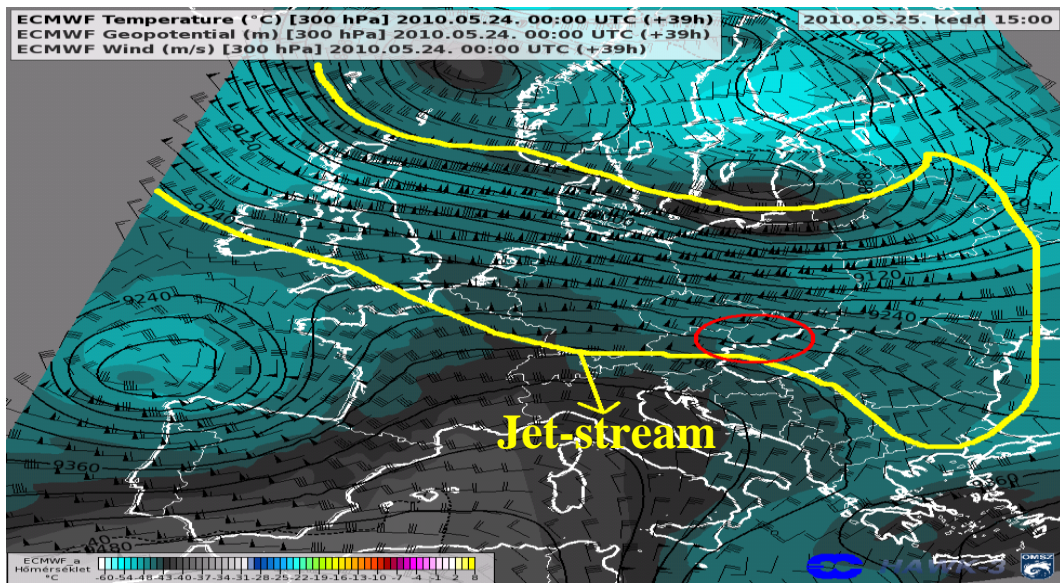


96. ábra. A WRF-ből nyert 700 hPa-os (a,) és 850 hPa-os (c,) relatív nedvesség, 10 m-es szél és széllökés (e,) előrejelzés 05. 25. 19 UTC-re, valamint 3 órás csapadékösszeg (g,) előrejelzés 05. 25. 20 UTC-re vonatkozóan. Az AROME-ből nyert 700 hPa-os (b,) és 850 hPa-os (d,) relatív nedvesség, 10 m-es szél és széllökés (f,) valamint 3 órás csapadékösszeg (h,) előrejelzés 05. 25. 18 UTC-re vonatkozóan. Forrás: OMSZ, HAWK.

6.2.2.6. Szinoptikus elemzés

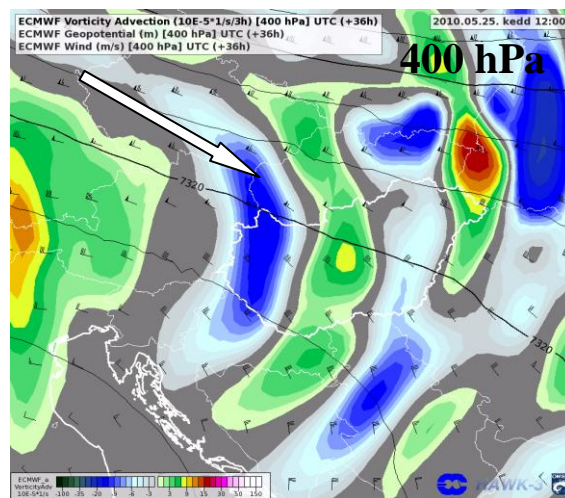
a, Nagytérségű, kvázi-geosztrófikus folyamatok

A makroszinoptikus helyzetben 05. 25. 15 UTC-ig nem történt számottevő változás Európa területén. Továbbra is a Brit-szigetektől egészen a Fekete-tenger térségéig húzódó, 300 hPa-on analizált jet-stream jobb kilépő ágán helyezkedett el a vizsgált terület, ahol a tanulmány szempontjából lényeges szupercellák alakultak ki (97. ábra). Az izohipszák anticiklonális görbülettel rendelkeztek, illetve itt a szélmező sebességi konvergenciáról árulkodott, amelyekből következik, hogy a nagytérségű leáramlások domináltak ebben az időszakban is.



97. ábra: Az ECMWF modellből nyert 300 hPa-os geopotenciál és szél mező előrejelzés (2010. 05. 25. kedd 15 UTC). Forrás: OMSZ, HAWK

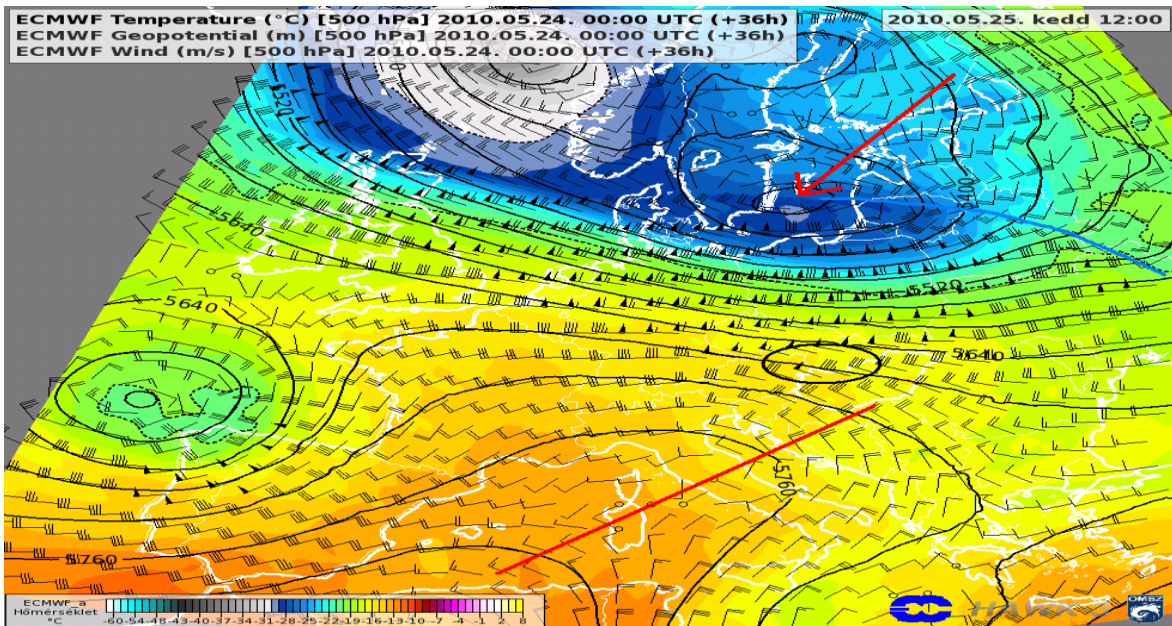
A szignifikáns pozitív örvényességi mezők ezúttal is Európa északi részén helyezkedtek el a jet bal kilépő oldalán, a futóáramlás jobb oldalán a fizikai törvényszerűségeknek megfelelően nagy területen negatív örvényességi advekció zajlott. A vizsgálat tárgyát képező régióban a zivatarok kialakulásának idején az örvényességi advekció negatív volt (98. ábra), így nagy térségű emelést ez a dinamikai tag nem eredményezhetett.



98. ábra: Az ECMWF modellből nyert 400 hPa-os örvényességi advekció, geopotenciál és szélmező előrejelzés 05. 25. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

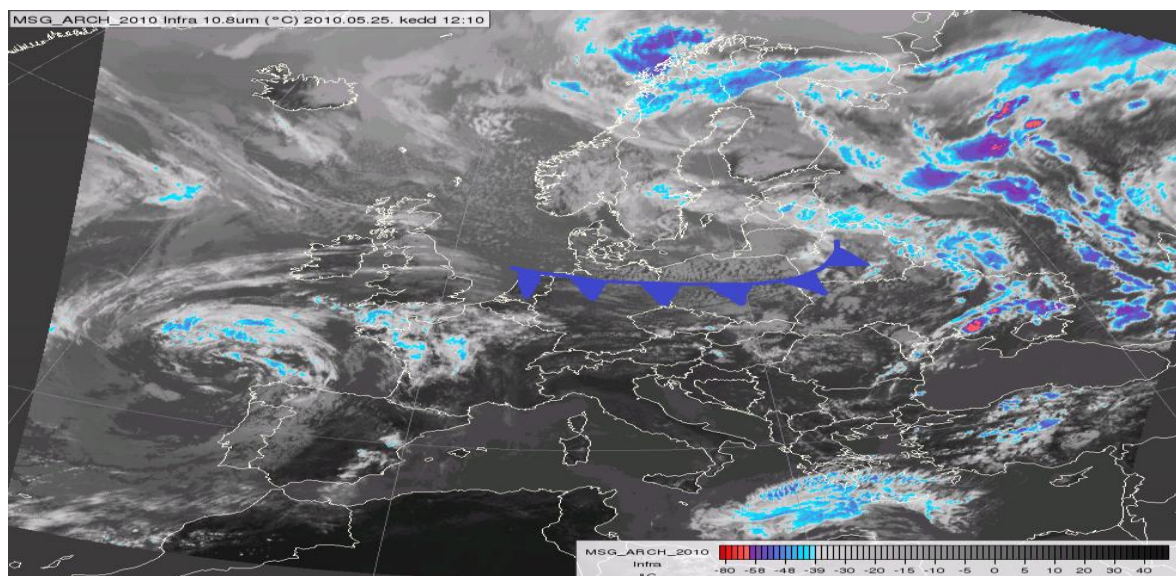
500 hPa-on Skandinávia felett egy markáns hidegcsepp és a hozzá tartozó teknő helyezkedett el (99. ábra, piros nyíl és kék vonal), miközben délnyugat felől egy magassági

gerinc húzódott a Kárpát-medencéig (99. ábra, piros vonal). A két bárikus konfiguráció között erős zonális áramlás uralkodott, 10-15 m/s-os volt a szélnyírás.

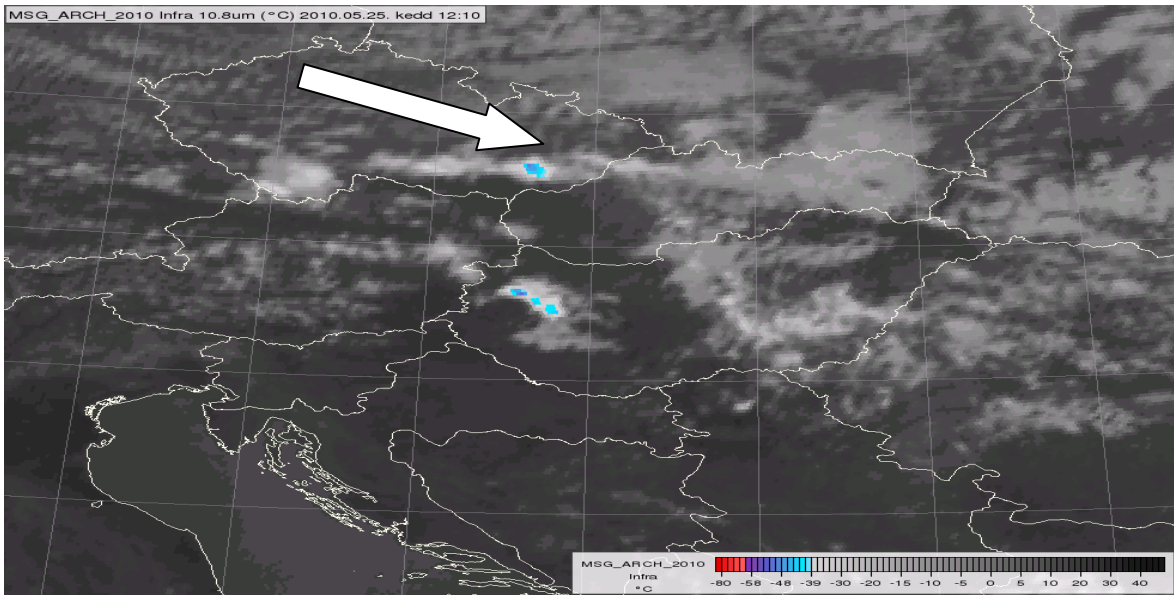


99. ábra. Az ECMWF modellből nyert 500 hPa-os hőmérsékleti, geopotenciál és szélmező előrejelzés 05. 25. 12 UTC időpontban. Forrás: OMSZ, HAWK

Az infra tartományban készült műholdképen (100. ábra) látható, hogy a teknő mentén sok a felhő. A gerinc előoldalán, a Földközi-tenger középső medencéjében azonban alig volt felhő, hiszen itt a leszálló légmozgások domináltak. A nyugati partvidék és Franciaország felett egy ciklon felhőrendszere analizálható. A közép-európai kivágatú műholdképen (101. ábra) egy, a Csehországot és Szlovákiát átszelő keskeny felhősáv látható (nyíl mutatja), amiből aztán a prognózis bevalását elrontó mezoléptékű rendszer alakult ki.



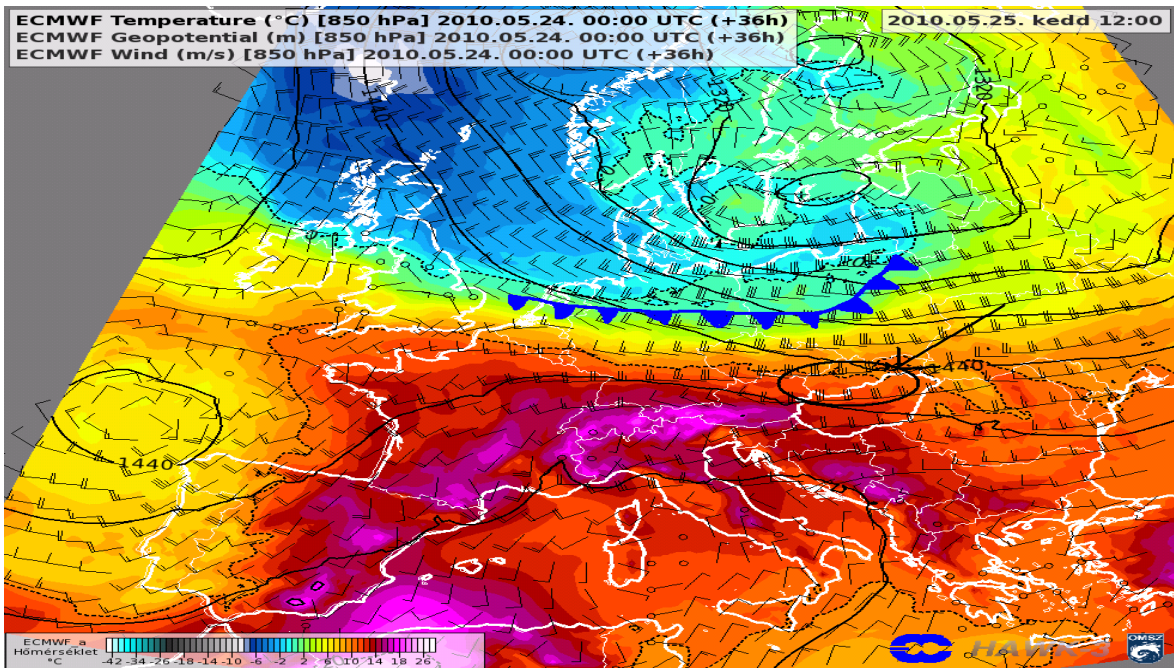
100. ábra. Infravörös tartományban készült európai kivágatú MSG műholdkép (2010. 05. 25. kedd 12.10 UTC). Forrás: OMSZ, HAWK



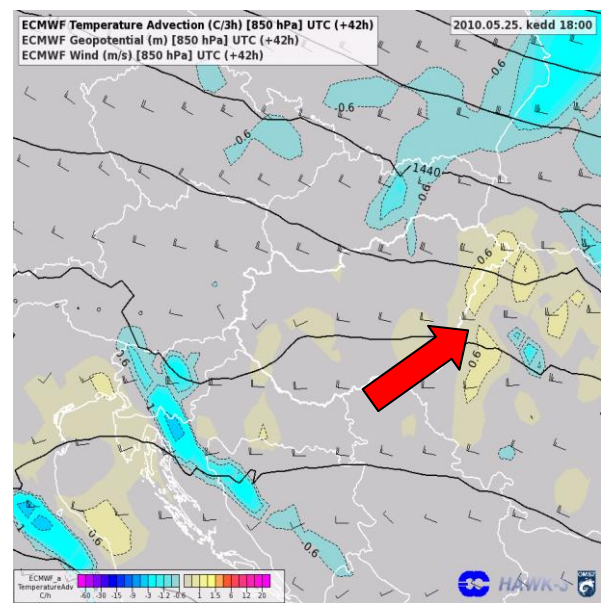
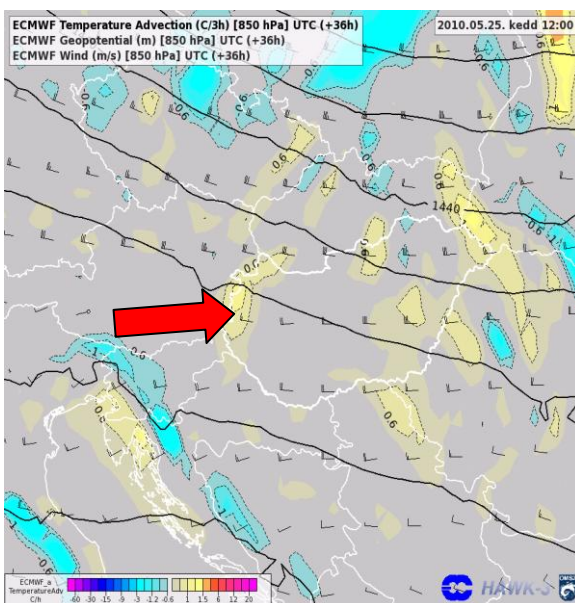
101. ábra. Infravörös tartományban készült közép-európai kivágatú MSG műholdkép (2010. 05. 25. kedd 12.10 UTC). Forrás: OMSZ, HAWK

b, Frontális folyamatok

A polárfront (*Rákóczi és Götz, 1981*) alig mozdult el, továbbra is a Brit-szigetektől egészen Ukrajnáig húzódott, a vonalát a markáns szélmező és a légtömeghatárok rajzolják ki (102. ábra). A zivatarképződés szempontjából érdekes terület a polárfront előoldalán helyezkedett el, ahová 850 hPa-on eleinte nyugat, délnyugat felől meleg levegő áramlott (103. ábra), s az itt végbemenő melegadvекció párosulva a nedves szállítószalaggal, kedvező feltételeket alakítottak ki a az eset szempontjából legfontosabb tényezőhöz, a légköri instabilitáshoz, ami az erős szélnyírással párosulva intenzív, rendezett konvekciót eredményezhetett. Ezek mellett hozzájárult a szervezett konvektív folyamatokhoz az 102. ábrán feltüntetett hidegfront is, melynek nyomában érkező hidegebb levegő jelentős triggerként viselkedett.

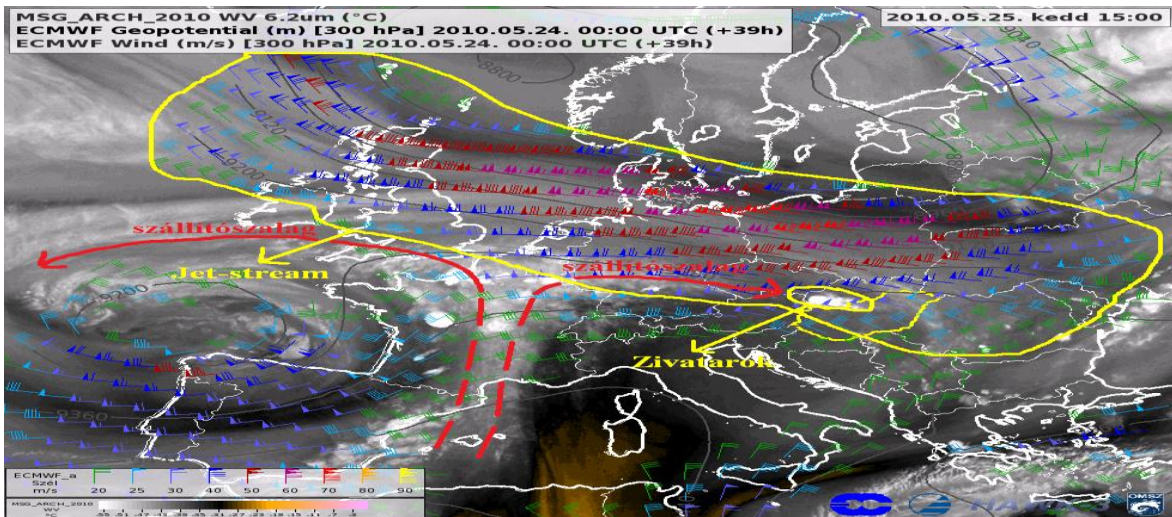


102. ábra. Az ECMWF modellből nyert 850 hPa-os hőmérsékleti, geopotenciál és szélmező előrejelzés 05. 25. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK



103. ábra. Az ECMWF modellből nyert 850 hPa-os hőmérsékleti advekció, geopotenciál és szélmező előrejelzés 05. 25. 12 UTC-re, illetve 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

A kontinens nyugati partjainál örvénylő ciklon, a vízgőz tartományban készült műholdkép alapján, nagy mennyiségű vízgőzt szállított Franciaország területére, ahonnan szállítószalagon jutott el a mezoléptékű rendszer kialakulásának helyszínére a nedves levegő (104. ábra).



104. ábra: Az ECMWF modellből nyert 300 hPa-os geopotenciál és szél mező előrejelzés és a vízgőztartományban készült MSG műholdkép analízis (2010. 05. 25. kedd 15 UTC). Forrás: OMSZ, HAWK

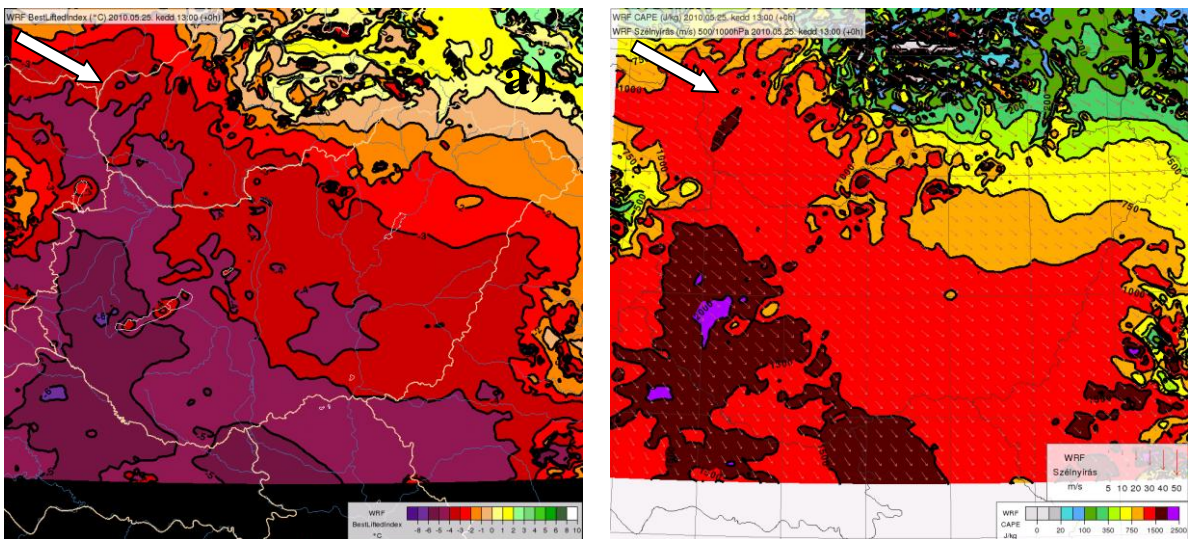
Tehát összességében elmondható, hogy szinoptikus skálán felhőoszlató, szárító hatású léghámlások uralkodtak a kijelölt területen, azonban a meleg és nedves levegő hatására, a hidrosztatikailag instabil állapotú légtömeget kimozdította egyensúlyából az említett súroló hidegfront, ezért mégis ki tudtak alakulni zivatarok, melyek az erős szélnyírás miatt szupercellává fejlődtek, s az országba belépve nagy mennyiségű csapadékot produkáltak.

c, Mezoléptékű folyamatok

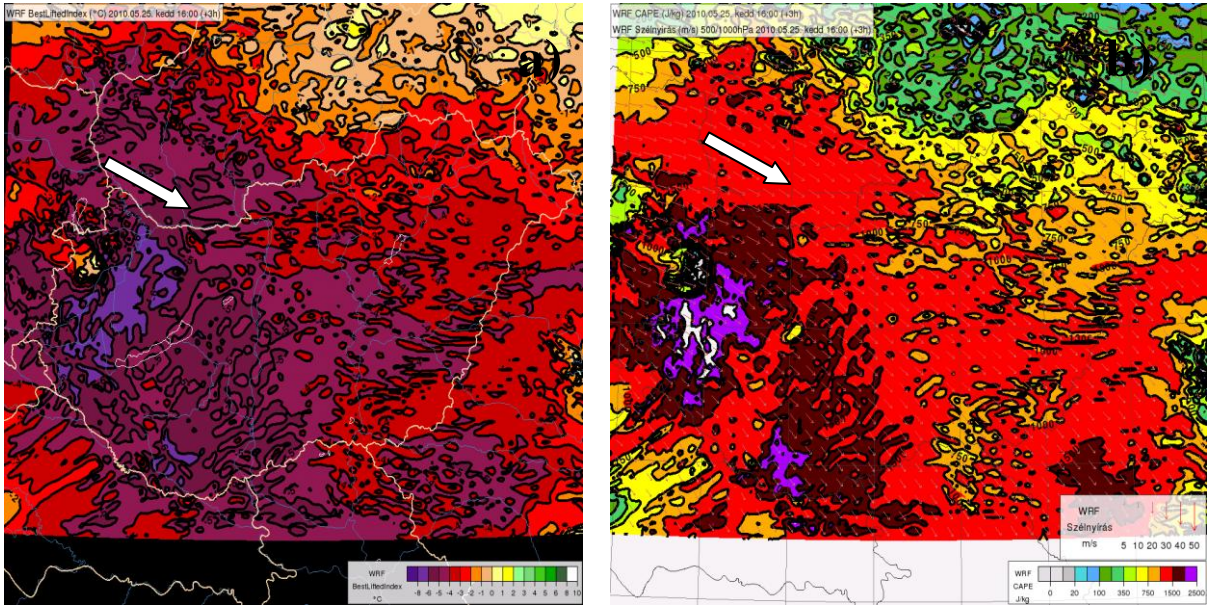
A mezoléptékű folyamatok kialakulásához a nagy hidrosztatikai instabilitás és annak egyensúlyát felborító hidegfront járult hozzá jelentős mértékben. A már kifejlődött cellák további alakulását az erős szélnyírás irányította, melynek eredményeképpen szupercellává fejlődtek a zivatargóccok. Az eredményes prognózishoz ebben az esetben is feltétlenül szükséges áttekinteni az instabilitási indexekre és a 0-6 km-es szélnyírásra vonatkozó előrejelzést.

A zivatarcellák kialakulásakor, 05. 25. 13 UTC-kor a kiemelt térségben, Csehország és Szlovákia határán -3 és -4 közötti Best Lifted Index értékeket mutatott a WRF modell (105. a, ábra), ami labilis légrétegzettségéről árulkodott, ez alapján szintén zivatarok kialakulását várhatta a szinoptikus. Az 1000 J/kg körüli CAPE értékek is alátámasztották a nagymértékű labilitást, kellő mennyiségű emelési energia állt rendelkezésre a légkörben (105. b, ábra). A konvektív gátlás minimális, 10 J/kg volt, tehát még trigger hatás nélkül is létrejöhetnek a gomolyfelhők, a szabad konvekciós folyamatok a talajról indulhattak. Az 500/1000 hPa-os (kb. 0-6 km-es) szélnyírás elérte a 30 m/s-ot, ami alapján döntően

szupercellás zivatarok kialakulását lehetett feltételezni (105. b, ábra). A WRF 16 UTC-s előrejelzése (106. a, ábra) azt mutatta, hogy Szlovákia nyugati harmadán és Magyarország nyugati felén a BLI értékek nagy területen -6 alattiak voltak, ami extrém labilis légállapotot tükrözött, ebben az esetben nagyon heves zivatarok kialakulására is számítani lehetett. Ezzel párhuzamosan a CAPE értékei 1500 és 2000 J/kg között váltakoztak a Dunántúlon a 16 UTC-s előrejelzési mezőben (106. b, ábra), ami szintén nagy labilitásra utalt. Feltételezhető, hogy az északról súroló hidegfront előterében zajló erős meleg advekciónak következtében jelentek meg extrém instabil állapotot prezentáló index értékek. Utólag vizsgálva tehát nem is meglepő, hogy a mezoléptékű rendszer nyugati fele volt az intenzívebb, hiszen ott voltak a legnagyobb instabilitások.



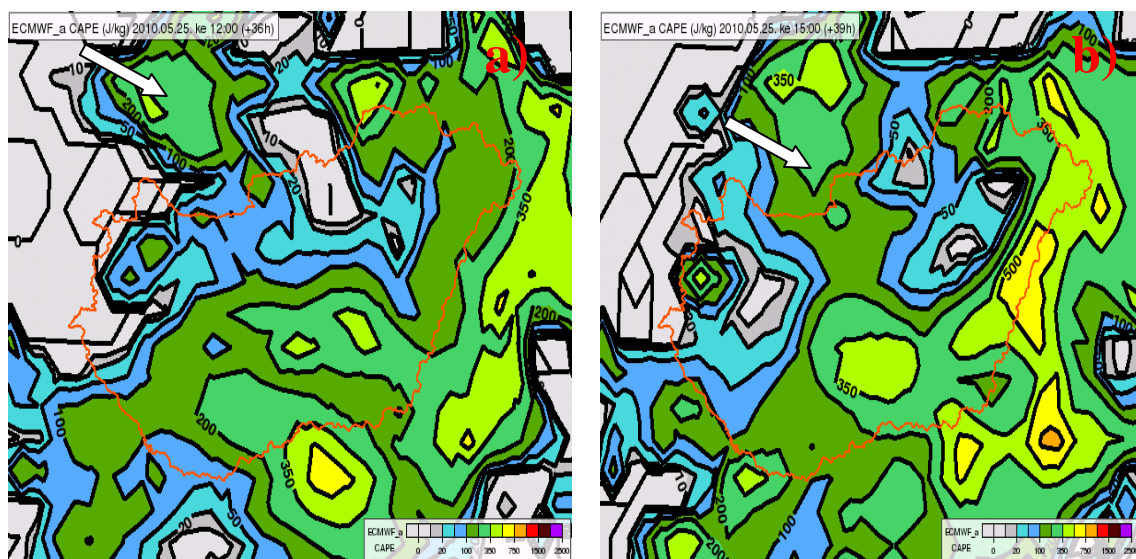
105. ábra. WRF Best Lifted Index (a.) és CAPE/szélnyírás (b.) előrejelzés 2010. 05. 25. 13 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK



106. ábra. WRF Best Lifted Index (a.), és CAPE (b.) előrejelzés 2010. 05. 25. 16 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

A WRF nem-hidrosztatikus modell a nappali prognózis időszakára is eredményesen jelezte előre a nagy hidrosztatikai instabilitást és a szupercellák fennmaradásához szükséges erejű 0-6 km-es szélnyírást. A 19 UTC-s CAPE előrejelzés még azt is megmutatta, hogy az átvonuló rendszer után a CAPE közel nulla értéket vesz fel, ebből az is következik, hogy a zivatarok, szupercellák felemészítik a potenciális energiát, ami mozgási és termikus energiává konvertálódik át viharos szellőkések és jelentős csapadék formájában.

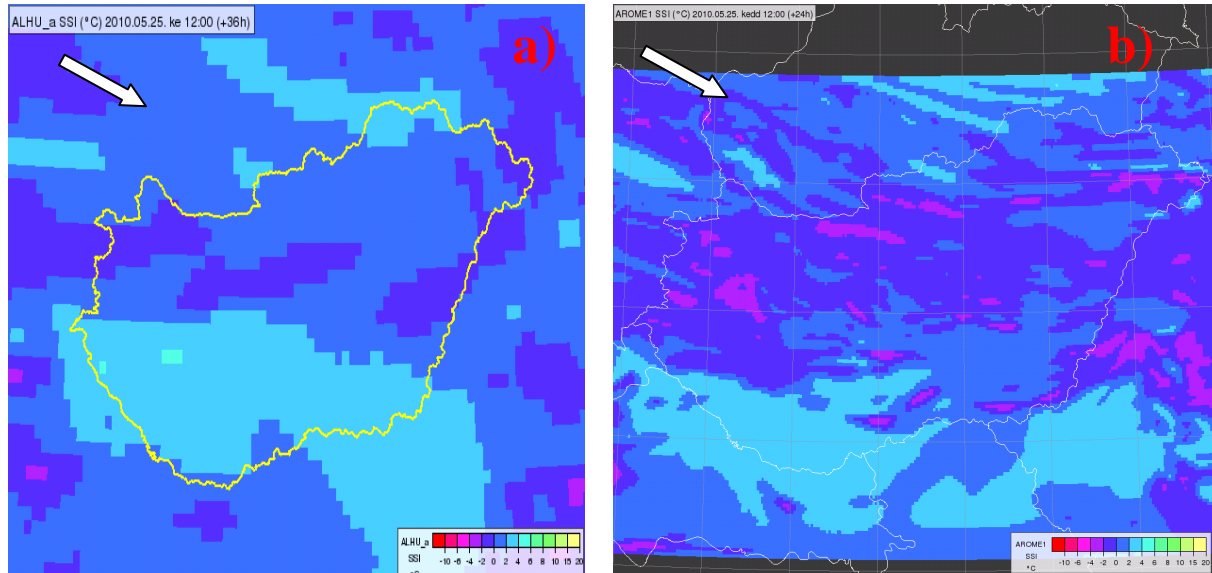
Az ECMWF csak gyenge konvekcióhoz elegendő, maximum 350 J/kg CAPE értékeket mutatott a 05. 25. 12 UTC (107., a, ábra) és 15 UTC-re (107., b, ábra) a kijelölt térségekre.



107. ábra. Az ECMWF CAPE előrejelzése a 2010. 05. 25. 12 UTC-s (a.), és 15 UTC-s (b.) időpontokra.

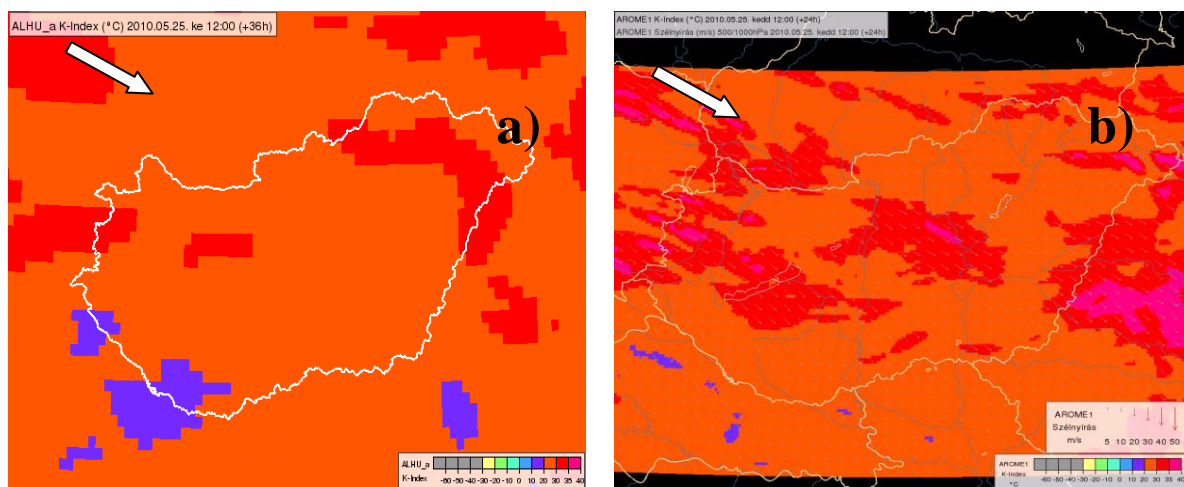
Forrás: OMSZ, HAWK

Az ALADIN a zivatarok képződésének területére 0 - 2-es (108. a, ábra), az AROME 0 - -4-es (108. b, ábra) Showalter-indexet (SSI-t) számolt 05. 25. 12 UTC-re. A nem-hidrosztatikus modell instabilabb állapotot mutatott, az általa előrejelzett SSI értékek mellett már komolyabb, zivartart eredményező konvekcióra lehetett számítani.



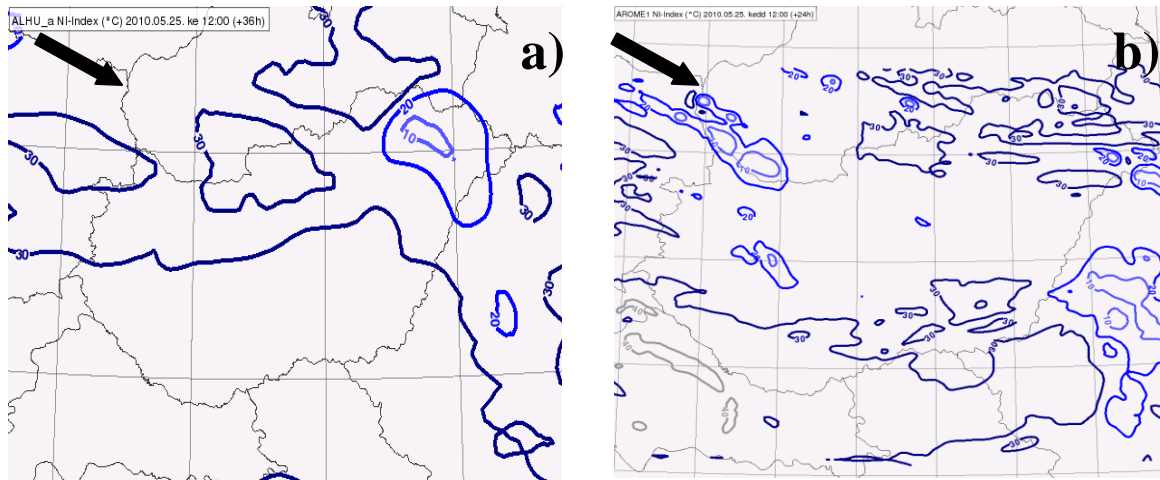
108. ábra. Az ALADIN (a.) és az AROME (b.) modell SSI előrejelzése 2010. 05. 25. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

A 05. 25. 12 UTC-s időpontra az ALADIN 20 és 30 közötti (109. a, ábra), míg az AROME 30 és 35 közötti, sőt, helyenként 40 körüli K-indexet prognosztizált (109. b, ábra) az eset szempontjából érdekes régióra. Ugyan a hidrosztatikus modell is adott némi labilitást, de a nem-hidrosztatikus még nagyobb labilitással számolt, s végül is az utóbbi modell tekinthető a pontosabbnak, mivel a 35-40 közötti KI értékek mellett volt meg a legnagyobb lehetősége annak, hogy zivatarok képződjenek.



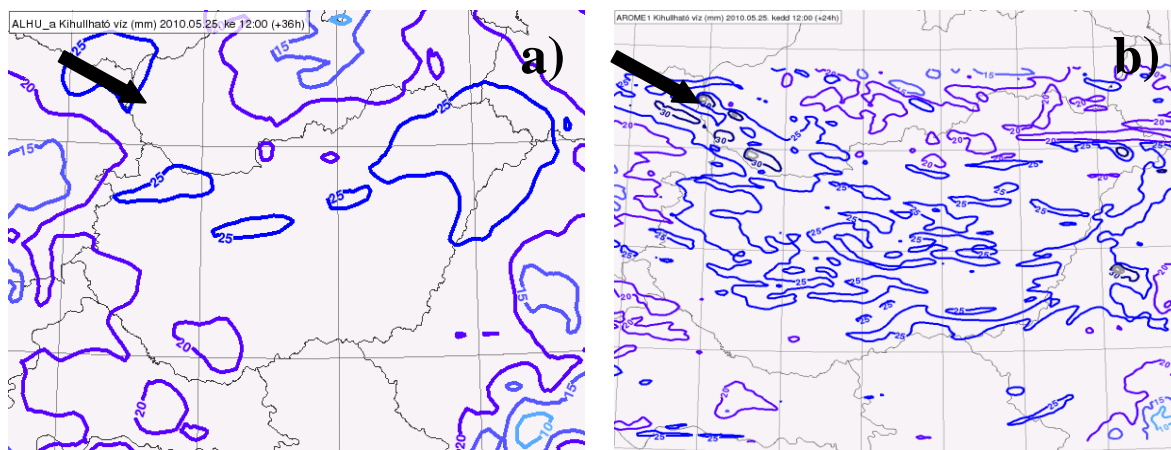
109. ábra. Az ALADIN (a.) és az AROME (b.) modell K-index előrejelzése 2010. 05. 25. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

Az AROME és az ALADIN között jelentős eltérések voltak a telítési index (NI) előrejelzésében, ami a 05. 25. 12 UTC-s időpontra vonatkozó mezők összehasonlításából is kiderült. A hidrosztatikus modell 30 körüli értékeket adott (110., a, ábra), vagyis telítetlen rétegekkel számolt, ami a relatív nedvességi mezőkből is kiderült a korábbiakban. A nem-hidrosztatikus modell azonban a zivatarrendszer képződésének helyszínére meglepően jó eloszlásban adta a 10 körüli telítési indexeket (110., b, ábra), ami arra utalt, hogy a modell telített rétegekkel számolt kisebb körzetekben.



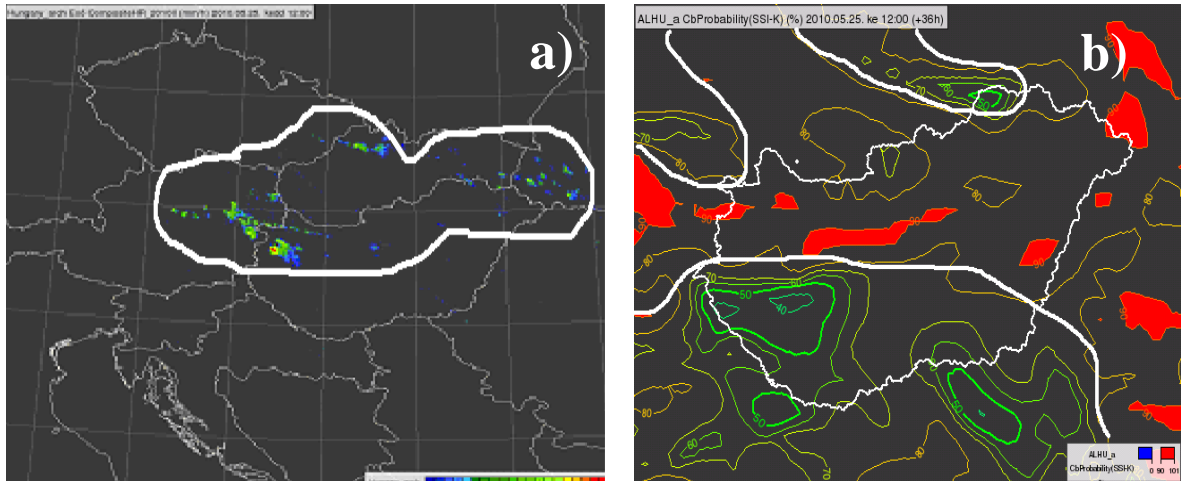
110. ábra. Az ALADIN (a,) és az AROME (b,) modell NI előrejelzése 2010. 05. 25. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

A kihullható vízmennyiség becslésében is a nem-hidrosztatikus modell volt a sikeresebb, hiszen a 05. 25. 12 UTC-s előrejelzésében a konvektív rendszer kiindulási régiójában izoláltan 35 mm-es értékek szerepeltek (111. b, ábra). Az ALADIN (111. a, ábra) messze elmaradt az AROME-hoz képest, ami nem csak a kijelölt körzet feletti légoszlop telítettségét, hanem a nedvességtartalmát is jól szimulálta, hiszen a nagy csapadékokat produkáló zivatarrendszerekhez szükséges víztartalom jelent meg a mezőiben.



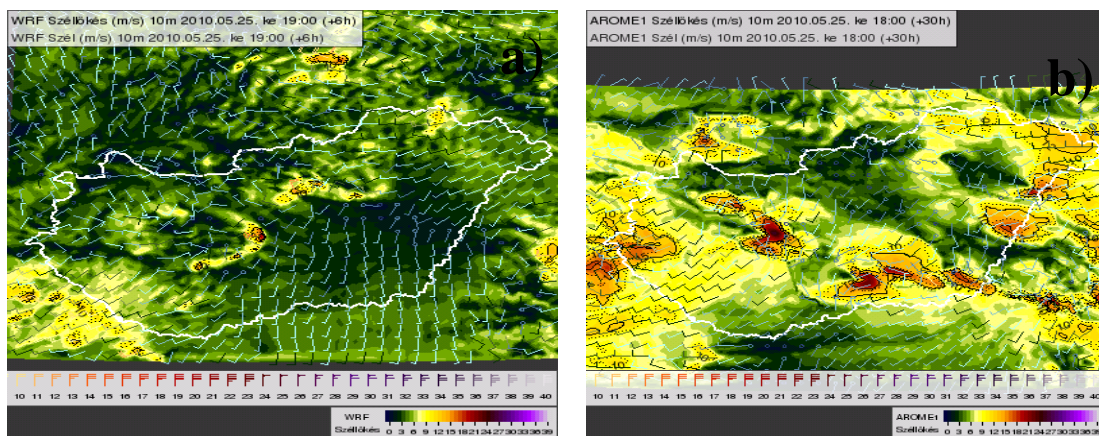
111. ábra. Az ALADIN (a,) és az AROME (b,) modell által előrejelzett kihullható vízmennyiség 2010. 05. 25. 12 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

Az ALADIN modellben szereplő „Zivatarfelhő valószínűség” (Cb probability) mező (112., b, ábra) ebben az esetben is segítséget nyújthatott az előrejelzőnek, hiszen a 05. 25. 12 UTC-s radarképpel (112., a, ábra) összevetve megállapítható, hogy a konvektív cellák eloszlását közvetett módon jól tükrözte.



112. ábra. Mezo kivágatú radarkép (a.), és az ALADIN modell „Zivatarfelhő valószínűség” (Cb probability) előrejelzése (b.) 2010. 05. 25. 12 UTC-kor. Forrás: OMSZ, HAWK

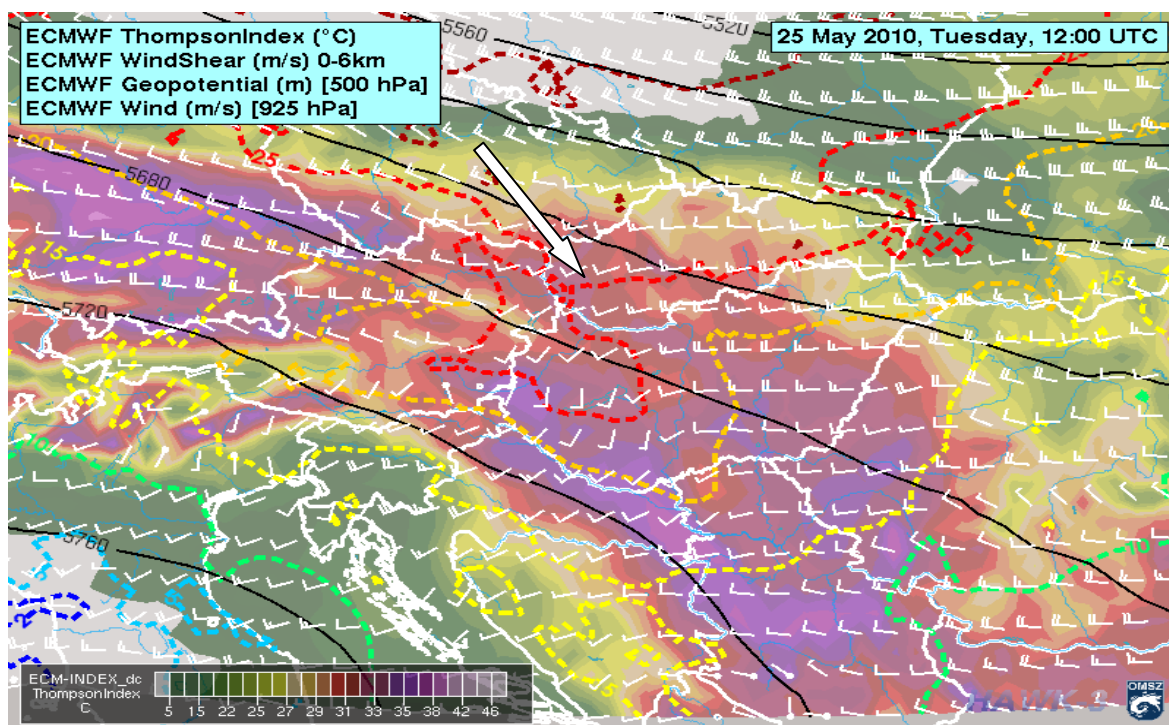
A feláramlás által indukált konvergencia szélmező és a konvektív cellákhoz kapcsolódó erős szellökések az AROME és a WRF modellben egyaránt megjelent, erre láthatunk példát a 05. 25. 18 UTC-s előrejelzésekben (113. ábra).



113. ábra: Az AROME-ből és a WRF-ből nyert 10 m-es szél, szellőkés előrejelzés 2010. 05. 25. 18 UTC-re. Forrás: OMSZ, HAWK

Az ECMWF 05. 25. 12 UTC-s analízise (114. ábra) is azt támasztotta alá, hogy a viharos szellökéseket és a nagy mennyiségű csapadékot produkáló zivatarrendszerek kialakulásához a nagy hidrosztatikai instabilitás járult hozzá, mivel a keletkezési területeken a Thompson Index értéke meghaladta a 33-as értéket, ami zivatarok

kialakulását hordozta magában (Csirmaz, 2012). A 0-6 km-es szélnyírás értéke a geenezis területén meghaladta a 25 m/s-t, ami egyértelműen szupercellás helyzetre utalt, hiszen dinamikailag szignifikáns adalékként hatott a konvekcióra.



114. ábra. ECMWF analízis a 2010. 05. 24. 18 UTC-s időpontra. A fekete vonalak az 500 hPa-os geopotenciál vonalakat jelölik. A nyilak a 925 hPa-os szelet jelölik, a szaggatott színes vonalak a 0-6 km-es szélnyírás mezőit rajzolják ki. A színezés a Thompson értékekre vonatkozó skála szerint értelmezendő.

Forrás: OMSZ-IEO

Összességében elmondható, hogy a nem-hidrosztatikus modellek eredményesen jelezték előre a nagy hidrosztatikai instabilitást és a szupercellák fennmaradásához szükséges erejű 0-6 km-es szélnyírást. A vertikális gyorsulásokat sikeresen szimulálták, ezért ki tudták termelni a zivatarokat, emellett a WRF még a mezoléptékű rendszert is felépítette, amire az AROME már nem volt képes ebben a helyzetben. A hidrosztatikus modellek azonban minden vizsgált instabilitási index esetében alulbecsülték a labilitás mértékét.

6.2.2.7. A figyelmeztető előrejelzés

A Repülésmeteorológiai és Veszélyjelző Osztály (RVO) 05. 25-én is három alkalommal frissítette a figyelmeztető előrejelzést. Eleinte néhol, délutántól egyre több helyre vártak zivatar, a délutáni órákra az ország 5-15%-ra számítottak heves zivatarra is nagyméretű (2-5 cm) jéggel, rövid idő alatt lehulló 20-25 mm-nyi csapadékkal és 90-100 km/h feletti széllökéssel. A 16:20 UTC-s veszélyjelzésben az esti órákra északnyugat felől többfelé

vártak zivatart, sőt, heves zivatart is vártak 90 km/h feletti szélökések, 20-25 mm csapadék és 2-5 cm közötti vagy afeletti átmérőjű jégeső kíséretében.

A veszélyjelző szakemberek ezúttal is pontosabban vázolták fel az eseményeket, a zivatarok intenzitását és a hozzájuk járuló kísérőjelenségeket precízebben behatárolták, és az északnyugat felől várt hevesebb zivatarok említéséből sejthető, hogy abból az irányból számítottak esetleges mezoléptékű rendszer érkezésére.

6.2.2.8. Összefoglalás

A vizsgált időszakban fellépő nagy hidrosztatikai instabilitás esetén érdemes áttekinteni azokat a szinoptikus és frontális skálájú képződményeket, melyek triggerként viselkedhetnek. Ebben az időjárási helyzetben egy északról súroló hidegfront billentette ki egyensúlyából a légkör állapotát, amely heves feláramlást okozott, ezért szupercellás zivatarrendszer tudott kialakulni az erősen szélnyírasos környezetben. Az operatív munka során ilyen helyzetben érdemes áttekinteni a nem-hidrosztatikus modellek előrejelzéseit is, hiszen átfogóbb képet kaphatunk a várható konvektív eseményekről. Természetesen azt nem várhatjuk el ezen modellektől sem, hogy térben és időben pontosan ki tudják termelni a zivatarokat.

7. Összefoglalás

A dolgozatomban részletes leírást adtam a szinoptikus módszerekről és azok használatáról, a távérzékelési eszközök által előállított produktumokról és azok hasznosításáról. Bemutattam az OMSZ által kifejlesztett HAWK-3 munkaállomást, illetve a kódolt prognózisokat és azok jelentőségét is összefoglaltam. A dolgozat első részében az IEO-n használt eszköztárat és az ott történő operatív munkafolyamatot mutattam be részletesen, melyet az esettanulmányok elkészítésekor reprodukáltam.

A második részben az OMSZ IEO-n 2010-ben készült prognózisok verifikációs táblázatából kiválasztott két legalacsonyabb beválású előrejelzését vizsgáltam meg. A vizsgálat folyamán a hidrosztatikus ECMWF és ALADIN, valamint az egyik konvektív esetben a nem-hidrosztatikus AROME és WRF modellek aktuális futásaiból származó meteorológiai alap-, illetve származtatott előrejelzési mezőit használtam fel arra a célra, hogy a prognózisok hibás vagy inkonzisztens részeit feltárhassam. A vizsgálatok során három alapvető hibát véltem felfedezni:

1., **Jó prognózis hibás kódolása:** ez olyankor fordulhat elő, amikor az adott időjárási elemnek rosszul ítéljük meg a területi átlagát, jellemzőségét, ezért ez mesterséges hibaként jelenik meg a verifikációban. Erre az első esetben volt példa, amikor a piktogramos előrejelzésből kiolvasható 5 fokos területi átlag helyett 7 fokos érték került be a verifikációba (115. ábra).

Szeged			
ieo	7	!!!	2
ecmwf	5	4,6	0
aladin	8		3

115. ábra. Verifikációs táblázat részlete az éjszakai (2010. 04. 14. 12 UTC- 04. 15. 06 UTC) időszakra vonatkozóan. Forrás: OMSZ-IEO

Ehhez a hibához hozzájárulnak a verifikációs rendszerben fellépő hiányosságok is. Véleményem szerint az „éjszakai” prognózis nem szerencsés időintervallumot ölel fel, hiszen a délutáni időszakra jellemző események és az éjszakai időjárás összemosódik, az értékek kiátlagolódnak, az előrejelzőnek nincs lehetősége arra, hogy az időjárási folyamatot kellő részletességgel számszerűsítse és ezzel kis mértékben javítson az előrejelzés beválásán. A kódolás során fellépő mesterséges hiba is kiküszöbölhető lenne,

ha az elkészült szöveges, illetve piktogramos előrejelzésből az előrejelzési adatbázisból automatikusan előállnának a verifikációhoz szükséges területi átlagok. Erre az előrejelzőknél installált ún. mezőszerkesztő program is megoldást nyújthat.

2., **A jó modellek hibás értelmezése:** ha a szinoptikus a modellek előrejelzési mezőit nem kellő részletességgel, hanem csak felületesen tanulmányozza, akkor helytelenül ítéli meg a várható időjárási folyamatok térbeli és időbeli lefolyását, ezért a modellekhez képest ront az előrejelzésen. Erre az első esettanulmányban volt példa, amikor az időjárási helyzetben főként hidrosztatikus folyamatok domináltak. Annak ellenére, hogy a szinoptikusok elmondása alapján nehéz feladatnak bizonyul egy ilyen visszakanyarodó okklúziós frontális helyzet helyes megítélése, a modellek mezőit vizsgálva ki lehetett volna olvasni, hogy milyen meteorológiai folyamatok alakították időjárásunkat. A szinoptikus előrejelzésének beválási mutatója csak 68,6%, míg az ECMWF modell prognózisának mérőszáma 82,7%, az ALADIN komplex mutatója pedig 86,5% volt! Ennek a hibának a kivédésére a modelleket jól kell tudni értelmezni, ehhez viszont több időre lenne szüksége a szinoptikusnak, mint ami manapság rendelkezésére áll. Ezen kívül nagyon fontos lenne, hogy az IEO-n dolgozók azonos makróbeállítással dolgozzanak az alapmezők áttekintésekor, ezzel elkerülve az értelmezések sokaságát, amiből bizonyos helyzetekben zavaros szinoptikus helyzetkép szokott kialakulni.

3., **Hibás előrejelzés hibás modellre alapozva:** mivel a modern szinoptikában az előrejelzők nagy hangsúlyt fektetnek a modellek kész produktumaira (például csapadék, összfelhőzet, szélökés, stb.) és kevesebb idő áll rendelkezésre az időjárási helyzet objektívebb, szinoptiko-dinamikus értékelésére, ezért hajlamosak az előrejelzők a legutolsó, döntési fázisban pusztán a modellekre „hallgatni”. Erre példa a második eset, amikor konvektív események voltak jellemzőek, amit a hidrosztatikus modellek nem megfelelően kezeltek, ezért nem tudott érdemben javítani az előrejelzésen és konkrétan fogalmazni a szakember. Abban az esetben, ha mérőállomásokot nem érintettek volna a kialakult konvektív rendszerek, még jó is lett volna a prognózis a verifikációs eljárás szempontjából, de a lezajlott események tükrében így is téves képet adott volna. A nem-hidrosztatikus modellek vizsgálata szükségesnek bizonyult, ezen belül is a WRF modellé, hiszen az előrejelzési mezőiben megjelent a prognózist „elrontó” mezoléptékű konvektív rendszer is. Ez persze nem jelenti azt, hogy ilyen helyzetben a hidrosztatikus modellek eredményei teljesen haszontalanok, hiszen itt nem helyi, lokális zivatarokról volt szó, hanem szervezett konvekcióról. Az ilyen szituációk a szinoptikus, nagytérségű és a mezoskálájú folyamatok együttes elemzését követelik meg, tehát közvetett módon egy

durvább felbontású modellből is kideríthetők az ilyen jellegű mezoskálájú rendszerek. Ehhez a rövidtávú előrejelzést készítő szakembernek ki kell terjesztenie az általa vizsgált előrejelzési mezőket a következőkre: nagytérségű háttéremelést előidéző kényszerek: örvényességi mezők, illetve örvényesség-advekción a felső troposzférában, hőmérsékleti-advekción, meleg-nedves szállítószalagok felderítése, vertikális szélnyírás vizsgálata, talajközeli nedvesség-konvergenciák várható eloszlása, végül labilitási paraméterek összehasonlítása. A fenti mezők szintéziséből, együttlátásából felépítheti a szinoptikus az adott időjárási rendszerek konceptuális modelljét, ami már konkrét „időjárással” ruházható fel.

A diplomamunkában végzett vizsgálatok során két esetet dolgoztam fel részletesen, és az elemzések közben a fenti hibalehetőségekkel találkoztam. Természetesen ennél sokkal több esetet kell megvizsgálni ahhoz, hogy a fenti megállapításoknak egyfajta statisztikáját is felállíthassuk. A közeljövőben ezért további ilyen jellegű esettanulmányok elvégzését tartom szükségesnek annak érdekében, hogy további hibaforrásokat lehessen feltárni, azok okát kideríteni, és lehetőség szerint azokat kiküszöbölni.

Irodalomjegyzék

- Bluestein, H.B., 1993: Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes. Oxford University Press.
- Bodolainé J. E., 2008: A szinoptikus diagnózis eszközeiről. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
- Bonta I., Homokiné U. K., 2006: 2005 nagy csapadékos helyzetei a valószínűségi előrejelzések tükrében. *Léggör*, 51. évfolyam 4. szám
- Bordás Á., Geresdi I., Gyúró Gy., Horváth Á., Tasnádi P. és Weidinger T., 2007: Klasszikus dinamikus meteorológiai példatár I. Eötvös Kiadó, Budapest.
- Csirmaz K., 2012: A konvektív előrejelzéshez használt diagnosztikus paraméterek és indexek számolásának dokumentációja. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.
- Czelnai R., 1994: Bevezetés a meteorológiába III. A meteorológia eszközei és módszerei. Tankönyvkiadó Budapest.
- Dési F. és Rákóczi F., 1970: A léggör dinamikája. Tankönyvkiadó. Budapest.
- Fehér B., Kiss G., Pátkai Zs., 2011: Az IEO-n 2010-ben készült előrejelzések verifikációja. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest. (word formátumban)
- Fischer A., 2010: Konvektív stabilitási indexek statisztikai vizsgálata. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest. BSc-s szakdolgozat (pdf).
- Gyúró Gy., 2008: A szinoptikus időjárási analízis eszközei. ELTE-munkafüzetek, Eötvös Kiadó, Budapest.
- Gyúró Gy., 2009: Léggördinamikai eszközök a szinoptikus meteorológiában. ELTE-munkafüzetek, Eötvös Kiadó, Budapest.
- Holton, J.R., 1992: An introduction to dynamic meteorology. Academic Press, 510 p.
- Kullmann L., 2003: Az ALADIN mezoskálájú numerikus modell-rendszer, *Meteorológiai Tudományos Napok 29. kiadványa*, pp. 104-118 (pdf formátumban)
- Rákóczi F. és Götz G., 1981: A dinamikus meteorológia alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest.
- Sándor V., Wantuch F., 2005: Repülésmeteorológia. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest.

Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Kolláth Kornélnak és Rajnai Márknak a Linux operációs rendszer kezelésében nyújtott segítséget és azt, hogy közreműködésükkel lehetőségem nyílt az ECMWF, az ALADIN/HU, az AROME, valamint a WRF modell adatainak beolvasására a HAWK-3 megjelenítő rendszerben. Köszönettel tartozom az OMSZ-IEO dolgozóinak a segítségükért, a kellemes hangulatért, ami ösztönzött a munkában.

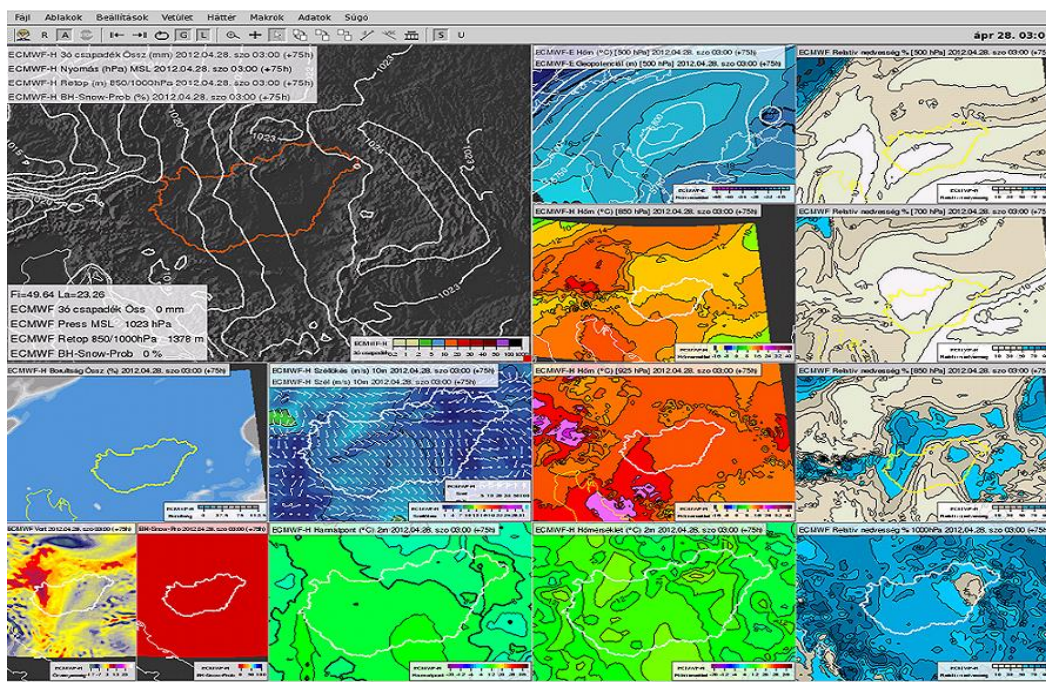
Köszönettel tartozom családomnak, barátaimnak és csoporttársaimnak is a türelemért, ösztönzésért.

Végül szeretném megköszönni témavezetőmnek, Reisz Andrejnek a témaválasztásban és a dolgozat elkészítésében nyújtott segítséget.

FÜGGELÉK

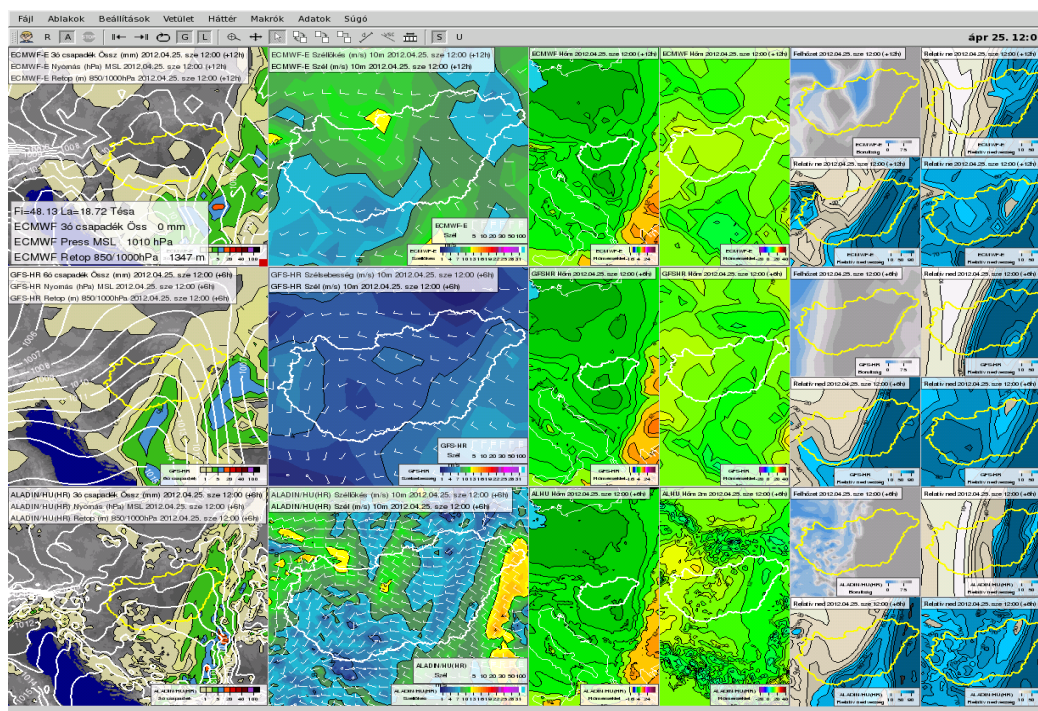
Néhány operatív gyakorlatban használt makró

1. számú melléklet:



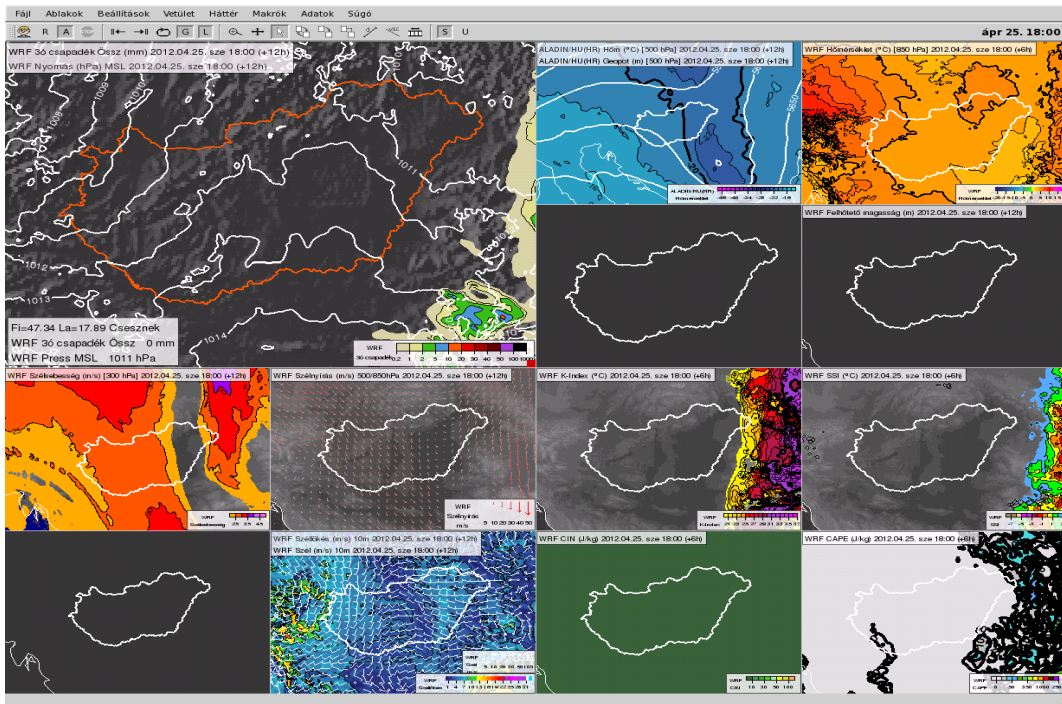
Az ECMWF modell relatív nedvesség, hőmérséklet, szél, szellőkés, borultság, örvényesség, hó valószínűség, csapadék, ReTop 850/1000 és légnyomás előrejelzése. Forrás: OMSZ, HAWK

2. számú melléklet:



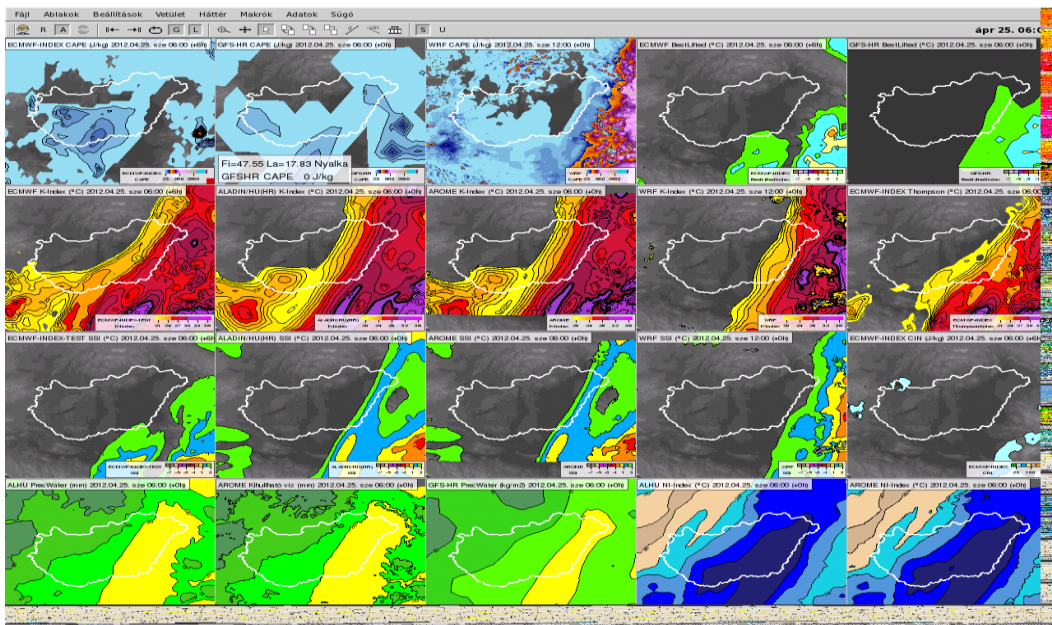
Az ALADIN, az ECMWF és a GFS modell előrejelzése a csapadékösszegre, a légnyomásra, a szélre és szellőkésre, valamint a hőmérsékletre, harmatpontra és a relatív nedvességre. Forrás: OMSZ, HAWK

3. számú melléklet:



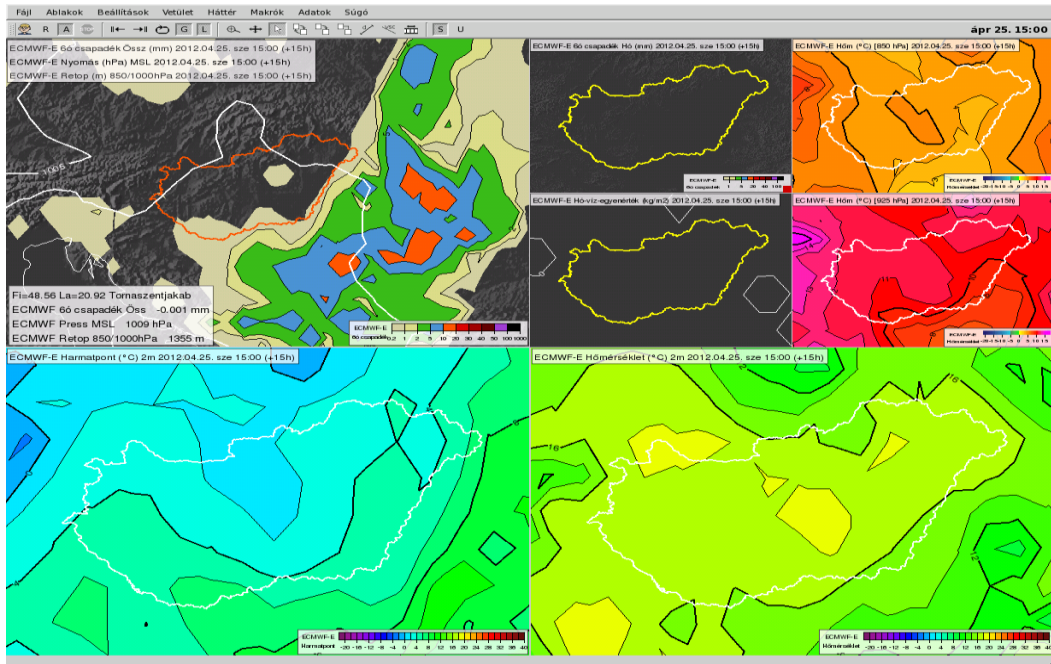
A WRF modellből nyert hőmérséklet, geopotenciál, csapadékösszeg, légnyomás, szélsébség, szélnyírás, K-index, SSI-index, CAPE, valamint CIN előrejelzés. Forrás: OMSZ, HAWK

4. számú melléklet:



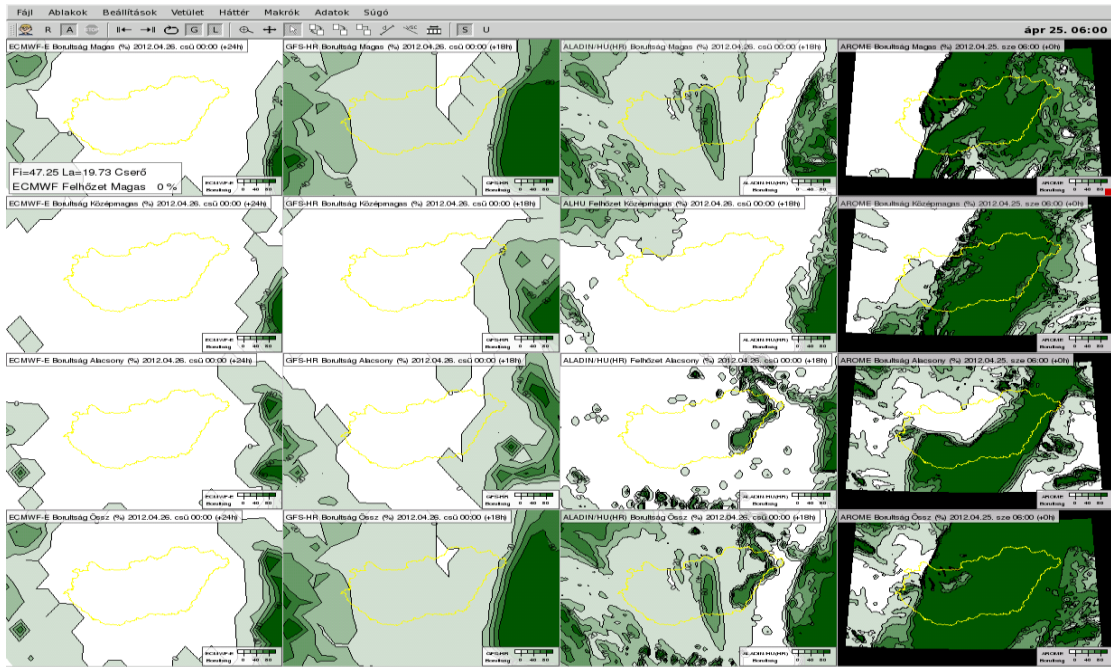
ECMWF, GFS, ALADIN, AROME és WRF modell előrejelzései a CAPE, a K-index, a Thompson-index, a Best Lifted Index, a kihullható víz, az NI-index és a CIN értékeire. Forrás: OMSZ, HAWK

5. számú melléklet:



Az ECMWF-ből nyert előrejelzés a hőmérsékletekre, a harmatpontra, a csapadékösszegre, a légnyomásra, a ReTop 850/1000-re és a hó-víz egyenértékre.

6. számú melléklet:



Az ECMWF, az ALADIN, a GFS és az AROME modellek borultság előrejelzése a különböző felhőzeti szintekre.

Segédletek a prognózis kódolásához

7. számú melléklet:

Csapadékmennyiség		Csapadékvalószínűség		Csapadékfajta	
M=/	Nincs	W=/	Nincs	C=/	Nincs
M=1	Nyom	W=0	100%	C=0	Ónos szitálás
M=2	Nyom-2 mm	W=1	10%	C=1	Ónos eső
M=3	2-5 mm	W=2	20%	C=2	Eső, havas eső
M=4	5-10 mm	W=3	30%	C=3	Hószállingózás
M=5	10-20 mm	W=4	40%	C=4	Jégeső
M=6	20 mm felett	W=5	50%	C=5	Szitálás
		W=6	60%	C=6	Eső
		W=7	70%	C=7	Havazás
		W=8	80%	C=8	Zápor
		W=9	90%	C=9	Hózápor

8. számú melléklet:

Borultság		Jelenidő	
B=/	Nincs	J=/	Nincs
B=0	Derült, napos	J=1	Páráság
B=1	Gyengén felhős, napos	J=2	Köd
B=2	Időnként megnövekvő felhőzet sok napsütéssel	J=3	Zúzmarás köd
B=3	Változóan felhős, több-kevesebb napsütéssel	J=4	Hófűvás
B=4	Többször megnövekvő felhőzet néhány óras napsütéssel	J=5	Porvihar
B=5	Felhőátvonulások néhány óras napsütéssel	J=6	Zivatar
B=6	Felszakadozó, csökkenő felhőzet	J=7	Zivatar erős széllel (45-60 km/h)
B=7	Gyakran erősen megnövekvő felhőzet	J=8	Zivatar viharos széllel (> 60 km/h)
B=8	Többnyire erősen felhős		
B=9	Túlnyomóan borult		

A diákköri munkához lekért modellmezők

9. számú melléklet:

ECMWF cedf		
		Változó neve (mértékegysége)
a n a l í z í s és e l ő r e j e l l é s	s k a l á r m e z ő k	Tengerszintre redukált légnyomás (Pa)
		2 méteres hőmérséklet (K)
		2 méteres harmatpont (K)
		10 méteres U szélkomponens (m/s)
		10 méteres V szélkomponens (m/s)
		Összfelhőzet (0-1)
		Alacsony szintű összfelhőzet (0-1)
		Középszintű összfelhőzet (0-1)
		Magas szintű összfelhőzet (0-1)
		Felszíni légnyomás (Pa)
		Geopotenciál (m^2/s^2)
		Csapadékösszeg (m)
		Konvektív csapadék (m)
		2 méteres maximum-hőmérséklet (K)
		2 méteres minimum-hőmérséklet (K)
		10 méteres szélökés (m/s)
		Felszíni hőmérséklet (K)
		Konvektív hozzáférhető potenciális energia-CAPE (J/kg)
		Hóvastagság (m)
		3-96 h között 3 óránként
Hőmérséklet (K)		
Relatív nedvesség (%)		
U szélkomponens (m/s)		
V szélkomponens (m/s)		
Vertikális sebesség (Pa/s)		
102-240 h között	szerinti mezők	Relatív örvényesség (1/s)
		Divergencia (1/s)
		Hőmérséklet (K)
Analízis és előrejelzés	modell szintek	U szélkomponens (m/s)
		V szélkomponens (m/s)
		Vertikális sebesség (Pa/s)
		Specifikus nedvesség (kg/kg)
3-96 h között	potenciális	Geopotenciál (m^2/s^2)
		Potenciális hőmérséklet (K)

3 óránként	örvényesség	U szélkomponens (m/s)
		V szélkomponens (m/s)
	potenciális hőmérséklet 300, 315, 330, 350 K	Potenciális örvényesség ($\text{Km}^2/(\text{kg}\cdot\text{s})$)
		Divergencia (1/s)
		Relatív örvényesség (1/s)
		Légnyomás (Pa)

10. számú melléklet:

ALADIN/HU chhx		
		Változó neve (mértékegysége)
0-36 h között		Teljes kihullható víz (kg/m ²)
		Felszíni hőmérséklet (K)
1 h-ként		Konvektív eredetű eső (mm)
		Konvektív eredetű hó (mm)
36-48 h között		Hóvastagság (cm)
		Összfelhőzet (0-1)
3 h-ként	S k a l á r m e z ő k	Konvektív összfelhőzet (0-1)
		Magas szintű összfelhőzet (0-1)
		Közép szintű összfelhőzet (0-1)
		Alacsony szintű összfelhőzet (0-1)
		Felszíni légnyomás (Pa)
		Légnyomás tendencia
		Csapadékösszeg (mm)
		10 méteres U szélkomponens (m/s)
		10 méteres V szélkomponens (m/s)
		2 méteres hőmérséklet (K)
		2 méteres relatív nedvesség (0-1)
		2 méteres minimum-hőmérséklet (K)
		2 méteres maximum-hőmérséklet (K)
		2 méteres szélörpés (m/s)
		2 méteres harmatpont (K)
		Tengerszintre redukált légnyomás (Pa)
Showalter stabilitási index (K)		
K index (K)		
Lebegyeva index (K)		
Vertikális összegindex (K)		
Keresztösszeg index (K)		
Teljes összegindex (K)		
Zivatarfelhő valószínűség SSI és K index alapján		
Hó valószínűség (%)		
Eső valószínűség (%)		
Havas eső valószínűség (%)		

		Ónos eső valószínűség (%)
		Fagyott eső valószínűség (%)
	Izo- bár szerin- ti mezők	U szélkomponens (m/s)
		V szélkomponens (m/s)
		Hőmérséklet (K)
		Geopotenciál (m^2/s^2)
		Relatív nedvesség (0-1)
		Pszudopotenciális hőmérséklet (K)
		Vertikális sebesség (Pa/s)
		Abszolút örvényesség (1/s)
		Divergencia (1/s)
		Potenciális örvényesség ($Km^2/(kg*s)$)
		Potenciális hőmérséklet (K)

11. számú melléklet:

AROME modell
Változó neve (mértékegysége)
Hőmérséklet (°C)
6 órás hőmérséklet-változás (°C)
12 órás hőmérséklet-változás (°C)
Minimum-hőmérséklet (°C)
Maximum hőmérséklet (°C)
Potenciális hőmérséklet (K)
2 méteres harmatpont (°C)
Relatív nedvesség (0-1)
Geopotenciál (m^2/s^2)
Relatív topográfia (m^2/s^2)
1 órás csapadékösszeg (mm)
3 órás csapadékösszeg (mm)
6 órás csapadékösszeg (mm)
12 órás csapadékösszeg (mm)
24 órás csapadékösszeg (mm)
Hó valószínűség (0-1)
Borultság (0-1)
Légnyomás (hPa)
10 méteres szél, szélirány (m/s)
Szél, szélirány (m/s)
SSI-index (°C)
K-index (°C)
U szélkomponens (m/s)
V szélkomponens (m/s)
NI-index (°C)
Relatív örvényesség (1/s)
Kihullható víz (mm)
Örvényesség (1/s)
Potenciális örvényesség ($Km^2/(kg*s)$)
Divergencia (1/s)
Vertikális sebesség (Pa/s)

Specifikus nedvesség (kg/kg)
Hóvastagság (m)
Hó-víz egyenérték (m)

12. számú melléklet:

WRF modell
Változó neve (mértékegysége)
Hőmérséklet (°C)
6 órás hőmérséklet-változás (°C)
12 órás hőmérséklet-változás (°C)
Minimum-hőmérséklet (°C)
Maximum hőmérséklet (°C)
Potenciális hőmérséklet (K)
2 méteres harmatpont (°C)
Relatív nedvesség (0-1)
Geopotenciál (m^2/s^2)
Relatív topográfia (m^2/s^2)
1 órás csapadékösszeg (mm)
3 órás csapadékösszeg (mm)
6 órás csapadékösszeg (mm)
12 órás csapadékösszeg (mm)
24 órás csapadékösszeg (mm)
Hó valószínűség (0-1)
Borultság (0-1)
Légnyomás (hPa)
10 méteres szél, szélörökés (m/s)
Szél, szélnyírás (m/s)
SSI-index (°C)
K-index (°C)
U szélkomponens (m/s)
V szélkomponens (m/s)
NI-index (°C)
Relatív örvényesség (1/s)
Kihullható víz (mm)

Örvényesség (1/s)
Potenciális örvényesség ($\text{Km}^2/(\text{kg}\cdot\text{s})$)
Divergencia (1/s)
Vertikális sebesség (Pa/s)
Specifikus nedvesség (kg/kg)
Hóvastagság (m)
Hó-víz egyenérték (m)
CAPE (J/kg)
CIN (J/kg)
MUCAPE (J/kg)
Best Lifted Index ($^{\circ}\text{C}$)
Thompson-index ($^{\circ}\text{C}$)
Radar (dBz)