

Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Földrajz- és Földtudományi Intézet  
Meteorológiai Tanszék

**A makro- és mezoskálájú szinoptikus rendszerek által  
gyakorolt regionális hatások Magyarország időjárásában**

DIPLOMAMUNKA



Készítette:

**Varga Sándor**

II. éves Meteorológus mesterszakos hallgató

Témavezető:

**Üveges Zoltán**

Országos Meteorológiai Szolgálat

Tanszéki konzulens:

**Dr. Barcza Zoltán**

ELTE-TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2015.

# Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék .....	2
1. Bevezetés .....	3
2. A nagyságrendi analízis szerepe a légköri folyamatok vizsgálatában.....	5
2.1. A légköri mozgások nagyságrendi osztályozása.....	5
2.2. A nagyságrendi analízis szerepe a numerikus előrejelzések készítésében.....	7
3. Numerikus időjárás előrejelző modellek .....	10
3.1. ECMWF globális hidrosztatikus modell.....	10
3.2. ALADIN és AROME korlátos tartományú modellek.....	10
3.3. A numerikus modellek használata az előrejelzés készítése során.....	13
4. A Kárpát-medence időjárását alakító légköri képződmények.....	15
4.1. Makroskálájú objektumok.....	15
4.1.1. Mérsékelt övi ciklonok és kialakulásuk .....	15
4.1.2. Mediterrán ciklonok .....	18
4.2. Mezoskálájú objektumok .....	20
4.2.1. Időjárási frontok .....	20
4.2.2. Konvektív jelenségek .....	21
5. A Kárpát-medence orográfiai adottságai által kiváltott jelenségek.....	22
5.1. A fön szél kialakulásának körülményei .....	22
6. Esettanulmányok .....	25
6.1. Fön szelek.....	25
6.1.1. Fön az Alpokalján.....	25
6.1.2 Fön szél az északkeleti ország részben.....	30
6.2. Az orográfia nagytérségi áramlást befolyásoló hatása.....	35
6.2.1. Kossava.....	35
6.2.2. Erős széllel kísért melegadvekcio .....	40
6.3. Mediterrán ciklonok .....	50
6.4. Konvektív helyzetek.....	64
7. Összefoglalás .....	70
Köszönetnyilvánítás.....	72
Irodalomjegyzék .....	73
Internetes források .....	75

# 1. Bevezetés

Napjaink időjárás előrejelzéseinek elkészítésében nélkülözhetetlen a különböző matematikai modellek használata. Ezen modellek alapját a légköri folyamatokat irányító fizikai törvényszerűségek matematikai formában való megfogalmazása, a hidro-termodinamikai egyenletrendszer (HTER) képezi (Práger, 1992). Az egyenletrendszer felhasználásával a modellek szimulálják a légköri állapotváltozók tér- és időbeli változásait, a kezdeti- és határfeltételek állapotának ismeretében egy meghatározott légköri tartomány rácspontjaiban. A számított és grafikusán ábrázolt eredmények láttán kell ezek után a meteorológusoknak a megfelelő következtetéseket levonni, figyelembe véve a helyi felszíni és domborzati viszonyok hatásait, építve az évek során szerzett tapasztalatokra.

Az időjárási modellek használata hatalmas számításiigénnyel jár. A futtatás során elvégzendő témerdek számítását ún. szuperszámítógépek végzik el. A számítástechnika fejlődése lehetővé teszi, hogy ezek a szuperszámítógépek időegység alatt egyre több számítás elvégzésére legyenek képesek. Ezzel lehetővé válik a rácsponti távolságok csökkentése, a modellek felbontásának finomítása.

Bár a jövőben várható a modellek egyre pontosabbá válása, tökéletes előrejelzéseket soha nem fognak készíteni. Földünk légköre ugyanis egy rendkívül komplex rendszer. Komplexitásából adódóan sokszor „kiszámíthatatlan” eseményeket produkál. Tökéletesen talán csak úgy tudnánk előrejelezni az időjárási folyamatokat, ha a légkör és az óceánok minden molekuláján szenzorok helyezkednének el, melyek mérik az állapotváltozók változásait. Ez persze lehetetlen. A napjainkban használt korszerű numerikus modellek nemcsak felbontásukból adódóan képtelenek a tökéletes időjárás előrejelzésre. A számszerű előrejelzések készítése során több bizonytalanság is felmerül. Közülük a legfontosabbak (Szépszó et al., 2013):

- a kezdeti feltételekre való érzékenység
- az előrejelezni kívánt folyamatok rácspontokon való megjelenítése
- a ráctávolságnál kisebb időjárási folyamatok figyelmen kívül hagyása vagy közelítő módszerekkel való leírása
- a peremfeltételekből adódó hibák

Így a numerikus modellek soha nem lesznek képesek az időjárás egészen pontos előrejelzésére.

Természetesen nem mindegy, hogy milyen skálán vizsgáljuk az időjárási folyamatokat. Napjainkban az előrejelző modellek is különböző skálákon történő folyamatokat szimulálnak. A skálák közötti eltérést a rácspontok sűrűségbeli különbsége és az integrálás időbeli felbontásának finomsága adja. Léteznek globális modellek, ilyen például a Global Forecast System (GFS) és a European Centre for Medium Range Weather Integrated Forecast System (ECMWF IFS) modellje. Az ECMWF horizontális térbeli felbontása 16 kilométer (*met.hu*). A GFS 28 kilométeres horizontális rácsfelbontással rendelkezik (*ncdc.noaa.gov*), míg a korlátos tartományú modellek 2-8 kilométeres felbontásúak (*Szépszó et al., 2013*). Ilyen például az ALADIN és az AROME.

A globális modellek körülbelül egy hétre előre nagy bizonyossággal meg tudják határozni, milyen időjárási helyzetre lehet számítani Európában. Ezek a modellek segítenek feltárni a nagyskálájú mozgásformákat, úgy, mint a Rossby-hullámok áthelyeződése, a ciklonok mozgása. Mezoskálán már korántsem ilyen jól használható a globális modellek rácshálózata. Ezért van itt szükség a sűrűbb rácshálózatot használó modellekre, melyek nagyobb figyelmet fordítanak például a domborzati hatásokra. A korlátos tartományú modellek rövidebb távon, azaz legfeljebb pár napos időintervallumban futnak le. Segítenek megmutatni mezoskálán a frontok okozta időjárás változásokat, valamint a felbontásukból és fizikájukból adódóan hatékonyabban modellezik a függőleges irányú légköri folyamatokat.

A modellek rövid bemutatása után fontos kiemelni az azokat felülbíró szakember, a szinoptikus meteorológus munkájának jelentőségét is. Könnyen azt hihetnénk, hogy a modelleredmények adatai elegendőek egy megbízható előrejelzés elkészítéséhez. A meteorológia területén is egyre több munkafolyamat kerül automatizálásra, és az észlelő szakemberek automatákkal való helyettesítése talán már sokakat meg sem lep. A modellek ugyan segítenek általános képet kapni egy ország, illetve annak egyes részein várható időjárásról, de a meteorológus felülbíró munkája még ma is elengedhetetlen egy helytálló előrejelzés készítése során. Különösen érvényes ez olyan helyzetekben, amikor az egyes modellek eltérő képet festenek az elkövetkező napok időjárásáról. Ilyenkor az előrejelző meteorológus a tapasztalataira hagyatkozva mérlegeli, melyik modelleredmény állhat közelebb a valósághoz, valamint figyelembe veszi a helyi adottságokat, melyek jelentős mértékben módosíthatják az adott helyen az időjárás alakulását. A helyi hatások legfőképp az adott terület földrajzi és felszíni sajátosságai nyomán alakulnak ki. Ezek meghatározhatják egy kisebb térség vagy akár egy országrész időjárását is.

Éppen ezért fontos tisztában lenni az előrejelzendő területen jelen lévő helyi hatásokkal.

Diplomamunkám fő célja Magyarország tájegységein megfigyelt lokális időjárási jellegzetességek feltárása és összegyűjtése. Munkám során bemutatom ezek hatását az ország különböző részein, valamint megjelölöm azokat a jellegzetes időjárási helyzeteket, amikor ezen anomáliák jelentkeznek. Ezeket a jellegzetességek négy fő csoportra osztjuk:

- Főn hatás
- Orográfiai kényszerhatások
- Regionálisan megjelenő konvekció
- Mediterrán ciklonok regionális hatásai

Ezen sajátosságok ismerete és gyakorlati alkalmazása pontosabbá teheti az ország egészére vagy egyes régióira kiadott előrejelzéseket. Különösen igaz ez a veszélyes időjárási események előfordulása esetén, ugyanis egyes helyi sajátosságok a szélsőségek felé billenthetnek el egy adott időjárási szituációt.

Fontos tehát, hogy Magyarországon ezeket a földrajzi sajátosságokat feltárjuk és összegyűjtsük, mivel ezek ismerete nagyban segítheti az operatív előrejelzői munkát, ezáltal pontosabb képet kaphatunk arról is, hogy hol fordulhatnak elő leginkább veszélyes időjárási jelenségek.

Az esettanulmányokban megjelenő ábrák elkészítéséhez a HAWK-3 (Hungarian Advanced Workstation) programot használtam fel.

## **2. A nagyságrendi analízis szerepe a légköri folyamatok vizsgálatában**

### **2.1. A légköri mozgások nagyságrendi osztályozása**

A légkörben jelen lévő mozgások minden méretskálán észlelhetőek. Ezeket a mozgásokat különböző skálákon tekinthetjük aszerint, hogy mekkora területet érintenek, azaz milyen méretű mozgásról van szó. A mozgások mérete szoros kapcsolatban van a mozgásokat létrehozó erők egymáshoz viszonyított nagyságrendjével, azaz a mozgások dinamikai feltételeivel. A következőkben ezek a nagyságrendi osztályok kerülnek bemutatásra (*Práger, 1982*).

- **Globális méretű mozgások.** A néhány ezer kilométertől pár tízezer kilométerig terjedő, földfelszínnel párhuzamos mozgások tartoznak ide. E

mozgások horizontális kiterjedése akár 500-2000-szeresen meghaladja a függőleges, alsó sztratoszféráig terjedő mozgásokat. Tehát dinamikai szempontból a globális mozgások vertikális irányban közel sztatikusnak tekinthetők. Emellett stacionáriusak is. A globális mozgások jellemzője, hogy sebességmezőjük horizontális irányú változása lassan megy végbe, szinte homogénnek tekinthető. Ebből adódóan e mozgások vízszintes irányban is majdnem kiegyensúlyozottnak tekinthetők (Práger, 1982).

- **Makro- vagy szinoptikus skálájú mozgások.** Ehhez a skálához tartoznak a pár száz kilométertől néhány ezer kilométerig terjedő horizontális kiterjedésű légköri mozgásrendszerek. Vertikális irányban az egész troposzférát átfogják, átlagos függőleges kiterjedésük 10-15 km. A globális mozgásokhoz hasonlóan a makroméretű mozgásokra ugyancsak jellemző, hogy a horizontális mozgások mérete jócskán (100-200-szorosan) felülmúlja vertikális mozgások méretét, ebből adódóan függőleges irányban kiegyensúlyozottak. A makroméretű mozgások a globális mozgásrendszerek dinamikai instabilitásának következtében alakulnak ki. Tehát a globális rendszerben létrejövő perturbációk, zavarok felelnek meg a szinoptikus skálájú mozgásoknak. Ezek a perturbációk kvázi-periodikusan alakulnak ki, körülbelül 5-14 nap közötti periódusidővel, de megjelenésüknek éves menete is van. Makro méretskálájú mozgásrendszerek a mérsékelt övi ciklonok, anticiklonok, valamint a trópusi ciklonok (Práger, 1982).

Mivel nagy karakterisztikus mérettel rendelkező objektumokról van szó, a globális modellek segítségével, nagy pontossággal előrejelezhetjük őket.

- **Mezoskálájú mozgások.** A néhány tíz kilométertől néhány száz kilométerig terjedő horizontális légköri mozgások tartoznak ehhez a méretskálához. A mezoskálájú vertikális mozgások átfogják az egész troposzférát, egyes esetekben a sztratoszféráig is felnyúlhatnak. Ezen a méretskálán tehát jelentős vertikális sebességek és gyorsulások lépnek fel. A mezo méretű objektumok jellemzően gyors fejlődésűek, méretüktől függően átlagosan 0,5-12 órán át maradnak fent. A mezoskálá legtipikusabb mozgásrendszerei a konvektív képződmények áramlási rendszerei. A mezo jelenségekhez tartoznak a földfelszín egyenetlen felmelegedéséből adódó lokális áramlási rendszerek, úgy, mint a hegy-völgyi szél, fön jelenség, parti szél, városi cirkuláció (Práger, 1982).

Az általunk vizsgált helyi jellegzetességek karakterisztikus méreteik szerint ehhez a skálához rendelhetőek. A későbbiekben részletesebben áttekintjük ezeket a folyamatokat.

- **Mikroskálájú mozgások.** Ehhez a méretskálához az egy kilométer alatti nagyságrenddel rendelkező mozgásrendszerek tartoznak. A mikroskálájú mozgásokhoz tartoznak a felszín közeli határrétegben végbemenő folyamatok, valamint a felszíni egyenetlenségekből adódó turbulens áramlások. E jelenségek élettartama általában néhány perc (*Práger, 1982*).

A légköri mozgásrendszerek egyik ilyen nagyságrendi felosztása az Orlansky-féle skála.

#### **Makroskála:**

- Makro- $\alpha$  ( $L > 10000$  km): Rossby-hullámok, légköri árapály jelenség
- Makro- $\beta$  ( $10000$  km  $< L < 2000$  km): mérsékelt övi ciklonok, mediterrán ciklonok, anticiklonok, baroklin hullámok

#### **Mezoscála:**

- Mezo- $\alpha$  ( $2000$  km  $> L > 200$  km): frontok, trópusi ciklonok, instabilitási vonalak, hidegcsepp
- Mezo- $\beta$  ( $200$  km  $> L > 20$  km): zivatarrendszerek, szupercellák, konvergenciavonalak, tavi cirkuláció, fön szelek
- Mezo- $\gamma$  ( $20$  km  $> L > 2$  km): légtömegben belüli zivatarok, városi cirkuláció

#### **Mikroskála:**

- Mikro- $\alpha$  ( $2$  km  $> L > 200$  m): tornádók, gravitációs rövidhullámok
- Mikro- $\beta$  ( $200$  m  $> L > 20$  m): portölcsérek, termikek
- Mikro- $\gamma$  ( $20$  m  $> L$ ): turbulencia, érdesség

A továbbiakban a légköri folyamatok vizsgálata során ezt a skálabesorolást vesszük alapul.

## **2.2. A nagyságrendi analízis szerepe a numerikus előrejelzések készítésében**

A légköri rendszer fizikai kölcsönhatásai rendkívül szerteágazóak, és ebből adódóan rendkívül nagyszámúak is. Ahhoz, hogy pontos képet kaphassunk az

időjárás jövőbeli alakulásáról, ismernünk kellene az összes lehetséges kölcsönhatást a légköri összetevők, valamint a légkör és környezete között, továbbá ismernünk kellene a kölcsönhatásokat leíró összes fizikai törvényt is. Ez természetesen nem lehetséges tekintve a kölcsönhatások rendkívül nagy számát. Ugyanakkor megtehetjük, hogy kiválasztjuk a kölcsönhatások azon csoportját, mely az időjárás alakulása szempontjából a legmeghatározóbb. Ehhez különböző egyszerűsítő hipotéziseket használnak a modellezés során. A lényeges folyamatok kiválasztása, valamint a lényegtelenek elhanyagolása jelenti a modellezés alapját (*Práger, 1982*).

A dinamikai alapú numerikus modellezés elengedhetetlen feltétele, hogy a HTER-nek egy egyszerűbb változatát állítsuk elő. Ilyen egyszerűsítést jelent a nagyságrendi analízis módszere. A módszer a Reynolds-féle hasonlósági elvet követi. E szerint az áramlások geometriája egyértelmű kapcsolatban áll a közegben ható erőkkel és a fellépő gyorsulásokkal. Ha két áramlási rendszert tekintünk, melyek karakterisztikus méretei hasonlóak, valamint karakterisztikus sebességeik arányosak, akkor ez a két rendszer mechanikai értelemben is hasonló. A bennük fellépő erőhatások és gyorsulások arányosak egymással. Tehát a légköri áramlási rendszerek karakterisztikus méreteiből és a bennük fellépő karakterisztikus sebességi értékekből következtethetünk az őket kiváltó dinamikai feltételekre. A mozgásegyenletek alakját nagyban meghatározzák ezek az erőhatások és gyorsulások, így a mozgásegyenleteinket úgy módosíthatjuk, hogy azok csak egy adott karakterisztikus mérettel rendelkező mozgásrendszert írjanak le. A légköri folyamatok nagyságrendi osztályozásával tehát a légkör hidro-termodinamikai egyenletrendszerének speciális, egyszerűsített alakjai állíthatók elő. Ezek az egyszerűsített egyenletek a légköri mozgásoknak azon csoportját írják le, melyek egy adott nagyságrendi osztályba tartoznak (*Práger, 1982*).

A HTER speciális változatai segítségével olyan numerikus előrejelző modellek állíthatóak elő, melyek adott méretskálán végbemenő légköri mozgásrendszereket vizsgálnak. A fentebb meghatározott méretskálákhoz tehát az adott méretskála folyamatait vizsgáló modell illeszthető. Kivételt képeznek a mikroskálájú folyamatok, melyek modellezése túlmutat napjaink technikai lehetőségein.

Jelen dolgozatban a nagyságrendi analízis elvének megfelelően vizsgáljuk a különböző skálájú folyamatokat. A vizsgált időjárási jelenségek méretskálájának meghatározásánál az Orlansky-skálát használjuk fel. Az előrejelzés célja, vagyis, hogy mekkora területen, milyen időjárási jelenségek előrejelzését szeretnénk elvégezni, egyértelműen meghatározza, hogy melyik modell használata a



legcélszerűbb. Az esettanulmányok során először makro skálán vizsgáljuk meg, milyen objektumok alakítják Közép-Európa időjárását. Ezen a méretskálán a nagytérségi előrejelzések áttekintéséhez globális, hidrosztatikus modellt használunk. A Kárpát-medencében, és azon belül a Magyarországon várható időjárás előrejelzésében a korlátos tartományú modell nyújt segítséget.

Diplomamunkámban az ECMWF és GFS globális hidrosztatikus modell, valamint az ALADIN korlátos tartományú modellek produktumai kerülnek bemutatásra.

### **3. Numerikus időjárás előrejelző modellek**

Ebben a részben az Országos Meteorológiai Szolgálat által használt numerikus modellek kerülnek bemutatásra. E modellek képezik a Szolgálat rövid- és középtávú előrejelzéseinek az alapját, illetve ezek voltak elérhetőek az OMSZ-ban történő munkám során.

#### **3.1. ECMWF globális hidrosztatikus modell**

Az ECMWF globális hidrosztatikus modell horizontális térbeli felbontása 16 km. Az operatív előrejelzői munka során egy determinisztikus modell, valamint egy ensemble előrejelzési rendszer áll rendelkezésre. A teljes, 240 órás előrejelzési időszakra naponta kétszer készül el az előrejelzés (00 és 12 UTC). A modell számos fizikai kölcsönhatást vesz figyelembe, mint például az óceán-légkör, talaj-légkör, valamint a hótakaró és légkör közötti kölcsönhatást is. Vertikális felépítését tekintve a felszín és a 0,1 hPa-os nyomási felület között 136 szintet tartalmaz. Az ECMWF modell fizikája, térbeli felbontása és az OMSZ-ban rendelkezésre álló domain alapján a leginkább alkalmas az euro-atlanti térség időjárását meghatározó makroskálájú objektumok (ciklonok, cikloncsaládok, anticiklonok) előrejelzésére.

A determinisztikushoz képest kevésbé finom térbeli felbontású az ensemble előrejelzési rendszer (EPS), mely magába foglalja 50, különböző kezdeti feltételekkel indított, de egyenrangú ensemble tagot, illetve az EPS felbontásával készülő, de a determinisztikus futás kezdeti feltételeivel induló ún. kontrol tagot. A középtávú EPS előrejelzések a determinisztikushoz hasonlóan naponta kétszer készülnek (*met.hu*).

#### **3.2. ALADIN és AROME korlátos tartományú modellek**

Az ALADIN és AROME korlátos tartományú modellek a mezoskálájú időjárás objektumok előrejelzésében nyújtanak segítséget. Az ALADIN futtatások 8 km-es horizontális felbontással készülnek. A futtatás tartománya Közép-Európa jelentős részét lefedi. Az AROME már finomabb, 2,5 km-es horizontális felbontással a Kárpát-medence területének mezoskálájú folyamatait hivatott modellezni. A két modell dinamikája és adatasszimilációs módszere nagy részben megegyezik, fizikai parametrizációjukat tekintve azonban jelentősen eltérnek.

Az ALADIN és AROME modellek alap dinamikájára jellemző, hogy mind a hidrosztatikus, mind a nem-hidrosztatikus integrálást megengedi. Az ALADIN esetében a hidrosztatikus közelítést alkalmazzák, mivel a 8 km-es horizontális felbontás mellett elhanyagolhatóak a vertikális irányú mozgások. Az AROME 2,5 km-es horizontális felbontása a nem-hidrosztatikus modellintegrálást kívánja meg, mivel ezen a térskálán a vertikális gyorsulások és horizontális gyorsulások nagyságrendje hasonló lehet.

A fizikai parametrizációjukban jelentkező különbséget az eltérő parametrizációs csomagok használata jelenti. Az ALADIN által használt parametrizációs csomag a francia globális modell, az ARPEGE fizikai paramterizációinak regionális adaptációjára, illetve annak továbbfejlesztésére épül. Az AROME fizikai parametrizációs csomagja a Meso-NH nagyfelbontású francia kutatómodell paramatrizációira támaszkodik. A parametrizációs csomagok közötti különbségek eredményezik azt, hogy míg az ALADIN parametrizálja a konvektív folyamatokat, addig az AROME explicit módon képes leírni azokat.

A modellintegrálás elengedhetetlen részét képezi az adatasszimiláció és inicializáció folyamata, mely nem más, mint a modell kezdeti feltételeinek az előállítása. A kezdeti feltételeket meteorológiai mérések és korábbi előrejelzések alapján kerülnek előállításra, melyhez optimális becsléseket (optimális interpoláció, variációs asszimiláció) használnak. Az ALADIN modell determinisztikus változata lokális adatasszimilációt használ. Az AROME kezdeti feltételei az ALADIN kezdeti feltételeinek interpolációjából állnak elő.

Az ALADIN és az AROME modellek legfőbb jellemzőit a *1. táblázat* foglalja össze szemléletesen.

1. táblázat: ALADIN és AROME modellek legfontosabb jellemzői (www.met.hu)

	ALADIN		AROME
	Determinisztikus	Ensemble	
Földrajzi tartomány	Kontinentális Európa		Kárpát-medence
Horizontális felbontás	8 km		2.5 km
Vertikális szintek száma	49		60
Dinamika és a fizikai parametizációk legfontosabb jellemzői	Hidrosztatikus közelítés, parametizált mély és sekély konvekció		Nem-hidrosztatikus, mély konvekció explicit leírása, csak a sekély konvekció parametizált
Kezdeti feltételek	Lokális adatasszimiláció: 3d-var és optimális interpoláció	Adatasszimiláció nélküli leskálázás	Lokális adatasszimiláció: 3d-var és a felszíni mezők interpolációja az ALADIN modellből
Oldalsó peremfeltételek	ECMWF globális modellje	PEARP (Météo-France globális ensemble rendszere)	ECMWF modell
Előrejelzési időtáv	00 UTC: +54 óra,	18UTC: +60 óra	00 UTC: +48 óra,

A korlátos tartományú modellek futtatásának elengedhetetlen feltétele a peremfeltételek megadása, mivel a tartományon kívüli folyamatok ismerete nélkül nem várható megbízható előrejelzés. Az ALADIN determinisztikus modellje számára az ECMWF globális modellfuttatásai jelentik a szükséges oldalsó peremfeltételeket. Az AROME modell futtatásához pedig az ALADIN modell biztosítja a peremfeltételeket (*met.hu*)

Az ALADIN modell az esettanulmányok során a Kárpát-medence feletti légkörben végbemenő dinamikai folyamatok előrejelzésében nyújt majd segítséget számunkra. Általa megvizsgáljuk a medence nedvességi és hőmérsékleti viszonyait, sőt ezek vertikális eloszlásának tanulmányozására is alkalmazzuk, hogy még szemléletesebbé tegyük a vizsgált időjárási helyzetet alakító folyamatokat.

Az AROME finom felbontását és nem-hidrosztatikus dinamikai magját elsősorban a hazánk feletti konvektív folyamatok szimulálására használjuk. A konvekcióhoz kapcsolódó dinamikai feltételek és hatások területi eloszlásának és intenzitásának előrejelzésében nyújt komoly segítséget. Felbontása minden eddigi modellnél jobban figyelembe tudja venni hazánk domborzati adottságait. Így ennek függvényében készít előrejelzést a felszín közeli paraméterek értékeinek területi eloszlására.

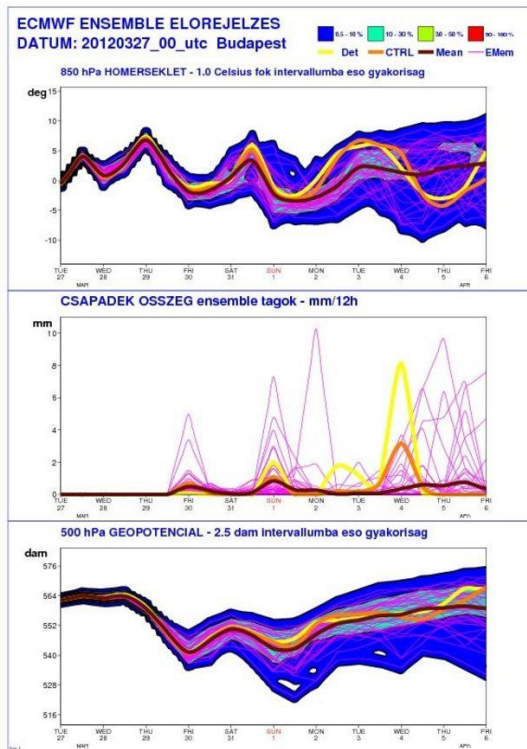
Az ALADIN modellnek is elérhető EPS rendszere az OMSZ-ban LAMEPS néven. A rendszernek 10, a determinisztikussal azonos felbontású tagja és egy kontrol tagja van, peremfeltételeiket azonban jelenleg nem az ECMWF, hanem a PEARP francia EPS rendszer tagjai biztosítják (*Horányi et. al, 2011*).

### 3.3. A numerikus modellek használata az előrejelzés készítése során

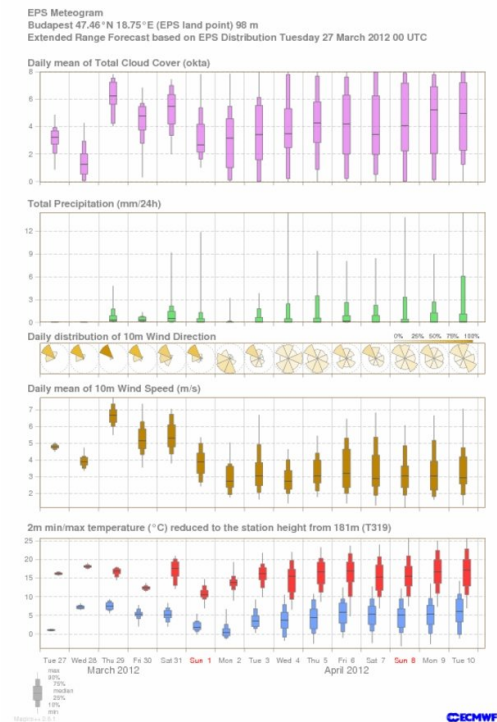
Az aktuális időjárás áttekintését követően az előrejelzést készítő szakember hozzálát a modelleredmények tanulmányozásához. A számítógépes modell-előrejelzések képezik napjaink prognózisainak a gerincét. A modellek révén megfigyelhető az időjárás alakításában leginkább meghatározó makro- és mezoléptékű rendszerek időbeli fejlődése. A szinoptikus módszereknek megfelelően célszerű a nagyobb méretskálák felől elindulni, azaz először az euro-atlanti térség, valamint Európa időjárási viszonyait kell áttekinteni. Ehhez jól használható az ECMWF globális modellje, melynek futtatási tartománya ideális a nagyléptékű időjárási rendszerek nyomon követésére. Az ECMWF modell segítségével beazonosíthatóak azok a nyomási rendszerek, légtömegek, illetve az ezeket elválasztó frontok, melyek az előrejelzési időszakban Közép-Európa, ezen belül is a Kárpát-medence időjárása szempontjából a legmeghatározóbbak lesznek. Az euro-atlanti térség után a Közép-Európára jellemző sajátosabb hatások áttekintése következik. Ezen a méretskálán jól alkalmazható az ALADIN modell, mely térbeli felbontásának köszönhetően részletesebb képet ad arról, hogy a szinoptikus skálájú objektumok, milyen regionális hatásokat gyakorolnak Közép-Európára, illetve a Kárpát-medencére. Az időjárást alakító főbb tényezők (felhőzet, csapadék, szélmozgás) előrejelzése speciális, a Kárpát-medencére, ill. hazánkra optimalizált parametrizációs csomag felhasználásával történik. A karakterisztikus tér-idő skálán „lefelé” továbbhaladva egyre nagyobb szerephez jut az AROME nem-hidrosztatikus modell. Fejlett fizikai parametrizációja, finom felbontása és nem-hidrosztatikus dinamikai magja főként a konvektív rendszerek megjelenésének és fejlődésének előrejelzésében nyújt kiemelkedő segítséget. Információval szolgál a konvekció intenzitásáról, struktúrájáról és területi eloszlásáról, mely rendkívül fontos a veszélyjelzés szempontjából.

A korábban az ECMWF és LAMEPS példáján keresztül bemutatott ún. ensemble előrejelzések felhasználásának célja az, hogy megmutassa az adott esemény bekövetkezésének valószínűségét, rámutasson a bekövetkezés és egy várt forgatókönyv körüli bizonytalanságokra. Az ensemble tagokat vizsgálva különböző módszerek által kerülnek számszerűsítésre a tagok közötti eltérések, melyekből végezetül megkapjuk az általunk előrejelzni kívánt időjárási esemény bekövetkezésének valószínűségét (*Szépszó et al, 2013*).

Az ensemble előrejelzések eredményei elsősorban fáklya diagramok (1a. ábra) és meteogramok (1b. ábra) ill. valószínűségi térképek formájában kerülnek interpretálásra.



a)



b)

**1. ábra: 10 napos érvényességű ensemble fáklya (a) és 15 napos érvényességű ensemble meteogram (b) előrejelzés (www.met.hu)**

A modellek pontossága jelentősen javult az elmúlt években, ugyanakkor még mindig vannak korlátaik. Beválásukat, pontosságukat nagyban meghatározza az is, hogy mennyire bonyolult időjárási helyzetet kell előrejelezni. Bonyolult helyzetekben ugyanis a különböző modellek nem festenek egyértelmű képet a várható időjárásról. Továbbá nem mindig képesek „megfogni” az adott térség szinoptikus-klimatológiai sajátosságait. Az előrejelző szinoptikus szakember sokéves munkája során megismeri az egyes modellek viselkedését a különböző időjárási helyzetekben, így tapasztalatai révén képes a modell korlátait részben kiküszöbölni.

## **4. A Kárpát-medence időjárását alakító légköri képződmények**

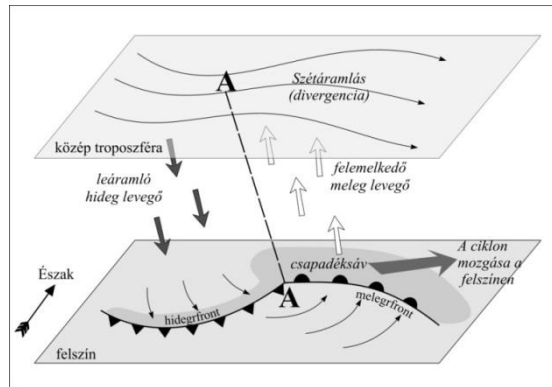
Az előző fejezetben bemutattuk, hogy a légköri mozgások karakterisztikus méreteik szerint hogyan csoportosíthatók különböző méretskálák szerint. Láttuk, hogy a méretskálák meghatározása lehetővé teszi, hogy a légköri mozgásokat leíró HTER nagyságrendi analízist végezzünk el, mely révén egyszerűbbé tehetjük a numerikus előrejelzéseket. Bemutattuk, hogy a különböző méretskálákon melyik numerikus modellek használhatóak hatékonyan. Ahhoz, hogy megértsük a regionális időjárási jelenségek kialakulását és fejlődését, ismernünk kell a fejlődésüket nagymértékben meghatározó nagyterületi folyamatokat is. Ezért e fejezetben az egymással szoros kölcsönhatásban álló időjárási objektumok kerülnek bemutatásra a szinoptikus skálájú jelenségektől a mezoskálájú képződményekig.

### **4.1. Makroskálájú objektumok**

#### **4.1.1. Mérsékelt övi ciklonok és kialakulásuk**

A ciklonok a topográfiai térképeken zárt izobárokkal rendelkező, alacsony nyomású légköri képződményekként jelennek meg. Átlagos átmérőjük 2500-3000 km körüli, de több középpontú ciklonrendszer esetén az átmérőjük növekedhet (*Wantuch, 2004*).

A ciklonokban található kompenzációs áramlás egy egyensúlyi áramlás, melynek lényege, hogy az alsó troposzférában található alacsony nyomású képződménybe (mely maga a ciklon) minden oldalról spirálisan áramlik be a levegő. A kompenzációs áramlás ezt a beáramló levegőt távolítja el oly módon, hogy a ciklon belsejében történő összeáramlás egy feláramlást generál, és ez a feláramló levegő a felső troposzférában anticiklonálisan szétáramlik (*2. ábra*).



2. ábra: Fejlődő mérsékelt övi ciklon vertikális szerkezete (Bartholy et al., 2013)

Egy ciklon erősségét a mélysége határozza meg. Minél nagyobb a légnyomáskülönbség a ciklon magja és pereme között, annál „mélyebb”, markánsabb objektumról beszélhetünk. A ciklon mélysége nagymértékben függ annak fejlettségétől, vagyis, hogy éppen milyen stádiumban jár életciklusa. A mérsékelt övi ciklonok magjában a legtöbb esetben 1000 hPa feletti a légnyomás, de igazán mély ciklonok esetén ez az érték 935 hPa-ra is képes süllyedni. Ilyen alacsony értékek a Közép-Európa felett megjelenő ciklonokra nem jellemzőek. Európában a legmélyebb ciklonok Izland környékén izolálhatóak (Wantuch, 2004).

Hőmérsékleti struktúrájukat tekintve a ciklonokban aszimmetrikus a hőmérséklet-eloszlás. E hőmérsékleti aszimmetria mértéke függ a ciklon fejlődési stádiumától is. A legnagyobb aszimmetria a fiatal ciklon fázisban jelentkezik (Wantuch, 2004).

Az Európa időjárását meghatározó ciklonok az arktikus stacionárius front Izland körüli szakaszán keletkeznek leggyakrabban. A legtöbb esetben csoportosan, ún. cikloncsaládokat alkotva jelentkeznek. A cikloncsaládok kialakulása és áthaladása egy adott terület felett átlagosan 5-6 napos ciklussal ismétlődik (Czelnai et al., 1994). Élettartamuk elérheti a 10 napot is.

A mérsékelt övi ciklonok kialakulását tekintve megkülönböztetünk **A** és **B** típusú ciklongenezist (Pettersen és Sembye, 1971). Először az **A** típusú ciklongenezis vagy polár front elméleten keresztül kerül bemutatásra a ciklon életciklusa.

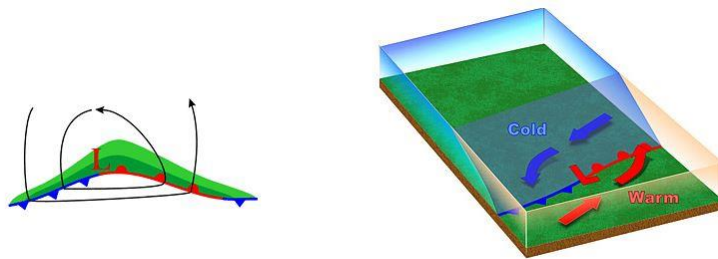
A polárfront egy stacionárius front, ami a sarkvidéki (arktikus) légtömegeket és a mérsékelt övi (poláris) légtömegeket választja el egymástól. A ciklonok ezen a polárfronton megjelenő kis amplitúdójú horizontális hullámként kezdik életciklusukat. Magának a hullámnak a kialakulásában több fizikai tényező is



közrejátsszik. Ilyen többek között az egymással szemben haladó két eltérő sűrűségű közeg, melyeknek határfelületén hullámmozgás alakul ki. Hullámkeltő tényezőként említhetjük meg a nehézségi erőt, a Föld forgását, a levegő összenyomhatatlanságának tényét, de kiváltó ok lehet az orográfia, a tenger és szárazföld közötti hőmérsékletkülönbség is (Péczely, 1979).

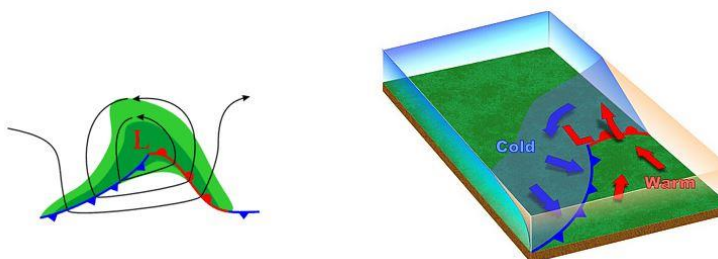
A kialakult hullámvonal mentén a meleg levegő, mintegy „meleg nyelvként” benyomul a hideg levegőbe. A benyomuló meleg levegő csúcsánál a nyomás süllyedni kezd és egy hullámciklon alakul ki.

A hullámciklon fázisban már megjelennek a frontálzónák, a hideg- és melegfronti szakasz, de még nem jelenik meg a zárt izobár a szinoptikus térképeken (3. ábra).



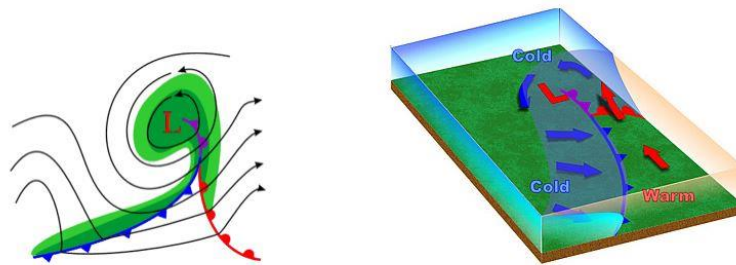
3. ábra: A mérsékelt övi ciklon fejlődésének ún. hullám ciklon fázisa (<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/synoptic/cyclone.htm>)

A következő fázisban már fiatal ciklonról beszélhetünk. Ekkor már egy vagy akár több zárt izobárral rendelkező ciklon is előfordulhat, mely felett a tropopauza lesüllyed. Jól láthatóvá válnak a frontálzónák a ciklon előoldalán a melegfronttal, hátoldalán a hidegfronttal (4. ábra). A két front közötti területet pedig *melegszeztornak* nevezzük.



4. ábra: A mérsékelt övi ciklon fejlődésének fiatal ciklon fázisa (<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/synoptic/cyclone.htm>)

A kialakult frontok haladási sebessége eltérő. A hidegfront gyorsabban halad, mint a melegfront, és ez vezet az okklúzióhoz. Okklúzióról akkor beszélhetünk, amikor a hidegfront utoléri a melegfrontot. E folyamat a ciklon magja körül jelenik meg legelőször, majd az idő előrehaladtával felemészti a melegszelet, elválasztja a talajtól és a magasabb rétegekbe kényszeríti azt. Ez az okkludált ciklon állapot (5. ábra).



5. ábra: A mérsékelt övi ciklon fejlődésének ún. okkludált ciklon állapota (<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/synoptic/cyclone.htm>)

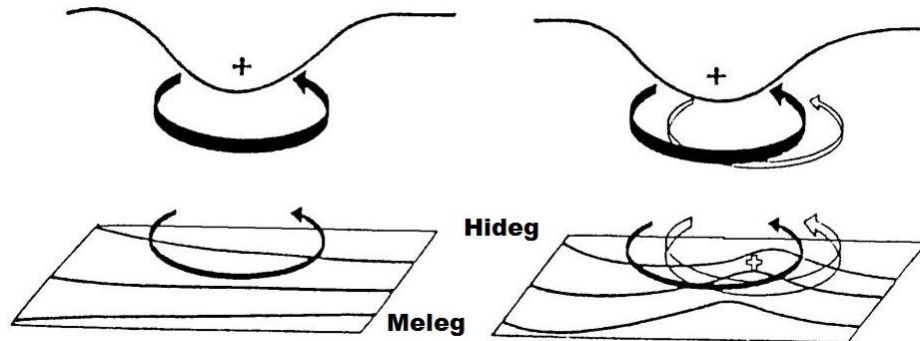
Az okkludálódás során a meleg levegő egyre inkább elválik a talajtól, és hideg levegő tölti ki a helyét. Végül a ciklon egy homogén örvénnyé, azaz örvényciklonná alakul, mely rövid időn belül elveszti cirkulációs energiáját, feltöltődik, majd elhal.

#### 4.1.2. Mediterrán ciklonok

A mediterrán ciklonok az *izlandi ciklonokhoz* hasonlóan jelentős hatást gyakorolnak hazánk időjárására. E ciklonok túlnyomó többsége a hideg időszakban, ősszel valamint télen jelentkezik, mivel ilyenkor a poláris éghajlati front egészen a mediterrán térségig lenyúlik (Péczely, 1979). A mediterrán ciklonok kialakulása az ún. **B** típusú ciklongenezis elméletnek megfelelően megy végbe.

Az **A** típusútól eltérően a **B** típusú ciklongenezisnél a felső troposzféra dinamikai folyamatai is meghatározóak. Ennél a típusnál jellemzően egy felső troposzférikus pozitív potenciális örvényességi anomália helyeződik egy olyan alacsony szinten található baroklin zóna fölé, amelyben gyenge melegadvekción zajlik (6. ábra). Ilyen magas szintű anomáliát létrehozhat pl. egy kimélyülő rövidhullámú teknő, vagy az alacsonyan elhelyezkedő tropopauza. A pozitív potenciális örvényességi anomália előoldalán pozitív örvényességi advekción megy végbe, mely egy sekély ciklon kialakulását eredményezi a troposzféra alsó részében. Ahogy ez az anomália közeledik, a sekély ciklon elkezd egyre inkább kimélyülni. Ennek

következtében előoldalán fokozódik a melegadvekción, mely újabb pozitív örvényességi advekción eredményez a ciklon térségében. A látens hőfelszabadulás is hozzájárulhat a mélyüléshez abban az esetben, ha a ciklon előoldalán elhelyezkedő meleg-nedves szállítószalag nagy nedvességtartalmú levegőt szállít (Kiss, 2012).



6. ábra: A B típusú ciklogenezis egyszerűsített ábrája, ahol a fekete vonalak az izotermákat jelölik (Hoskins et al., 1985)

Kialakulásukban az orográfia is nagy szerepet játszhat. Ez történik a Genovai-öbölben születő mediterrán ciklonok esetében is. Ekkor az északnyugat felől érkező hidegfront eléri az Alpok nyugati vonulatait. Az Alpokhoz érő hidegfront központi része feltorlódik a hegység *luv* oldalán, melynek hatására a *lee* oldalon jelentkezik a fön szél, ami meleg, felhőmentes időjárási viszonyokat teremt. Ezzel egyidejűleg a hidegfront másik szakasza délről próbálja megkerülni az Alpokat. Eléri a meleg tengert és egy baroklin zónát hoz létre Genovai öböl térségében. Ezen folyamatokhoz társul még a rövidhullámú teknő előoldalán jelentkező felső troposzférikus pozitív örvényességi anomália és az alacsony szinten jelentkező látens hőfelszabadulás, melyek egy sekély ciklont hoznak létre a Genovai-öböl térségében (Sebestyén, 2014).

A Kárpát-medencét időjárására leginkább a Földközi-tenger nyugati medencéjében kialakult mediterrán ciklonok vannak hatással. A keletebbre kialakult mediterrán ciklonok már nem érik el hazánk térségét (Sebestyén, 2014). Térségünket elérve sokszor több napos esőzéseket, intenzív havazást, és szeles időjárást okoznak.

## 4.2. Mezoskálájú objektumok

### 4.2.1. Időjárási frontok

Az időjárási frontok jelentősen meghatározzák a mérsékelt öv időjárását. Átvonulásukat a front felület mentén, olykor néhány ezer kilométeres hosszúságban fellépő függőleges feláramlások jellemzik. Az emelkedő mozgás felhőzet és csapadék kialakulását idézi elő. A front mögötti süllyedés pedig csökkenti a felhőzetet. Attól függően, hogy a frontfelület melyik légtömeg irányába mozdul el, megkülönböztetünk *hideg-* és *melegfrontokat*.

Melegfront akkor alakul ki, amikor a gyorsan mozgó meleg levegő felsiklik a visszahúzódó hideg levegőre. A felsiklás eredményeként a melegfront felülete fölött a nagy kiterjedésű, egyenletes sebességű emelkedő légmozgás vastag felhőréteget alakít ki. Vastagsága elérheti a 8-10 km-t. A melegfront időjárására jellemző az egyenletes intenzitású eső vagy havazás, mely 1-2 napig is fennállhat a front lassú mozgásának, valamint a széles csapadéksávnak köszönhetően.

Hidegfront esetén a gyorsan mozgó hideg levegő ékszerűen benyomul a meleg légtömeg alá, s azt feláramlásra kényszeríti. A melegfronttal ellentétben a feláramlás nem egyenletes, hanem erőteljes, nagy sebességű feláramlások jellemzőek, melyek gomolyos felhőzetet hoznak létre. A felemelkedő meleg levegő és a talajon előrenyomuló hideg feltételeken instabil állapotot hoz létre a légkörben a frontfelület mentén. Ez pedig kedvező feltételeket teremt a zivatarok kialakulásához. A hidegfrontokat a frontvonal mentén történő feláramlás alapján két típusba sorolják: ez az *elsőfajú-* és a *másodfajú hidegfront*. E két típus részletesebb taglalására e dolgozatban nem térünk ki.

A mérsékelt övi ciklonok esetében már szót ejtettünk az okklúzióról, mint arról a jelenségről melynek következtében a ciklon végül „feltöltődik” és elhal. Az okklúziós front akkor jön létre, amikor a gyorsabban mozgó hidegfront utoléri az előtte haladó melegfrontot. Ekkor a két frontfelület összeér, és az előre nyomuló hidegfront elválasztja a melegfrontot a talajtól. Az okklúziós front esetében tehát voltaképpen három eltérő hőmérsékletű légtömeg találkozik egymással: a melegfront előtt visszavonuló hideg levegő; a melegfronthoz tartozó meleg levegő; a melegfrontot talajtól „elvágó” hidegfront hideg levegője. A hideg légtömegek megkülönböztetése végett a kevésbé hideget hűvösnek nevezzük. Attól függően, hogy a hideg és a hűvös légtömeg hogyan helyezkedik el az okklúziós frontokat két típusra osztják: *hidegfronti okklúzióra* és *melegfronti okklúzióra*. Mindkét típus két

frontfelületet tartalmaz. Az okklúziós frontok időjárásában megtalálhatóak a hidegfronti és melegfronti időjárási sajátosságok, azaz a melegfrontra jellemző nimbostratus felhőzet, valamint a hidegfrontoknál megjelenő cumulonimbus felhőzet is. Egyenletes és záporos jellegű csapadék az okklúziós frontoknál egyaránt előfordul (Péczely, 1979).

#### 4.2.2. Konvektív jelenségek

A konvektív időjárási események szerves részét képezik a mezoskálán végbemenő időjárási jelenségeknek. A konvekció egy koncentrált függőleges feláramlás. A feláramlás kialakulásában 3 tényező játszik kulcsszerepet, melyeket konvektív komponenseknek hívunk. Az első tényező a légköri felhajtóerő, ami a szabad konvekció létrehozásáért felelős. A második tényező a kényszer konvekció, melynek kiváltója lehet orográfiai akadály vagy konvergencia. A harmadik a szél vertikális vagy horizontális irányváltozása, illetve sebességváltozása, melyet szélnyírásnak hívunk. A szélnyírás önmagában nem képes a konvekció beindítására, de az előző két konvektív komponenssel együtt a feláramlás egy igen heves formáját, szupercella kialakulását idézheti elő. Egy adott konvektív folyamat során több komponens hat egyszerre, de nem egyforma súllyal fejtik ki hatásukat a konvekció kialakulásában (Horváth, 2007; Csonka, 2004).

A termikek is konvektív jelenségek, időjárásra gyakorolt hatásuk mértéke azonban jelentéktelennek tekinthető szemben az olyan időjárási rendszerekkel, melyeket multicellás zivataroknak, squall line-nak és szupercellának nevezünk. Ezek a mezoskálájú képződmények rövid idő alatt nagyobb térségek időjárását drasztikus módon képesek befolyásolni. A fentebb leírtakat az 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: A konvektív jelenségek és a kialakulásukat segítő konvektív komponensek

<b>Konvekció típusa</b>	termikek, egycellás zivatarok	multicellás zivatarok	zivatarláncok	szupercellák
<b>Konvektív komponensek</b>	felhajtóerő	felhajtóerő, konvergencia	felhajtóerő, konvergencia	felhajtóerő, konvergencia, szélnyírás

## 5. A Kárpát-medence orográfiai adottságai által kiváltott jelenségek

A Kárpát-medence egyedülálló földrajzi adottságokkal rendelkező területe Európának (7. ábra). Pont ennyire egyedülálló az időjárás előrejelzés szempontjából is, mivel a medence külső részét alkotó hegyláncok, mint orográfiai akadályok jelentős befolyással vannak a nagytérségi időjárási rendszerek medencén belüli alakulására, ezzel kialakítva a Kárpát-medence egyedi időjárási jegyeit. A peremhegységek emellett hatással vannak a medencén belüli légtömegekre is. Ebben a fejezetben bemutatjuk azokat az időjárási jelenségeket, melyek kialakulásában a Kárpát-medence domborzati adottságai kulcsszerepet játszanak.

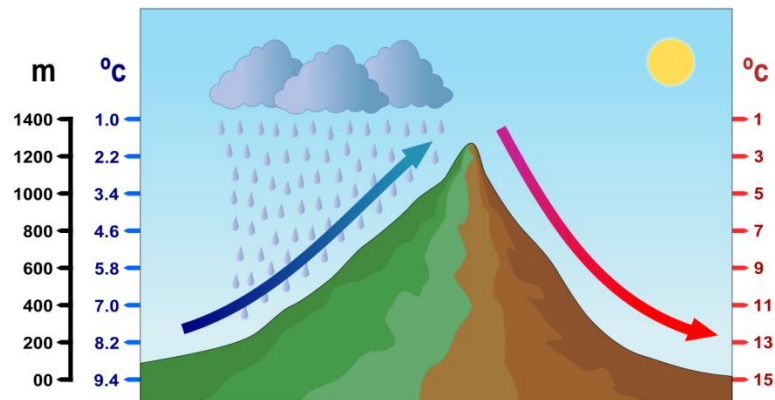


7. ábra: A Kárpát-medence domborzati képe (<http://zellerke.blogspot.hu/>)

### 5.1. A fön szél kialakulásának körülményei

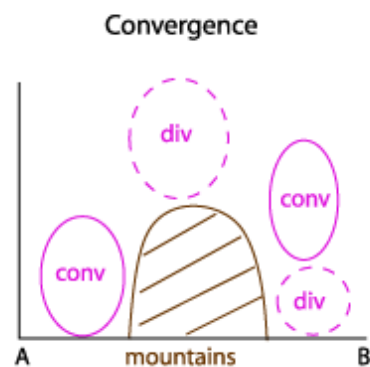
Fön esetén a hegyvonulat emelkedésre kényszeríti a rá merőlegesen érkező légtömeget. Ez az emelkedés egy adiabatikus folyamatot eredményez, vagyis az adott légtömeg vertikális mozgása során nem lép fel hőcsere a környezetével. A fön során az emelkedő légréteg először száraz adiabatikusan kezd el hűlni, amíg a benne lévő hőmérséklet el nem éri a harmatpontot. Ekkor elkezdődik a kondenzáció és ezt követően a nedves adiabata mentén emelkedik és hűl tovább a légréteg. Ezt követően a benne tárolt nedvesség csapadékként hull ki a hegység *lúv* oldalán. Így az emelkedő levegő megszabadul a benne tárolt nedvességtől, és száraz légtömegeként bukik át a hegyvonulaton. A süllyedő levegő nedvesség hiányában száraz

adiabatikusan melegszik majd száraz, meleg szélként jelenik meg a hegy *lee* oldalán (8. ábra).



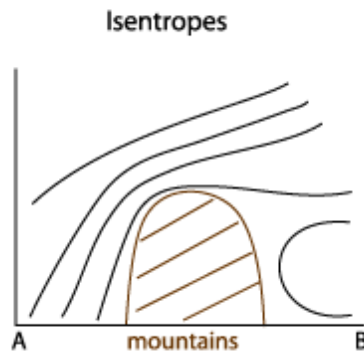
8. ábra: A föhn kialakulását bemutató sematikus ábra (<https://commons.wikimedia.org>)

A leáramló levegő egy alacsony szintű divergens területet alakít ki a hegyvonulat mögött, mely felhőszlató hatást vált ki (<http://www.zamg.ac.at>). Ez a divergens területet jól megfigyelhető a 9. ábrán.



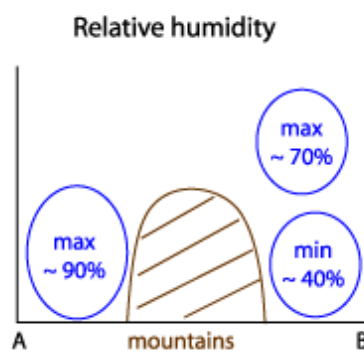
9. ábra: A konvergens és divergens területek hegy körüli eloszlása ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at))

A hegyvonulat *lee* és *luv* oldala közötti légtömegbeli eltérést az izentróp felületek vertikális eloszlásán is jól látható (10. ábra).



10. ábra: Az izentróp felületek hegy körüli eloszlása fön esetén ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at))

A hegység *lúv* oldalán történő nedvesség felhalmozódást és a *lee* oldali kiszáradás jól megfigyelhető az alábbi metszeten is (11. ábra).



11. ábra: A relatív nedvesség hegy körüli eloszlása fön esetén ([www.zamg.ac.at](http://www.zamg.ac.at))

A fön megfelelő erősségű és irányú légáramlás mellett Földünk bármely hegyvidékén előfordulhat. Európában az Alpok térsége nyújtja a legideálisabb körülményeket kialakulására. A hegység mindkét oldalán megfigyelhető fön szél. A legerősebb az úgynevezett *déli fön*, mely az Alpok északi oldalán fejti ki hatását. A száraz, meleg szél erőssége itt akár a 100 km/h-t is elérheti (Tüskés, 2010).



## 6. Esettanulmányok

### 6.1. Főn szelek

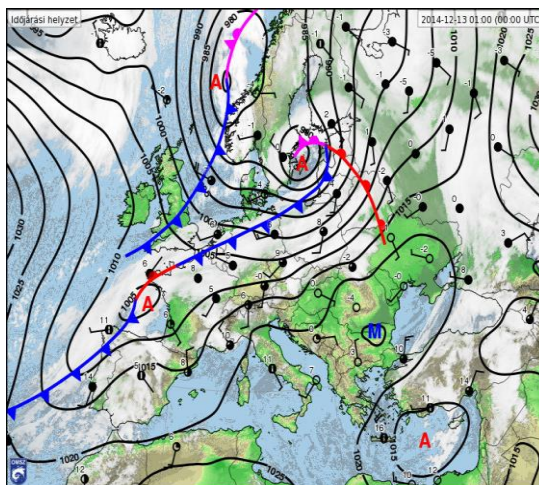
A Kárpát-medence különböző részein szintén megfigyelhető a főn szél kialakulása. Hazánkban a leggyakrabban jelentkező és legerősebb főn hatás az Alpokalján fordul elő. A főn erősségétől függően hatása kiterjedhet a nyugati határszéltre vagy akár a Dunántúl egészére is. A továbbiakban ezek főn szelek kerülnek részletesebb bemutatásra e jelenség kialakulásának körülményeit, valamint hatásait vizsgáló esettanulmányok formájában.

#### 6.1.1. Főn az Alpokalján

**2014. december 13.**

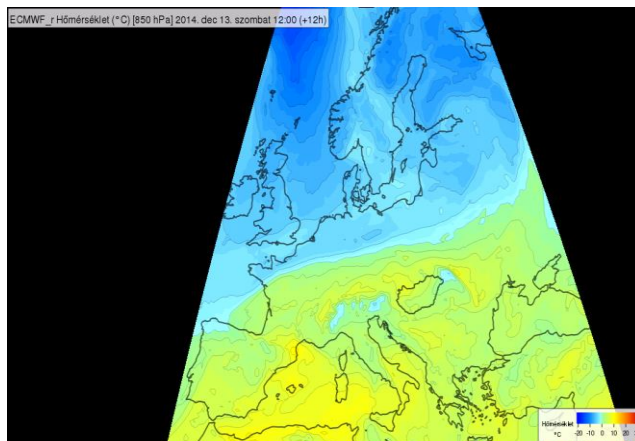
Jelen esettanulmányban az Alpokalján előforduló főn kialakulásának körülményeit mutatjuk be a makroszinoptikus helyzetképtől, egészen a regionális hatásokig.

Ezen a napon hazánk a Baltikum térségében tartózkodó peremciklon szűk melegszeKTorában helyezkedett el. A közeledő hidegfront előoldalán délnyugati áramlás alakult ki a Kárpát-medence térségében (12. ábra).



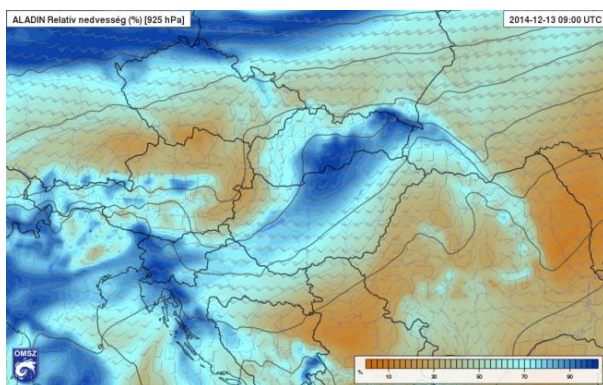
12. ábra. Az kontinens időjárását bemutató analízistérkép ([www.met.hu](http://www.met.hu))

Az alacsony szinten elhelyezkedő meleg-nedves szállítószalag nedves levegőt szállított térségünk fölé. Hazánk előoldali helyzete az ECMWF hőmérsékleti előrejelzésén is megjelenik (13. ábra).

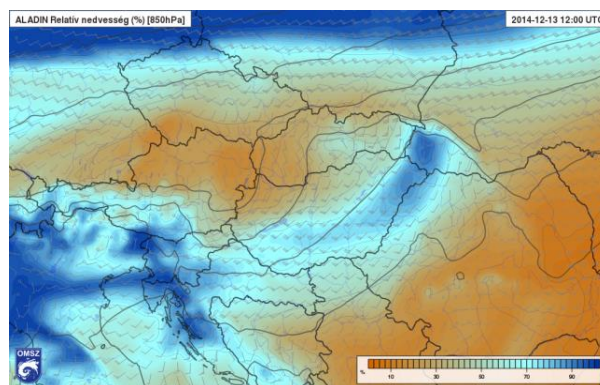


13. ábra: Az ECMWF 850 hPa-os nyomási szintre vonatkozó hőmérsékleti előrejelzése 12 UTC-re (HAWK-3)

A meleg-nedves szállítószalag hazánk fölé helyeződését várta ALADIN korlátos tartományú modell-előrejelzése is. A modell 12 UTC-re vonatkozó előrejelzésén a 925 hPa-os szinten erős délnyugati széllel párosuló jelentős nedvesség advekcióna számított a Nagykanizsa-Miskolc tengelyen (14. ábra). A 850 hPa-os szinten is jól látható a délnyugatról érkező nedves szalag, de iránya keletiesebb és nedvességtartalma alul múlta az alacsonyabb szinteken előrejelzett értékeket (15. ábra).



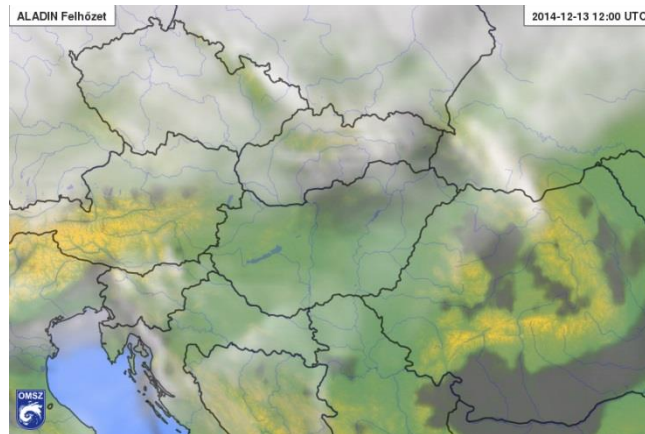
14. ábra: A 925 hPa-os szint relatív nedvessége és szélmezeje az ALADIN 12 UTC-re vonatkozó előrejelzésén (HAWK-3)



15. ábra: A 850 hPa-os szint relatív nedvessége és szélmezeje az ALADIN 12 UTC-re vonatkozó előrejelzésén (HAWK-3)

Az előrejelzéseken látható, hogy miként torlódik fel az alacsony szintű nedves levegő Északi-középhegység és a Dinári-hegység *lúv* oldalán. Az Északi-középhegység szállítószalagra gyakorolt torlasztó hatása miatt az ország északi területein lehetett a legtöbb nedvességre számítani. A nedvesség-felhalmozódás az

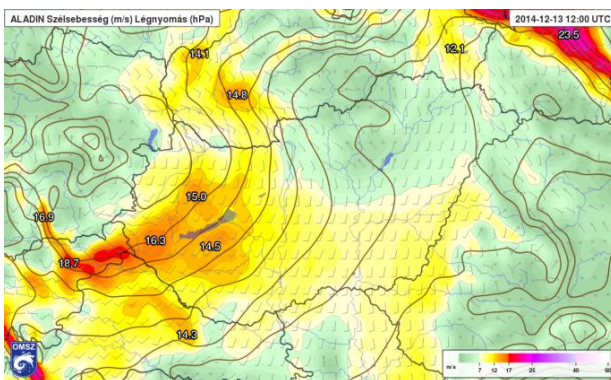
alacsony szintű felhőzet kialakulásának kedvezett, amit a modell felhőzeti előrejelzése is tükrözött (16. ábra).



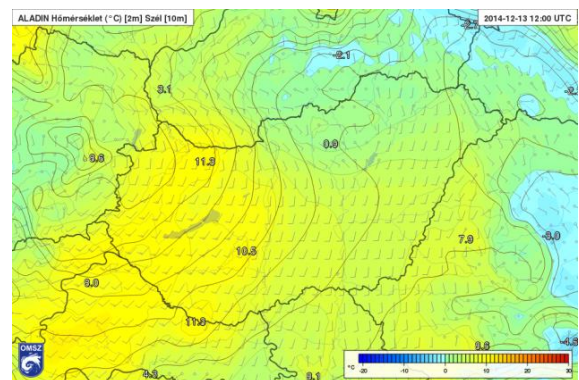
16. ábra: Az ALADIN felhőzetre vonatkozó előrejelzése 12 UTC-re (HAWK-3)

A felszínre vonatkozó előrejelzéseket tekintve az ország nyugati és déli területein ígérkezett szelesebb időjárás. Az erős szél mellett az Alpokalján 16 m/s-os viharos lökéseket várt a modell (17. ábra).

Az előrejelzések alapján a legerősebb felmelegedésre a derült Dunántúlon illetve a déli országrészben lehetett számítani, 11 °C körüli maximummal. Ezzel szemben az ország északi területein megrekedő nedves levegő a gyenge légmozgással párosulva ködös, borongós időjárás kialakulását jelezte előre. Az ALADIN ide 0-1 °C körüli maximumokat várt (18. ábra).



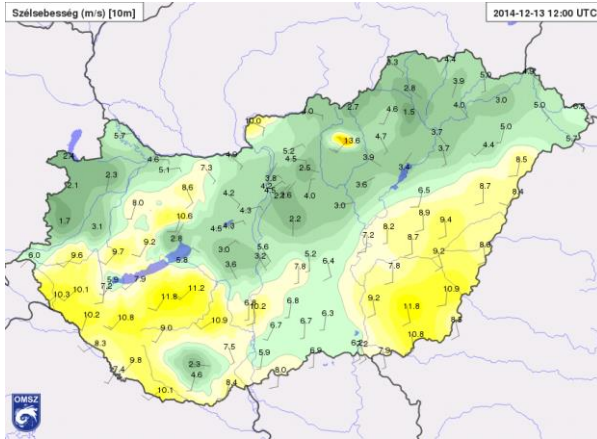
17. ábra: Az ALADIN által előrejelzett szélirány és szélesség 12 UTC-kor (HAWK-3)



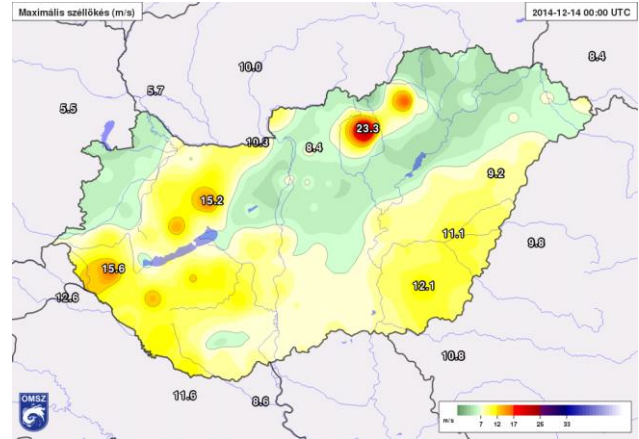
18. ábra: Az ALADIN 2 m-es hőmérsékleti előrejelzése 12 UTC-re (HAWK-3)

A megfigyelések nagyjából visszaadták a modell-előrejelzéseket. A szélre vonatkozó megfigyeléseken megjelennek az előrejelzésben megjelölt szeles vidékek.

Ugyanakkor az is látható, hogy a prognózisok kissé túlbecsülték a szél erősségét, valamint a szeles területek nagyságát. Szembetűnő például, hogy az osztrák határ mentén alig volt légmozgás, melynek oka az Alpok árnyékoló hatásában keresendő (19. ábra).

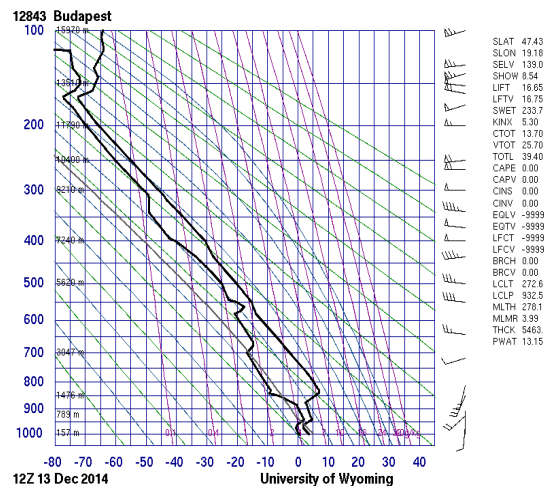


19. ábra: A 12 UTC-kor megfigyelt szélirány és szélsébség (HAWK-3)



20. ábra: Az elmúlt 24 órában (2014.12.13 00 UTC - 2014.12.14 00 UTC) mért legerősebb szellőkések (HAWK-3)

A 24 órás szélmaximumokat tekintve azonban kiugró a Kékestetőn mért, több mint 23 m/s-os szél (20. ábra). A hegy tetején mért erős szelet az ebben a magasságban lévő erős délnyugati áramlás okozta (21. ábra).

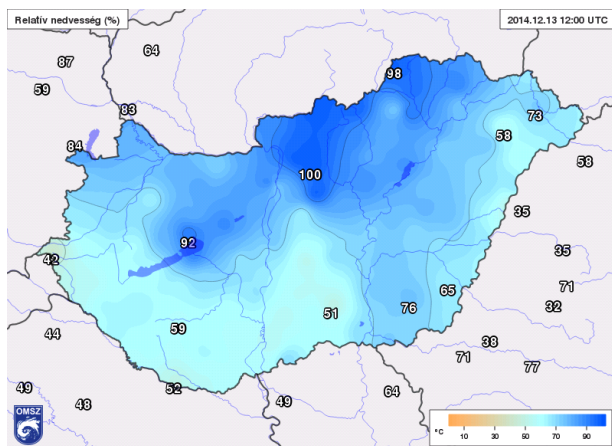


21. ábra: A 12 UTC-kor készült budapesti rádiószondás felszállás, amelyen jól látszik a szél magassággal való erősödése az alsó 1500 méteres rétegben (<http://weather.uwyo.edu>)

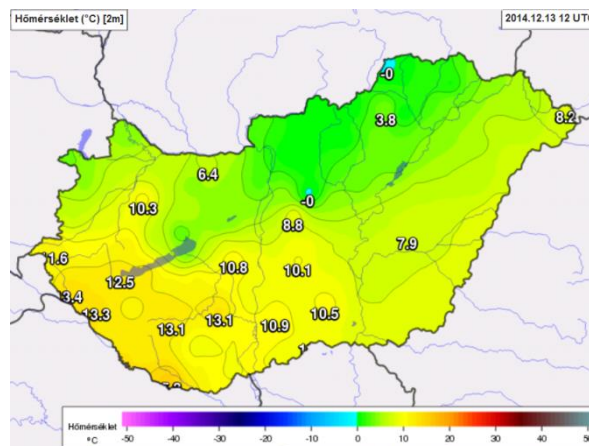
A hőmérsékletre és légnedvességre vonatkozó megfigyeléseken jelentős felmelegedés és kiszáradás látható a délnyugati országrészben. A legmagasabb hőmérsékleteket a Délnyugat-Dunántúlon mérték, ahol a hőmérséklet csúcserkéke

több helyen meghaladta a 13 °C-ot. Ez magasabb, mint amire a modell számított. Az Északi-középhegység térségében ezzel szemben néhol fagypont körül alakult a hőmérséklet a borongós, ködös időnek köszönhetően (22. ábra).

Bár az előrejelzés nem várt alacsony szintű kiszáradást, a megfigyeléseken azonban látható a délnyugati tájak felett elhelyezkedő alacsony nedvességtartalmú levegő (23. ábra).



22. ábra: A relatív nedvességre vonatkozó felszíni megfigyelések 12 UTC-kor (HAWK-3)



23. ábra: A hőmérsékletre vonatkozó felszíni megfigyelések 12 UTC-kor (HAWK-3)

Figyelembe véve a szélre, a hőmérsékletre és a relatív nedvességre vonatkozó megfigyeléseket, felismerhetjük az Alpokalján és a Dél-Dunántúlon kialakult fönt és annak térségre gyakorolt hatásait. A műholdképen is jól látható a Dinári-hegység *luv* oldalán feltorlódó felhőzet és a *lee* oldali kiszáradás (24. ábra).

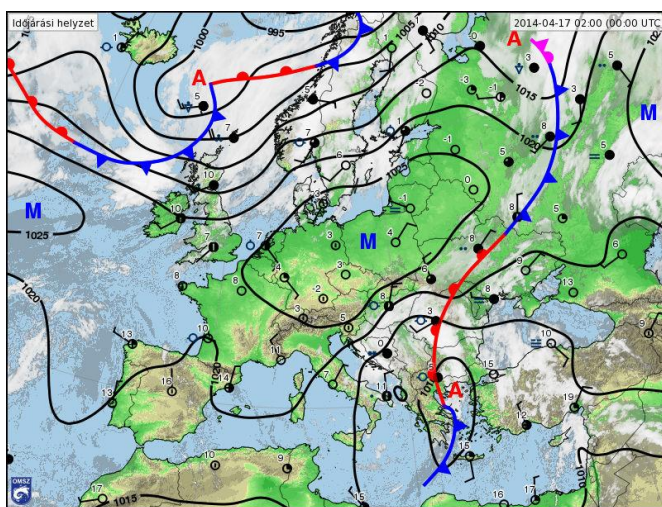


24. ábra: A Kárpát-medencéről készült 12 UTC-s műholdkép (www2.sat24.com)

## 6.1.2 Főn szél az északkeleti országrészben

2014. április 17.

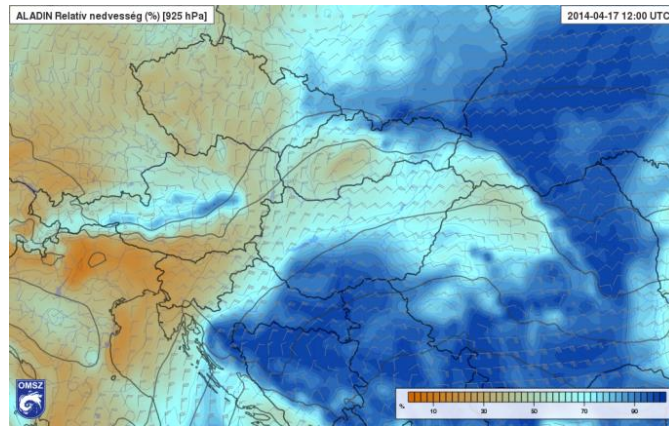
A Kárpát-medence időjárását ezen a napon egy hullámzó frontrendszer alakította, mely a Balkán-félszigettől egészen az Urál-hegység térségéig húzódott. A frontrendszer déli szakaszán egy mediterrán ciklon alakult ki, melynek délkeleti irányból hazánk fölé húzódó melegfrontja az ország nagy részén borongós, délen csapadékos időjárást okozott. Tőlünk északra egy nagy kiterjedésű anticiklon helyezkedett el Európa középső területei fölött (25. ábra).



25. ábra: A kontinens időjárását bemutató analízistérkép (www.met.hu)

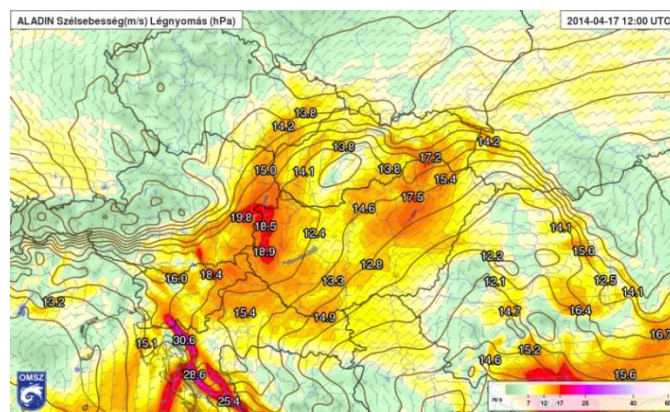
Az anticiklon déli peremén keleti-északkeleti áramlás alakult ki, ami a tőlünk keletre elhelyezkedő frontrendszer irányából nedves léghullámokat szállított a Kárpát-medence térségébe. Az alacsony szinten érkező nedves levegő medencébe való bejutását azonban a Kárpátok vonulatai akadályozták meg.

A relatív nedvességre vonatkozó modell-előrejelzéseken is jól látható az Északnyugati-, valamint Északkeleti-Kárpátok *luv* oldalán feltorlódó nedves levegő (26. ábra). A hegység *lee* oldalán ugyanakkor kiszáradásra lehetett számítani. Ugyanez a helyzet állapítható meg az Alpokban is, de jelen esettanulmányban a Kárpát-medencére fókuszálunk.



26. ábra: A 925 hPa-os szint relatív nedvessége és szélmezeje az ALADIN 12 UTC-re vonatkozó előrejelzésén (HAWK-3)

Az ALADIN szélre vonatkozó előrejelzései a délelőtti órákban várták a legerősebb szellőkéseket. Az előrejelzéseken látható, hogy az Alpokalján, valamint a Kisalföldön egy északias szélcatorna alakul ki a délelőtti órákban. Kialakulására az anticiklon illetve a mediterrán ciklon bárikus mezői közötti nyomási gradiens, valamint a domborzati viszonyok áramlásra gyakorolt hatása adhat magyarázatot. Az Északi-középhegységben az erős északkeleti szél a Hernád és a Bodrog völgyében fokozódhat viharossá. Az előrejelzésen jól látható a Bükk előterében megjelenő viharos szél is. Bár a hőmérsékletre és relatív nedvességre vonatkozó prognózisok nem támasztják alá egyértelműen, de valószínűleg a Bükk *lee* oldalán is gyenge fön kialakulásával számolt a modell (27. ábra).

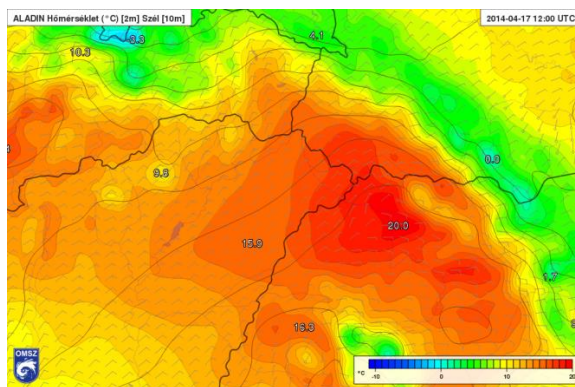


27. ábra: A felszín közeli szélirányra és szélsébségre vonatkozó előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)

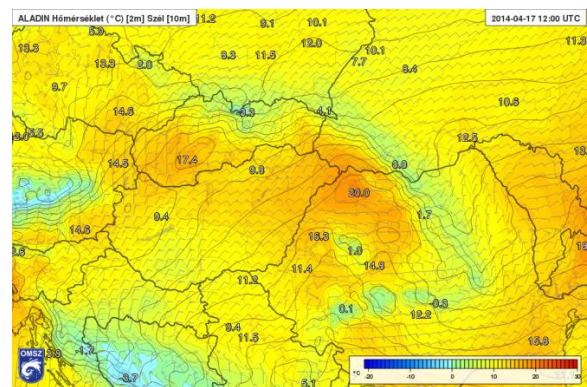
A hazánk északkeleti területeire előrejelzett erős szél és a *lee* kiszáradás a fön kialakulására utal. Ezt támasztja alá a felszíni hőmérsékletre vonatkozó modell-előrejelzés is, ami alapján a legerősebb fön az Északkeleti-Kárpátok *lee* oldalán, az

Erdélyi-medence északi részén és Kárpátalján alakulhat ki. A Nyírség és a Szilágyság térségében a hőmérséklet akár a 20 °C-ot is elérheti, de várhatóan hazánk északkeleti területein is közel azonos mértékű felmelegedésre lehet számítani (28. ábra).

Valamivel gyengébb főn várható Nyugat-Szlovákiában, az Északnyugati-Kárpátok *lee* oldalán, melyet az ALADIN relatív nedvességre és felszíni hőmérsékletre vonatkozó előrejelzései támasztanak alá. A főn szél által előidézett felmelegedés Nyitra térségében a 17 °C is meghaladhatja (29. ábra). Az itt kialakuló főn hatás a Kisalföldön is éreztetheti hatását.

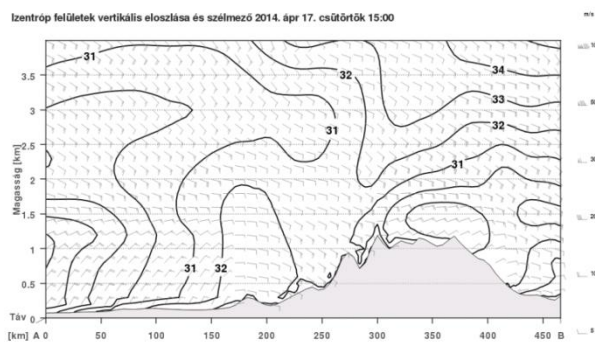


28. ábra: A Kárpát-medence északkeleti térségére vonatkozó hőmérsékleti előrejelzés (HAWK-3)

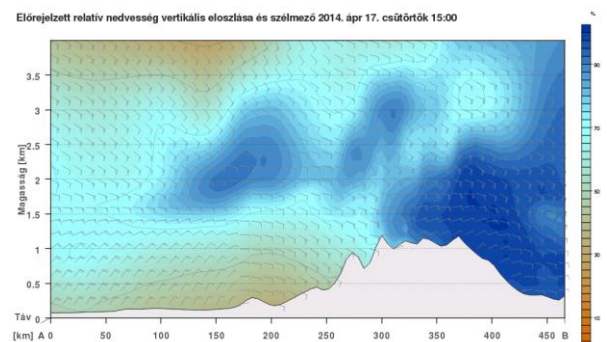


29. ábra: A Kárpát-medencére vonatkozó felszíni hőmérsékleti előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)

Érdemes megfigyelni az ALADIN 15 UTC-re vonatkozó vertikális metszeteit, melyek jól illusztrálják az északkeleti főt (30. ábra).



a)



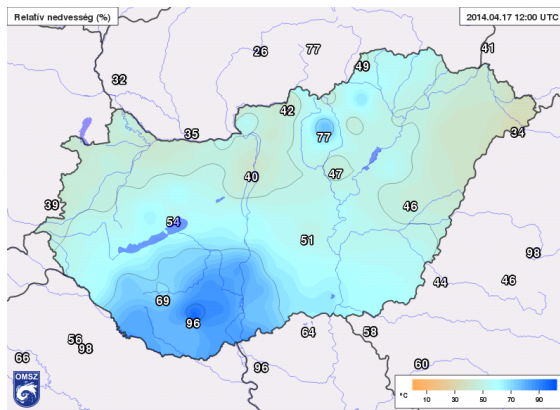
b)

30. ábra: Az izentróp feleületek (a) és a relatív nedvesség (b) vertikális eloszlására vonatkozó előrejelzések a Keleti-Kárpátok vonulata körül (HAWK-3)

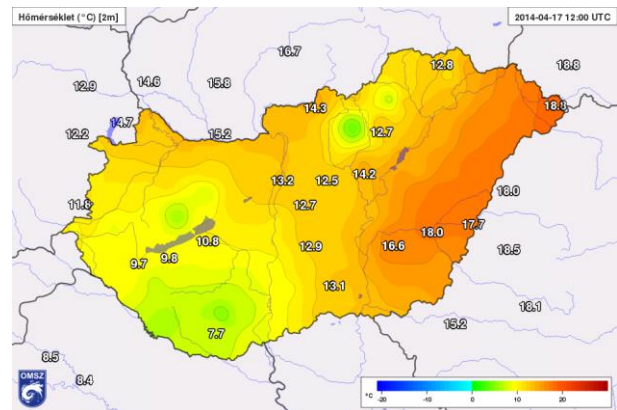


A metszeteken szépen megjelennek *lee* oldali görbült izentrópok, valamint a Kárpátok *lee* és *luv* oldala közötti relatív nedvességekülönbség.

A megfigyeléseket tekintve, mind a hőmérsékletre, mind pedig a nedvességre vonatkozó megfigyeléseken egyértelműen megjelenik a keleti fön hatás, mely a Tiszántúl egészére jelentős felmelegedést hozott (31-32. ábra). A hőmérséklet több helyen elérte a 18 °C-os értéket, ami nagyjából megfelel az előrejelzéseknek.

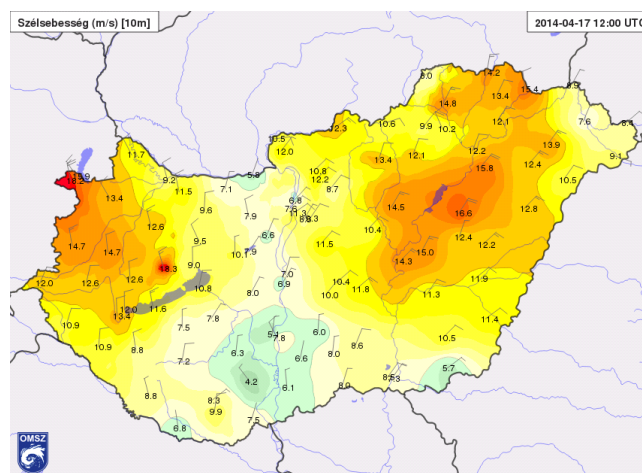


31. ábra: A relatív nedvességre vonatkozó felszíni megfigyelések (HAWK-3)



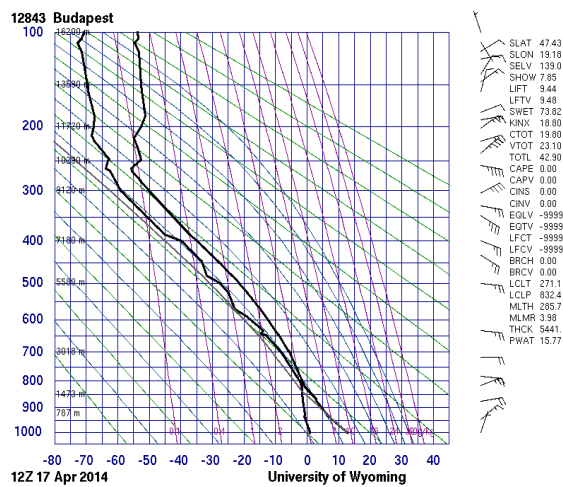
32. ábra: A hőmérsékletre vonatkozó felszíni megfigyelések (HAWK-3)

Az ALADIN által várt két szélcsatorna kialakulását is igazolták a megfigyelések. A széllokések sebességét azonban kissé túlbecsülte a modell. A megfigyelések alapján a Bükk és Mátra *lee* oldalán is gyenge fön alakult ki. Ugyan nem okozott akkora felmelegedést, mint a Kárpátok okozta fön, de jól látható a két hegység *luv* oldalán felgyülemplő nedvesség és a *lee* oldali kiszáradás. Továbbá megjelenik a *lee* oldali szélgyorsulás is (33. ábra).



33. ábra: A felszínközeli szélirányra és szélességre vonatkozó megfigyelések (HAWK-3)

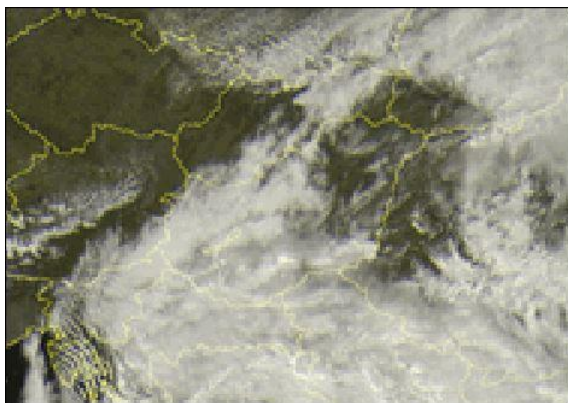
A főváros térségében mért alacsony relatív nedvességi értékeket a Börzsöny és a Cserhát vonulatain átbukó északkeleti szél okozta. A 12 UTC-s rádiószondás felszálláson jó megfigyelhető az alacsony szintű kiszáradás (34. ábra).



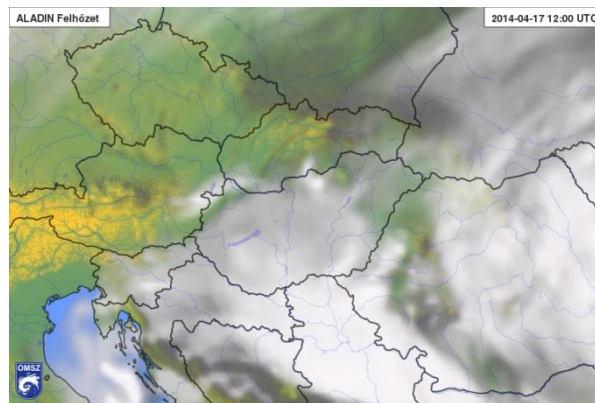
34. ábra: A 12 UTC-s budapesti rádiószondás felszállás (<http://weather.uwyo.edu>)

A Nyugat-Dunántúl térségében az anticiklon déli pereméről érkező szárazabb levegő okozott kiszáradást. Az északról érkező légtömeg kiszáradásában a Kárpát-medence északnyugati részének alacsony hegységei is szerepet játszottak. Bár erős volt a szél és alacsony a relatív nedvesség, itt semmiképpen sem beszélhetünk főnről, mivel a gyakran viharossá fokozódó, száraz északi szél nem hozott különösebb felmelegedést a térségbe.

A Kárpát-medence északkeleti és északnyugati részén kialakuló főn látványosan megjelenik a műholdképeken is (35. ábra). A főn okozta alacsony szintű divergencia felhőoszlató hatását meglepően jól jelezte előre az ALADIN modell is (36. ábra).



35. ábra: A Kárpát-medencéről készült 12 UTC-s műholdkép ([www2.sat24.com](http://www2.sat24.com))



36. ábra: Az ALADIN felhőzetre vonatkozó előrejelzése (HAWK-3)

## 6.2. Az orográfia nagytérségi áramlást befolyásoló hatása

Ebben a részben azokat a tipikusnak mondható időjárási helyzeteket mutatjuk be, amikor Kárpát-medencét körülölelő hegykoszorú sajátos domborzati viszonyai határozták meg a nagytérségi áramlás medencén belüli érvényesülését.

### 6.2.1. Kossava

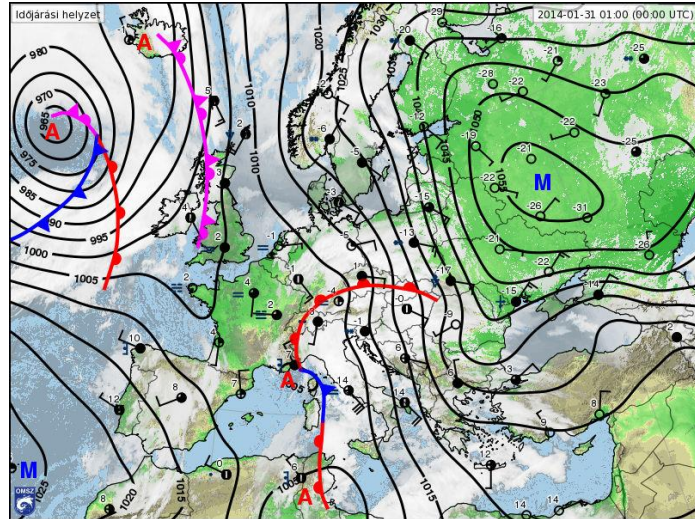
A *kossava* erős, jelentős hidegadvекcióval járó helyi szél, mely a Kárpát-medence déli területein, a Vajdaságban, a Temesközben és hazánk déli térségeiben fejt ki hatását. A kossava jellemzően télen és kora tavasszal alakul ki, amikor kellő mennyiségű hideg levegő halmozódik fel Kelet-Európában. Ilyenkor a felgyülemelő nagy mennyiségű hideg levegő a Duna völgyében, a Vaskapu-szoroson keresztül viharos délkeleti széllel tör be a medencébe. (Bartholy *et al.*, 2013). Az erős szél 2-3 napon át is tombolhat jelentős lehűlést és akár 100 km/h fölötti széllekeéseket okozva ([weatheronline.co.uk](http://weatheronline.co.uk)).

A következő esettanulmány egy különösen erős kossavát mutat be, mely nemcsak a déli országrészben, hanem a Dunántúlon is éreztette hatását.

#### 2014. január 31.

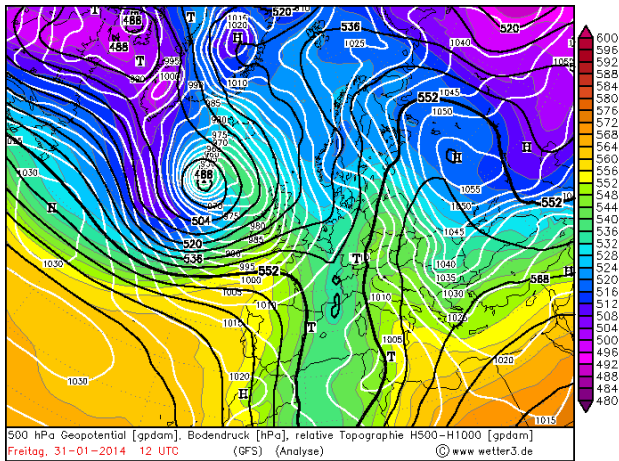
Ezen a napon Közép-Európa térsége egy meridionális áramlási rendszerben helyezkedett el. Az alapáramlást meghatározó báriku mezőt a Genovai-öbölben elhelyezkedő, sekély mediterrán ciklon, valamint a Kelet-európai-síkság felett húzóódó blokkoló anticiklon hozta létre (37. ábra). A mediterrán ciklon vegyes halmazállapotú csapadékot okozó melegfrontja a hajnali órákban hagyta el a Kárpát-

medencét. A déli országrészben jelentős, 10-17 cm-es hóréteg is kialakult. Elvonulását követően hazánk felett túlnyomóan derült volt az ég, csak a Nyugat-Dunántúlon maradtak még erősen felhős, borongós területek, ahol napközben ónos eső is kialakult.

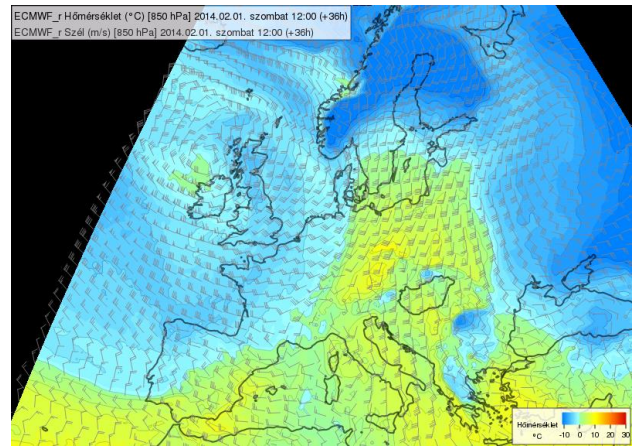


37. ábra: A kontinens időjárását bemutató analízistérkép (HAWK-3)

Az GFS előrejelzéseit tekintve látható, hogy a csapadékot hozó mediterrán ciklon egy elnyúlt teknő előoldalán helyezkedett el (38. ábra). Ennek a Nyugat-Európa felett húzódó teknőnek az előoldali áramlási rendszerében foglalt helyet a Kárpát-medence is. Ebből adódóan az ECMWF is melegadvekcióna számított a magasabb szinteken (39. ábra).



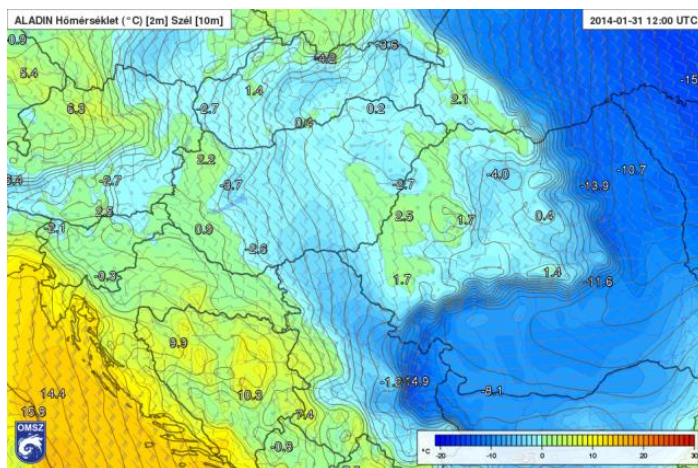
**38. ábra: A GFS által előrejelzett 500 hPa-os geopotenciál és felszíni légnyomási mező, melyen jól látható hazánk előoldali helyzete (www1.wetter3.de/Archiv)**



**39. ábra: Az ECMWF 850 hPa-os szintre vonatkozó előrejelzése (HAWK-3)**

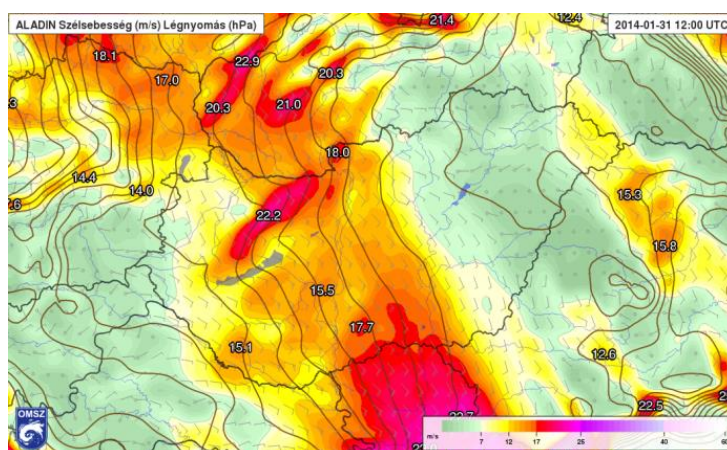
Az felszín közeli rétegben azonban más volt a helyzet. A Kelet-Európa fölé „beült” erős anticiklon a Szibéria térségében felgyülemelő nagy mennyiségű hideg levegő eredményezte. A kontinentális eredetű hideg levegő az anticiklon keleties áramlási rendszerének köszönhetően elérte a Kárpát-medence keleti peremét is, ahol a Keleti-Kárpátok vonulatai akadályozták meg, hogy a hideg a medence belsejébe hatoljon. Ilyen esetekben a medence belső és külső területei között rendkívül markáns, akár 10-15 °C-os hőmérsékleti kontraszt is kialakulhat. Az orográfiai akadályok azonban csak átmenetileg képesek a hideg levegő medencébe való betörését meggátolni. Az alacsonyabban elhelyezkedő völgykapuk végül utat nyitnak a hidegnek.

Az ALADIN 12 UTC-re vonatkozó hőmérsékleti előrejelzésén jól látható az a „hidegnyelv”, ami a Duna völgyén keresztül beömlő fagyos levegő várható eloszlását mutatja meg (40. ábra).



40. ábra: Az ALADIN felszíni hőmérsékletre vonatkozó előrejelzése 12 UTC-re (HAWK-3)

A szélre vonatkozó prognózis erős délkeleti szelet várt hazánk középső és déli területein, melyhez valószínűleg a medence belseje és külső része között fennálló nyomási gradiens is hozzájárult (41. ábra). A szóban forgó nyomási gradienst a jelentős hőmérsékleti különbség hozta létre.

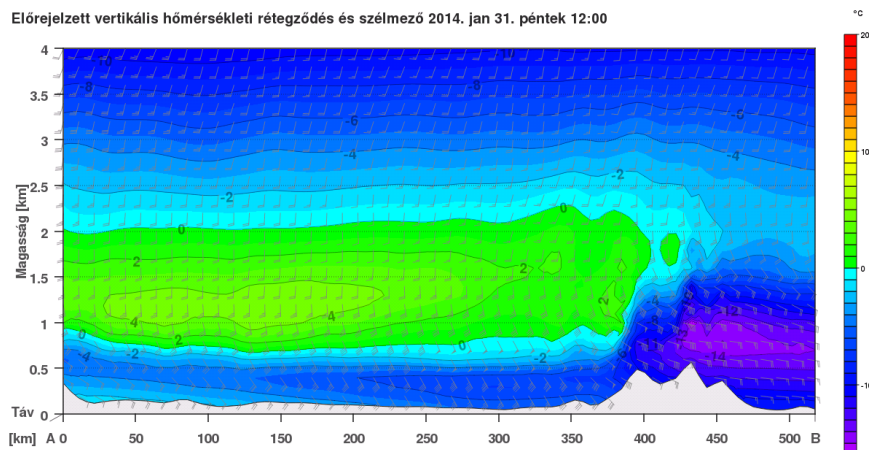


41. ábra: A felszíni szélességre vonatkozó előrejelzés (HAWK-3)

Az ALADIN előrejelzései Csongrád és Bács-Kiskun megyékben, valamint a Dunántúli-középhegységben várták a legerősebb szellőkéseket. A modell tehát *kossava* kialakulására számított, mely jellemzően erős délkeleti széllel és jelentős talajközeli lehűléssel jár.

Ezt az alacsony szintű hidegadvékción mutatja meg az ALADIN 12 UTC-re vonatkozó előrejelzése, amely a Veszprém-Baja-Vidin<sup>1</sup> tengely menti vertikális hőmérsékleti eloszlást és szélirány magassággal való változását ábrázolja (42. ábra).

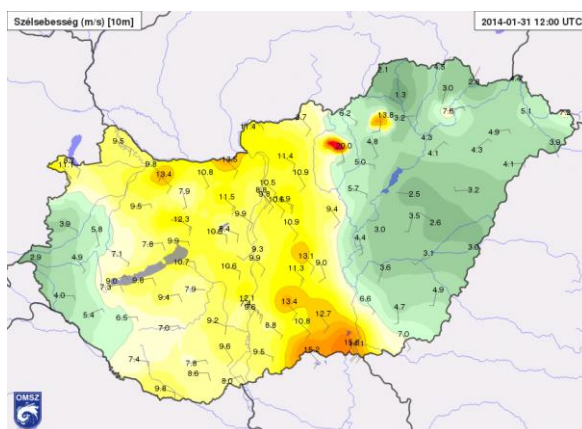
<sup>1</sup> Románia délnyugati részén, a Duna partján fekvő város



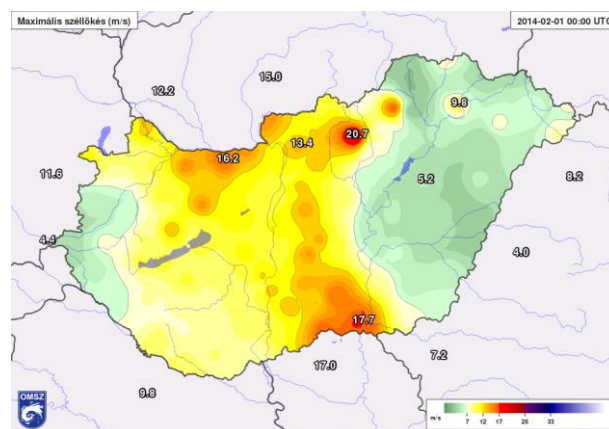
42. ábra: A Veszprém-Baja-Vidin tengely mentén várható vertikális hőmérsékleti rétegződés és szélmező (HAWK-3)

A megfigyelések a modell által vártakhoz hasonlóan alakultak. Elsősorban a Duna-Tisza közén, valamint a Dunántúl északi területein lehetett erős, gyakran viharossá fokozódó délkeleti szelet tapasztalni. A legerősebb szellőkések Baranya megyében és a Kékestetőn jelentkeztek. Ezzel szemben a Tiszántúlon és északkeleten, továbbá az Alpokalján gyenge volt a légmozgás (43. ábra).

A modell jól becsülte meg a szél erejét, ugyanakkor az előrejelzésben szereplő dunántúli szélmaximumot nem igazolták a megfigyelések. A legerősebb szelet a Kékestetőn és Szeged térségében mérték. Előbbin volt erősebb a szél, mivel a Kékes 1014 méteres csúcsa a kossava okozta vékony inverziós réteg tetején helyezkedett el. Ennek eredményeként a szél erőssége meghaladta a 20 m/s-ot is (44. ábra).



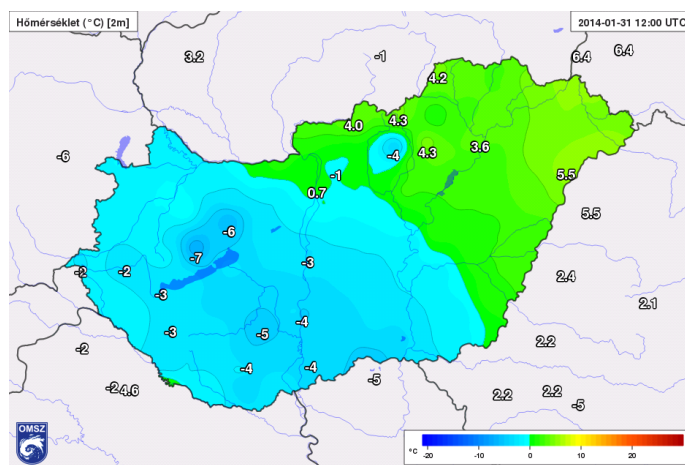
43. ábra: A szélirányra és szélsébségre vonatkozó 12 UTC-s megfigyelések (HAWK-3)



44. ábra: Az elmúlt 24 órában mért legerősebb szellőkések (HAWK-3)

A széllel együtt szokatlanul hideg levegő árasztotta el a nyugati, valamint a középső országrészeket. A lehülés mértéke több helyen a modell által vártakat is

felülmúlta. A leghidegebb terület a Bakony térsége volt, ahol a 12 UTC-kor megfigyelt hőmérséklet  $-7\text{ °C}$  körül alakult. Ezzel szemben az ország keleti-észak-keleti területein  $6\text{ °C}$  környékén tetőzött a hőmérséklet (45. ábra).



45. ábra: A felszíni hőmérsékletre vonatkozó 12 UTC-s megfigyelések (HAWK-3)

Az erős szél által felkavart hó a látási viszonyok romlását eredményezte, ami megnehezítette az útnak indulók dolgát. Csongrád megyében is hófúvás és az erős szél által épített hóakadályok okoztak problémát.

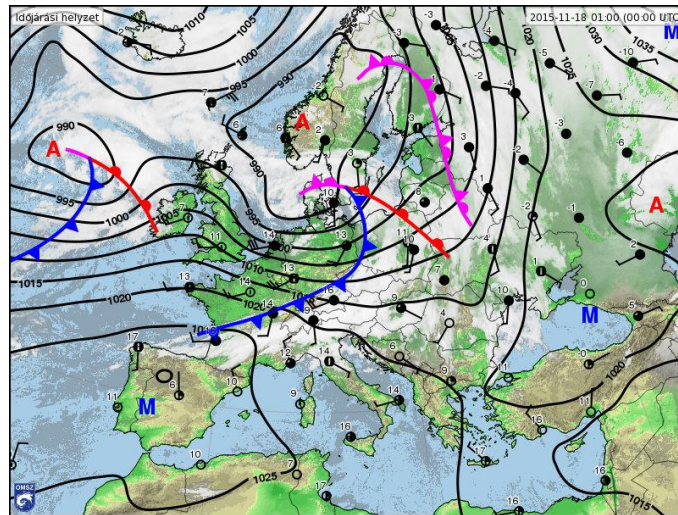
### 6.2.2. Erős széllel kísért melegdevekció

Ebben a részben egy olyan regionális időjárási jelenséget mutatunk be, amely – ahogy azt az esettanulmányok is példázzák – elsősorban a hideg évszakban figyelhető meg a Kisalföldtől egészen a Zempléni-hegységig. Kialakulásában az orográfiai tényezők is nagy szerephez jutnak.

#### 2015. november 18.

Ezen a napon kontinens időjárását két erőteljes időjárási objektum alakította. Skandinávia fölött egy több középpontú ciklonrendszer helyezkedett el, melynek peremén folyamatosan újabb és újabb frontrendszerek alakultak ki. Ezzel szemben Európa délnyugati részén egy nagyterjedésű anticiklon okozott száraz, meleg időjárást. A két objektum egy zonális áramlási csatornát alakított ki, mely folyamatosan biztosította az enyhe óceáni légtömeg Közép-Európa térségébe történő áthelyeződését (46. ábra).



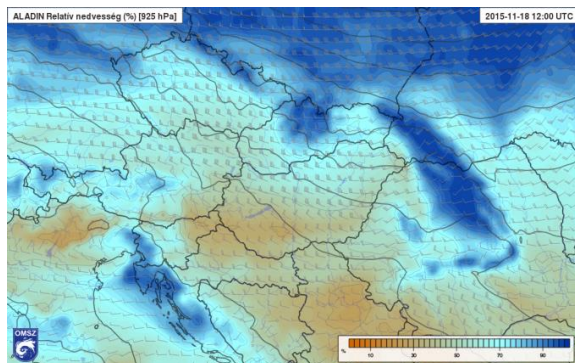


46. ábra: Európa időjárását bemutató analízistérkép (www.met.hu)

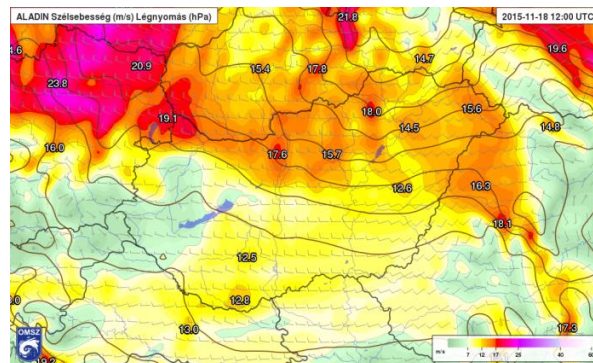
A hajnali órákban az előbb említett ciklonrendszer gyors mozgású hidegfrontja vonult át a Kárpát-medence felett. A front mögött viszonylag szárazabb, ugyanakkor enyhe levegő érkezett fölénk, erős északnyugati széllel.

Az ALADIN 925 hPa-os nyomási szintre vonatkozó előrejelzéseink is megjelenik a Kárpát-medencébe érkező alacsony neveltségű levegő. A legjelentősebb kiszáradásra a Dunántúl délnyugati részén lehetett számítani, amelynek kialakulásához a Dinári-hegység és az Alpok vonulatainak átbukó, nedvességétől megszabadult levegő is hozzájárulhat (47. ábra).

A szélre vonatkozó prognózis a Kisalföld térségében, valamint az ország északi-északkeleti területein várt kifejezetten szeles időjárást. A legerősebb szélrohamokra Mosonmagyaróvár térségében lehet számítani, ahol az erős északnyugati szél a 19 m/s-os lökések is elérheti, de viharos lökések várhatóak a főváros térségében, valamint az Északi-középhegységben is. Az ALADIN egy alacsony nyomású terület kialakulására számított a Tátra szélárnyékos oldalán. A szélirány az így kialakult bárikus mezőnek megfelelően változhat. Így a Dunántúlon nyugat-északnyugati szélre, míg a Tiszántúlon már délnyugati légmozgásra számított a modell (48. ábra).

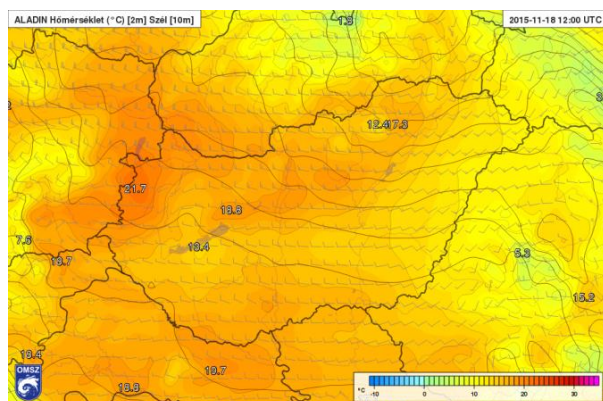


47. ábra: A 925 hPa-os relatív nedvességre és szélre vonatkozó előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)

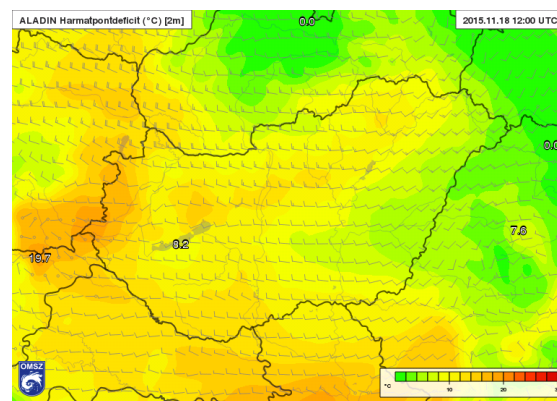


48. ábra: A felszínközeli szélirányra, szélsébségre és tengerszint fölötti légnyomásra vonatkozó előrejelzés (HAWK-3)

A felszíni hőmérséklet az Alpokalján érheti el a maximumát, melyet az Alpok *lee* oldalán megjelenő kiszáradás és a hegység szélárnyéka eredményezhet. A hőmérséklet itt akár a 22 °C-ot is elérheti, de a főváros környékén és Baranya megye térségében is 18 °C feletti maximumokat várt az ALADIN előrejelzése (49. ábra). A harmatpontdeficitre és hőmérsékletre vonatkozó előrejelzéseket vizsgálva az is észrevehető, hogy a modell a levegő nedvességi állapotának függvényévé teszi a hőmérséklet alakulását (50. ábra).



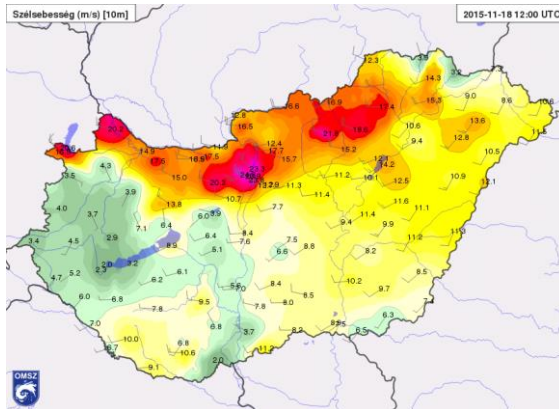
49. ábra: Felszíni hőmérsékletre vonatkozó előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)



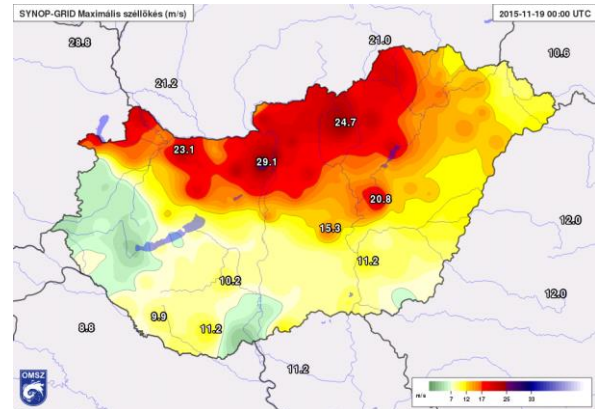
50. ábra: Felszíni harmatpontdeficitre vonatkozó előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)

Az ország északi és északkeleti területeire várt viharos erejű szelet a megfigyelések is igazolták. A szél iránya nyugatról kelet felé haladva északnyugatiból fokozatosan délnyugatira váltott. A szellökéseket tekintve a modell kissé alulbecsülte a szél erejét. Az ALADIN várakozásaival ellentétben a legerősebb szellökések nem a Kisalföldön, hanem Budapest térségében alakultak ki, ahol közel

30 m/s-os lökések is előfordultak. A különösen erős szelet a Budai-hegység völgyeiben felgyorsuló levegő okozta. Közel 20 m/s körüli szelet mérték a Mátrában és a Bükkben is (51-52. ábra). Itt a völgyekben és a hegycsúcsokon alakultak ki a szélmaximumok.

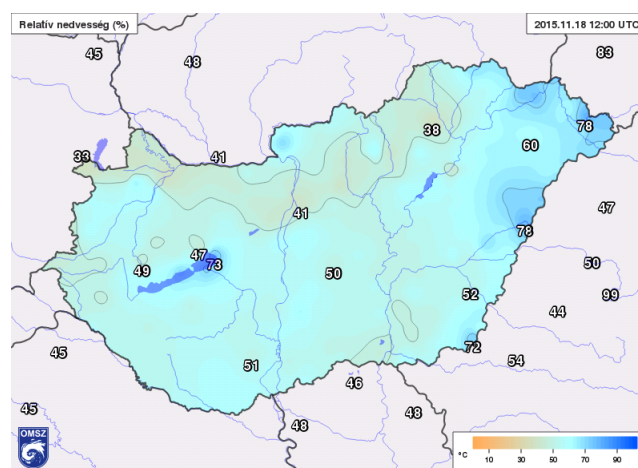


51. ábra: A szélirányra és szélsébségre vonatkozó felszíni megfigyelések 12 UTC-kor (HAWK-3)



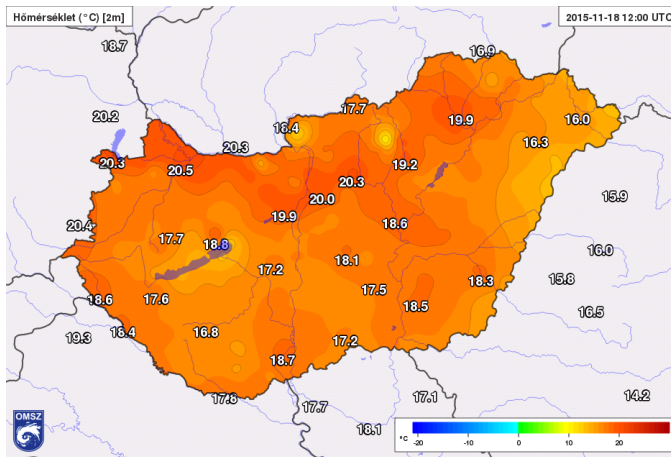
52. ábra: Az elmúlt 24 órában mért legerősebb széllokécek (HAWK-3)

Az erős északnyugati szél száraz, meleg levegővel árasztotta el hazánk északi megyéit. A levegő kiszáradásához az orográfia akadályok is hozzájárulhattak. A Dévényi-kapun érkező szélnek át kellett kelni az Alpok keleti nyúlványain, valamint a Kis-Kárpátok és a Lajta-hegység alacsony gerincén, melynek eredményeként, mint bukószél vesztett nedvességtartalmából. Hasonló okok miatt az Északi-középhegység környékén is erős kiszáradást lehetett tapasztalni (53. ábra).

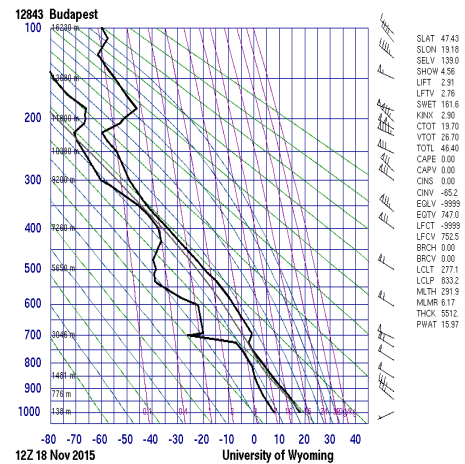


53. ábra: A relatív nedvesség alakulása a felszín közelében 12 UTC-kor (HAWK-3)

A hőmérsékleti maximumok a szeles és alacsony relatív nedvességű területeken alakultak ki, ahol az erős légmozgás hatására kirugódó állapotgörbe a levegő száraz adiabatikus melegedéséhez vezetett (54-55. ábra).



54. ábra: A felszíni hőmérsékletre vonatkozó 12 UTC-s megfigyelések (HAWK-3)



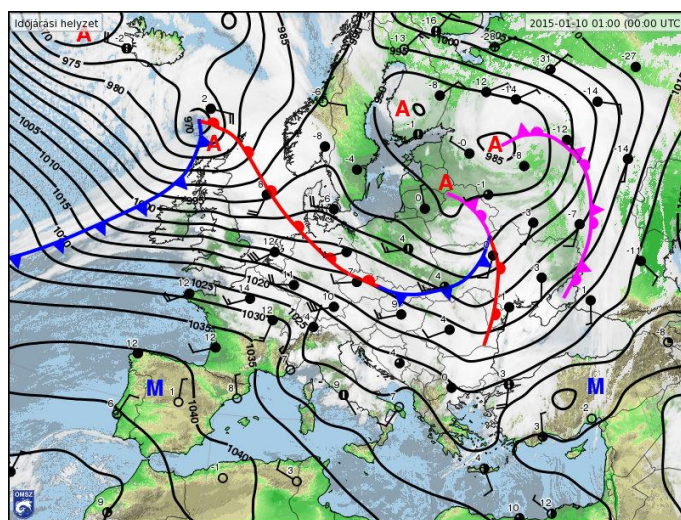
55. ábra: A 12 UTC-s budapesti rádiószondás felszállás (<http://weather.uwyo.edu>)

Az erős melegdedekcióval járó északnyugati szél kialakulásában több tényező is szerepet játszhatott. Először is az átvonuló hidegfront mögött erős északnyugati áramlás jött létre. A front mögötti hidegdedekció azonban nem érvényesült. Helyette a zonális áramlásnak köszönhetően, a Délnyugat-Európa feletti anticiklon északi pereméről enyhe, száraz levegő érte el hazánkat. A térségünket elérő nyugati szél az Északnyugati-Kárpátok és az Alpok közötti területen, a Duna és a Morva folyók völgyén keresztül lépett be medencébe. Itt felgyorsult, majd a Dévényi-kaput elhagyva sík, akadálymentes felszínre érkezett meg. Így a Dunántúl délnyugati részén és a főváros térségében erős szelet lehetett tapasztalni. Az előrejelzések is ide várták a legerősebb szellőkéseket.

A másik fontos tényező, hogy az Északnyugati-Kárpátok szélárnyékos oldalán egy alacsony nyomású terület alakult ki, mely az ALADIN prognózisában is megjelent. Ez nagyban meghatározta a szél erejét és irányát is. A kialakuló alacsony nyomású terület hatására az északi országrészben megnőtt a nyomási gradiens, ami elsősorban az északkeleti megyékben okozhatott szélerősödést. Az Északi-középhegységben fújó erős szélnél meghatározó volt a tengerszint feletti magasság is, mivel – ahogy az a felszálláson is látható volt – a szél a magassággal egyre erősödött.

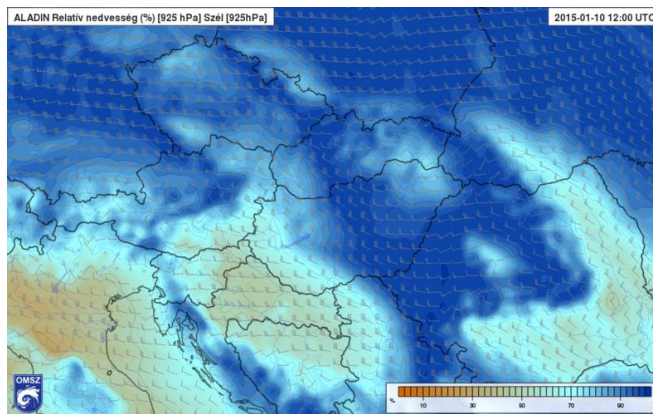
## 2015. január 10.

Európa időjárását egy hullámzó frontálzóna alakította ezen a napon. A Kárpát-medence felett ennek a frontrendszernek egy hidegfrontja vonult át az éjszaka folyamán, majd ezt követte a hidegfront mögött érkező melegfront. Ez a délelőtti órákban csapadékot okozott a nyugati és középső országrészekben. A melegfront átvonulását követően a Kárpát-medence egy melegszeletorban helyezkedett el, ezzel együtt azonban erős északnyugatias áramlás alakult ki, mely váltakozó nedvességtartalmú levegőt szállított hazánk fölé (56. ábra).



56. ábra: Európa időjárását bemutató analízistérkép (www.met.hu)

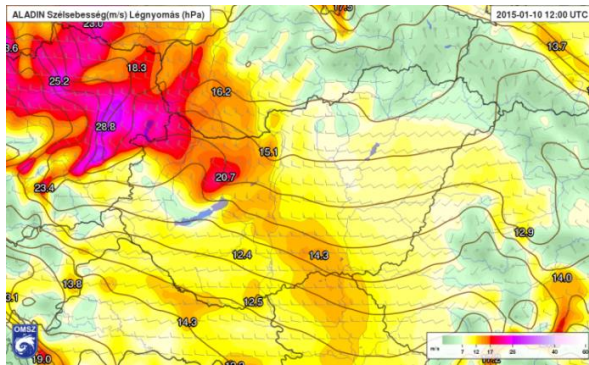
Az ALADIN relatív nedvességre vonatkozó előrejelzésén látható, hogy az osztrák Alpok gerincének alapáramlásra merőleges *luv* oldalán beragadó nedvességgel számol a modell, míg *lee* oldalon kiszáradásra számít. Ez főn kialakulását vetíti előre, mely elsősorban az Alpokalján, valamint a Dunántúl déli részén éreztetheti hatását. A keleti területeken beragadó alacsony szintű nedvesség okozhat borongós időjárást (57. ábra).



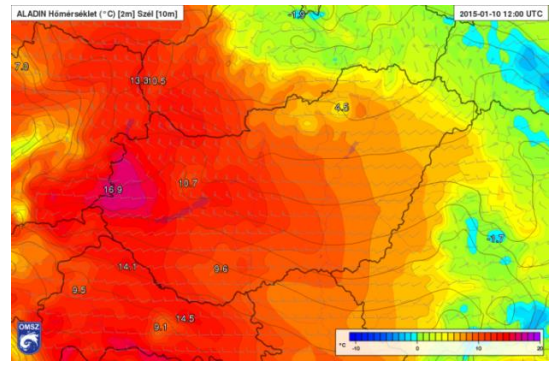
57. ábra: A 925 hPa-os relatív nedvességre és szélmezőre vonatkozó előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)

Az ALADIN erős északnyugatias szelet prognosztizált a Mosonmagyaróvár-Szeged tengely mentén. Az előrejelzések alapján a legerősebb széllelkések a Kisalföldön, valamint a Dunántúli-középhegység térségében lehetett számítani. Ezekre a területekre 20 m/s feletti, viharos széllelkéseket várt a modell. Az előrejelzés szerint a Dunántúl déli részén, valamint a keleti országrészben délnyugatias szél várható. Az Alpok alján ezzel szemben gyenge légmozgást prognosztizált az ALADIN, ami az Alpok szélárnyéka miatt alakulhat ki (58. ábra).

A hőmérsékletet tekintve ez fontos tényezőnek bizonyult, mivel a relatív nedvességre vonatkozó előrejelzések tanulsága szerint a nyugati országrészben jelentős felhőzet kialakulására nem kellett számítani. Az erős szél átkeverő hatása nélkül a zavartalanabb besugárzás eredményeként a modell – az előző esettanulmányban bemutatott helyzethez hasonlóan – ide várta a maximumhőmérsékletet, ahogy azt a 12 UTC-re vonatkozó hőmérséklet előrejelzésen is láthatjuk (59. ábra).



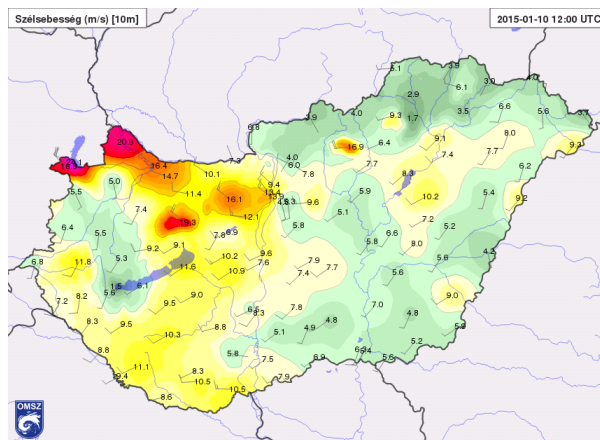
58. ábra: A felszíni szél és nyomási viszonyok alakulását bemutató előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)



59. ábra: A felszíni hőmérsékletre vonatkozó előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)

A modell-előrejelzéseket figyelembe véve főként az északnyugati megyékben és a Duna-Tisza közén kell többnyire szeles, ugyanakkor enyhe időjárásra számítani, a nyugati országrészben több, keleten kevesebb napsütéssel. A szelet a Dunántúl északi területein kísérhetik viharos szellőkések. A hőmérséklet az Alpokalján érheti el maximumát.

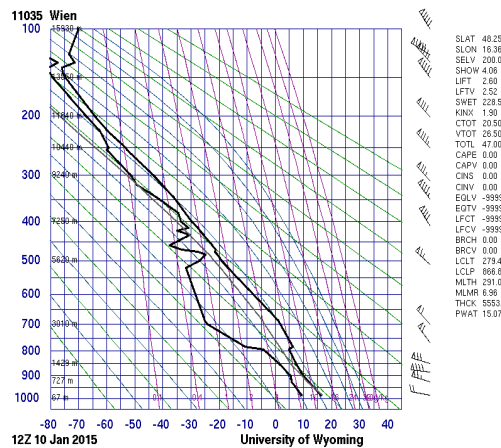
Az előrejelzések áttekintése után a megfigyeléseket vizsgálva megállapítható, hogy az ALADIN szélre vonatkozó előrejelzései csak részben váltak be. A modell által a Dunántúl északi és nyugati területeire előrejelzett viharos északnyugati szelet jól visszaadták a megfigyelések. A legerősebb szellőkéseket Sopron és Mosonmagyaróvár környékén, valamint a Bakony térségében mérték. Az Alpok árnyékoló hatása is visszaigazolást nyert. Ugyanakkor az előrejelzésekben látható Mosonmagyaróvár-Szeged szélcsatorna nem alakult ki (60. ábra). Szeged térségében gyenge, délnyugatias volt a légmozgás.



60. ábra: A szélességre és szélirányra vonatkozó 12 UTC-s megfigyelések (HAWK-3)

A megfigyelések alapján megállapítható, hogy Dél-Dunántúlon, valamint a szlovén határ térségében a főn szél alakította az időjárást. Ebben a térségben 14-15 °C körül alakult a maximumhőmérséklet.

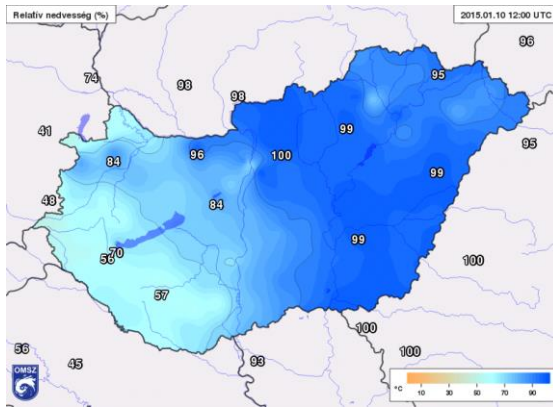
Győr-Moson-Sopron megyében a Lajta-hegységen átbukó, nedvességét veszített szél okozott erős kiszáradást. A viharos széllel arányos mértékű felmelegedést lehetett tapasztalni ezen a területen, mivel a jelentős légmozgás hatására átkeveredett levegő az állapotgörbe kirugódását eredményezte. Ezt jól szemlélteti a bécsi rádiószondás felszállás is (61. ábra).



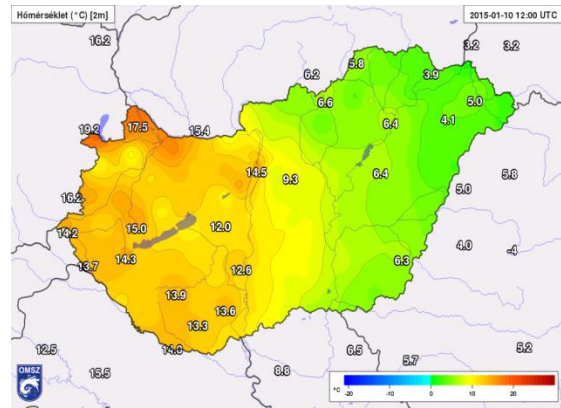
61. ábra: A 12 UTC-s bécsi rádiószondás felszállás (<http://weather.uwyo.edu>)

A turbulens légréteg így száraz adiabatikusan melegedett. Minél erősebb volt az átkeveredés, annál nagyobb felmelegedést lehetett tapasztalni. Ennek köszönhetően Mosonmagyaróvár térségében mérték a legmelegebbet, ahol a hőmérséklet csúcserőke a 18°C-os is elérte (62-63. ábra).





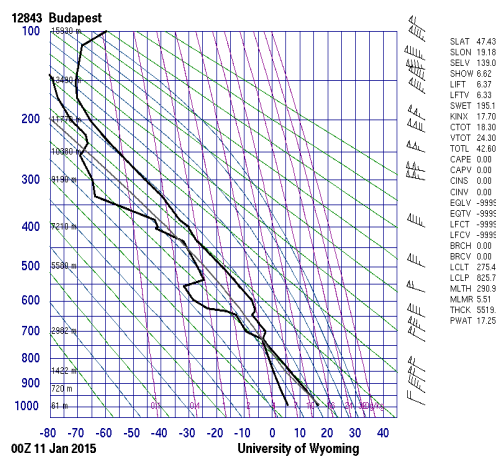
62. ábra: A felszínközeli relatív nedvességre vonatkozó megfigyelések 12 UTC-kor (HAWK-3)



63. ábra: A felszíni hőmérsékletre vonatkozó megfigyelések 12 UTC-kor (HAWK-3)

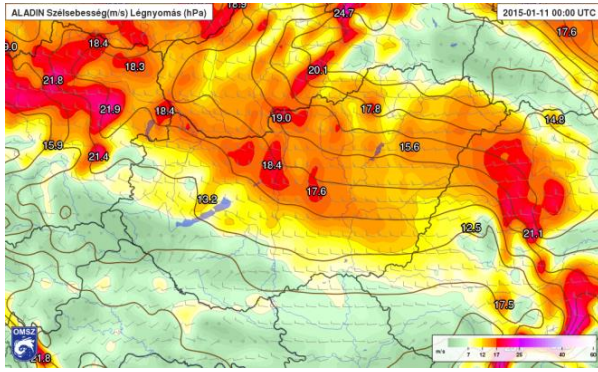
Az erős északnyugati szél a nap folyamán egyre nagyobb területen éreztette hatását. A kora esti óráktól kezdve már a fővárosban is megerősödött, gyakran viharossá fokozódott a szél. A szél erősödésével jelentős melegedés kezdődött, ami a hajnali órákban érte el maximumát.

A viharos szél okozta állapotgörbe kirugódást jól illusztrálja a 00 UTC-s budapesti felszállás is (64. ábra).

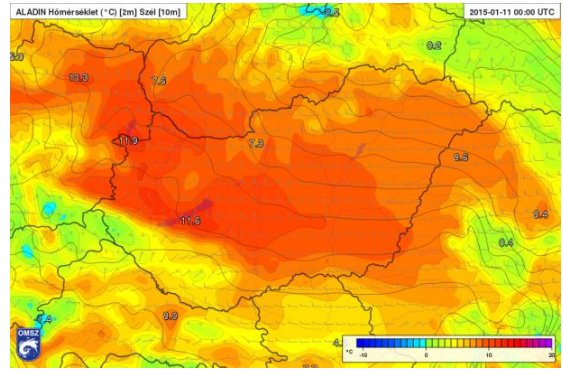


64. ábra: A 12 UTC-s budapesti rádiószondás felszállás (<http://weather.uwyo.edu>)

Az ALADIN 00 UTC-re szóló előrejelzései is prognosztizálták a viharos szelet, ám közel sem számított ilyen mértékű felmelegedésre (65-66. ábra).

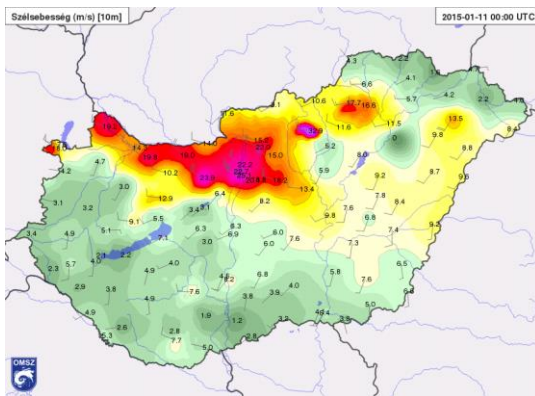


65. ábra: Az ALADIN felszíni nyomási és szélmezőre vonatkozó előrejelzése 2015.01.11 00 UTC-re (HAWK-3)

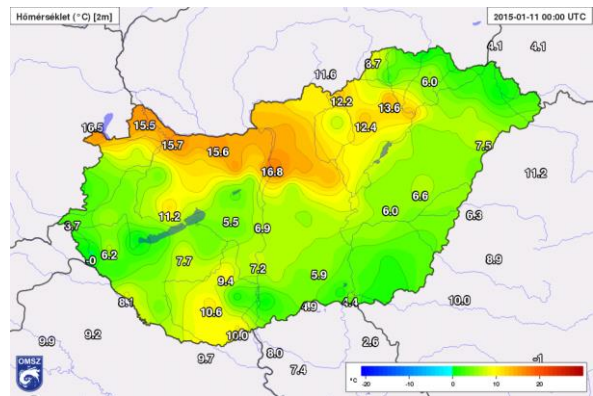


66. ábra: Az ALADIN felszíni hőmérsékletre vonatkozó előrejelzése 2015.01.11 00 UTC-re (HAWK-3)

A főváros környékén 20-25 m/s körüli szellőkések alakultak ki. A viharos szélnek köszönhetően a hőmérséklet elérte 17 °C-ot, míg az Alpok szelárnyékában, a Szlovén határ környékén fagypont körüli értékeket mértek (67-68. ábra).



67. ábra: A szélirányra és szélességre vonatkozó megfigyelések 00 UTC-kor (HAWK-3)



68. ábra: A felszíni hőmérsékletre vonatkozó megfigyelések 00 UTC-kor (HAWK-3)

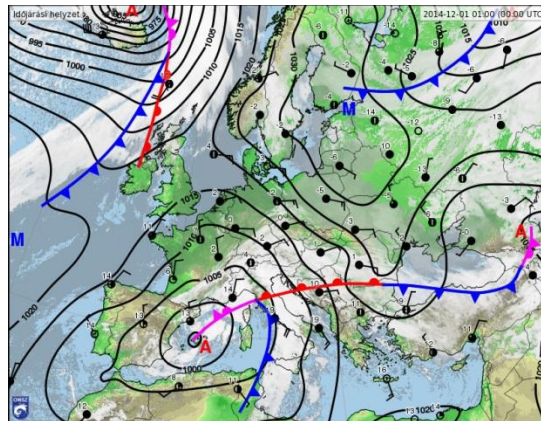
### 6.3. Mediterrán ciklonok

Ebben a részben a mediterrán ciklonok által létrehozott regionális időjárási hatásokat vizsgáljuk meg.

#### 2014. december 1.

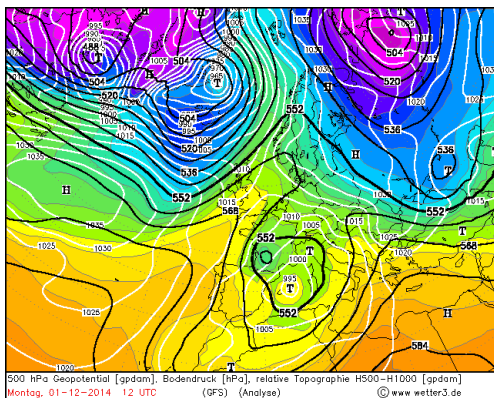
Ezen a napon a Földközi-tenger nyugati medencéjében örvénylő mediterrán ciklon és a Kelet-Európa felett kialakult nagy kiterjedésű anticiklon alakította a kontinens időjárását. Térségünkben meridionális áramlási rendszer alakult ki (69.

ábra). A Kárpát-medencében a mediterrán ciklon melegfrontja nagy mennyiségű csapadékot okozott, főleg az ország középső és déli területein.

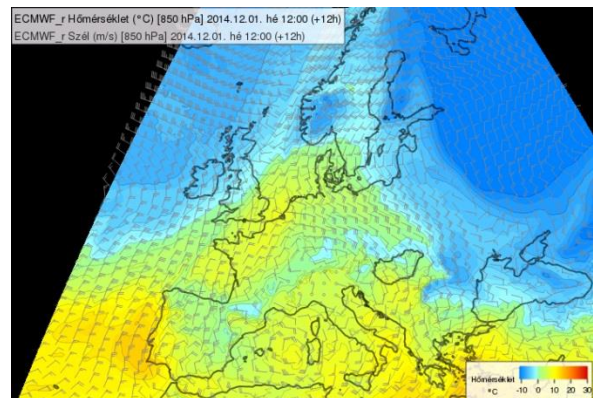


69. ábra: Európa időjárási viszonyait bemutató analízistérkép (www.met.hu)

A globális modellek előrejelzései a 2014. január 31-i esethez hasonló makroszinoptikus helyzetet vártak (70-71. ábra).

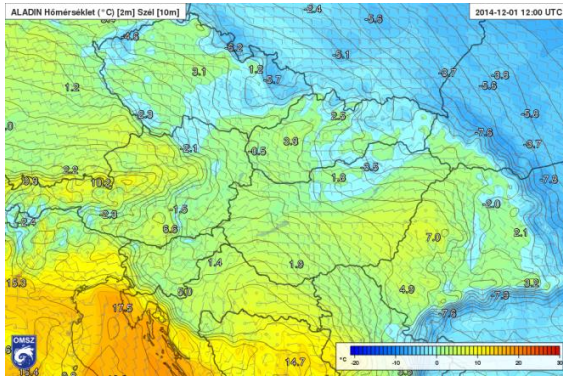


70. ábra: A GFS 500 hPa-os geopotenciál és tengerszint fölötti légnyomásra vonatkozó előrejelzése 12 UTC-re (www1.wetter3.de/Archiv)

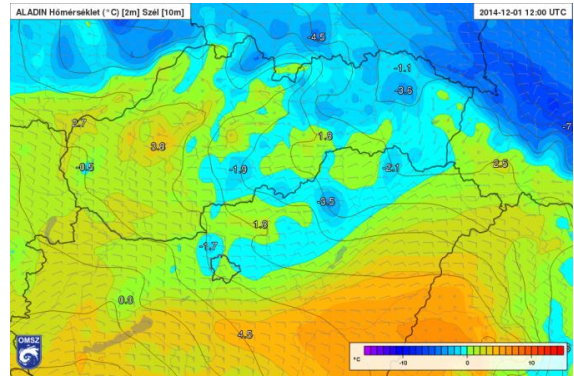


71. ábra: Az ECMWF 850 hPa-os hőmérsékletre és szélmezőre vonatkozó előrejelzése 12 UTC-re (HAWK-3)

Az ALADIN hőmérsékleti előrejelzései a Kárpátokon túli hideg levegő talajközeli beszivárgását prognosztizálták az Északi-középhegység térségében, valamint az ország déli területein (72. ábra). A hidegadvekción az előrejelzések szerint a Sárospatak-Budapest-Veszprém vonal mentén lehet a legintenzívebb (73. ábra).



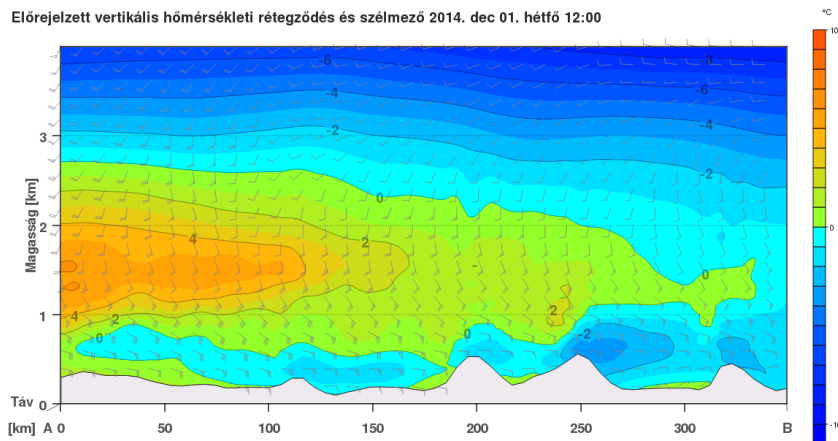
**72. ábra:** Az ALADIN felszíni hőmérsékletre vonatkozó előrejelzése 12 UTC-re. Jól megfigyelhető a Kárpát-medencét körül ölelő hideg légtömeg (HAWK-3)



**73. ábra:** A hideg levegő felszín közeli beáramlása az ALADIN 12 UTC-re vonatkozó előrejelzésén (HAWK-3)

E tengely mentén készült, vertikális hőmérsékleti rétegződésre és szélmezőre vonatkozó modell-előrejelzésen látható, hogy a magasban még a mediterrán ciklon délies áramlási rendszere lesz a meghatározó, ami pár fokkal melegebb levegőt hozhat hazánk térségében. Ezzel szemben az alsó 1 kilométeres rétegben fagypont alatti hőmérsékletre lehetett számítani (74. ábra).

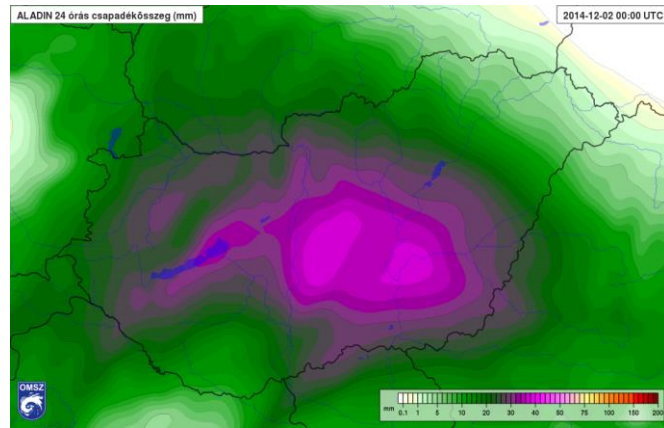
Előrejelzett vertikális hőmérsékleti rétegződés és szélmező 2014. dec 01. hétfő 12:00



**74. ábra:** A Sárospatak-Budapest-Veszprém vonal mentén készült vertikális metszet (HAWK-3)

A metszeten megfigyelhető az is, hogy inkább a magasabban fekvő területeken maradhat meg napközben a 0 °C alatti hőmérséklet.

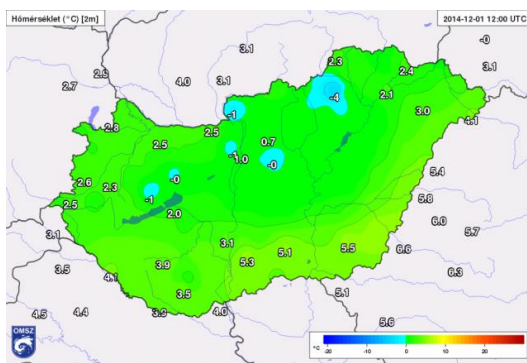
Mindeközben a mediterrán ciklon melegfrontjának köszönhetően, nagy mennyiségű csapadékra lehetett számítani. Az ALADIN 24 órás csapadékösszegre vonatkozó előrejelzésén látható, hogy a legtöbb eső a Balaton-felvidéken és a Duna-Tisza között, valamint Budapest térségében hullhat (75. ábra).



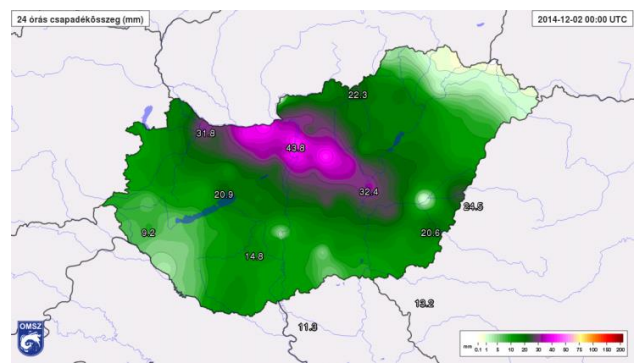
75. ábra: Az ALADIN 24 órás csapadékösszegre vonatkozó előrejelzése (HAWK-3)

A hőmérsékletre és csapadékra vonatkozó előrejelzéseket figyelembe véve ónos eső kialakulására lehetett számítani a főváros, valamint az Északi-középhegység térségében.

A megfigyelések több pontban is igazolták a modell sejtéseit. A hőmérsékleti értékek a magasabb területeken maradtak fagypont körüliek (76. ábra). A csapadékot tekintve a modell felülbecslése itt is megállapítható, ugyanakkor jól látszik az északi tájakon lehullott nagy mennyiségű csapadék is (77. ábra).



76. ábra: A felszíni hőmérséklet alakulása 12 UTC-kor (HAWK-3)



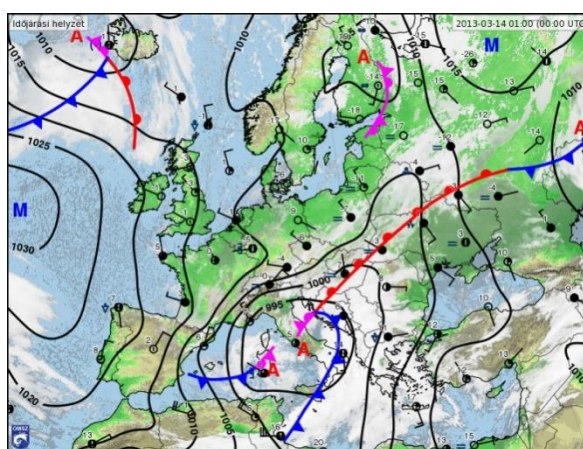
77. ábra: A 24 órás csapadékösszeg (HAWK-3)

Ezekén a területeken alakult ki ónos eső, mely végül a Dunazug-hegységet, a Gödöllői-dombságot, a Börzsönyt és a Bakonyt érintette a legsúlyosabban.

### 2013. március 14.

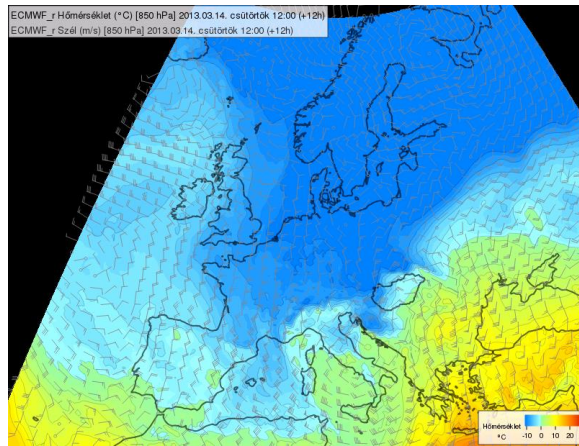
Jelen esettanulmány a 2013. március 14-15-ei orkán erejű széllel és vegyes halmazállapotú csapadékkal járó mediterrán ciklont mutatja be, mely országszerte jelentős károkat okozott az infrastruktúrában. A ciklon károkozó hatásainak kialakulásában a Kárpát-medence domborzati tényezői is szerepet játszottak. Az eset bemutatása során ezeket az orográfia keltette hatásokat szeretnénk kiemelni.

Március 14-én egy megerősödött mediterrán ciklon helyezkedett el a Földközi-tenger nyugati medencéjében, melynek centruma az Appennini-félsziget felett volt (78. ábra).



78. ábra: Európa időjárását bemutató analízistérkép ([www.met.hu](http://www.met.hu))

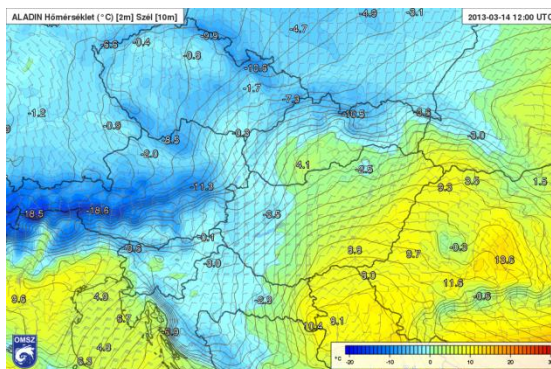
A ciklon megerősödésében nagy szerepet játszott az Észak- és Dél-Európa között fennálló nagy hőmérsékleti különbség, ami az ECMWF előrejelzésén is megjelenik (79. ábra).



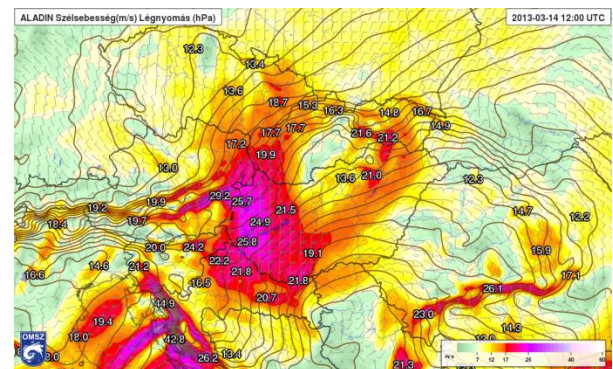
79. ábra: Az ECMWF 850 hPa-os szintre vonatkozó hőmérsékleti előrejelzése 12 UTC-re (HAWK-3)

A mediterrán ciklon melegfrontja március 13-án az esti órákban érte el a Dunántúlt. Március 14-én, a délelőtti órákban azonban már hazánk nyugati területei a ciklon hátoldali áramlási mezejébe kerültek.

Az ALADIN 12 UTC-re vonatkozó előrejelzései is jelentős hidegadvekciónak vártak a Dévényi-kapun keresztül (80. ábra). A hidegbetörés mellé szokatlanul erős szelet prognosztizált a modell (81. ábra). Az előrejelzések alapján két szélcsatorna különíthető el: egy északnyugati irányú szélcsatorna a Dunántúlon és egy északkeleti a Bodrogtól egészen a Dél-Dunántúlig. A nyugati részen 20-25 m/s szellőzéseket várt a modell, míg keletre valamivel mérsékeltabb szelet prognosztizált. Itt csak a Hernád és Bodrog völgyében alakulhat ki 20 m/s-ot meghaladó lökés.



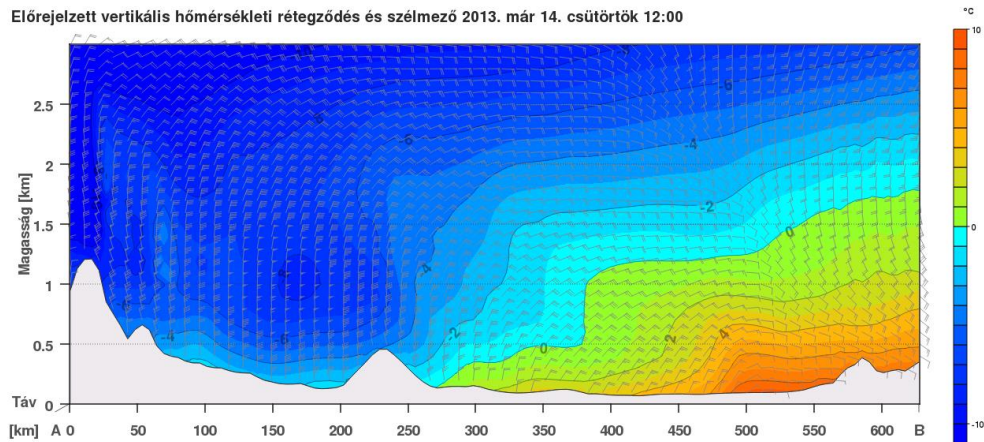
80. ábra: Az ALADIN felszíni hőmérsékletre vonatkozó előrejelzése 12 UTC-re (HAWK-3)



81. ábra: A felszíni szél- és nyomásmezőre vonatkozó előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)

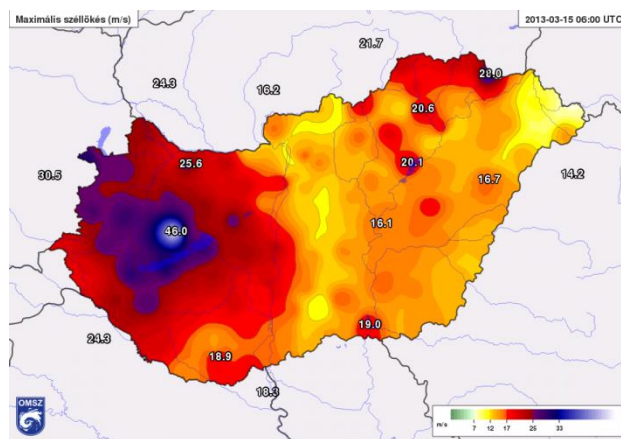
A 12 UTC-re vonatkozó előrejelzéseken egy önálló alacsony nyomású központ jelenik meg a Vajdaság térségében. A Kárpát-medence orográfiai viszonyai által kialakított bárikus mező hozzájárult ennek a ciklonnak a további mélyüléséhez.

Az ALADIN vertikális hőmérsékleti eloszlásra vonatkozó előrejelzésén is jól látható a Kárpát-medence nyugati és keleti területei közötti hőmérsékleti különbség (82. ábra).



82. ábra: Vertikális metszet az Alpoktól a Bihari-hegység térségéig, ami hőmérséklet és szélmező magassággal való változását mutatja meg (HAWK-3)

A déli alacsony nyomású központ hatására erős nyomási gradiens alakult ki hazánk nyugati részén, ami hozzájárult a Dunántúlon fújó viharos szél kialakulásához. A legerősebb szélcsatornát a Kisalföldön át beömlő hideg levegő hozta létre. Ebben a térségben a szélkésérek ereje több helyen meghaladta a modell által várt értékeket. A Balaton környékén 30 m/s feletti lökések is előfordultak. A legerősebb szelet a Kab-hegyen mérték, ahol a szél sebessége a 46 m/s-ot is elérte (83. ábra). Az északnyugati szél erős havazással párosult ebben a régióban, jelentős hótorlaszokat kialakítva.

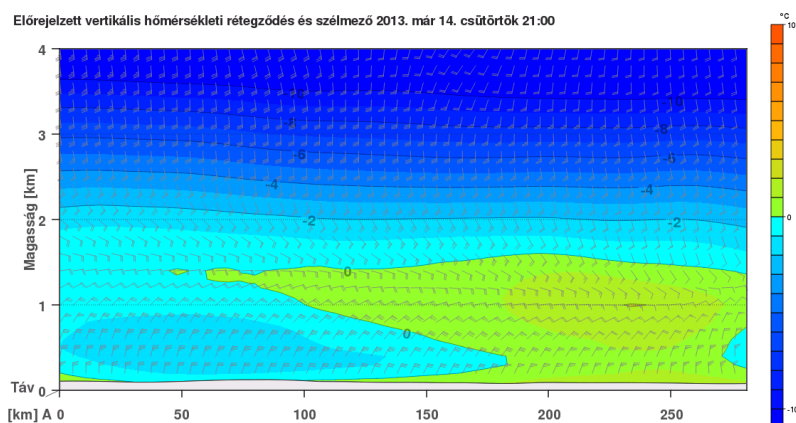


83. ábra: Az elmúlt 24 órában mért legerősebb szélkésékek (HAWK-3)



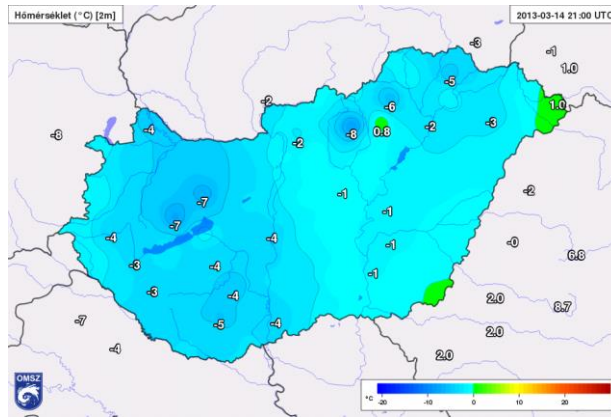
A másik szélcsatorna északkeleten alakult ki a Hernád és a Bodrog völgyében, ahol az északkeleti szél a folyóvölgyek alacsonyabb térszínén keresztül érte el az Alföldet. A völgyek által kialakított szűk folyosón a szél felgyorsult, ami orkán erejű szellőkéseket eredményezett. Az ALADIN itt is kissé alábecsülte a szél sebességét. A legerősebb szelet a Hernád völgyében várta, ennek ellenére azonban a Bodrog völgyében lehetett a legnagyobb szellőkéseket mérni, melyek a 28 m/s-os sebességet is elérték.

A késő esti órákban a Szerbia térségében kialakult ciklonmag az Bihari-hegység térsége fölé helyeződött át. Hazánk keleti megyéi fokozatosan a ciklon hátoldali áramlási rendszerébe kerültek. Északkelet felől lassan megindult a talajközeli hidegadvekción, a magasban azonban megmaradt a keleti-délkeleti melegadvekción. Ezt jól szemlélteti az ALADIN 21 UTC-re vonatkozó előrejelzése, ami a Nyíregyháza-Békéscsaba vonal mentén a hőmérséklet és a szél várható vertikális eloszlását mutatja meg (84. ábra).



**84. ábra:** A Záhony-Szeged vonal mentén készült vertikális metszet, amelyen jól látható az északkelet felől érkező hidegadvekción és a felette elhelyezkedő melegebb légtömeg (HAWK-3)

A hőmérsékleti megfigyeléseken is ez a mérsékelt lehülés jelenik meg, de nagyobb térségben, mint ahogy azt a modell várta (85. ábra). Ennek oka az erős szél okozta párolgás, ami nagy területen hőt vont el a környezettől.

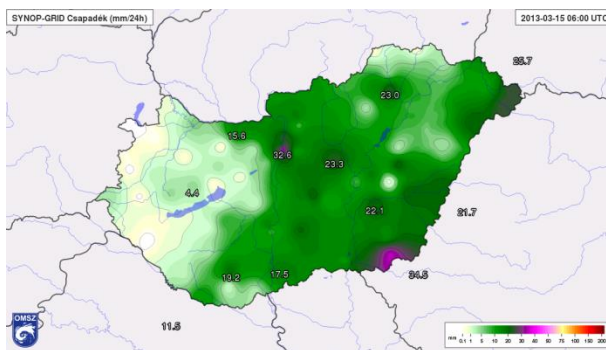


85. ábra: A felszíni hőmérsékletre vonatkozó megfigyelések 21 UTC-kor (HAWK-3)

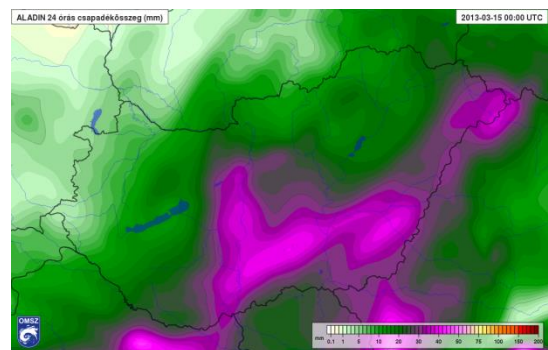
A felszín közelében alig fagypont alatt alakuló hőmérséklet és a magasban lévő melegebb levegő hatására az eső nem havazásba, hanem több helyen intenzív ónos esőbe váltott át a keleti országrészben.

A ciklon centrumának közelsége miatt az ónos esőt viharos, gyakran orkán erejűvé fokozódó szél kísérte. A helyzetet súlyosbította az is, hogy az ónos eső csak lassan váltott át havazásba, mivel sokáig nem érkezett jelentősebb lehülés a felszín közelében. Az órákon keresztül fennálló, viharos széllel kísért ónos eső és az azt követő hófúvás a távvezetékek leszakadását okozta, ami komoly áramkimaradásokkal járt a térségben.

A mediterrán ciklon nemcsak viharos szelet, hanem kiadós csapadékot okozott az ország nagy részén. A legtöbb csapadék a főváros térségében, valamint délkeleten hullott (86. ábra). A 24 órás csapadékösszeg 30 mm fölött alakult ezeken a tájakon, ami jóval alulmúlja a modell által várt értékeket (87. ábra).



86. ábra: 24 órás csapadékösszeg (HAWK-3)

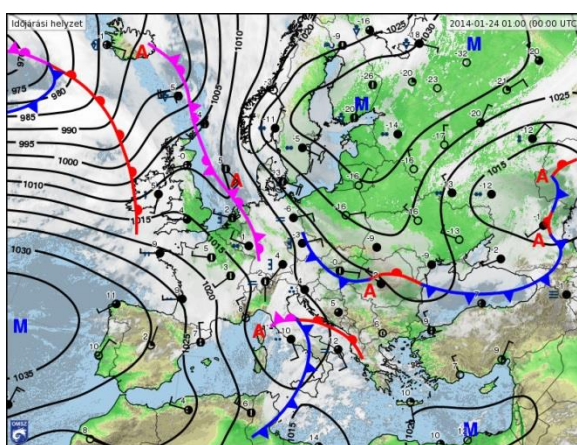


87. ábra: Az ALADIN által előrejelzett 24 órás csapadékösszeg (HAWK-3)

**2014. január 24.**

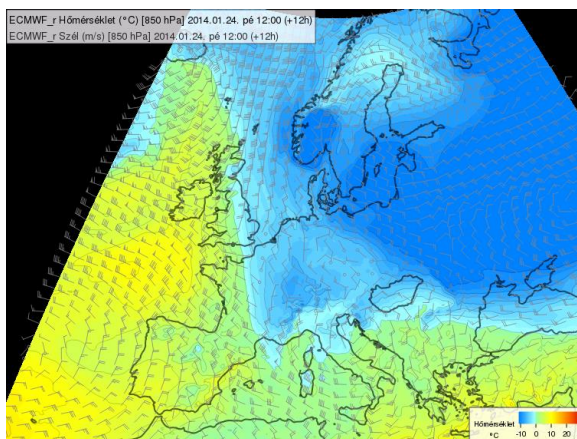
A következő, tipikusnak mondható eseten keresztül mutatjuk meg, hogy milyen makroszinoptikus helyzetben alakulnak ki a nagy havazással, hófúvással járó mediterrán ciklonok és milyen regionális hatásokat gyakorolnak hazánk időjárására.

Európa északkeleti részének időjárását egy nagy kiterjedésű anticiklon határozta meg, mely kontinentális eredetű hideg levegővel árasztotta el a Kelet-Európai síkságot, valamint Skandinávia térségét. A Földközi-tenger középső medencéje felett pedig egy mediterrán ciklon alakította az időjárást. Az anticiklon hideg légtömegét és a mediterrán térségben elhelyezkedő enyhe levegőt egy nyugatkeleti irányban elnyúló hullámzó frontrendszer választotta el (88. ábra).



88. ábra: Európa időjárasi képe ([www.met.hu](http://www.met.hu))

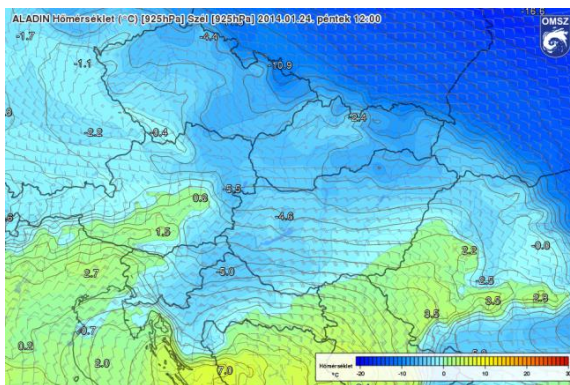
A kontinens felett elhelyezkedő légtömegek hőmérsékletének alakulása jól látható az ECMWF 850hPa-os szintre vonatkozó hőmérsékleti előrejelzésein is (89. ábra).



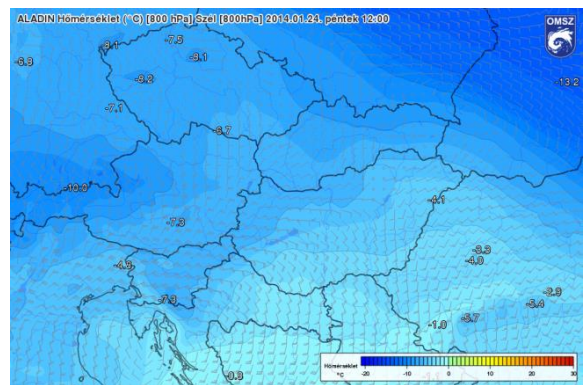
89. ábra: AZ ECMWF 850 hPa-os szintre vonatkozó hőmérsékleti előrejelzése 12 UTC-re (HAWK-3)

A Kárpát-medence is a két légtömeg találkozásánál helyezkedett el. Január 23-án még az anticiklon hatása érvényesült leginkább. Északkelet felől hideg levegő nyomult be, aminek hatására a keleti országrészben helyenként havazás is előfordult. Január 24-én azonban a mediterrán ciklon áramlási mezejébe kerültünk. Csapadékot hozó melegfrontja a hajnali órákban érte el a délnyugati országrészt.

A melegfront előoldalán kialakuló északkeleties áramlás folyamatosan biztosította az alacsony szinten beáramló hideg levegőt, így a délnyugat felől érkező csapadék egyre inkább hó formájában kezdett el hullani. A magasban ugyan megmaradt a délnyugatis áramlás, de jelentős melegedvekiöt ez sem okozott. Mindez az ALADIN 12 UTC-re vonatkozó előrejelzésein is jól megfigyelhető (90-91. ábra).



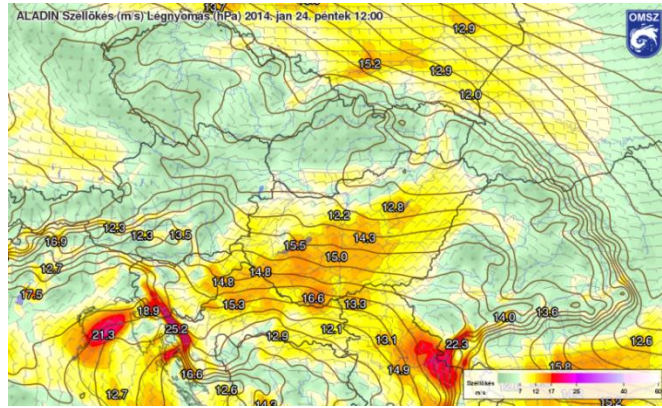
90. ábra: A felszíni hőmérsékletre vonatkozó előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)



91. ábra: A 850 hPa-szintre vonatkozó hőmérsékleti előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)

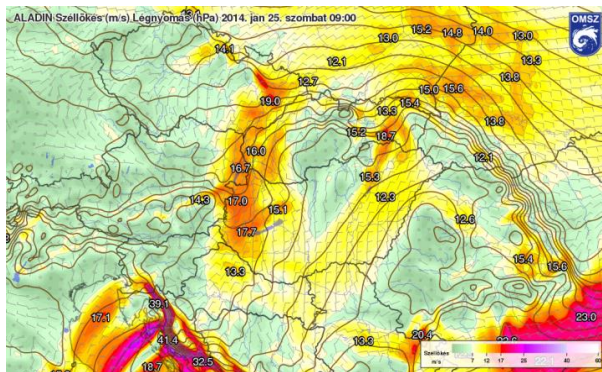
Ahogy azt a március 14-ei helyzetnél is láthattuk, egy alacsony nyomású terület jött létre a medence délkeleti területén. Ezúttal nem okozott olyan markáns változásokat, mint azt legutóbb láthattuk, de a felszíni hőmérsékleti és szélviszonyok tekintetében érezhető volt hatása.

A délnyugati országrészt elérő havazás a késő esti órákban a déli megyékre is kiterjedt. A havazást egész nap élénk, gyakran megerősödő északkeleti szél kísérte, ami főleg a Dunántúl és az Alföld déli részén okozott hófúvást. Az északkeleti szélmező a modell-előrejelzésen is jól megjelenik (92. ábra).

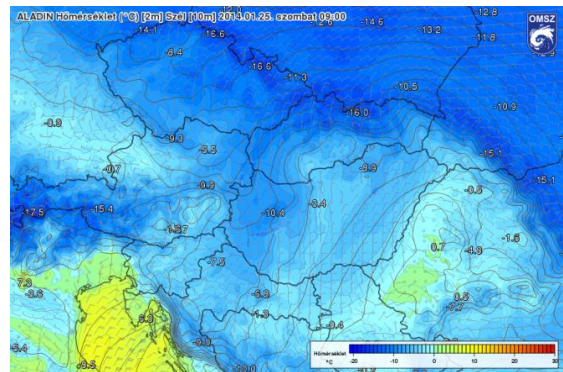


92. ábra: A felszíni szél- és nyomásmezőre vonatkozó előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)

Ahogy a tőlünk délre lévő ciklon centruma fokozatosan kelet felé helyeződött át, hazánk úgy került egyre jobban annak hátoldali áramlási rendszerébe. Január 25-én az addig északkeleti szelet északnyugati szél váltott fel a Dunántúlon. A Tiszántúlon azonban megmaradt az északkeleti áramlás. Az ALADIN 9 UTC-re vonatkozó előrejelzéseim jól elkülönül a két szélcsatorna, melyek egyúttal a Kárpátokon túli hideg levegő beáramlását mutatják meg (93-94. ábra).

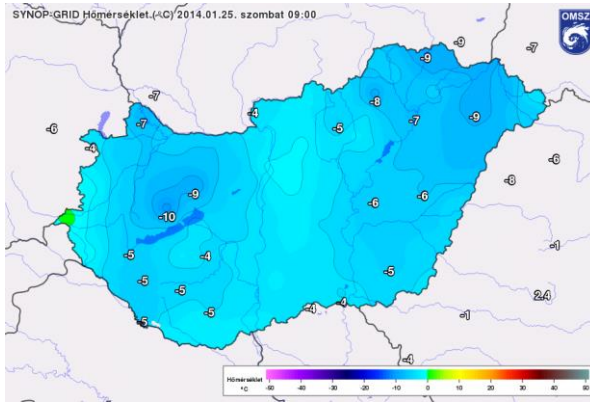


93. ábra: A felszíni szél- és nyomásmezőre vonatkozó előrejelzés január 25-én 09 UTC-re (HAWK-3)

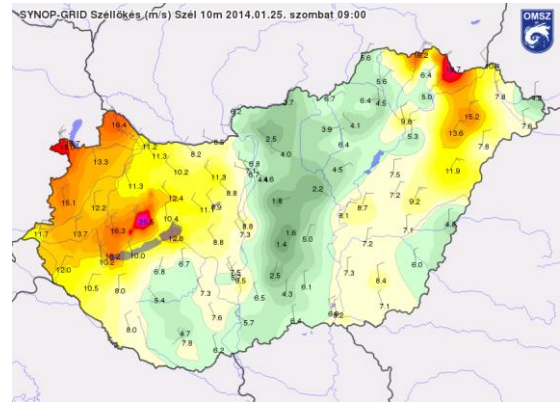


94. ábra: A felszíni hőmérsékletre vonatkozó előrejelzés január 25-én 09 UTC-re (HAWK-3)

A prognózisokat jól visszaadták a megfigyelések is. A hőmérsékleti értékek az előrejelzéseknek megfelelően alakultak. A 9 UTC-s hőmérsékleti megfigyeléseken jól látszik, ahogy északkelet és északnyugat felől pár fokkal hidegebb levegő árasztja el az Alföldet, illetve a Kisalföldet (95. ábra). Ezzel együtt a szél is megerősödött (96. ábra).

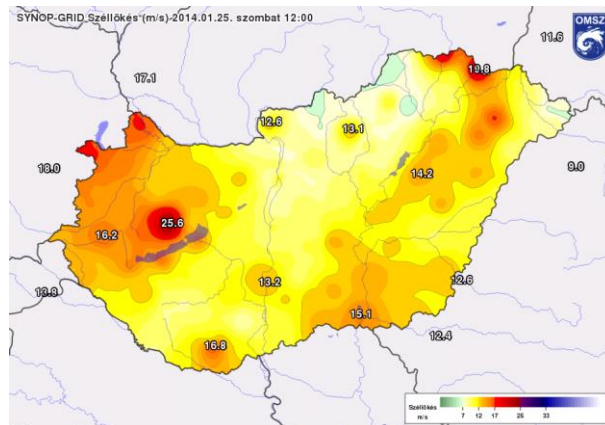


95. ábra: A felszíni hőmérséklet alakulása január 25-én 09 UTC-kor (HAWK-3)



96. ábra: A szélirányra és szélsébségre vonatkozó megfigyelések január 25-én 09 UTC-kor (HAWK-3)

Kialakultak az ALADIN által előrejelzett szélcsatornák is. A 2013. március 14-15-ei esethez hasonló hátoldali szélmező jött létre. A modell ezúttal is kissé alábecsülte a szél sebességét. A legerősebb lökéseket a Kab-hegyen mérték, ahol a szél sebessége a 25 m/s is elérte. Az északkeleti szél a Bodrog-völgyében volt a legerősebb. Itt közel 20 m/s-os széllokések is előfordultak (97. ábra).

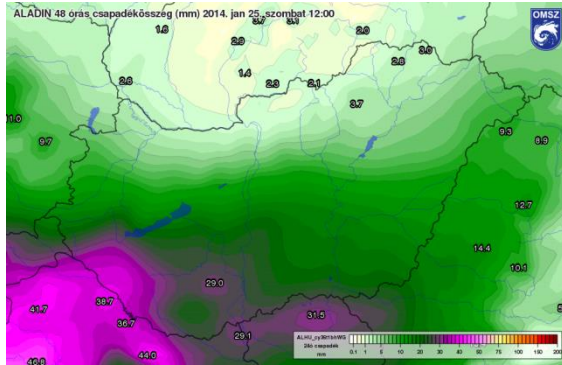


97. ábra: Az elmúlt 24 órában mért legerősebb széllokések (HAWK-3)

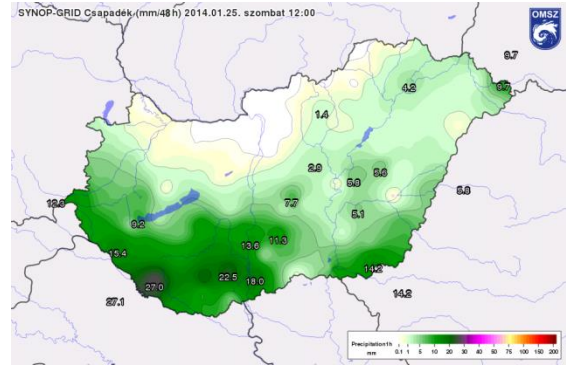
Érdeemes összehasonlítani a modell által várt és a megfigyelt csapadékmennyiséget, illetve annak területi eloszlását. Az ALADIN 48 órás csapadékösszeg előrejelzése az északi megyék kivételével az ország egészére kiadós csapadékot várt (98. ábra).

Az előrejelzések megfigyelésekkel való összevetése során megállapítható, hogy a modell jó becslést adott arra vonatkozóan, hogy mely országrészben várható a legnagyobb mennyiségű csapadék. Ugyanakkor jóval felülbecsülte a csapadék mennyiségét, valamint a csapadékos területek méretét. Jól látható, hogy az északi

határszálen is jelentősebb csapadékot valószínűsítettek az előrejelzések. A megfigyelések alapján azonban délebbre tehető a csapadékos területek határa (99. ábra). A területi eloszlás felülbecslését a medence jelleg, és az ebből adódó szárító hatás figyelmen kívül hagyása okozhatta.



98. ábra: Az ALADIN 48 órás csapadékösszegre adott becslése (HAWK-3)



99. ábra: A megfigyelt 48 órás csapadékösszeg (HAWK-3)

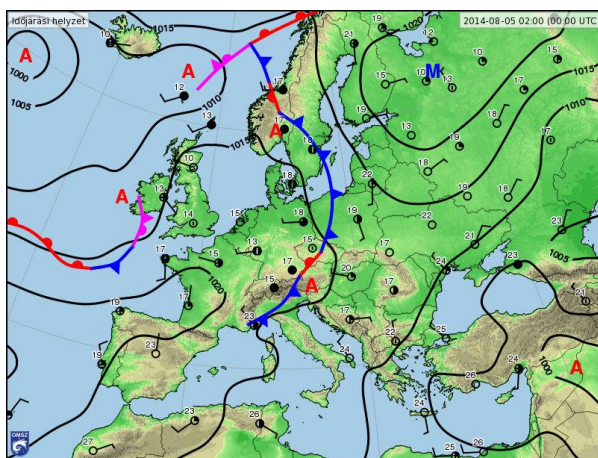
## 6.4. Konvektív helyzetek

Az orográfia közvetlen hatással van a konvektív jelenségekre. Az áramlási viszonyokra gyakorolt hatása meghatározó tényező a zivatarok fejlődése szempontjából. Ebben a részben azokat a tipikusnak mondható eseteket mutatjuk be, amikor a Kárpát-medence domborzati sajátosságai hazánk egy adott régiójában idéztek elő zivartevékenységet.

### 2014. augusztus 5.

A következő esettanulmányban a Duna és a Tisza vonala mentén kipattanó zivatarok kialakulásának körülményeit mutatjuk be. A tanulmányban megvizsgáljuk a makroszinoptikus viszonyokat, valamint a zivatarok regionalitását meghatározó tényezőket.

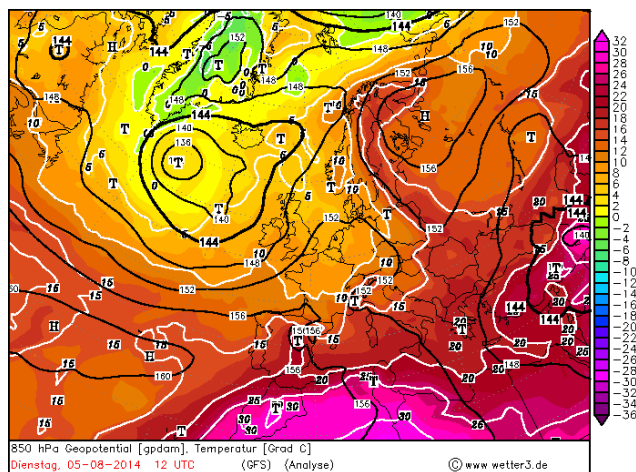
Közép-Európa időjárását egy Izland térségétől egészen a Földközi-tengerig húzódó hullámzó frontzóna alakította. A frontrendszer a Kelet-Európa felett elhelyezkedő kiterjedt anticiklonnak köszönhetően csak lassan közelítette meg térségünket (100. ábra).



100. ábra: Európa időjárását bemutató analízistérkép (www.met.hu)

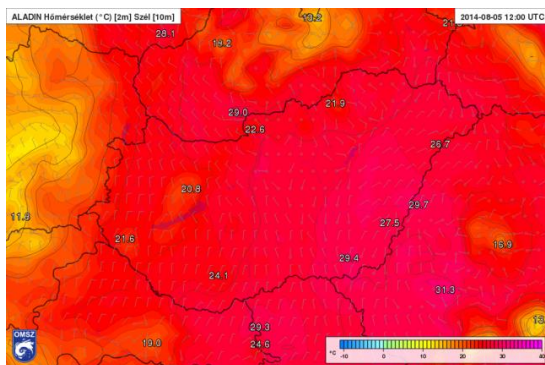
A GFS 12 UTC-re vonatkozó, 850 hPa-os hőmérsékleti előrejelzésén látható, hogy a hidegfront legyengülve ugyan, de elérte hazánkat és a frontrendszer előtti meleg-nedves szállítószalag már a Kárpát-medence keleti területei felett helyezkedett el (101. ábra).



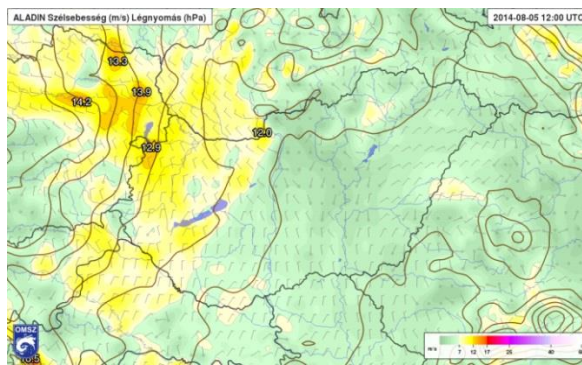


**101. ábra: A GFS 850 hPa-os szintre vonatkozó hőmérsékleti előrejelzése 12 UTC-re (www1.wetter3.de/Archiv)**

A hidegfront okozta gyenge hidegadvékción az ország nyugati felében okozhat pár fokos hőmérséklet visszaesést, ahogy az az ALADIN hőmérsékleti előrejelzésén is látható (102. ábra). A szélre vonatkozó előrejelzéseket tekintve az ország nyugati területein lehet mérsékelt észak-északnyugati szélre számítani. Hazánk keleti felében azonban északkeleti szél várható, amit a tőlünk keletre elhelyezkedő anticiklon keleties áramlási rendszere idézhet elő (103. ábra).



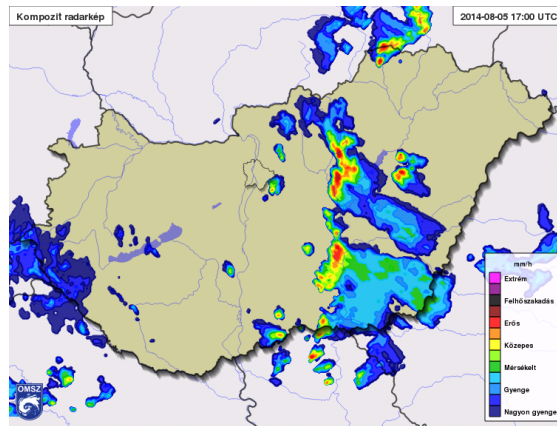
**102. ábra: Az ALADIN felszíni hőmérsékletre vonatkozó előrejelzése 12 UTC-re (HAWK-3)**



**103. ábra: A felszíni szél- és nyomásmezőre vonatkozó előrejelzés 12 UTC-re (HAWK-3)**

A két eltérő irányú áramlás az előrejelzések szerint a Tisza vonala mentén találkozhat egymással, ezzel kialakítva egy konvergenciavonalat az Alföldön. Az összeáramló levegő hőkonvergenciát is jelent egyben, ami jelentősen hozzájárulhat a hőmérséklet emelkedéséhez és kedvező feltételeket teremt a hőzivatark kialakulásához.

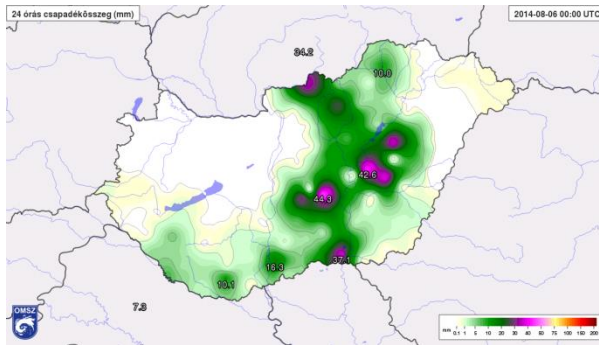
A felszín közeli rétegek felmelegedése biztosította a kellő instabilitást és felhajtó erőt, az összeáramló levegő pedig a megfelelő kényszert. Ezzel két konvektív komponens is rendelkezésre állt, ami a kora délutáni órákban zivatarok kialakulásához vezetett a Körösök vidékén. 17 UTC-kor a kialakult konvergenciavonal már a radarképeken is jól megfigyelhetővé vált (104. ábra).



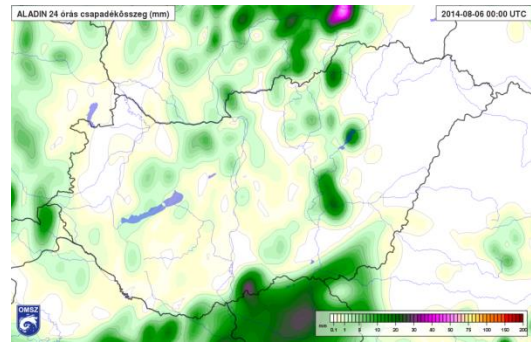
104. ábra: A 17 UTC-s kompozit radarkép (HAWK-3)

A délkeleti országrészben vonalba rendeződő, lassú mozgású zivatarok fejlődtek ki. Közben az Északi-középhegységben a hegyvonulatra merőleges északias áramlás uralkodott, így az orográfiai emelés, és a hegység fölött tapasztalható konvergencia hatására egyre több zivatarcella alakult ki itt is. A zivatarok nyugat felé haladva egyre veszítettek erejükből, majd a késő esti órákban végül fel is oszlottak.

A csapadékra vonatkozó megfigyeléseken látható (105. ábra), hogy a Duna-Tisza közén hullott a legnagyobb mennyiségű csapadék, mivel itt alakultak ki a legintenzívebb zivatarok. Az ALADIN 24 órás csapadékösszegre vonatkozó becslése alulmúlta a ténylegesen mért értékeket (106. ábra).



**105. ábra: 24 órás megfigyelt csapadékösszeg (HAWK-3)**

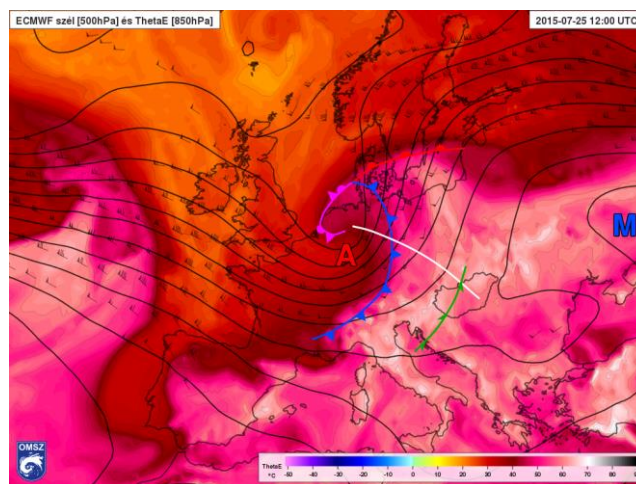


**106. ábra: Az ALADIN által előrejelzett 24 órás csapadékösszeg (HAWK-3)**

## 2015. július 25.

A következő esetben a meleg-nedves szállítószalagban kialakuló zivatarokat mutatjuk be. Szó lesz arról is, hogy a Kárpát-medencében található hegyvonulatok miként segítik elő a zivatarok kialakulását.

Nyugat-Európa felett húzódó magassági teknő tengelyében egy markánsabb ciklon jött létre, melynek centruma július 25-én Hollandia felett helyezkedett el. Hidegfrontja 12 UTC-kor Németország felett vonult át. A Kárpát-medence ekkor előoldali helyzetben volt, a meleg szállítószalag Nyugat-Magyarország felett húzódott, ahogy azt az alábbi ábrán is láthatjuk (107. ábra).

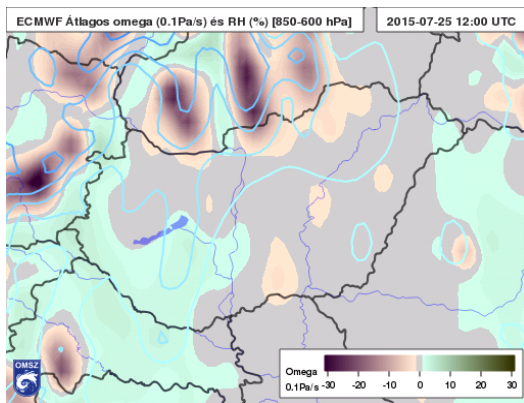


**107. ábra: A Kárpát-medence felett futó meleg-nedves szállítószalag az ECMWF 12 UTC-re vonatkozó előrejelzésén. A fehér vonal a teknő tengelyét, a zöld a meleg-nedves szállítószalagban kialakult konvergenciát jelöli (HAWK-3)**

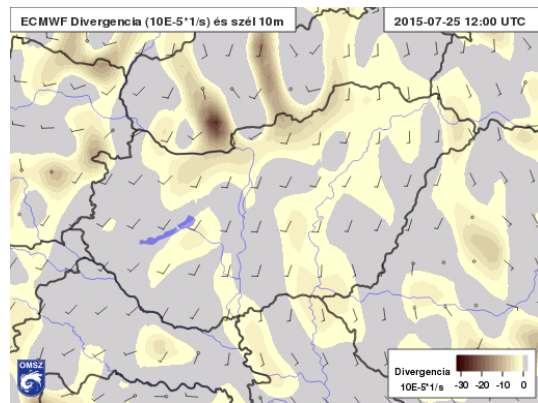
Prefrontális helyzetről lévén szó, a délelőtt folyamán melegszelet erőteljes délnyugati áramlása dominált hazánk fölött, nemcsak talajon, hanem a magasabb szinteken (850hPa, 500hPa) is. A meleg-nedves szállítószalag táptalajt adott a

zivatark kialakulásához, csak a megfelelő triggerre volt szükség. Ezek a kényszerhatások a kora délutáni órákra rendelkezésre is álltak.

Mind az Északnyugati-Kárpátok, mind pedig az Északi-középhegység áramlásra merőleges vonulatai feláramlásra készítették a délnyugatról érkező melegnedves levegőt (108. ábra). A zivatark kialakulását segítette a hegyvonulatok mentén kialakuló konvergencia is (109. ábra).

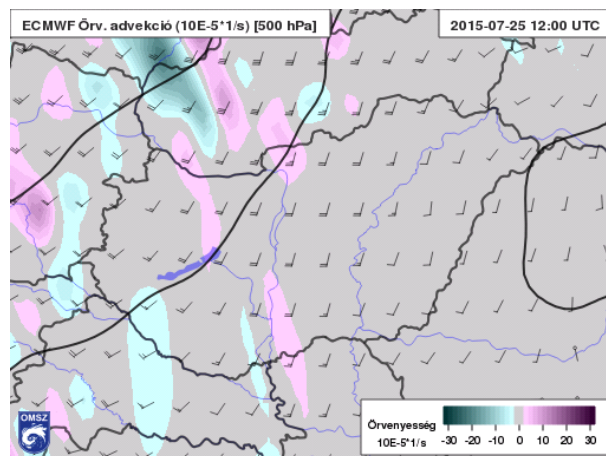


108. ábra: AZ ECMWF előrejelzésén jól látható a felgyülemelő nedvesség. A hegyvonulatok mentén történő feláramlást a negatív omega értékek is jól jelzik (HAWK-3)



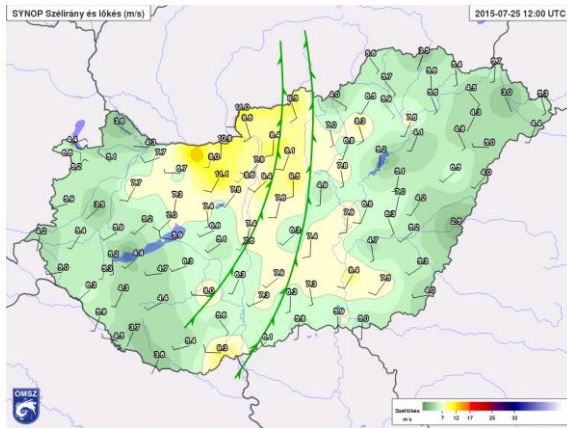
109. ábra: A hegyvidékek feletti konvergencia megjelenik az ECMWF előrejelzésén is (HAWK-3)

A Kárpát-medence felett húzódó rövidhullámú teknő tengelyében létrejött pozitív örvényességi advekciónak kedvező körülményeket biztosított a feláramlások kialakulásához (110. ábra).

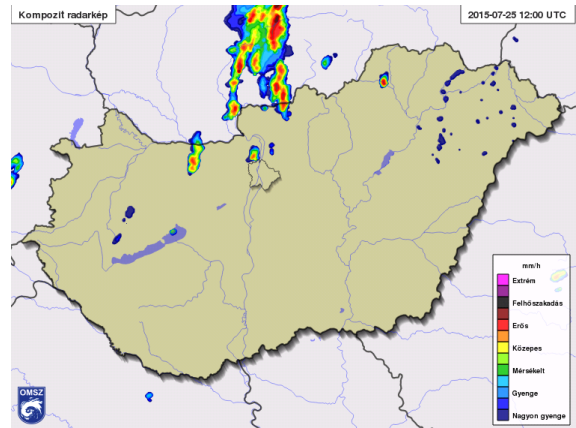


110. ábra: Az 500 hPa-on kialakult pozitív örvényességi advekciónak kedvező körülményeket biztosított a feláramlások kialakulásához (110. ábra), valamint a Börzsöny térségében, az ECMWF előrejelzésén (HAWK-3)

Ezeknek a kényszerhatásoknak engedve az első zivatarok a Gömör-Szepesi-érchegységben<sup>2</sup>, valamint a Börzsöny térségében alakultak ki (111-112. ábra).

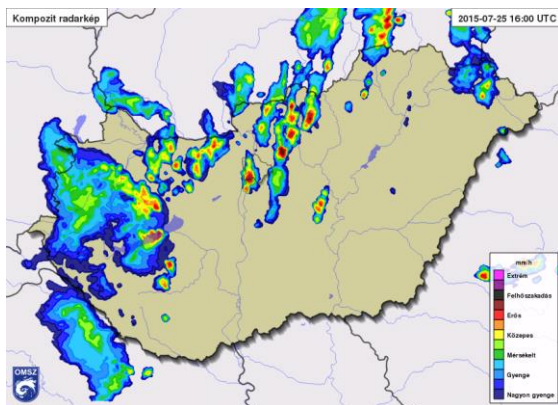


111. ábra: A szélmezőre vonatkozó megfigyelések, rajta a Duna-Tisza közén kialakult konvergenciavonal (HAWK-3)



112. ábra: A 12 UTC-s kompozit radarkép, melyen jól megjelennek a konvergenciavonal mentén fejlődő zivatarok (HAWK-3)

Később a Kisalföld és a Duna-Tisza közén létrejött konvergenciavonalak mentén egyre több zivatar pattant ki. A 16 UTC-s radarképen már jól kirajzolódnak a konvergens zónában fejlődő zivatarcellák, miközben a hidegfront csapadékszámja is megjelenik a Nyugat-Dunántúlon (113. ábra). Mindez a műholdképen is szépen látszódott (114. ábra).



113. ábra: 16 UTC-s kompozit radarkép (HAWK-3)



114. ábra: A Kárpát-medecéről készült 16 UTC-s műholdkép (www2.sat24.com)

A hidegfront érkezésének köszönhetően elsősorban a főváros környékén és az Északi-középhegységben alakultak még ki zivatarok, de kialakulásuknál már nem a konvergencia, hanem inkább a hidegfront jelentette kényszer volt a meghatározó. A zivartartevékenység végül a késő esti órákban szűnt meg.

<sup>2</sup> Az Északnyugati-Kárpátok belső vonulatán fekvő középhegység Szlovákia középső részén

## 7. Összefoglalás

Diplomamunkám célkitűzése az volt, hogy megvizsgáljuk a Kárpát-medence domborzati viszonyai által létrehozott, hazánkra jellemző helyi időjárás-módosulásokat. A kitűzött célt az esettanulmányok során tárgyalt, különböző időjárási helyzeteken keresztül valósítottuk meg.

A főn hatást vizsgálva láthattuk, hogy az miként okoz hőmérsékletemelkedést és élénk szelet a Délnyugat-Dunántúlon, az Alpokalján, illetve a Tiszántúlon. Felhőoszlató hatására ugyancsak láthattunk példát. A modell-előrejelzéseket és a megfigyeléseket összevetve, a prognózisok az esetek többségében számítottak a főn kialakulására, ugyanakkor sokszor pontatlanul becsülték meg a szél sebességét, illetve a szeles területek méretét. A hőmérsékleti értékeket is gyakran alulbecsülték és a maximumok kialakulásának helyszínét is tévesen ítélték meg.

Az orográfiai kényszerhatásokat tekintve láthattuk, hogy zonális makroszinoptikus helyzetben, az erős nyugati szél miként okoz melegadvekción és viharos szelet hazánk északi és északnyugati megyéiben. A domborzati hatások ebben az esetben is meghatározóak voltak, melyek leginkább a szélmező alakulásában nyilvánultak meg. A modellek jól előrejelezték az északi tájakon kialakuló erős-viharos szelet, ugyanakkor jelentősen túlbecsülték a szeles területek mértét. Emellett a szél erejét is alulbecsülték és pontatlanul ítélték meg a szélmaximum-helyeket. Ugyanez a pontatlanság figyelhető meg a hőmérséklettel kapcsolatban is.

A kossava esetében megfigyelhető volt, hogy milyen nagy kiterjedésű területen képes jelentős időjárás változást okozni a Duna völgyén keresztül betörő, erős hideg szél. Hatásait a keleti országrészek kivételével, hazánk egészére kiterjesztette, jelentős lehűlést, valamint erős-viharos szelet okozva. Az előrejelzések nagyjából jó becslést adtak a szél erejére és a szeles területek kiterjedésére, de nem számítottak a Kékestetőn és a Bükk csúcsain mért viharos szélre. A hőmérsékletet tekintve a modell alábecsülte a lehűlés mértékét.

A mediterrán ciklonos helyzetek során láthattuk, miként befolyásolják a mediterrán ciklonok áramlási rendszereit a Kárpátok vonulatai, kedvezve a medencén belül létrejövő ciklonközéppontoknak, valamint jellegzetes szélcsatornák kialakulásának. Ilyen a mediterrán ciklon hátoldali szélmezejében kialakuló északnyugati szélcsatorna, amely a Dunántúlon okoz erős-viharos szelet. Kiemelhető a Kab-hegyen mért szélerősödés, ami a hátoldali hidegadvekción eredményeként

alakul ki. A másik szélcsatorna az északkeleti országrészben a Bodrog és a Hernád völgyében alakul ki. A modell-előrejelzések itt összességében jól szerepeltek. A szélmezőre és hőmérsékleti értékekre adott becsléseik jól közelítik a valóságot, de a szél sebességét és szellőkés maximumok helyeit illetően akadtak pontatlanságok. A csapadékösszegre vonatkozó prognózisaik azonban minden esetben túlzóak voltak, mind a csapadék mennyiségét illetően, mind pedig a csapadékos területek kiterjedése kapcsán.

A konvektív esetekben az orográfia áramlásra gyakorolt hatása kedvező feltételeket teremtett a zivatarok kialakulására, mind a Duna-Tisza közén, mind pedig az Északi-középhegység térségében. A modellek összességében jó előrejelzést adtak a szélmezőre és a zivatarok kialakulását segítő hátérmezőkre (relatív örvényesség, omega, divergencia). A csapadék tekintetében azonban nagyobb pontatlanságok mutatkoztak.

Láthattuk tehát, hogy az időjárási helyzettől függően jelentős lokális hatások jelenhetnek meg hazánk különböző régióiban, amit gyakran az időjárási modellek sem jeleznek előre kellő pontossággal. Munkám során ezekre a pontatlanságokra szerettem volna rávilágítani a modell-előrejelzések és a megfigyelések összevetésével. Ezekben az esetekben szerzett tapasztalatok döntő fontosságúak, hiszen ezek által képes az előrejelző meteorológus pontosítani a modellek által készített prognózisokat.

## **Köszönetnyilvánítás**

Megköszönöm témavezetőmnek, Üveges Zoltánnak a diplomamunkám elkészítésében nyújtott szakmai és technikai jellegű segítséget.

Köszönöm Dr. Barcza Zoltán belső konzulensemnek a diplomamunkámmal kapcsolatos hasznos észrevételeit.

Köszönetet mondok Kolláth Kornélnak és Rajnai Márknak a technikai nehézségek áthidalásában nyújtott segítségükért.

Köszönettel tartozom az Országos Meteorológiai Szolgálatnak a rendelkezésemre bocsátott adatokért és számítástechnikai infrastruktúráért.



## Irodalomjegyzék

Bartholy et al, 2013: Meteorológiai alapismeretek, *Eötvös Loránd Tudományegyetem*, Budapest, pp. 97, 104

Czelnai, R., 1994: Bevezetés a meteorológiába II. Mozgó légkör és óceán, *Nemzeti Tankönyvkiadó*, Budapest, pp. 111

Csonka, T., 2004: A konvektív folyamatok vizsgálata a nedvesség konvergencia és a hasznosítható konvektív energia felhasználásával. *Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem*, Budapest, 4 p

Horányi, A., Mile, M., Szűcs, M., 2011: Latest developments around the ALADIN operational short-range ensemble prediction system in Hungary. *Tellus*, 63A, pp. 642–651

Horváth, Á., 2007: Légköri konvekció, *Országos Meteorológiai Szolgálat*, Budapest, pp. 4-15.

Hoskins, B.J., McIntyre, M.E., Robertson, A.W., 1985: On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 929, pp. 877–946.

Kiss, Gy., 2012: A viharciklonok dinamikája és numerikus modellezése. *Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem*, Budapest, pp. 9-11.

Péczely, Gy., 1979: Éghajlattan, *Nemzeti Tankönyvkiadó*, Budapest, pp. 109-117, 119-121.

Petterssen, S., Smebye, S.J., 1971: On the development of extratropical cyclones. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 97, 457–482.

Práger, T., 1992.: Numerikus prognosztika, *Nemzeti Tankönyvkiadó*, Budapest, pp. 7-22, 137-143.

Sándor, V., Wantuch, F., 2004: Repülésmeteorológia, *Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest*, pp. 106-107.

Sebestyén A., 2014: A mediterrán ciklonok vizsgálata, a 2012/2013-as téli esetek elemzése, *Szakdolgozat, Eötvös Loránd Tudomány Egyetem, Meteorológiai Tanszék, Budapest*, pp. 5-6.

Szépszó et al, 2013: A numerikus időjárási modellek felépítése: tér- és időskála, adatasszimiláció, diszkrétizáció, parametrizációk, valószínűségi előrejelzések, éghajlati modellezés, *Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest*, pp. 49, 59-64.

Tüskés, B., 2010: Főnszerű hatások detektálása a Kárpát-medencében MODIS műholdképek és meteorológiai adatok alapján 2005-2010 téli hónapjaiban. *Diplomamunka, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest*, pp. 12-14, 23.

## Internetes források

[http://www.met.hu/idojaras/aktualis\\_idojaras/napijelentes/](http://www.met.hu/idojaras/aktualis_idojaras/napijelentes/)

<http://www.met.hu/omsz/tevekenysegek/ecmwf/>

<http://www.met.hu/omsz/tevekenysegek/idojarasmodellezes/modellek/>

<http://www.weatheronline.co.uk/feature/aa171003.htm>

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/main.htm?/docu/Manual/SatManu/Basic/CM/CM.htm>

<https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/model-data/model-datasets/global-forecast-system-gfs>

<http://www.srh.noaa.gov/jetstream/synoptic/cyclone.htm>

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Foehn\\_wind\\_illustration.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Foehn_wind_illustration.svg)

<http://weather.uwyo.edu/upperair/europe.html>

<http://www1.wetter3.de/Archiv/>

<http://www2.sat24.com/history.aspx?culture=hu>

<http://zellerke.blogspot.hu/2010/06/karpat-medence-foldi-paradicsomkert-2.html>