

Eötvös Loránd Tudományegyetem
Földrajz- és Földtudományi Intézet
Meteorológiai Tanszék

Alacsony szintű nedvességre vonatkozó műholdas produktumok felhasználása a szinoptikus gyakorlatban

MSc diplomamunka



Készítette:

Kovács Adrián

II. Meteorológus MSc
Időjárás-előrejelző szakirány

Témavezetők:

Kolláth Kornél

Országos Meteorológiai Szolgálat, EFO-RVO

dr. Putsay Mária

Országos Meteorológiai Szolgálat, IMFO-MO

Belső konzulens:

dr. Pongrácz Rita

ELTE-TTK, Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2012

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	3
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS, MOTIVÁCIÓ	5
3. AZ ELMÉLETI HÁTTÉR ÉS A FELHASZNÁLT ADATOK	7
3.1. A módszer elméleti háttere.....	7
3.2. Az EUMETSAT 24 órás mikrofizikai RGB kompozitképei	10
3.3. Az RGB kompozitképekkel összehasonlított adatok.....	12
4. A VIZSGÁLAT MÓDSZERE	15
4.1. A műholdképek előállítása és tanulmányozása	15
4.2. Az összehasonlítás folyamata.....	16
5. EREDMÉNYEK, ESETTANULMÁNYOK	21
5.1. Nedvességi légtömeghatárok számottevő konvekció nélkül.....	21
5.1.1. <i>Összhangban lévő műholdkép és előrejelzési mező</i>	21
5.1.2. <i>Nedvességre vonatkozó előrejelzési hibák vizsgálata</i>	24
5.2. Zivatarfelhők által is kirajzolt nedves területek	28
5.2.1. <i>Összhangban lévő műholdkép és előrejelzési mező</i>	28
5.2.2. <i>Nedvességre vonatkozó előrejelzési hibák vizsgálata</i>	36
5.3. Frontok nedves levegőjének azonosítása	46
5.3.1. <i>Kiterjedt felhőzet nélküli frontok</i>	46
5.3.2. <i>Hidegfront mögötti kiszáradás</i>	48
6. AJÁNLÁS MEGFOGALMAZÁSA	51
7. ÖSSZEGZÉS	54
IRODALOMJEGYZÉK	56
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	58
FÜGGELÉK	59

1. BEVEZETÉS

A légköri jelenségek közül a konvektív csapadék előrejelzése az egyik legnehezebb feladat, különösen igaz ez akkor, ha csupán helyi hatások alakítják az időjárást, nincs front vagy egyéb kényszerhatás, ami elősegítené a kialakulását. A társadalom részéről ugyanakkor egyre nagyobb az igény, hogy minél pontosabb információk hangozzanak el a záporok, zivatarok várható előfordulási helyéről. Nemcsak azért, mert egy szikrázó napsütéssel induló nap délutánján a magasba törő gomolyfelhőkből hulló záporosó megzavarhatja a szabadtéri programokat, hanem azért is, mert a hevesebb zivatarok veszélyeztethetik értéktárgyainkat, illetve személyi sérülést is okozhatnak.

Az előrejelzési modellek fejlődésével egyre megbízhatóbbá válnak a prognózisok ezen a téren is, azonban a légkör kaotikus tulajdonsága miatt a modelleredmények 100%-os beválása elméleti okokból sohasem lesz elérhető. Az alsó rétegek nedvessége ugyanakkor általában csak viszonylag nagyobb hibával jelezhető előre, viszont több időjárási jelenség alakulására is nagy hatással van, ezért új technikák alkalmazására is szükség lehet.

Különösen a nowcasting célú operatív előrejelzési munkát segítheti minden olyan produktum, mellyel hatékonyan feltérképezhetők a légköri objektumok, az azokat alakító meteorológiai háttérparaméterek, illetve az éppen aktuális állapothoz képest szubjektíven is validálhatók az adott időtávra használt numerikus modelleredmények. A dolgozatban ehhez egy olyan, a gyakorlatban még kevésbé elterjedt módszer tanulmányozását tűztük ki célul, melynek segítségével a szinoptikus jobban tájékozódhatna a nedvességi feltételekről a legfrissebb műholdképeket felhasználva. Ez elsősorban a légtömegben belül kialakuló zivatarokra vonatkozó előrejelzések, veszélyjelzések javítására irányulna, de akár frontok azonosítását is lehetővé tenné.

A munkám során az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) munkatársainak rendelkezésére álló '24 órás felhőzeti kompozit műholdkép' alkalmazási lehetőségeit vizsgáltam meg oly módon, hogy miként jelennek meg rajta azok a területek, ahol magasabb a határréteg nedvességtartalma. Az EUMETSAT¹ által ajánlott RGB kompozitképek közül azért választottuk ezt a produktumot, mert ez két-két olyan csatorna különbségét is felhasználja, megjeleníti, melyek a leginkább kapcsolatban

¹ European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites

állnak az alacsony szintű nedvességgel. Ennek mennyisége pedig jelentősen befolyásolja többek között a konvektív cellák kifejlődését is.

Hét esztendő hat hónapjának RGB képeit átvizsgálva kiválasztottam egy kisebb csoportot, ahol már első ránézésre elkülöníthetőek voltak a szárazabb és nedvesebb levegőjű területek, így ezeket megfelelőnek találtam arra, hogy összehasonlítsam az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF²) előrejelzési térképeivel. Ehhez az OMSZ által kifejlesztett HAWK³ munkaállomást használtam, itt ugyanis lehetséges volt egyazon képen megjeleníteni a műholdfelvételt, illetve rajta izovonalas ábrázolásmódban különböző nedvességgel kapcsolatos paramétereknek négy nyomási szint átlagát reprezentáló mezőit. Képeztünk még különbségeket két futtatás előrejelzési adatai és az analízis, valamint a műholdas mérésekből származtatott és a modelltől nyert kihullható vízmennyiségek között is, az utóbbi segítségével ezáltal már lehetőség nyílt az objektív összevetésre is. Az érdekesebb eseteknél az RGB kompozitkép piros, illetve zöld színben megjelenő fényességi hőmérséklet-különbségeit (BTD) külön is megjelenítettem, kapcsolatot keresve az egyes főizobárszinteken tapasztalható abszolút nedvességgel. Továbbá, ha a műholdkép alapján kis távolságon belül markáns eltérés volt tapasztalható a határréteg nedvességi viszonyaiban, valamint rendelkezésre álltak rádiószondás felszállások az adott helyen és időpontban, akkor ezek alapján is értelmeztem a látottakat.

A dolgozat 2. fejezete a témához kapcsolódó szakirodalmat tekinti át, és megfogalmazza a kutatásunk háttérében rejlő motivációt. A 3. fejezetben kerül ismertetésre az elvégzett vizsgálatok elméleti háttere, illetve, hogy milyen adatokat és milyen formában használtam fel, míg a 4. fejezet tartalmazza a munkafolyamat lépéseit. Az 5. fejezet esettanulmányok segítségével bemutatja a kapott eredményeket, a 6. fejezet egy ajánlás formájában rövid leírást ad a módszer alkalmazásáról, a 7. fejezet pedig összefoglalja a dolgozat fő konklúzióit.

² European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

³ Hungarian Advanced WorkStation

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS, MOTIVÁCIÓ

Dolgozatom témájához, annak újszerűsége folytán, csak kevés szakirodalom érhető el, melyek legnagyobb részét EUMETSAT oktatóanyagok, illetve a szervezet honlapján (<http://www.eumetsat.int/>) publikált esettanulmányok képezik.

Az RGB kompozit műholdképeknek az alacsony szintű nedvesség feltérképezésére irányuló felhasználásával kapcsolatban az egyik legnagyobb nemzetközi szaktekintély Jochen Kerkmann, aki a legtöbb előadást tartja ezen a területen. A nevéhez fűződik az esettanulmányok döntő többsége, emellett pedig a második generációs Meteosat (MSG) műholdak csatornáit, alkalmazási lehetőségeit bemutató prezentációk szerkesztésében is nagy szerepet vállal. Az általa, többek között a 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitról megosztott tapasztalatait a munkám során sikeresen alkalmaztam (*Kerkmann et al.*, 2006).

A források egy másik csoportját alkotják azok, melyek a geostacionárius pályán keringő műholdak mérési adatainak az ECMWF modellben történő asszimilációját írják le. Sajnos ebben az esetben sem találtam túl sok publikációt, de *Köpken et al.* (2004) munkája jó alapot teremtett ezen folyamat megismeréséhez. Mindazonáltal, ahogy az *White* (2003) ECMWF IFS⁴ dokumentációjából is kiderül, jelenleg még kevés ilyen jellegű információt használnak fel, ami magyarázhatja a szakirodalom viszonylagos hiányát.

A bevezetésben közölt azon megállapítást, miszerint a numerikus időjárás-előrejelző modellekben a nedvesség előrejelzése gyakran hibával terhelt, régebbi és újabb kutatások egyaránt alátámasztják. *Norquist* (1995) tanulmánya rávilágított arra, hogy ezek a hibák szisztematikusan fellépnek nemcsak az előrejelzési, hanem az analízis adatokban is, mely minden modellre egyedileg jellemző. A jelentés szerint az 1979 és 1991 között végrehajtott fejlesztésekkel például az analízis hibáját sikerült ugyan csökkenteni, a két időpont között a kezdeti feltételekben rejlő különbségek miatt viszont az előrejelzéseké növekedett. Egyes esetekben továbbá az is előfordult, hogy csupán a relatív nedvességet vizsgálva, téves következtetésekre jutottak, ugyanis a hőmérsékleti előrejelzés hibája elfedte a nedvesség-előrejelzés hibáját. A kérdésben érdekességképpen megemlítenék még egy ausztriai verifikációs leírást is az ECMWF előrejelzéséről, mely szerint 2009-ben a 2 méteres relatív nedvesség-előrejelzés átlagos

⁴ Integrated Forecast System (Integrált Előrejelző Rendszer)

abszolút hibája (MAE⁵) 10% körül alakult, ami arányait tekintve magas a 2 méteres hőmérséklet 1-2 °C-os, illetve a tengerszintre átszámított légnyomás 1 hPa körüli értékéhez viszonyítva (Kann, 2010). Ebből a szempontból így kiemelt jelentőségű lehetne, ha sikerülne orvosolni a modellek által prognosztizált nedvességből fakadó tévedéseket.

A '24 órás felhőzeti kompozitkép' operatív előrejelzésben való használhatóságára még nem végeztek átfogó vizsgálatot, ezért is tartottuk fontosnak ennek tanulmányozását. A legfőbb célunk ezek után annak elérése volt, hogy a kapott eredményekkel egy olyan eljárást vázoljunk fel az olvasó előtt, mely akár a mindennapi szinoptikus gyakorlatban is eredményesen alkalmazható lehetne. Ennek segítségével lehetővé válhatna a reggeli nedvességi viszonyok pontosabb feltérképezése, melynek révén adott esetben felismerhetnénk a modell-előrejelzések esetlegesen fellépő hibáit. Figyelembe kell venni továbbá azt a tényt, hogy a prognózisok kora délelőtti elkészültekor – a jelenlegi számítógépes kapacitások mellett – még viszonylag kevés ideje áll az előrejelzők rendelkezésére a determinisztikus modell legfrissebb, éjféli futtatása. Emellett pedig az előző nap 12 UTC-s futás elméletileg kevésbé pontos adatokat szolgáltat, így a műholdképek nyomon követésével alkalmanként sikeresebb előrejelzés is születhetne a légtömegben belüli zivatarok várható keletkezési helyére vonatkozóan. Reményeink szerint az itt bemutatott vizsgálatok a jövőben hozzájárulhatnak majd az általam választott kutatási terület fejlődéséhez, illetve a szóban forgó műholdas produktumok kiforrottabb alkalmazásához.

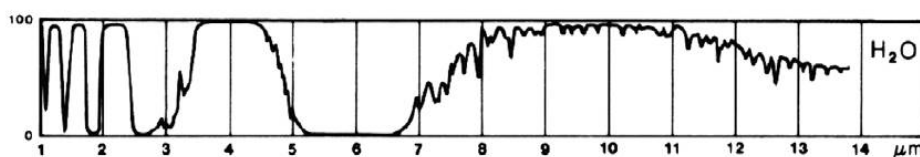
⁵ Mean Absolute Error

3. AZ ELMÉLETI HÁTTÉR ÉS A FELHASZNÁLT ADATOK

A munkám során az EUMETSAT által kifejlesztett és az OMSZ által előállított többféle 24 órás mikrofizikai RGB kompozitkép közül a felhőzeti kompozitot vizsgáltam. A választás okaira, azaz, hogy mi teszi lehetővé a módszer alkalmazását, erre a fejezetben térek ki, továbbá össze is hasonlítom az ilyen jellegű produktumokat. Emellett az ECMWF operatív determinisztikus modelljéről, illetve a felhasznált, nedvességre vonatkozó előrejelzési térképekről is írok néhány gondolatot, valamint bemutatom, hogy milyen egyéb adatokkal dolgoztam.

3.1. A vizsgálat módszerének elméleti háttere

Az EUMETSAT által üzemeltetett második generációs Meteosat műholdak fő műszere a SEVIRI⁶, mely az elektromágneses sugárzást 12 spektrális csatornában (11 látható és infravörös, illetve egy nagyfelbontású látható csatorna) méri (*Putsay és Kocsis, 2009*). Az első generációs műholdak még csak három csatornán végeztek méréseket, így ott közvetlenül nem lehetett tanulmányozni az alacsony szintű nedvességet, legfeljebb indirekt módon a látható tartomány segítségével. Az MSG műholdakkal azonban erre már több lehetőség is kínálkozik: a 10,8 és 12 μm -es infravörös csatorna (IR10,8, IR12,0) fényességi hőmérséklet-különbségével (BTD⁷); indirekt módon a nagyfelbontású csatornával; a 24 órás mikrofizikai RGB kompozitképekkel (por, felhőzeti), valamint három SAF⁸ produktummal, melyek a kihullható víztartalmat szemléltetik (*Kerkmann et al., 2010*).



1. ábra. A vízgőz áteresztése az infravörös tartományban
(forrás: EUMETSAT Training prezentáció)

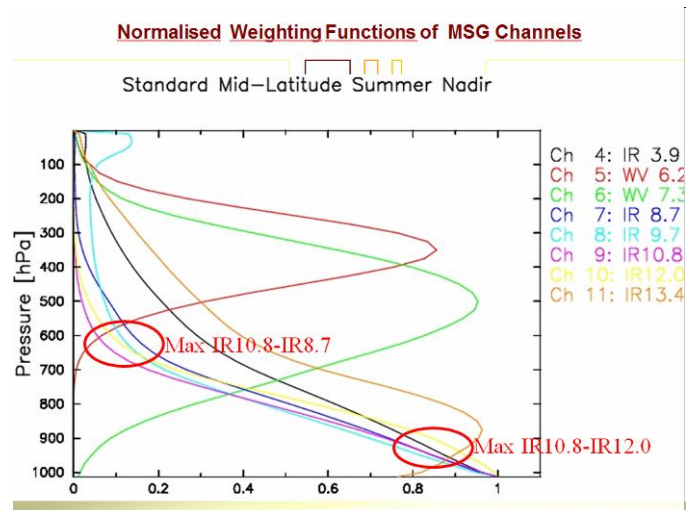
Az 1. ábráról leolvasható, hogy a spektrum egyes tartományai eltérő módon viselkednek a vízgőz áteresztése szempontjából. A felszínről, illetve alacsony szintű felhőkről induló 6,2 μm -es sugárzás (WV6,2), átlagos hőmérsékleti és nedvességi

⁶ Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager (Látható és Infravörös Leképező Berendezés)

⁷ Brightness Temperature Difference

⁸ Satellite Application Facilities

viszonyok mellett, gyakorlatilag teljesen elnyelődik az alsó 5-6 km-en, így ez a csatorna a felső troposzféra nedvességtartalmáról tájékoztat. A 7,3 μm -es csatornánál (WV7,3) hasonló a helyzet, itt az alsó 3-4 km-es rétegből induló sugárzás az, ami teljes mértékben abszorbeálódik, míg az afeletti rétegek sugárzása már csak részben nyelődik el (2. ábra). Emiatt ezeknél nem kapunk információt az alacsonyabb szintekre vonatkozóan, bár nagyon száraz levegő esetén már a WV7,3-as csatorna is „leláthat” az alacsony szintű nedvesség szintjéig. Az abszorpció mértéke ugyanakkor jóval kisebb a 10,8 μm -es és a 12 μm -es csatornánál. Az utóbbinál csak ott nyelődik el a vízgőz számottevő mértékben, ahol nagyobb mennyiségben van jelen, ami a magasabb nyomás és hőmérséklet miatt az alsó 1-2 km-re igaz, míg az előbbinél minimális lesz az elnyelés. Ennek



2. ábra. Az MSG csatornák súlyfüggvényei (forrás: EUMETSAT Training prezentáció)

a két csatornának a különbsége, együttes kiértékelése így alkalmas olyan paraméterek meghatározására, mint a teljes kihullható vízmennyiség vagy az alacsony szintű nedvesség. Mivel a 12,0 μm -es csatornában kissé nagyobb a vízgőz sugárzáselnyelő hatása, mint a 10,8 μm -es csatorna esetében, ezáltal az IR12,0 csatornában kisebb a fényességi hőmérséklet, ha más effektusokat figyelmen kívül hagyunk. A 12,0 μm -es és 10,8 μm -es infravörös csatornák fényességi hőmérsékletbeli különbsége pedig közvetlen kapcsolatban áll a nedvességtartalommal. A 2. ábra súlyfüggvényeiről is leolvasható, hogy ezt leginkább az alacsony szinten, 1-2 km-en lévő nedvesség határozza meg, hiszen ott lesz maximális az eltérés, ha normális hőmérsékleti profilt feltételezünk, és elhanyagoljuk a felszín emisszivitásának hatását. Mindezek alapján a nagyobb BTD abszolút értékben magasabb abszolút nedvességet jelent alacsony szinten, a 0 K körüli értékek nagyon száraz, míg a 4 K körüliek már igen nedves levegő jelenlétére utalnak. Az eljárás azonban csak általános légköri viszonyok mellett alkalmazható, amikor a hőmérséklet, különösen az alsó rétegekben, a magassággal csökken. Ha hőmérsékleti izotermia vagy inverzió tapasztalható, akkor a felszín hőmérséklete alacsonyabb lesz, mint a határrétegé, emiatt a BTD nagyon kicsi, sőt pozitív is lehet, és így nem utal a levegőben lévő nedvesség mennyiségére. A fényességi

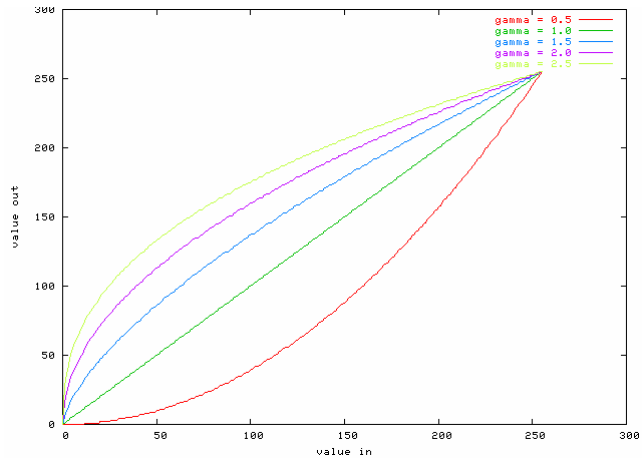
hőmérsékletben tapasztalható eltérés egyébként a hőmérsékleti mellett a nedvességi profiltól, valamint a műhold megfigyelési szögétől is függ (Kerkmann and Rosenfeld, 2005; Kerkmann et al., 2010). Tapasztalataink szerint, ha kisebb mértékben is, de a BTD(IR10,8-IR8,7) is függ a nedvességtartalomtól, és bár a súlyfüggvények közötti legnagyobb különbséget tekintve a 3-4 km-es, tehát magasabb szintekre érzékeny, mint a BTD(IR12,0-IR10,8), az esettanulmányoknál érintőlegesen ezt is megvizsgáljuk.

Az MSG műholdak több, egymástól eltérő információtartalmú spektrumsávban készítik felvételeiket. Ezeket vagy egyedi sávok külön-külön történő megjelenítésével vizsgáljuk, vagy a sávok kombinációit ábrázoljuk. Az RGB kompozitképek esetén a három alapszínben három egyedi sáv vagy sávkülönbség szerepel, ahol az RGB a piros (red), a zöld (green) és a kék (blue) alapszínek rövidítése. Az EUMETSAT nyolc kompozitkép-típust dolgozott ki különböző célokra, a légköri paraméterek, jellemzők kiemelésére, melyek közül az egyik a vizsgált '24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB'.

A 12,0 μm -es és a 10,8 μm -es, azaz a SEVIRI10-es és 9-es csatornája közötti BTD mindazonáltal az EUMETSAT által ajánlott több RGB kompozitképben is szerepel, mely éjjel és nappal egyaránt használható a felhők optikai vastagságának megállapítására, illetve kapcsolatban áll a felszín és a felhőzet hőmérsékletének különbségével is. Az egyes RGB képek elkészítése számos szempont alapján történik: a csatornák kiválasztásánál az általuk reprezentált tulajdonságokat helyezik előtérbe, a csatornákat pedig először kalibrálják infravörös képeknél fényességi hőmérsékletre, látható tartomány esetén reflektanciára. Ezen felül a vizsgált jelenségnek, az évszaknak, illetve a napszaknak megfelelően sor kerülhet az intenzitási tartomány, azaz a legalacsonyabb és a legmagasabb fényességi hőmérséklet vagy reflektancia módosítására. A standard kompozitkép-készítésnél állandó értéktartományokkal dolgoznak, kompozitképenként és sávonként fix minimális és maximális fényességi hőmérséklet vagy reflektancia határokkal, ami biztosítja a képek kontrasztosságát és összehasonlíthatóságát. Egyes produktumoknál és egyes sávokban azonban gamma korrekciót is végeznek, amivel az értékkészlet egyes tartományai kiemelhetőek. Egy MSG infravörös kép esetén például, BTmin és BTmax közötti fényességi hőmérsékletbeli tartomány mellett, a fényességi intenzitás (BRIT), melynek értéke 0 és 255 közötti lehet, a következő képlettel írható le:

$$BRIT = 255 \left[\frac{BT - BT_{\min}}{BT_{\max} - BT_{\min}} \right]^{\frac{1}{\Gamma}}$$

A gamma 1-nél kisebb értékei esetén a kép sötétedik, a legnagyobb hatás a sötét, alacsony fényességű pixeleknél figyelhető meg, míg ha gamma 1-nél nagyobb, akkor a kép összességében világosabb lesz, itt a változás a sötét árnyékoknál a legszembetűnőbb (3. ábra). Létezik még gamma2 korrekció is, ami segít megnövelni a kiválasztott intenzitási tartomány középső részét. A hozzá tartozó képlet különböző, attól függően, hogy a fényességi hőmérséklet kisebb vagy nagyobb, mint a $[BT_{min}+BT_{max}]/2$ átlagos érték (Kerkmann et al., 2005; Kerkmann, 2010). A gamma2 korrekciónak legalább 1-nek kell lenni, de az Országos Meteorológiai Szolgálatnál operatíván használt műholdképek esetén mindig 1.



3. ábra. A leképezési függvény különböző gamma korrekciók esetén (forrás: EUMETSAT)

3.2. Az EUMETSAT 24 órás mikrofizikai RGB kompozitképei

Az előző alfejezetben már említettem, hogy több olyan RGB kompozit is van, melynek piros színű bemenetét a $BTD(IR_{12,0}-IR_{10,8})$ állítja elő, ilyen például az éjszakai mikrofizikai RGB, mely kiválóan alkalmas nemcsak a köd és alacsony szintű rétegfelhőzet, hanem az intenzív zivatarok nyomon követésére is az éjjeli időszakban (Kerkmann et al., 2005). A por, a hamu, illetve a 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitképek esetén, melyeket összefoglalóan 24 órás mikrofizikai RGB képeknek is nevezünk, a piros színt a $BTD(IR_{12,0}-IR_{10,8})$ hordozza, a zöldet a $BTD(IR_{10,8}-IR_{8,7})$, a kéket pedig a 10,8 μm -es csatorna fényességi hőmérséklete adja. A három típus közötti különbség ezáltal csak az intenzitási tartományban, illetve a gamma korrekció értékében rejlik, melyet az 1-3. táblázat foglal össze.

Szín	Csatorna	Tartomány	Gamma
Piros	IR12,0 – IR10,8	-4 ... +2 K	1,0
Zöld	IR10,8 – IR8,7	0 ... +6 K	1,2
Kék	IR10,8	+248 ... +303 K	1,0

1. táblázat. A 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitkép paraméterei

Szín	Csatorna	Tartomány	Gamma
Piros	IR12,0 – IR10,8	-4 ... +2 K	1,0
Zöld	IR10,8 – IR8,7	0 ... +15 K	2,5
Kék	IR10,8	+261 ... +289 K	1,0

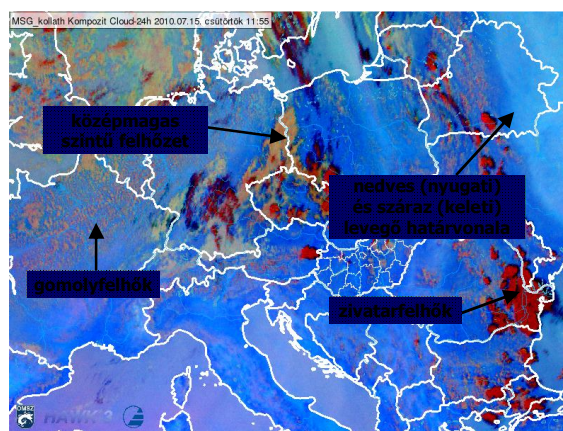
2. táblázat. A 24 órás por mikrofizikai RGB kompozitkép paraméterei

Szín	Csatorna	Tartomány	Gamma
Piros	IR12,0 – IR10,8	-4 ... +2 K	1,0
Zöld	IR10,8 – IR8,7	-4 ... +5 K	1,0
Kék	IR10,8	+243 ... +303 K	1,0

3. táblázat. A 24 órás hamu mikrofizikai RGB kompozitkép paraméterei

A háromféle produktum közül a felhőzeti és a por RGB kompozit színezésében kevésbé tér el egymástól, így nem véletlen, hogy az utóbbit is szokták alkalmazni az alacsony szintek nedvességi viszonyainak feltérképezésére. A 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitképen a nappali órákban a nedvesebb levegőjű határréteg sötétebb kék színben jelenik meg, mint a szárazabb, feltéve, hogy nem borítják felhők az adott térséget, ekkor ugyanis nem

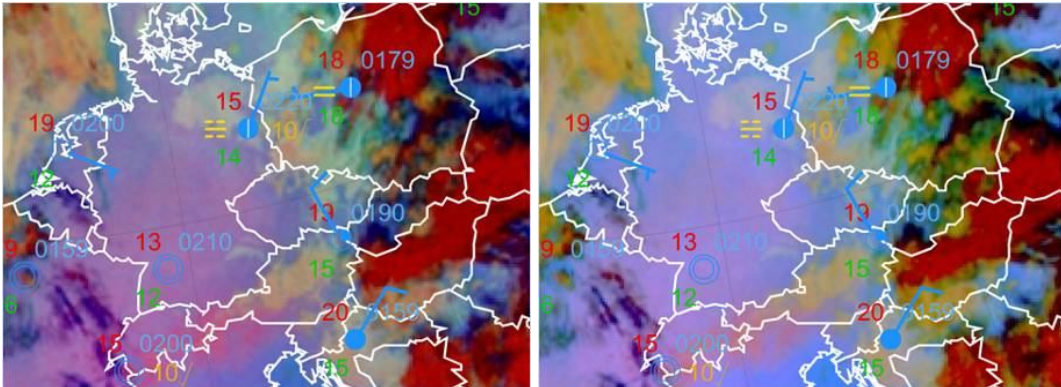
juthatunk ilyen jellegű információhoz. Az éjszakai időszakban viszont többnyire komoly nehézségekbe ütközik a nedvességi légtömeghatárok azonosítása a gyakran fellépő inverzió miatt, ilyenkor egyébként a rózsaszínes-lilás árnyalatok dominálnak. Sárgás színűek az alacsonyabb szintű felhők és a köd, melyek éjjel-nappal jól detektálhatók ezzel a produktummal, szemben az



4. ábra. A 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompoziton azonosítható objektumok 2010.07.15. 12 UTC

éjszakai mikrofizikai RGB kompozittal, mely nemcsak nappal, hanem igen alacsony hőmérsékletű területek fölött sem használható. A cirruszok feketés, míg a magasba törő zivatarfelhők pirosas színben figyelhetők meg ezen a műholdképen (*Schipper and Nietosvaara, 2009; Kerkmann, 2010*), a legfontosabb azonosítható objektumokat a 4. ábrán tüntettük fel. Emellett az is megállapítható, hogy a por RGB kompozitképpel szemben a felhőzeti kompoziton általában jobban elkülöníthető, hol nedvesebb, illetve szárazabb a levegő, amit az 5. ábra is szemléltet azáltal, hogy a felhőmentes területek

kontrasztosabbak. Ennek megfelelően vizsgálataim során a 24 órás felhőzeti mikrofizikai kompozitot tanulmányoztam.



5. ábra. A 24 órás felhőzeti (balra), illetve a por mikrofizikai RGB kompozit (jobbra), 2009.08.05. 06 UTC (forrás: EUMETSAT Training Module)

3.3. Az RGB kompozitképekkel összehasonlított adatok

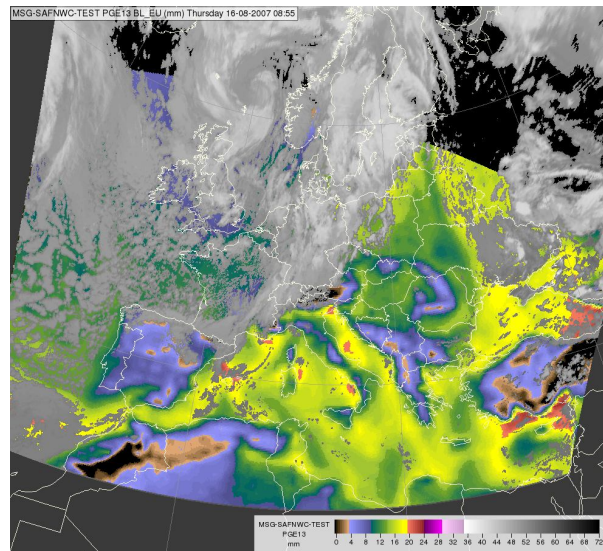
Az összevetés során a legfontosabb az ECMWF determinisztikus előrejelzése volt, amelyet naponta kétszer 10 napra futtatnak a readingi központban, a 00 és a 12 UTC-s kezdeti meteorológiai mezőkből kiindulva. A modell felbontása az idők során fokozatosan javult, míg 2000 novemberében még csak 0,5x0,5 fokos volt, addig 2006 februárjától már 0,25x0,25 fokos, 2010 januárjától pedig 0,125x0,125 fokos globális felbontást lehetett elérni. Ennek ellenére a vizsgálatok nagy részében 0,5x0,5 fokos adatokkal dolgoztam, hogy a teljes időszakra nézve azonos felbontású adatok álljanak rendelkezésre, és mindig az adott nap 00, valamint az előző nap 12 UTC-s futtatását használtam fel. A paraméterek közül elsőként a relatív páratartalmat vettük figyelembe, ám mivel ebből csak a hőmérséklet ismeretében vonhatunk le egyértelmű következtetést a levegőben lévő vízgőz mennyiségére, így specifikus nedvességre vonatkozó térképeket is készítettünk. Mindkét esetben négy nyomási szint (1000, 925, 850, illetve 700 hPa) nedvességével számoltunk, de nem egyenként, hanem a négy mező számtani átlagát tekintve.

Fontos megemlíteni, hogy a levegő nedvességtartalmával kapcsolatos információ előállítására az adatasszimiláció folyamatában az ECMWF-nél csupán a geostacionárius műholdak vízgőz elnyelési csatornáit használják fel, így például a 8 μm -nél hosszabb infravörös csatornákat sem. Kezdetben ráadásul csak a felhőzet nyomon követésével előálló mozgásvektorokat építették be, később azután már a tiszta égbolt esetén tapasztalható, vízgőz csatornához tartozó radianciákat is. Jelenleg a troposzférában

lévő nedvesség pontosabb meghatározására, egy már viszonylag régen kidolgozott módszerrel, elsősorban a kvázipoláris műholdak által mért kihullható vízmennyiségeket veszik számításba (White, 2002; Köpken et al., 2004). Éppen ezért a határreteg nedvességére vonatkozó numerikus előrejelzéseket napközben, derült ég esetén az MSG műholdképekből nyerhető adatok alapján is validálhatjuk, ami alapjául szolgálhat a nyers modelleredmények korrekciójához, az ultrarövid távú előrejelzések javításához.

A műholdas produktumok tanulmányozása, az esetek kiválasztása során az ECMWF előrejelzett nedvességi mezői mellett többek között az egyes szintek szélviszonyai, illetve a 3 órás csapadékösszegek is fontos szerephez jutottak. Az esettanulmányok részletesebb vizsgálatánál pedig a zivatarok kialakulását befolyásoló számos paraméter értékét megjelenítettük. Mindkét munkafolyamatban hasznosnak bizonyultak az ECMWF 06 és 12 UTC-re szóló analízis mezői is, melyeket felhasználva ezen időpontokra különbségmezőt készítettünk az előrejelzés és az analízis között.

Az objektív összevetéshez elengedhetetlen volt még az EUMETSAT Nowcasting munkacsoportja (NWC SAF⁹) által kifejlesztett programcsomag. Ez az MSG műholdak hat csatornán végzett méréseiből előállított hőmérsékleti és nedvességi profilok révén lehetővé tette a teljes kihullható vízmennyiségre (TPW¹⁰), egyes rétegek kihullható vízmennyiségére (LPW¹¹), illetve különböző labilitási paraméterekre vonatkozó produktumok elkészítését. Munkám során ezek közül a TPW-vel, valamint a határreteg kihullható vízmennyiségét megadó BL¹² képekkel dolgoztam (6. ábra), mely a felszíni nyomás és a 850 hPa közötti réteg nedvességéről tájékoztat. Ezekben a SEVIRI infravörös csatornáit és numerikus időjárás-előrejelző modellek adatait felhasználva állítják elő a kihullható vízmennyiséget a felhőmentes pixelekre a TPW esetén 0 és 70 mm, míg a BL-nél 0 és 35 mm között. A barnás-kékes-



6. ábra. Az EUMETSAT NWC SAF programcsomaggal készített BL produktum, 2007.08.16. 09 UTC

⁹ Satellite Application Facilities in support of Nowcasting and Very Short Range Forecasting

¹⁰ Total Precipitable Water

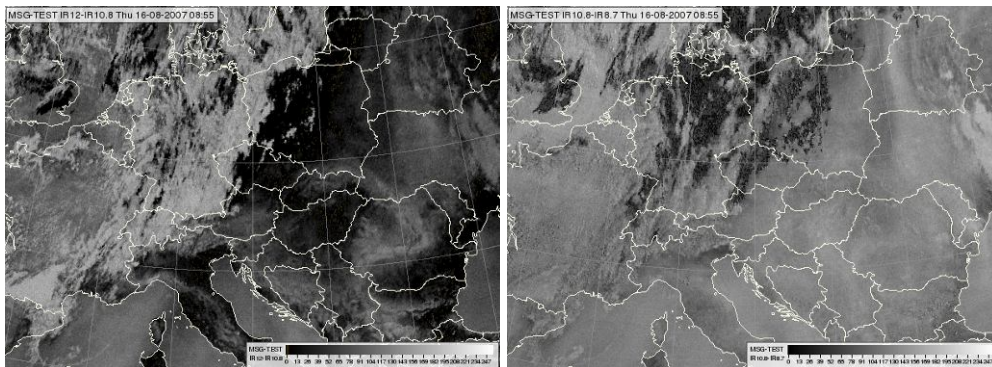
¹¹ Layer Precipitable Water

¹² Boundary Layer

zölde árnyalatok az alacsonyabb, a sárgás-pirosas színek a magasabb értékeket jelölik, a felhős pixelekre pedig infravörös fényességi hőmérsékletek kerülnek fekete-fehér skálájú megjelenítésben. Ehhez tehát 0,5x0,5 fokos felbontású modelladatok (leggyakrabban ECMWF) is szükségesek 15 vertikális szinten (1000-10 hPa), melyek first guess-ként szolgálnak, hiszen az ezekből kapott profilokat igazítják a műholdas mérésekhez. A folyamat során többek között a 0-24 órára előrejelzett hőmérsékletet és nedvességet időben, illetve a térben horizontálisan és vertikálisan (43 szintre) is interpolálják (Martínez *et al.*, 2011).

A 24 órás felhőzeti mikrofizikai kompozitkép alkalmanként igen jelentős különbségekre utalt az alsó szintek nedvességtartalmában, így ezeket megvizsgáltuk a rádiószondás felszállásoknál is. Ennek segítségével nemcsak az átlagos nedvességi viszonyokról kaphattunk tájékoztatást, hanem annak tényleges alakulásáról is.

Az összehasonlítás további részeként külön is megtekintettük a 12,0 μm -es és a 10,8 μm -es, illetve a 10,8 μm -es és a 8,7 μm -es csatornák fényességi hőmérsékletkülönbségeit. Az ehhez szükséges képeket az OMSZ munkatársainak segítségével állítottuk elő a HAWK számára egy speciális programot felhasználva. A fekete-fehér skálával megjelenített BTD képeken a felhőmentes, száraz levegőjű területek világosabb, a nedvesebbek sötétebb alapszínű területként jelennek meg (7. ábra).



7. ábra. Az IR12,0 – IR10,8 (balra) és az IR10,8 – IR8,7 (jobbra) műholdképek, 2007.08.16. 09 UTC

4. A VIZSGÁLAT MÓDSZERE

Jelen dolgozatban a 2004 és 2010 közötti nyári féléveket, vagyis az áprilistól szeptemberig tartó időszakot tekintettem át. A többi hónapban egyrészt viszonylag ritka az erőteljesebb konvekció, másrészt az alacsonyabb hőmérsékletek miatt a műholdképen tapasztalható eltérések kevésbé látványosak az alacsony szintű nedvesség vonatkozásában, hiszen ilyenkor a levegő abszolút nedvességtartalma is kisebb. Az esetek tanulmányozása közben pedig az is kiderült, hogy még az év negyedik, illetve kilencedik hónapjában is igen kevés eset fordul elő.

4.1. A műholdképek előállítása és tanulmányozása

A munka első fázisában a 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitképeket újra elő kellett állítani, ezek ugyanis nyilvánosan nem elérhető produktumok, és az Országos Meteorológiai Szolgálatnál sem archiválják több évre visszamenőleg. Kutatásaink szempontjából a 06 és 09 UTC-s időpontok voltak fontosak. Ekkor nyújthat ugyanis többletinformációt az előrejelző számára a műholdkép az ECMWF előrejelzésével szemben, hiszen 06 UTC-re már általában megszűnik az éjszakai inverzió, ami gátat szabhatna az alkalmazhatóságnak, 09 UTC-kor pedig még többnyire nem indul be az erőteljes konvekció.

A fenti két időpontra szóló műholdképek generálásához egy, az OMSZ munkatársai által írt programot használtam, mely a HAWK munkaállomás számára megjeleníthető formátumú fájlokat készít. Az ehhez szükséges bemenő adatokat az EUMETSAT Föld Megfigyelési Portálján (EOP¹³) egy Java alkalmazás futtatásával lehetett kiválasztani oly módon, hogy melyik műholdról, milyen időpontokra és periódus szerint, mely csatornákat szeretnénk lekérni. A programhoz HRIT¹⁴ formátumú adatokra, ezen belül is az európai térséget reprezentáló első öt szegmensre, a nagyfelbontású látható csatornánál (HRV¹⁵) pedig a 16-24. szegmensekre volt szükség.

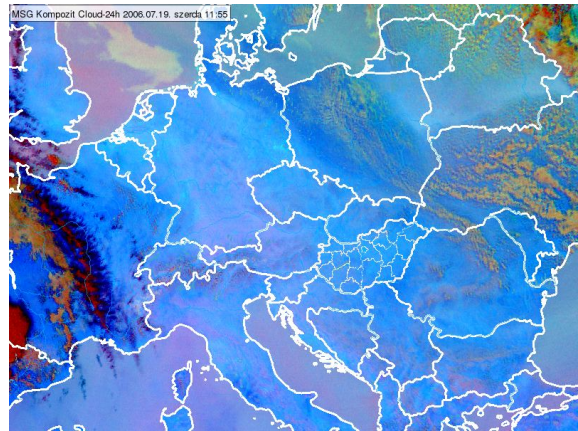
A kapott állományokra lefuttatva a programot lehetővé vált a 24 órás felhőzeti kompozitkép tanulmányozása. Megjegyezzük, hogy más jellegű műholdképek is készíthetők a segítségével, ám ezt a lehetőséget csak kiegészítő jelleggel használtuk.

¹³ Earth Observation Portal

¹⁴ High Rate Image Transmission

¹⁵ High Resolution Visible

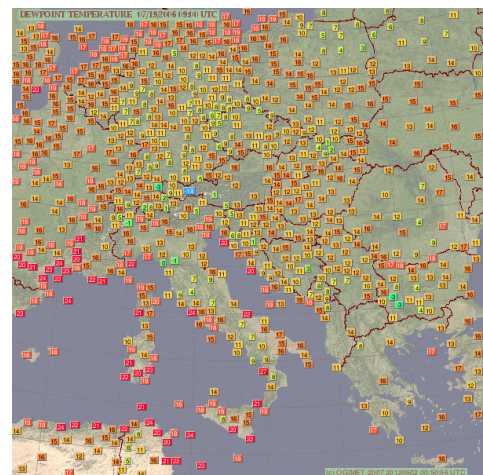
Az így előállt műholdfelvételeket a HAWK-ban megjelenítve vizuálisan tekintetem át a hét nyári félév napi két képét egy közép-európai kivágaton (8. ábra), ami első körben $1281 \cdot 2 = 2562$ képet jelentett. A szubjektív vizsgálataim alapján évente általában 40 körüli olyan eset volt, amikor további elemzésre is érdemesnek ítéltém a helyzetet, ennél kissé több 2007-ben, kevesebb 2004-ben és 2010-ben fordult elő, ez utóbbi bizonyára a csapadékosabb, és így felhősebb időjárásnak tudható be. Ha a hónapok szerinti megoszlást nézzük, akkor júliusban és augusztusban lehetett látni legtöbbször éles határvonalat a határreteg nedvességében, áprilisban ugyanakkor alig-alig volt szóba jöhető dátum. Fontos még azt is kiemelni, hogy az 1281 naphól körülbelül 200 alkalommal a kivágat nagy részét csaknem összefüggő felhőzet borította, ami nem tette lehetővé a módszer használatát, hiszen az csak derült területeken alkalmazható. Az évenként megfigyelt különböző esetek számát bemutató 4. táblázat a 4.2. alfejezet végén található.



8. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitkép a közép-európai (ún. Ceu1) kivágatra, 2006.07.19. 12 UTC

4.2. Az összehasonlítás folyamata

A következő lépésben az alkalmasnak tűnő eseteket több csoportra osztottam aszerint, hogy a reggeli órákban mennyire volt látható látványosnak tekinthető nedvességbeli eltérés. Ehhez segítséget nyújtott az OGIMET (<http://www.ogimet.com/>) szinoptikus táviratokat tartalmazó adatbázisa, ahol – kihasználva a grafikus megjelenítési lehetőséget – az elsődlegesen elkülönített időpontokhoz megnéztem a két méteren 09 UTC-kor mért harmatpontokat (9. ábra), valamint a 06 és 18

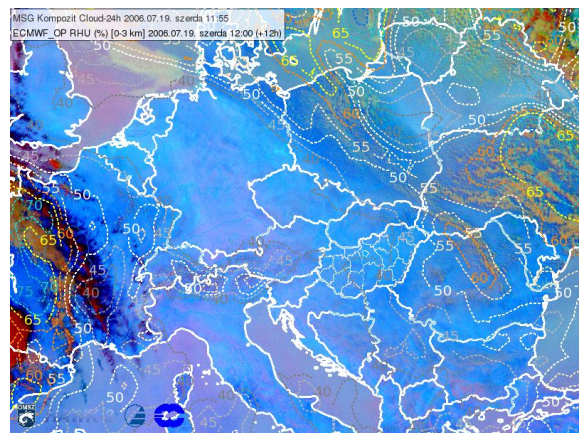


9. ábra. Az OGIMET 2 méteres harmatponttérképe szinoptikus táviratok alapján, 2006. 07. 19. 09 UTC

UTC között lehullott csapadék mennyiségét. Kiegészítve ezt a Deutscher Wetterdienst (DWD) hatóránként készülő frontanalízis-térképeivel, tovább szűkíthettem a választott dátumok listáját.

Ezt követően az „új” időpontokhoz lekértük az ECMWF MARS¹⁶ adatbázisából az aznap 00 UTC-s és az előző nap 12 UTC-s előrejelzést, valamint a 06 és 12 UTC-re szóló analízist, továbbá háromóránkénti bontásban előállítottuk a kérdéses nap 24 órás felhőzeti kompozitképeit. Az utóbbira azért volt szükség, hogy a szinoptikus állomások csapadékméréseinél pontosabban el lehessen különíteni azon alkalmakat, amikor a határréteg nedvességében jelen lévő markáns különbség a konvekció szempontjából kiemelt jelentőségűnek bizonyult, azaz a délután folyamán zivatarok alakultak ki a térségben.

A szűrés fontos eleme volt, hogy az OMSZ HAWK munkaállomása segítségével egy képen meg lehetett jeleníteni a műholdfelvételt és az 1000, 925, 850, illetve 700 hPa-os nyomási szintre prognosztizált relatív nedvesség átlagából képezett mezőt (10. ábra), ami jó közelítéssel a légkör alsó 3 km-es tartományára vonatkozik, használata pedig igencsak elterjedt a zivatarok előrejelzésénél. Ilyen módon újra átböngészve az eseteket, olyanok után



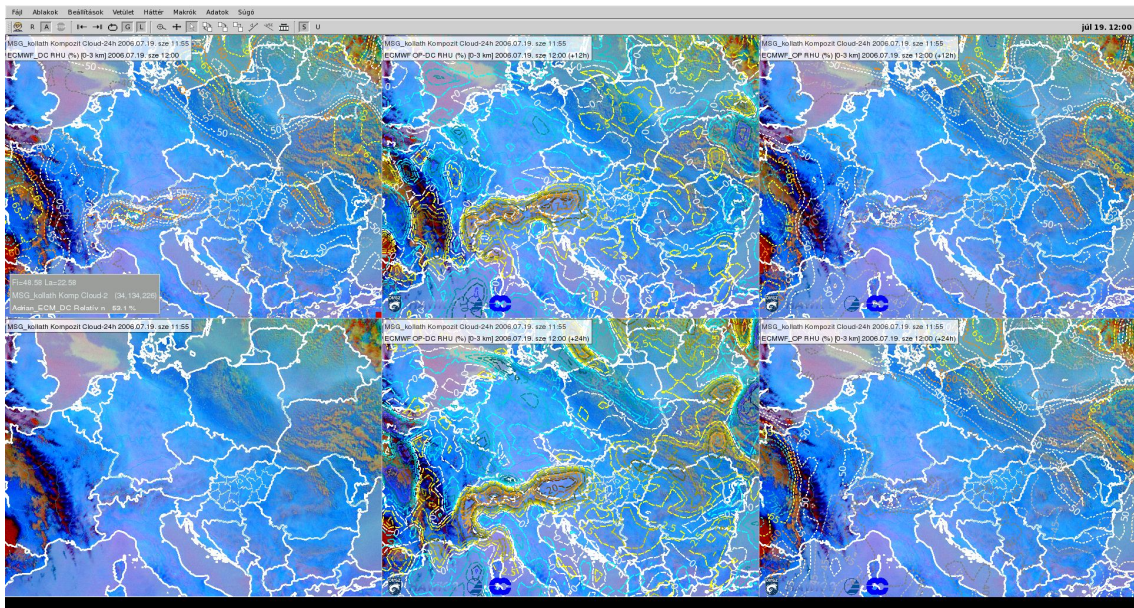
10. ábra. A műholdfelvétel és a 0-3 km-es relatív nedvességi mező egy képen, 2006.07.19. 12 UTC

kutattam, amikor az RGB kompozitkép felhasználása többlet információt nyújtott volna az előrejelző számára azáltal, hogy a modell nem pontosan ugyanoda várta a leginkább nedves vagy száraz területet, ahol az valójában észlelhető volt a reggeli műholdképeken. Eközben tovább csoportosítottam a meglévő időpontokat aszerint, hogy volt-e időjárási front, illetőleg zivatarok a vizsgált területen vagy ezektől függetlenül jelent meg egy nedvesebb határréteg, valamint azt is feljegyeztem, hogy mennyire bizonyult pontosnak az előrejelzési mező.

A munkafolyamat egyik utolsó lépésében, a HAWK globális makró funkciója révén, hat képet tanulmányozhattam egyszerre: az alaptérkép mindenütt a 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit volt, melyen más-más módon szerepeltek relatív

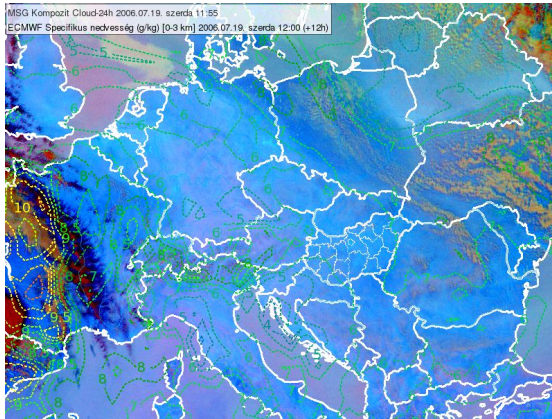
¹⁶ Meteorological Archival and Retrieval System

nedvességgel kapcsolatos mezők izovonalas ábrázolással (11. ábra). Balról jobbra, illetve föntről lefelé haladva ezek a következők voltak: a 06 és 12 UTC-re szóló analízis (a), ebben a két időpontban az aznap 00 UTC-s előrejelzés és az analízis különbsége (b), majd 15 órára előre az aznap 00 UTC-s előrejelzés (c). A negyediken csak a műholdkép szerepel (d), az ötödiknél 06 és 12 UTC-kor az előző nap 12 UTC-s előrejelzés és az analízis közötti eltérés (e), végül 15 UTC-ig az előző nap 12 UTC-re vonatkozó előrejelzés (f). A különbségmezők (b és e) megjelenítésére egyébként saját készítésű színtáblát használtam, melyben 2,5%-onként osztottam be a kategóriákat. A sárgás-barnás színű vonalak jelölték azokat a területeket, ahol alacsonyabb, míg a kékes árnyalatok, ahol magasabb volt az előrejelzett relatív nedvesség, mint az analízisben szereplő érték. Ezzel a komplex megjelenítési módszerrel értékelni tudtam az előző körben kijelölt zivataros és kevésbé pontosnak ítélt előrejelzéssel bíró alkalmakat, többek között a „jó”, „elfogadható”, „kevésbé jó”, „nem jó” jelzőkkel illetve, attól függően melyik futtatás, hogyan teljesített.

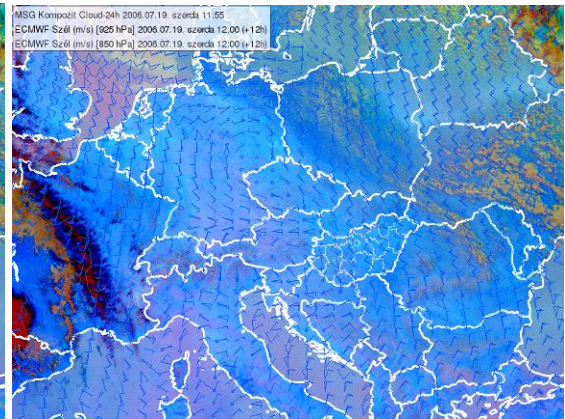


11. ábra. A végső esetek kiválasztásánál használt hatablakos, globális makró a HAWK-ban, 2006.07.19. 12 UTC

Miután ezt is elvégeztem, már csak a dolgozatba kerülő esettanulmányokhoz és a függelékhez illő időpontok kiválasztása volt hátra, amihez újabb paramétereket vettem számításba. Mivel a relatív páratartalom értéke például függ a hőmérséklettől, így szükség volt egy olyan paraméterre is, ahol ez kiküszöbölhető. Éppen ezért a specifikus nedvességet ugyancsak ábrázoltam, a négy nyomási szint átlagából képezett mezőt ezúttal is izovonalakkal helyeztük rá a műholdképre (12. ábra).



12. ábra. A műholdfelvétel és a 0-3 km-es specifikus nedvességi mező egy képen, 2006.07.19. 12 UTC



13. ábra. A műholdfelvétel és a 850, illetve a 925 hPa-os szélmező egy képen, 2006.07.19. 12 UTC

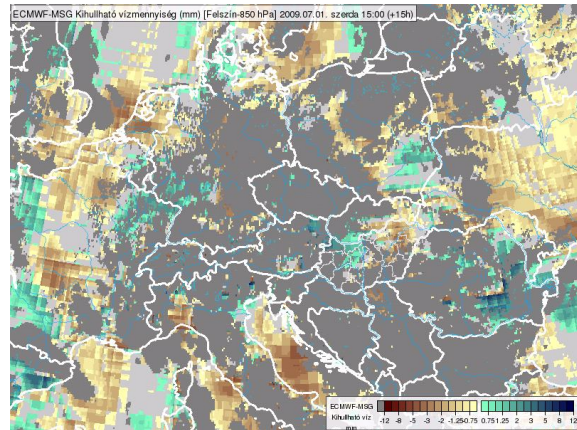
Több alkalommal észlelhető volt olyan is, hogy a nedvesebb és szárazabb levegőt elválasztó határvonalak vagy egy egész „zóna” áthelyeződött az idő előrehaladtával. Ennek okaira kerestem magyarázatot a 925, valamint a 850 hPa áramlási viszonyait feltérképezve (13. ábra), mellyel természetesen minden esetben sikerült kapcsolatba hozni a légtömegek mozgásának irányát.

A konvektív időjárási helyzetek elemzéséhez egy másik különbségmező vizsgálatát is elvégeztem, mégpedig az ECMWF modellből származtatott kihullható víz és az NWC SAF ezen időpontokhoz legyártott ún. BL produktuma közötti eltérést, ez utóbbi a felszín és a 850 hPa közötti rétegre adja meg a kihullható vízmennyiséget. Ennek értékét a HAWK-on belül külön kellett definiálni, melyhez a rendelkezésre álló három nyomási szintre vonatkozóan a következő összefüggést használtuk fel:

$$P = \frac{p_s - p_{850}}{g} \cdot \frac{\frac{p_{925}}{R \cdot T_{925}} \cdot q_{925} + \frac{p_{850}}{R \cdot T_{850}} \cdot q_{850}}{\frac{p_{1000}}{R \cdot T_{1000}} \cdot 3} \cdot 10^{-3}$$

Ebben P a számított kihullható vízmennyiség, p_s a talajszintre előrejelzett légnyomás, p_x , T_x , q_x az x hPa-os szint nyomása, hőmérséklete, valamint specifikus nedvessége. Az első tényező számlálója adja meg a légoszlop vastagságát, a második pedig a specifikus nedvesség sűrűségarányokkal súlyozott átlaga. A megjelenítéshez egyedi színskálát készítettem, ahol abszolút értékben a 0 és 0,5 mm közötti különbségeket nem ábrázoltam, hogy az egészen kicsi pozitív vagy negatív differenciák váltakozása ne legyen zavaró hatású. A 0,5 és 1,5 mm közötti eltéréseknél 0,25 mm-es, 1,5 és 3 mm között 0,5 mm-es, 3 és 6 mm között 1 mm-es, 6-tól 12 mm-ig 2 mm-es beosztást alkalmaztam. Azok a részek, ahol a modell alacsonyabb kihullható vízmennyiséget

prognosztizált sárgás-barnás színeket kaptak, ahol pedig magasabbat, azokat zöldes-kékes árnyalatokkal tüntettem fel (14. ábra). A -12 és +12 mm közé választott intervallum a felhővel borított képpontokhoz igazodott, hiszen itt az NWC SAF produktumban magas érték került a kihullható víz helyére, így nagy negatív különbség lépett fel, amelyre már -12 mm alatt mindenképpen egy egységes, szürke színjelölést vezethettem be.



14. ábra. Az ECMWF előrejelzéséből származtatott és az NWC SAF BL produktumából származó kihullható vízmennyiség különbsége, 2009.07.01. 15 UTC

Természetesen az eltérések ennél jóval kisebbek voltak, ezért is sűrűbb a beosztás az alacsonyabb értékeknél. A hegyek felett időnként megfigyelhető még a képek szemcsézettsége is, ami az 1500 m (850 hPa) fölé nyúló térszínekből ered, valós BL adat ugyanis csak e szint alatt kerül kiszámításra.

Elsősorban a zivataros példákra vonatkozóan megnéztem még az ESTOFEX¹⁷ (<http://www.estofex.org/>) adott napra szóló előrejelzését, tehát valóban arra a területre várták-e a zivatarokat, ahol azok bekövetkeztek. Ezen kívül pedig az ESWD¹⁸-hez érkezett, heves időjárási jelenségekre vonatkozó bejelentésekkel is próbáltam érzékeltetni a helyzet veszélyességét.

A fejezet végén, a 4. táblázatban ezek után összefoglalom, hogy miként alakult az egyes esetek száma azok válogatása, szűrése során.

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
felhős	47	26	26	18	30	12	37
1. szűrés	34	39	39	43	39	37	34
2. szűrés	24	25	32	24	25	26	23
3. szűrés	12	14	16	17	12	18	19
függelék	1	3	1	2	0	5	7
eset	1	1	1	2	3	1	4

4. táblázat. Az évenként előfordult esetek száma az összevetés folyamatában.

A „felhős” jelöli a felhővel borított kivágat miatt vizsgálatra nem alkalmas eseteket, az „1. szűrés” a kizárólag műholdkép alapú elkülönítés után nyert időpontokat. A „2. szűrésnél” használtam az OGIMET adatbázisát, a „3. szűrésben” pedig az ECMWF relatív nedvesség-előrejelzését. Az utolsó két sor a függelékben, illetve az esettanulmányok között lévő alkalmak számát adja meg.

¹⁷ European Storm Forecast Experiment (Európai Vihar Előrejelzési Kísérlet)

¹⁸ European Severe Weather Database (Európai Szélsőséges Időjárás Adatbázis)

5. EREDMÉNYEK, ESETTANULMÁNYOK

Az ebben a fejezetben eredményként bemutatott esettanulmányok közül az első rész olyanokra mutat példát, amikor ugyan jelentős volt az eltérés a nedvességi viszonyokban, de komolyabb mértékű konvekcióra a magasabb nedvességű területen sem került sor. A következő alfejezet foglalja magában az összes itt leírt eset közel felét, ami nem véletlen, hiszen ezek képezték kutatásunk fő profilját, nevezetesen amikor a délután megjelenő zivatarfelhők révén is jól kirajzolódott, hogy hol helyezkednek el a nedvesebb zónák. A végén pedig olyan tanulmányokkal zárom a sort, melyek a műholdkép egy lehetséges másik alkalmazási területére világítanak rá, mégpedig az időjárási frontok helyzetének olyan szintű azonosítására, mely más típusú műholdfelvételekkel általában nehezebben hajtható végre.

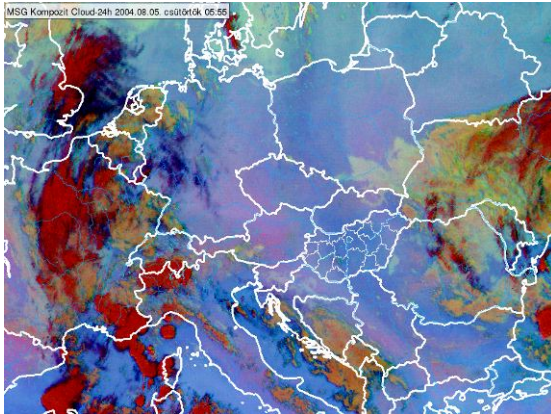
5.1. Nedvességi légtömeghatárok számottevő konvekció nélkül

Az ilyen típusú helyzetek viszonylag nagy számban voltak jelen, ám mivel gyakorlati jelentőségük kicsi, ezért csupán két-két példát mutatok be erre vonatkozóan. Az első csoportban már a relatív nedvesség izovonalai is jól követték a műholdképen megjelenő nedvességi határvonalakat, a másikonál viszont csak nehezen lehetett összhangot találni a műholdas és az előrejelzett adatok között.

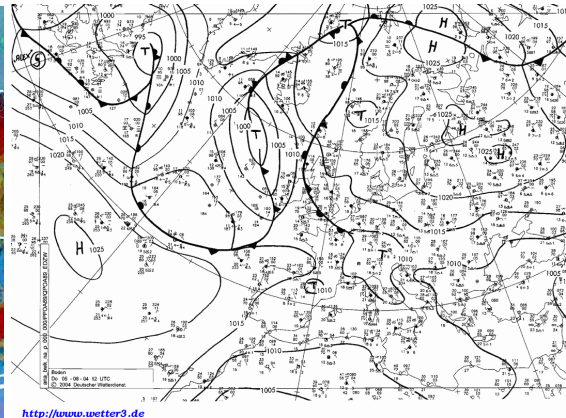
5.1.1. Összhangban lévő műholdkép és előrejelzési mező

Először tekintsük a 2004. augusztus 5-ei időpontot, amikor a német-lengyel határ közelében volt megfigyelhető a határrétegben egy nedves zóna (15. ábra). A térség időjárását a Finnország keleti része feletti középponttal rendelkező anticiklon határozta meg, melynek délnyugati peremén helyezkedett el az említett terület (16. ábra). Ennek megfelelően itt keleti, délkeleti szél uralkodott, mellyel nedves levegő advektálódott Németország keleti vidékei fölé, amit a műholdképen tisztán kivehető sötétebb kék „folt” is alátámaszt (17. ábra). A délután folyamán gomolyfelhők jelentek meg, amihez valószínűleg a sebességi konvergencia is hozzájárult, hiszen míg Lengyelország keleti felén 10, addig a nyugati tájakon 5 m/s körül alakult a szélesebbesség 1000-1500 méteres magasságban. Igaz, komolyabb cella alig-alig alakult ki, csupán Csehország és Szlovákia felett jelentkeztek. Ez az alacsony szintű nedvesség egyébként az ECMWF

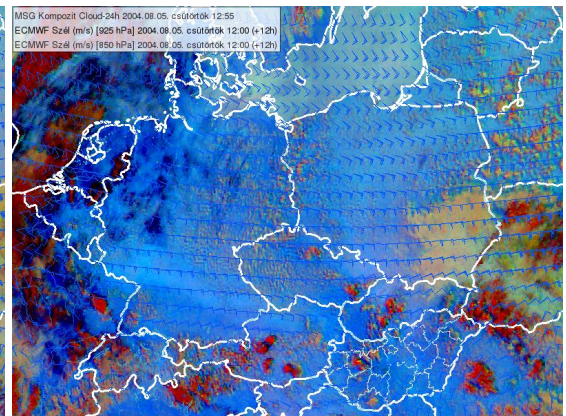
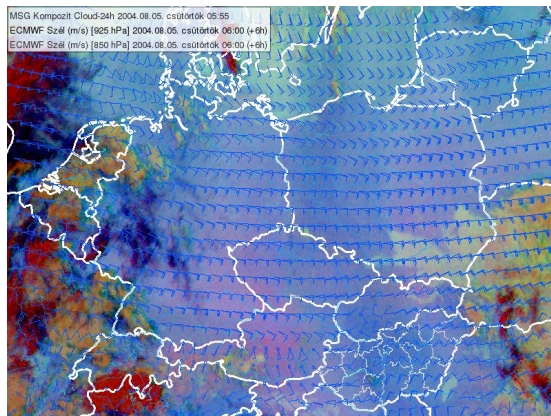
aznap 00, illetve előző nap 12 UTC-s előrejelzésében is megtalálható egy 60-70%-os relatív, illetve egy 8,5-9 g/kg-os specifikus nedvességbeli maximummal (18. ábra). A legmagasabb értékek mindkét esetben hasonló térbeli eloszlást mutatnak, mivel az alsó 3 km átlagos hőmérsékletében nem volt számottevő eltérés, 15 °C körül szóródott ezen a vidéken.



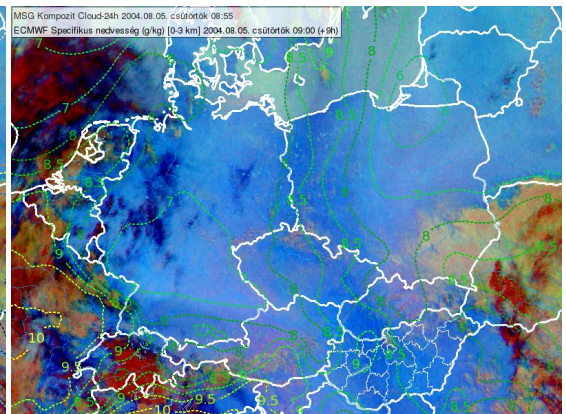
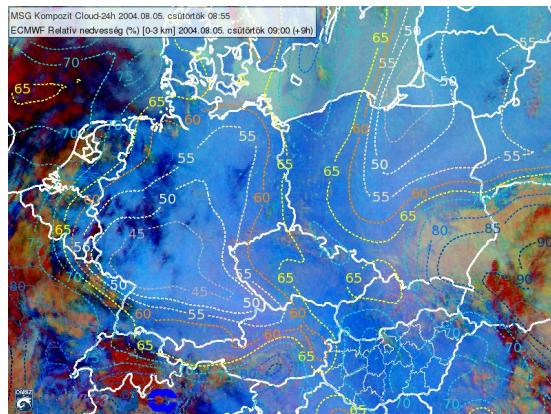
15. ábra. A 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitkép, 2004.08.05. 06 UTC



16. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2004.08.05. 12 UTC

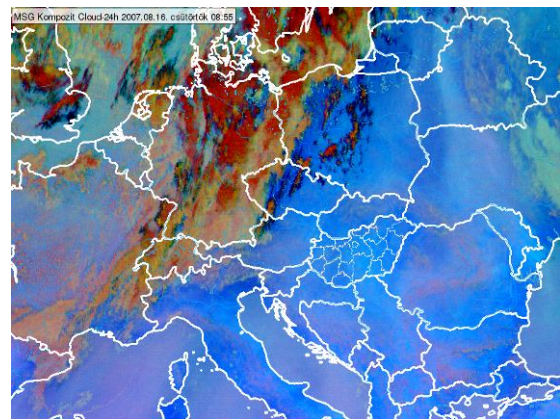


17. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2004.08.05. 06 UTC (balra) és 13 UTC (jobbra), illetve az ECMWF 00 UTC-s 850 és 925 hPa-os szélelőrejelzés (szélzászlók), 2004.08.05. 06 UTC (balra) és 12 UTC (jobbra)

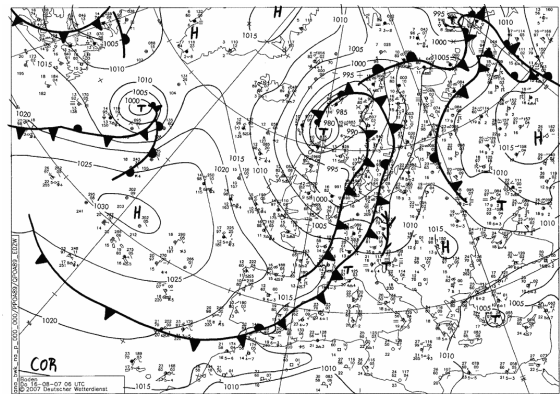


18. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s relatív nedvesség- (balra) és specifikus nedvesség-előrejelzés (jobbra) (izovonalak), 2004.08.05. 09 UTC

Az előző példának gyakorlatilag a fordítottját lehetett látni 2007. augusztus 16-án, ugyanis ha a nedvesség eloszlását nézzük, akkor egy relatíve nedvesebb területen belül egy szárazabb zóna jelentkezett Fehéroroszország, Ukrajna és Moldova felett (19. ábra). Ezen a napon a közép-európai térséget egy, a Brit-szigetektől északra örvénylő ciklon hosszan elnyúló hidegfrontja érte el, előtte pedig egy gyenge magas nyomású képződmény helyezkedett el (20. ábra). Az említett szárazabb levegőjű sáv már reggel kirajzolódott, napközben pedig kissé keletre helyeződött, illetve zsugorodott, annak köszönhetően, hogy a nyugati oldalán inkább a nyugatias, keleten az északias szélkomponens volt meghatározó (21. ábra). Ezt az ECMWF éjféli előrejelzése is jól mutatta, ám ott sem zajlott érdemi konvekció, ahol magasabb volt a levegő relatív nedvessége, csak Ukrajna keleti, délkeleti részén tudtak kialakulni magasabbra törő gomolyfelhők (22. ábra). A területen késő délelőtt az alsó 3 km átlagos hőmérsékletében nem volt jelentős különbség, az 14-16 °C körül alakult. A

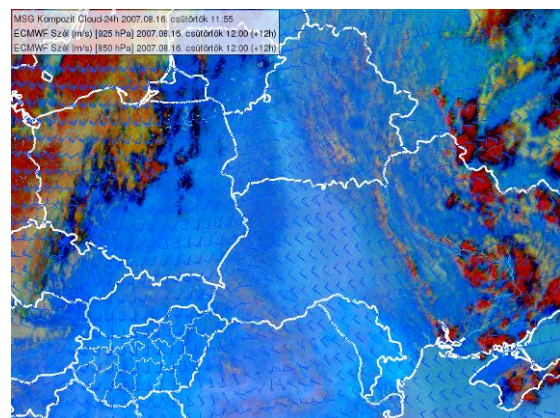
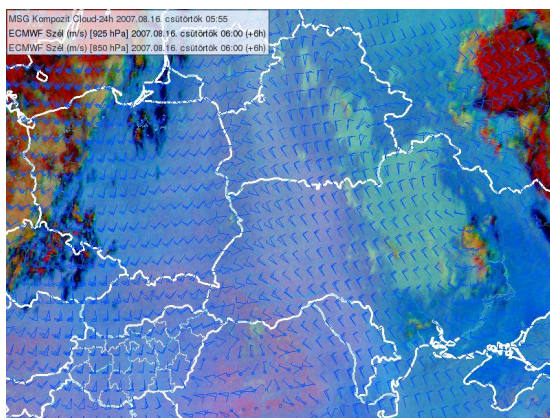


19. ábra. A 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitkép, 2007.08.16. 09 UTC



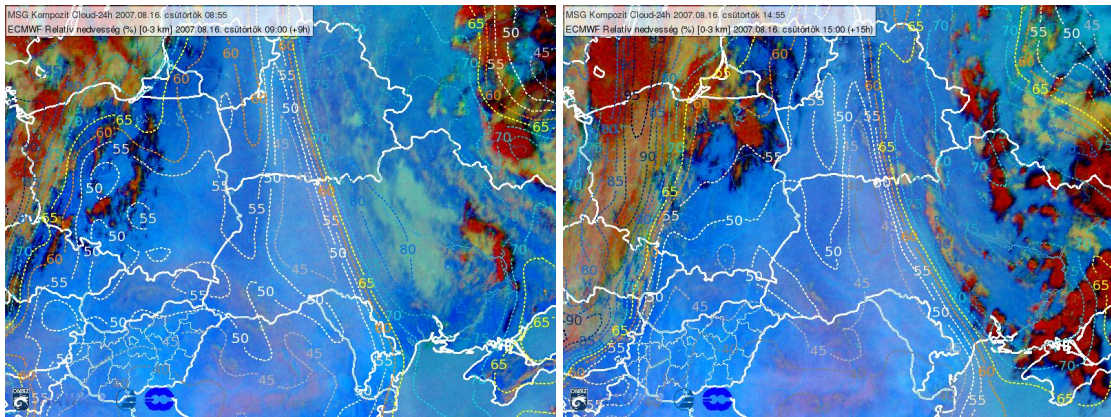
<http://www.wetter3.de/ffax>

20. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2007.08.16. 06 UTC

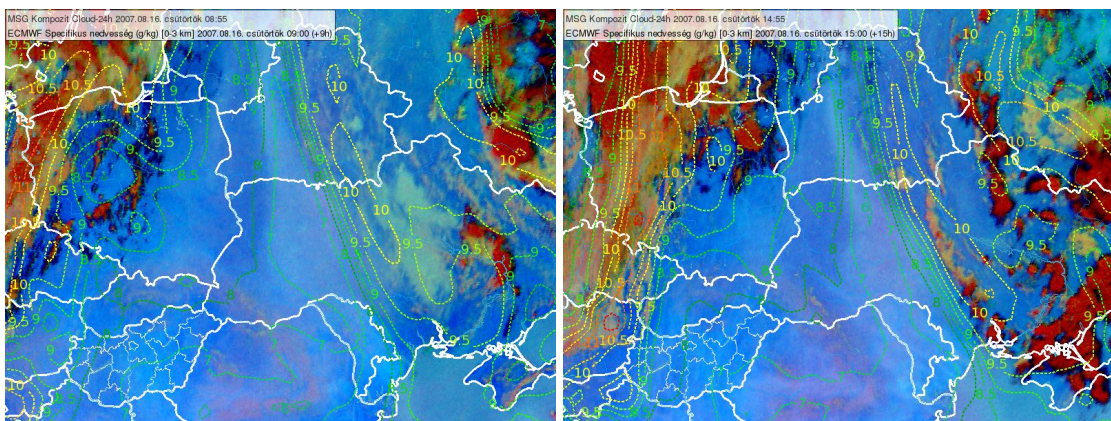


21. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 850 és 925 hPa-os szélelőrejelzés (szélzászlók), 2007.08.16. 06 UTC (balra) és 12 UTC (jobbra)

specifikus nedvesség izovonalainak térbeli szerkezete így szinte teljesen megegyezik a relatív nedvességgel, értéke pedig 9-10 g/kg körül változott ott, ahol nedvesebb volt a léggör, míg ahol szárazabb, ott a 8 g/kg-ot sem érte el (23. ábra).



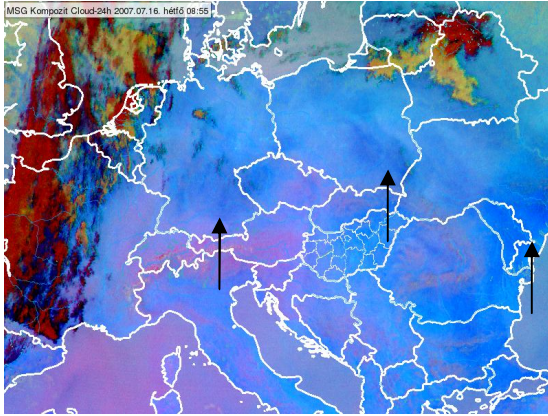
22. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es relatív nedvesség-előrejelzés (izovonalak), 2007.08.16. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



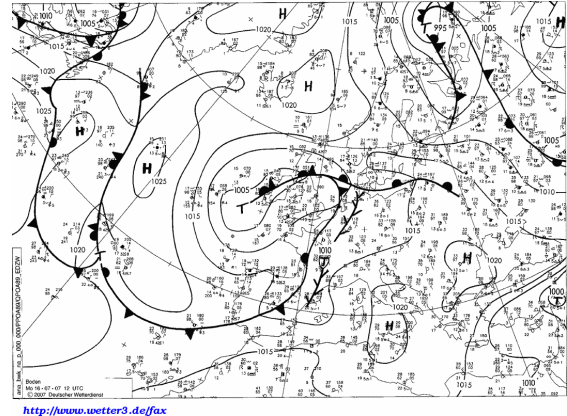
23. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es specifikus nedvesség-előrejelzés (izovonalak), 2007.08.16. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)

5.1.2. Nedvességre vonatkozó előrejelzési hibák vizsgálata

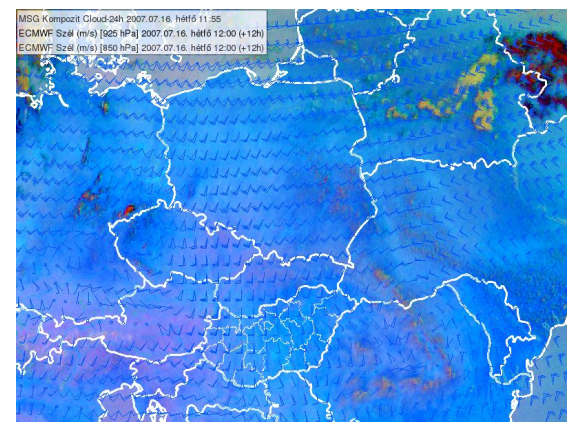
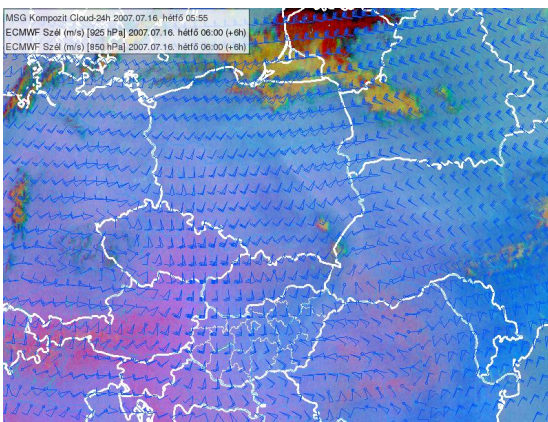
Az elmúlt évek egyik legmelegebb periódusának kezdetére datálódik az első ilyen típusú eset. 2007. július 16-án Németország, Lengyelország, valamint Ukrajna nyíllal jelölt területein, egymástól viszonylag függetlenül, nedves góccok voltak láthatók a 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitképen (24. ábra). Az időjárást döntően anticiklon alakította, melynek középpontja Románia felett terült el, ugyanakkor a Nyugat-Európát elérő hullámzó front előtt konvergenciavonalak is láthatók (25. ábra). Valószínűleg ez is közrejátszott abban, hogy a német-cseh határnál lévő, környezeténél nedvesebb levegőben délután záporok is ki tudtak alakulni, ám gomolyfelhők a többinél



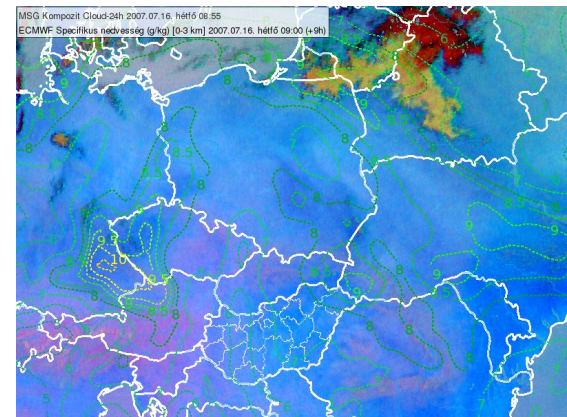
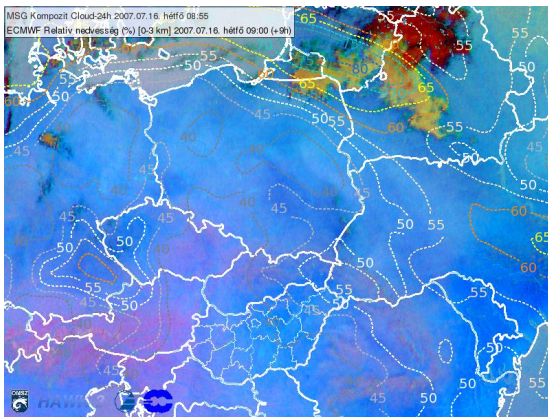
24. ábra. A 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitkép, 2007.07.16. 09 UTC



25. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2007.07.16. 12 UTC



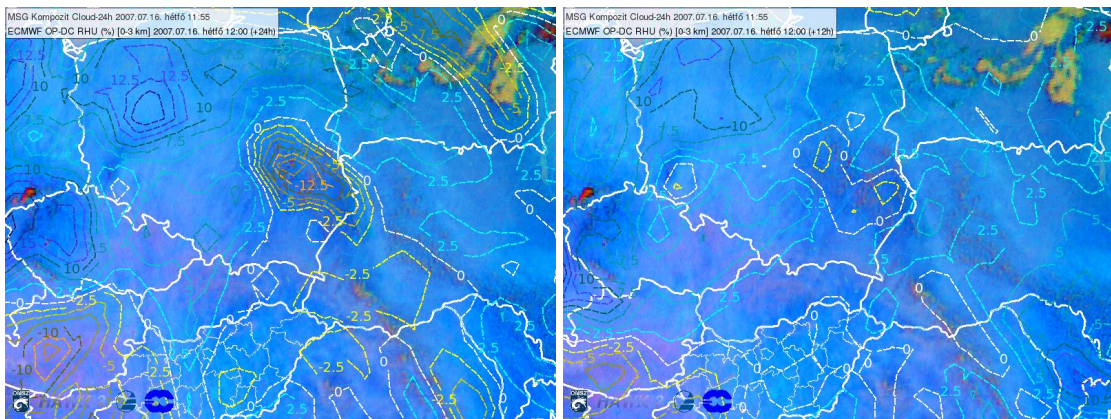
26. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 850 és 925 hPa-os szélelőrejelzés (szélzászlók), 2007.07.16. 06 UTC (balra) és 12 UTC (jobbra)



27. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s relatív nedvesség- (balra) és specifikus nedvesség-előrejelzés (jobbra), 2007.07.16. 09 UTC

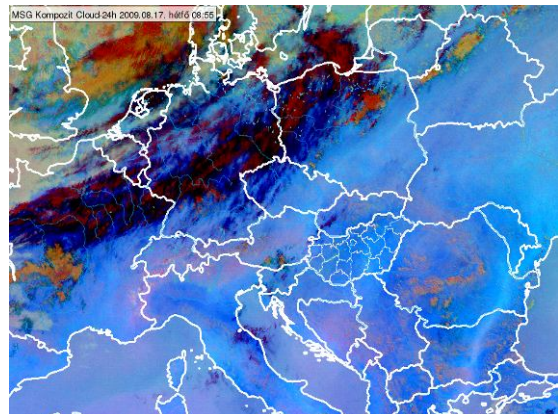
is képződtek. A magasabb nedvességtartalmú zónák mindegyike követte a nyugatias áramlási irányt (26. ábra), ezeket azonban sem a relatív, sem a specifikus nedvességre vonatkozó előrejelzési mező nem tudta kellő mértékben visszaadni, hiszen a 45-55%-os, illetve a 8 g/kg körüli maximumok nem éppen kiugróak (27. ábra). Egyedül a német

„folttól” délre, valamint Ukrajna északnyugati részére prognosztizált magasabb specifikus nedvességet a modell, melyhez csapadék is párosult benne, a valóságban viszont ott volt szárazabb a határréteg. Különbség ezúttal a vizsgált két futtatás között is adódott, az előző nap 12 UTC-s esetében például 10-15%-kal alacsonyabb relatív nedvességet láthatunk Lengyelország keleti, délkeleti részén az analízishez képest, de az aznap 00 UTC-s is némileg szárazabb levegőt adott (28. ábra).

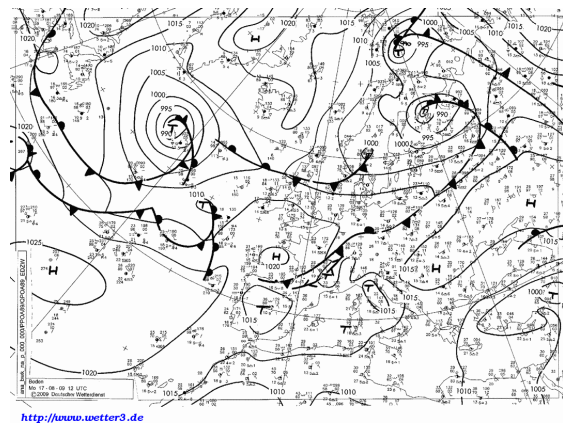


28. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF előző nap 12 UTC-s előrejelzés (balra) és az aznap 00 UTC-s előrejelzés (jobbra), valamint az analízis különbsége a 0-3 km-es relatív nedvességre (izovonalak), 2007.07.16. 12 UTC

A 2009. augusztus 17-éről származó második példa az előbbinél határozottabbnak tűnik: rendkívül éles határvonal látszódik Bulgária keleti felén (29. ábra). Erre a vidékre nem volt jellemző határozott nyomási mező, egy magas és egy alacsony nyomású zóna között helyezkedett el (30. ábra). Az eset jelentősége abból a szempontból kicsi, hogy csupán gomolyfelhők keletkeztek, a nedves levegő pedig a Fekete-tenger felől érkezetett, ha figyelembe vesszük a keleti, északkeleti szélirányt (31. ábra). Ez azonban az előrejelzésekben szinte egyáltalán nem jelentkezik: 40-45% a relatív páratartalom a sötétebb és a világosabb kék terület felett is, és abszolút

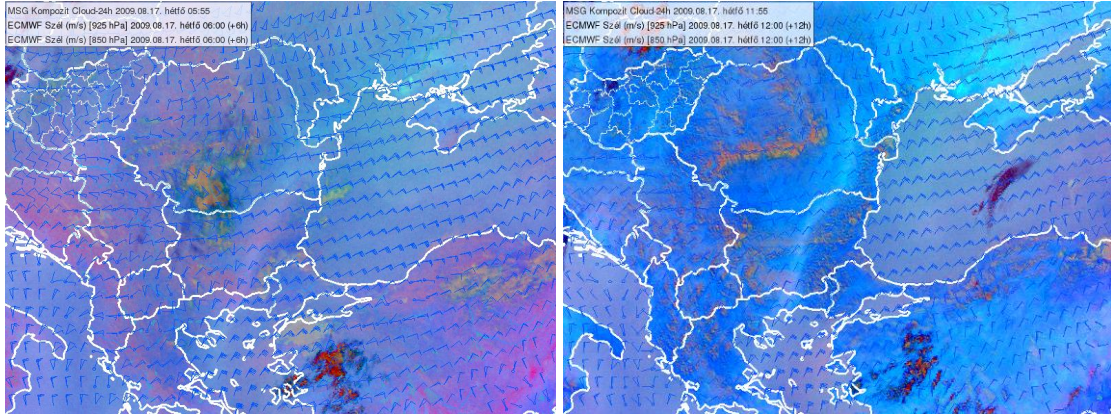


29. ábra. A 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitkép, 2009.08.17. 09 UTC

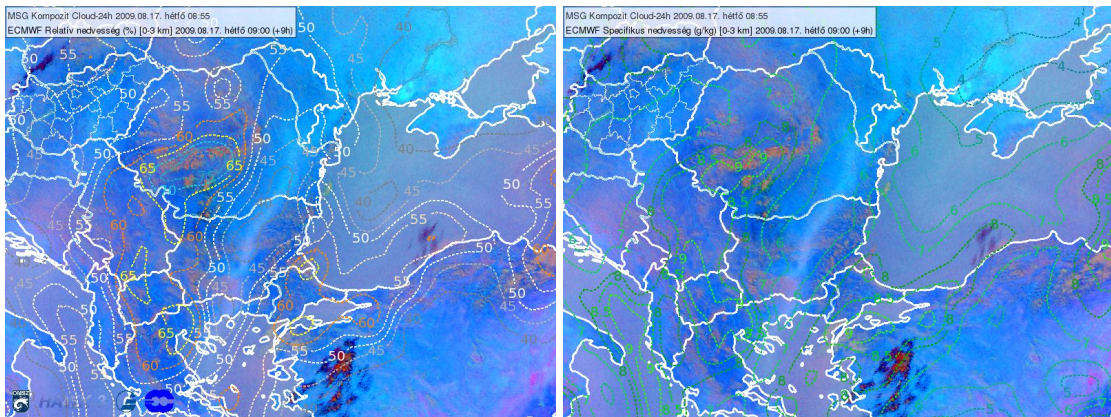


30. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2009.08.17. 12 UTC

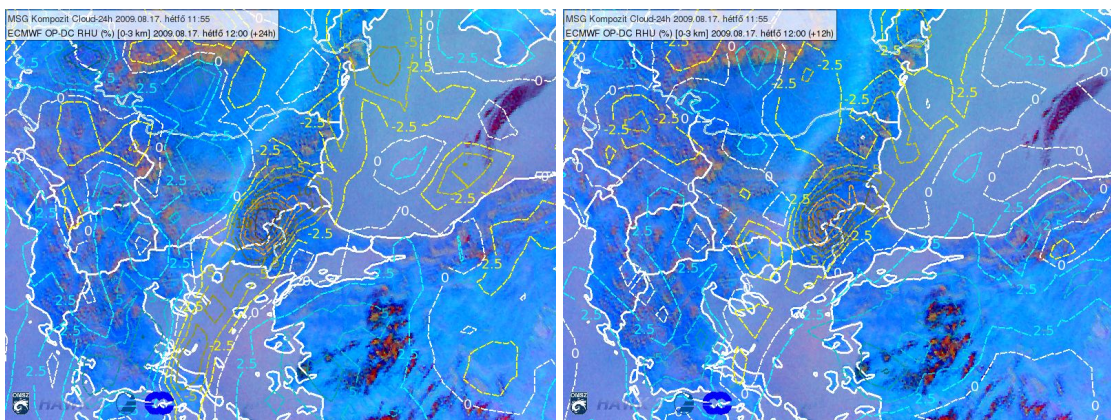
értelemben is csupán 6-7 g vízgőzt tartalmazott 1 kg levegő (32. ábra). Az analízishez képest viszont most is számottevő az eltérés, hiszen az aznap 00 UTC-s futást vizsgálva megközelítette, az előző nap 12 UTC-snél pedig meg is haladta a 20%-ot az előrejelzés „hibája” (33. ábra).



31. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 850 és 925 hPa-os szélelőrejelzés (szélzászlók), 2009.08.17. 06 UTC (balra) és 12 UTC (jobbra)



32. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s relatív nedvesség- (balra) és specifikus nedvesség-előrejelzés (jobbra) (izovonalak), 2009.08.17. 09 UTC



33. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF előző nap 12 UTC-s előrejelzés (balra) és az aznap 00 UTC-s előrejelzés (jobbra), valamint az analízis különbsége a 0-3 km-es relatív nedvességre (izovonalak), 2009.08.17. 12 UTC

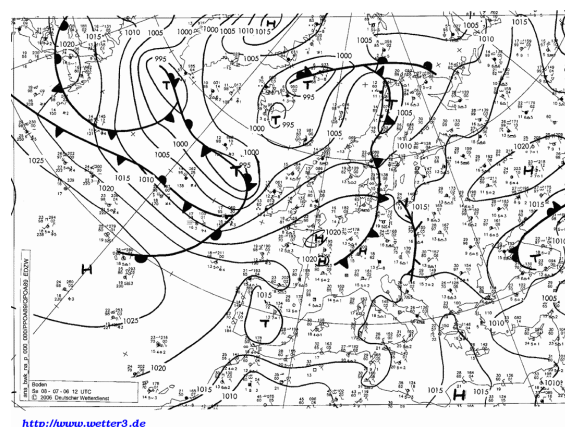
Ez a négy eset jól mutatja, hogy alkalmanként rendkívül szembeötlő lehet a differencia az alacsony szintű nedvességben, ám ez nem jelent garanciát a zivatarok kialakulására, hiszen a nedvesség szükséges, de nem elégséges feltétele a gomolyfelhő létrejöttének. A módszer tehát sok esetben csak iránymutatást ad arra vonatkozóan, hogy megfelelőek-e a körülmények a zivatarok kialakulására. Segítségével ugyanis elvethető a modell relatív páratartalomra vonatkozó előrejelzése, növelve ezzel a prognózis sikerességét.

5.2. Zivatarfelhők által is kirajzolt nedves területek

Az RGB kompozitképek vizsgálatakor jónéhány olyan esettel is találkoztam, amikor a sötétebb kék színben megjelenő, azaz a nedvesebb levegőjű területeken a délutáni órákra zivatarok pattantak ki, alkalmanként igen jelentős területi kiterjedéssel. Mivel a bevezetésben azt fogalmaztuk meg célként, hogy ezen légköri képződmények előrejelzéséhez szeretnénk segítséget nyújtani, ezért összesen hat példával illusztrálom az ilyen időjárási helyzeteket. Az első alfejezetben a műholdas produktum, valamint az ECMWF nedvesség előrejelzése elég jó egyezést mutatott, az itt szereplő időpontokban említésre kerülő zivataroknál, zivatarrendszereknél pedig többnyire heves kísérőjelenségeket is megfigyeltek. A második három alkalom esetében ugyan kevésbé voltak intenzívek a konvektív cellák, azonban a nedvességi paraméterek közül pusztán a relatív páratartalmat szemlélve nem kaphattunk volna átfogó képet a határrétegben lévő vízgőz mennyiségéről, így itt egyéb adatok vizsgálatára is szükség volt.

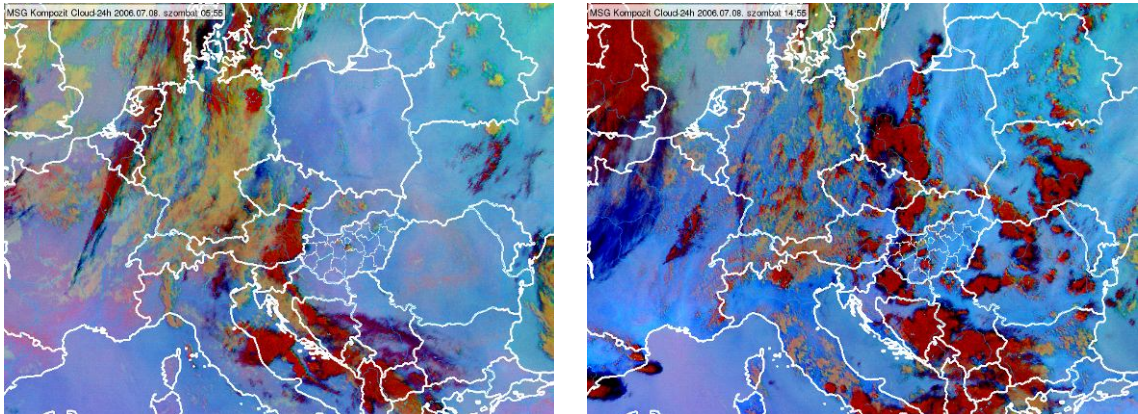
5.2.1. Összhangban lévő műholdkép és előrejelzési mező

A zivatarok létrejöttét alapvetően befolyásolta a nedvesség eloszlása a határrétegben például 2006. július 8-án, amikor egy érkező hidegfront előtt kialakult konvergencia-vonal volt a meghatározó meteorológiai képződmény (34. ábra). A kora délelőtti órákban nagyjából Lengyelország középső részén húzódott a nedves és száraz területeket

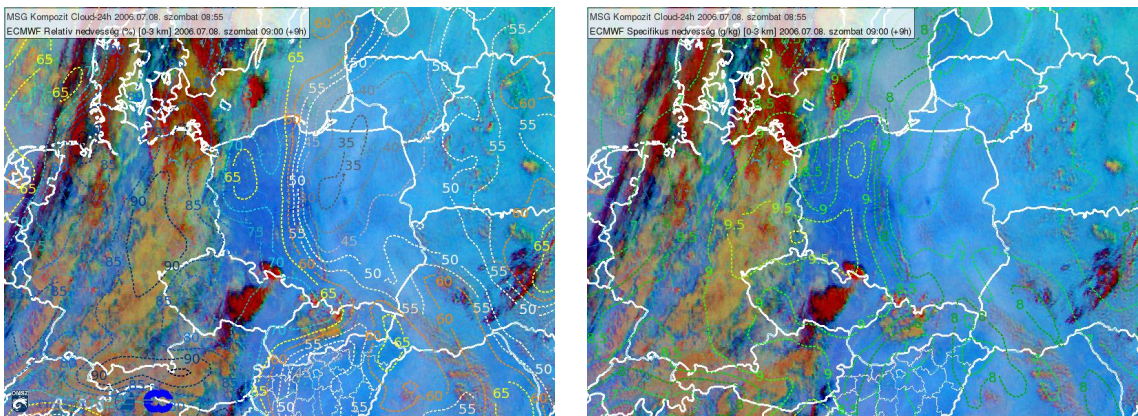


34. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2006.07.08. 12 UTC

elválasztó vonal, az idő előrehaladtával pedig a nyugati oldalán egyre nagyobb magasságot értek el a gomolyfelhők, és délutánra egy erős multicellás rendszer épült ki (35. ábra). Az Európai Veszélyes Időjárás Adatbázis, azaz az ESWD alapján néhány helyről – meg nem erősített információk szerint – jégesőt, illetve tornádót is jelentettek. A határvonallal összhangban állt az ECMWF 0-3 km-es nedvesség-előrejelzése is, mivel a keleti területekre 40-45% alatti, nyugatra 65-70%-os relatív nedvességgel számolt. Hasonlóan nagy különbséget mutat a specifikus nedvesség, hiszen a nyugati



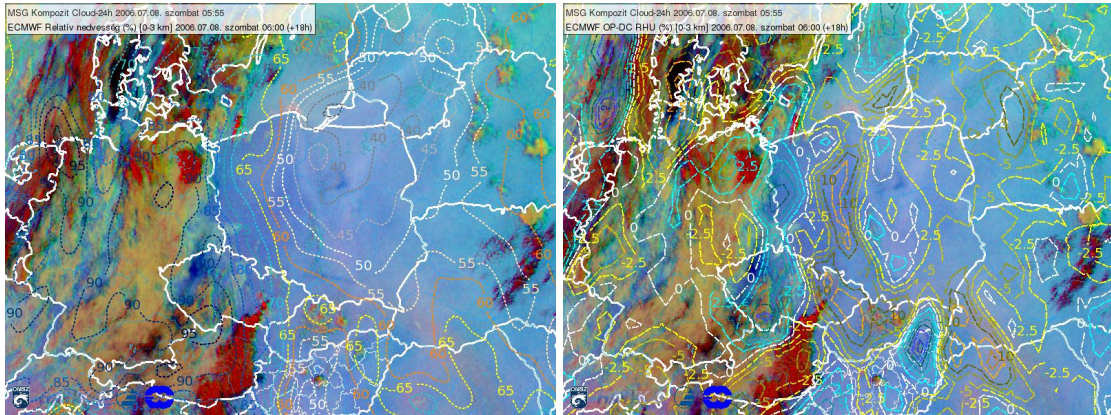
35. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2006.07.08. 06 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



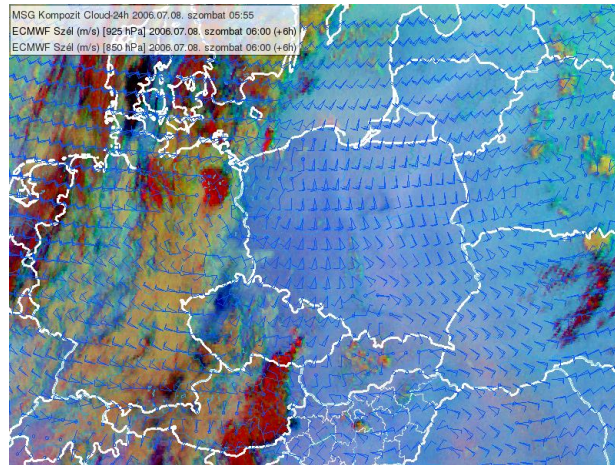
36. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s relatív nedvesség- (balra) és specifikus nedvesség-előrejelzés (jobbra) (izovonalak), 2006.07.08. 09 UTC

oldal 9-9,5 g/kg-os értékével áll szemben a keleti oldal 6-7 g/kg-os adata (36. ábra). Az előző nap 12 UTC-s prognózis már valamivel rosszabb eredményt ért el, ugyanis kissé nyugatabbra várta az összeáramlási zónát, amit az előrejelzés és analízis különbségében megjelenő nagyobb sárga folt is jelez (37. ábra). A vonal mozdulatlansága egyébként ebben a konvergenciában rejlik lévén, hogy a nyugati részen délnyugatias, keleten délkeleties szél fúj 1000-1500 méteren (38. ábra). A rádiószondázó állomások optimális elhelyezkedése miatt ezúttal ilyen formában is szemléletessé tehető a különbség: a száraz oldalon fekvő Legionowo (12374) állomáson a harmatpont-

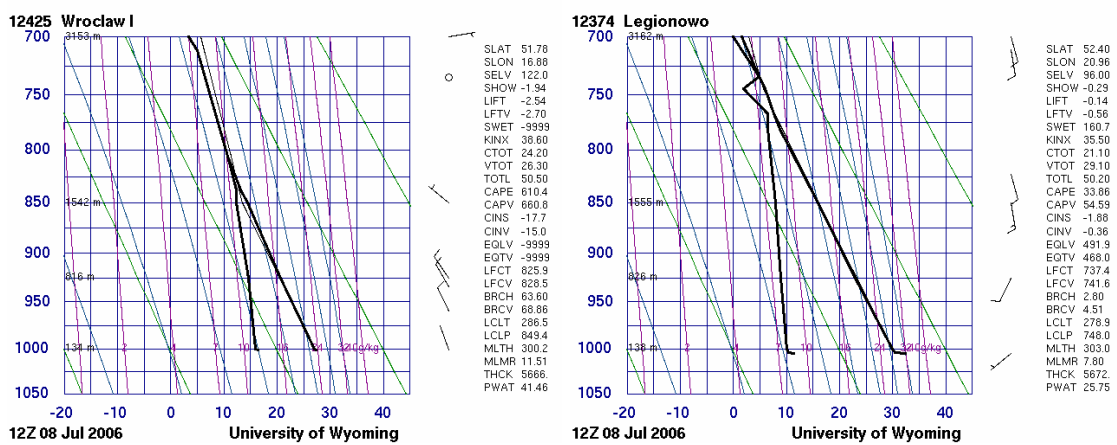
depresszió értéke 20 °C körül van, míg a nedves oldalra eső Wroclaw (12425) állomáson 10 °C közelében alakult a hőmérséklet és a harmatpont közötti különbség, és körülbelül 1500 méteres magasságban már felhő helyezkedett el (39. ábra).



37. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF előző nap 12 UTC-s előrejelzés (balra), valamint az előrejelzés és az analízis különbsége a 0-3 km-es relatív nedvességre (jobbra) (izovonalak), 2006.07.08. 06 UTC

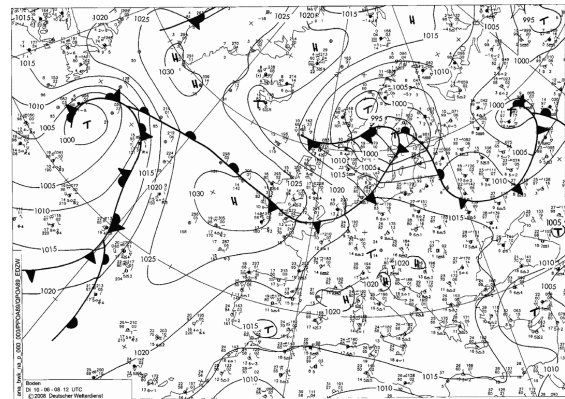


38. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 850 és 925 hPa-os szélelőrejelzés (szélzászlók), 2006.07.08. 06 UTC

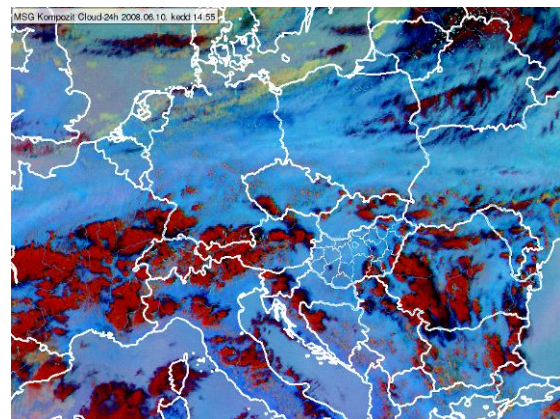
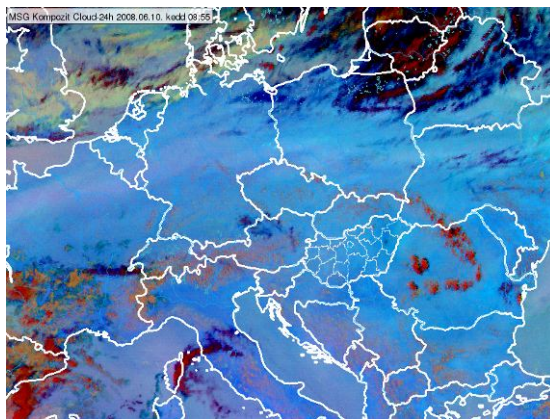


39. ábra. Rádiószondás felszállás az alsó 3 km-re 2006. július 8-án 12 UTC-kor, Wrocław (12425) (balra), illetve Legionowo (12374) (jobbra) állomáson

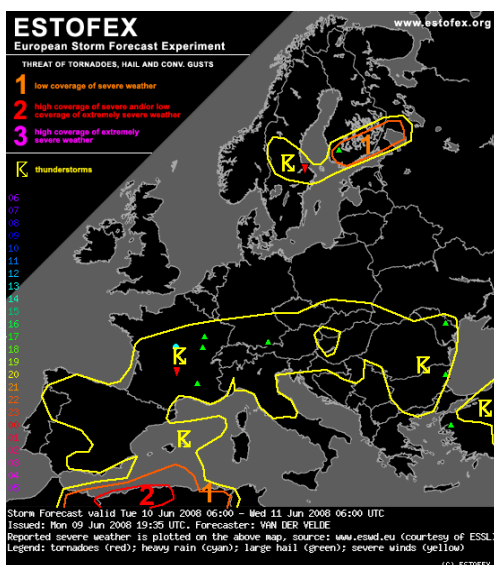
Csaknem egész Európát átszelő nedvességi választóvonalat lehetett megfigyelni 2008. június 10-én. Napközben észak-északnyugat felől egy hidegfront érte el az „öreg kontinens” északnyugati vidékeit, mely előtt bárikus mocsárhelyzet állt fenn (41. ábra). Ebben a térségben már a reggeli órákban kirajzolódott a nedvesebb és szárazabb levegőt határoló vonal, mely Franciaország atlanti partvidékétől majdnem az Azovi-tengerig húzódott, és délutánra a déli, nagyobb nedvességtartalmú oldalon zivatarok fejlődtek ki, főként Franciaországban és a hegyvidékek felett, míg északon szinte felhő sem volt az égen (42. ábra). Az ESTOFEX prognózisa ehhez teljes mértékben



41. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2008.06.10. 12 UTC



42. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2008.06.10. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)

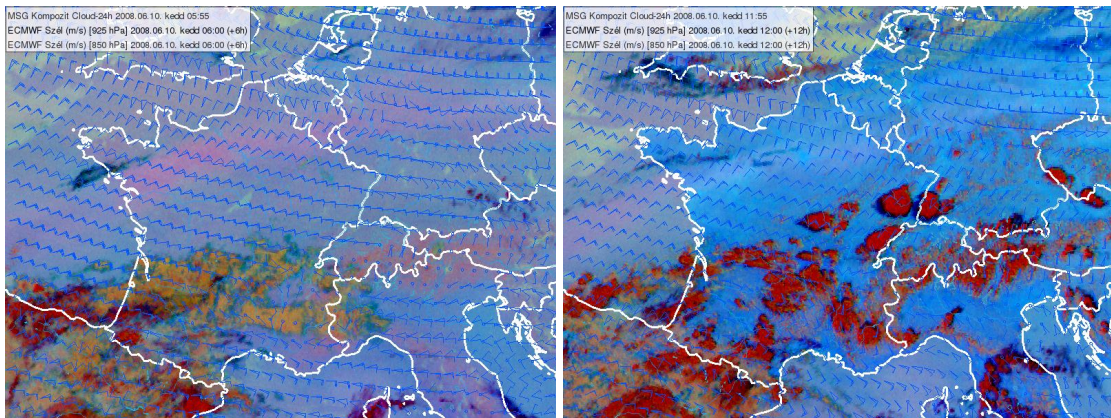


43. ábra. Az ESTOFEX előrejelzése, 2008.06.10. 06 UTC – 2008.06.11. 06 UTC

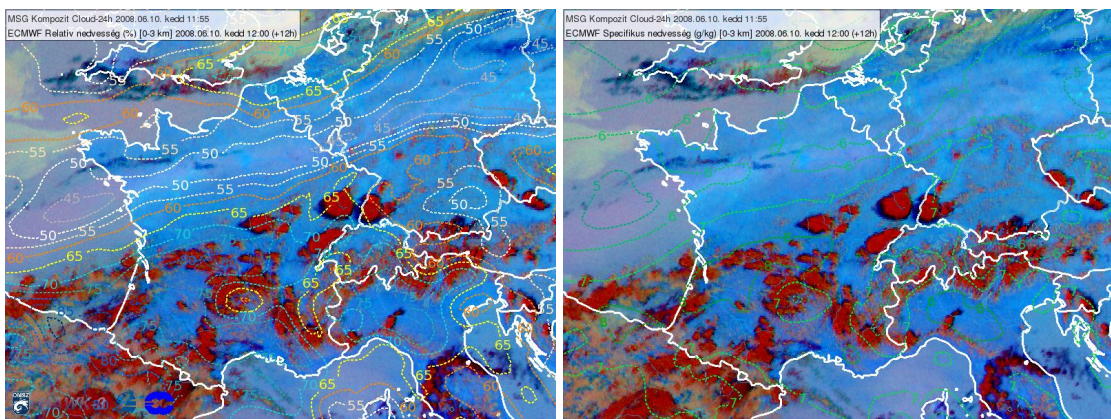


44. ábra. A Devesset melletti felhőtölcsérről készült fotó, 2008.06.10. (forrás: keraunos.org)

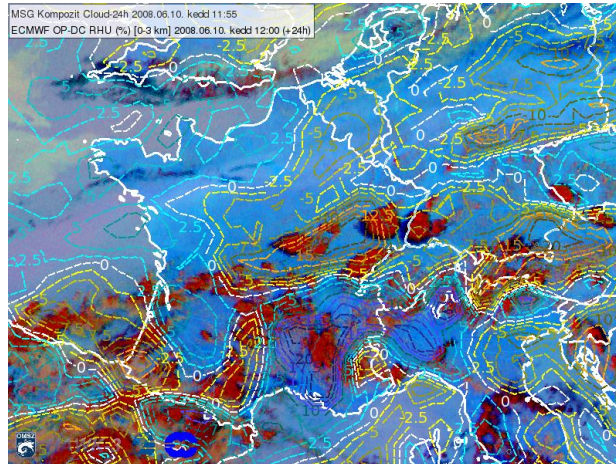
igazodott, melyben elsősorban nyugatra vártak alacsony felhőalapokat, illetve elég magas labilitást (43. ábra). A kialakult cellákat Franciaországban néhány helyen heves események is kísérték – Lyon-tól körülbelül 70 km-re délnyugatra, Devesset mellett felhőtölcsért (44. ábra), később pedig tornádót is észleltek –, ezért közelebbről csak erre a térségre mutatom be az ECMWF előrejelzéseket. A tartomány kisebb szűkülése tetten érhető, ha a szélviszonyokat tekintjük: az északi, északkeleti szél keletire, északkeletire fordul dél felé haladva (45. ábra). Az alacsonyabb nedvességtartalmú sáv a relatív nedvességben is látható, 50% alatti, illetve 65-70% feletti értékekkel az egyes területeken. Valamivel kisebb ugyanakkor a differencia, ha a specifikus nedvességet szemléljük, ugyanis a szárazabb részekre 6 g/kg-ot, a nedvesebbre 8-8,5 g/kg-ot jelzett a modell (46. ábra). Ennek oka lehet a viszonylag alacsony, 11-14 °C-os hőmérséklet az alsó 3 km-en, hiszen ilyenkor kisebb a levegő abszolút nedvességtartalma, ami miatt a különbségek sem olyan nagyok. Némi pontatlanság itt is van az előrejelzésben, a francia-német határ környékén ugyanis szárazabb határréteg lett prognosztizálva, ami az előző nap 12 UTC-s futtatásban igencsak szembeötlő (47. ábra).



45. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 850 és 925 hPa-os szélelőrejelzés (szélzászlók), 2008.06.10. 06 UTC (balra) és 12 UTC (jobbra)

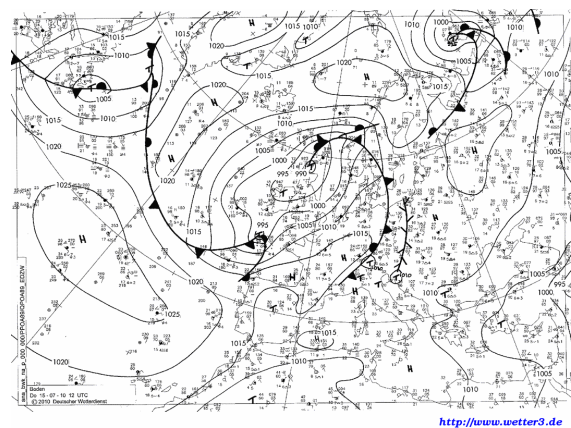


46. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s relatív nedvesség- (balra) és specifikus nedvesség-előrejelzés (jobbra) (izovonalak), 2008.06.10. 12 UTC

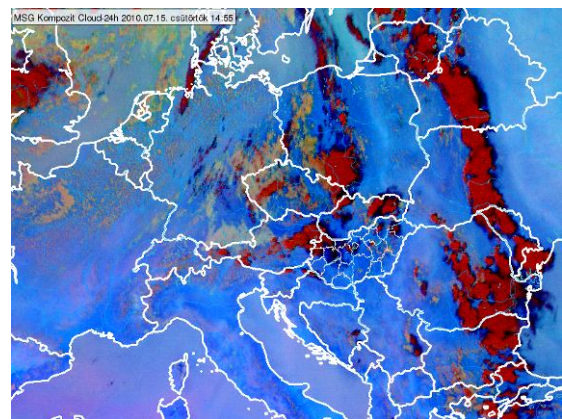
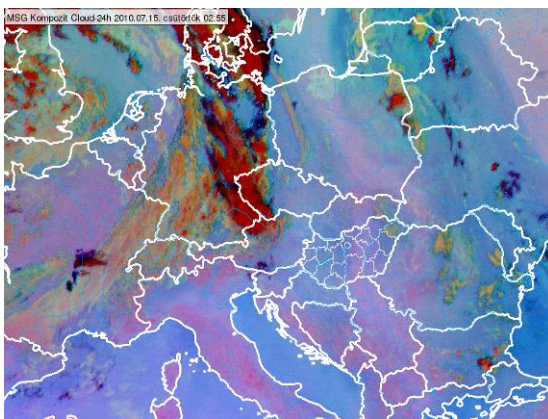


47. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF előző nap 12 UTC-s előrejelzés, valamint az analízis különbsége a 0-3 km-es relatív nedvességre (izovonalak), 2008.06.10. 12 UTC

Az utolsó eset 2010. július 15-ére esik, amikor Európa keleti részén lehetett megfelelő példát találni. Jellegtelen nyomási mező uralkodott a térségben, illetve a Kelet-európai-síkság északkeleti részén terült el egy kisebb méretű, környezeténél magasabb nyomású terület (48. ábra). A nedvességbeli különbségek már igen korán, hajnalban megmutatkoztak a választott műholdas produktumon. Napközben azután valamelyest nyugat felé mozdult a zóna, ettől függetlenül a délutáni zivatarok pontosan azon a részen keletkeztek, ahol számítani lehetett rá, miközben a szárazabb alsó légrétegnek köszönhetően a vonal keleti oldalán gyakorlatilag nem alakultak ki gomolyfelhők (49. ábra). Az ESTOFEX prognózisában

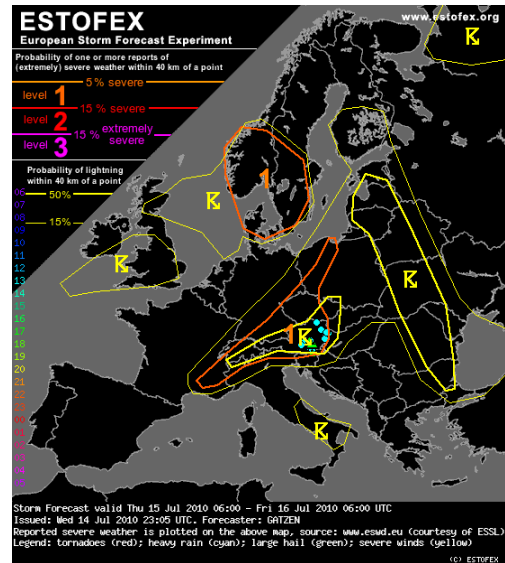


48. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2010.07.15. 12 UTC



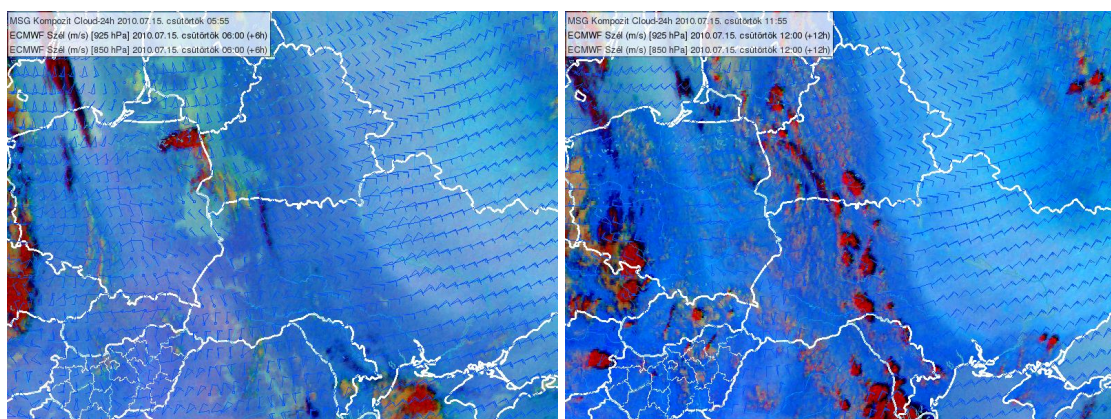
49. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.07.15. 03 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)

is kiemelt területként volt megemlítve a régió, ahol nagy területen halmozódott fel mérsékelt labilitás, valamint alacsony szintű konvergencia is jelentkezett, így több helyen vártak zivatarokat, néhány helyen heves kísérőjelenséggel. Igaz, a zivatarok nem maradtak el, de az ESWD-ben a térségből nem található bejelentett veszélyes időjárási esemény erre a napra (50. ábra). Megnézve az ECMWF előrejelzéseit, a vonal várható áthelyeződésére például az 1-1,5 km-es réteg keleti, délkeleti irányú légmozgásából remekül lehetett következtetni (51. ábra). A relatív

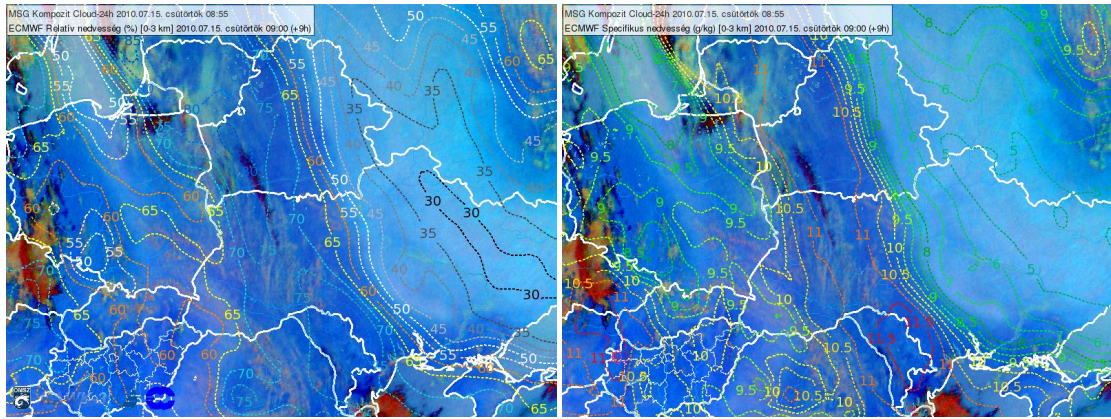


50. ábra. Az ESTOFEX előrejelzése, 2010.07.15. 06 UTC – 2010.07.16. 06 UTC

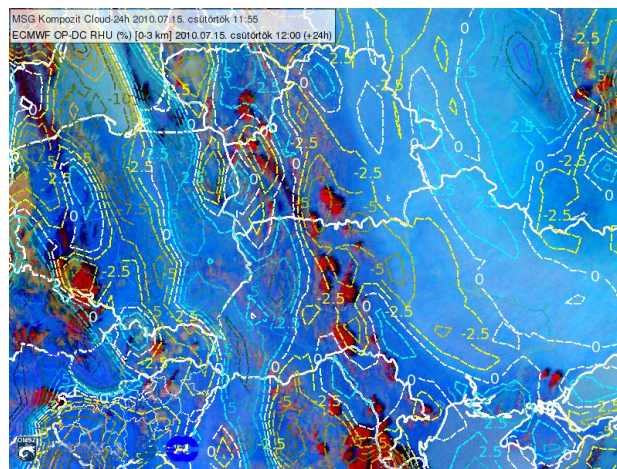
páratartalomban tapasztalt eltérést a determinisztikus modell ezen alkalommal is sikeresen előrejelezte, a differencia pedig a specifikus nedvesség esetén is nagyon markáns, hiszen abban a régióban, ahol nedvesebbnek látszik a határréteg, ott 11 g/kg feletti értékek is megfigyelhetők, ugyanakkor az átellenes oldalon mindössze 5-7 g/kg a jellemző (52. ábra). Ez nem véletlen, mert a határréteg hőmérsékletében viszonylag kicsi volt a különbség, így a relatív páratartalombeli eltérést tisztán a nedvesség hordozta. Az előző nap 12 UTC-s futtatásában megjelenik némi alulbecslés az analízismezőhöz viszonyítva, de ennek értéke nem mondható számottevőnek (53. ábra).



51. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 850 és 925 hPa-os szélelőrejelzés (szélzászlók), 2010.07.15. 06 UTC (balra) és 12 UTC (jobbra)

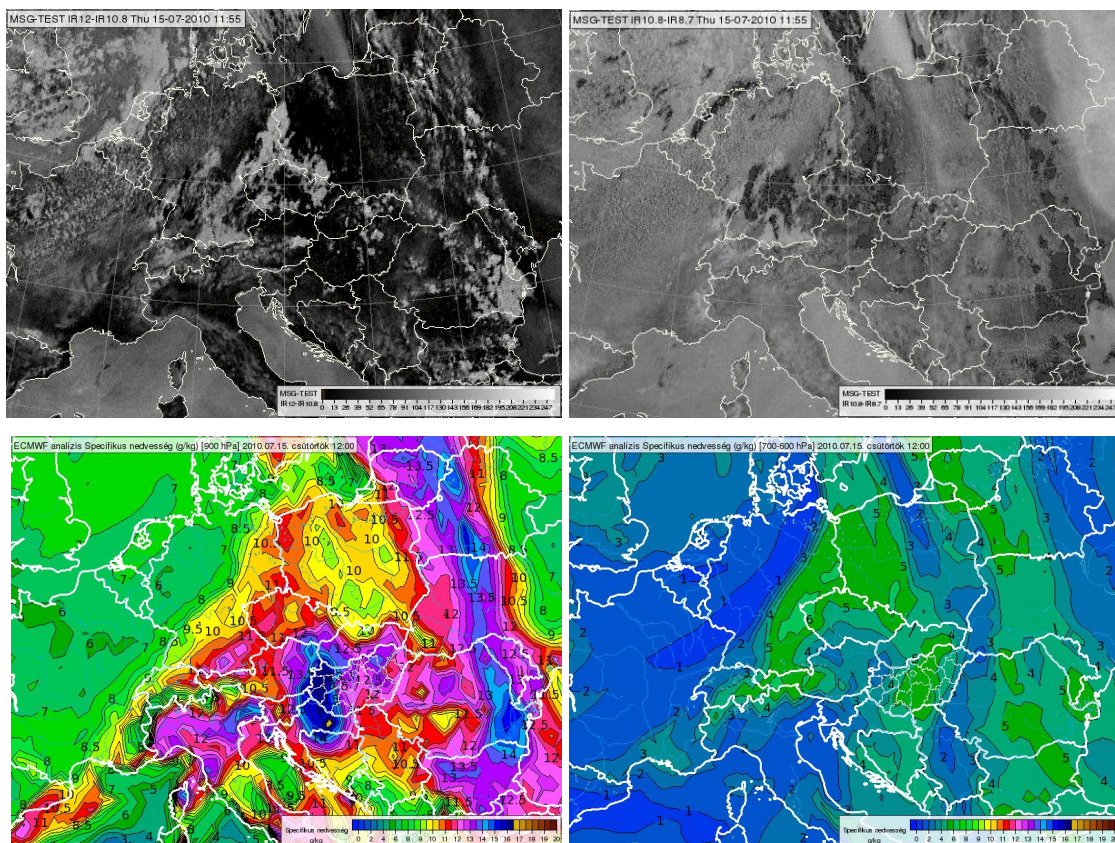


52. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s relatív nedvesség- (balra) és specifikus nedvesség-előrejelzés (jobbra) (izovonalak), 2010.07.15. 09 UTC



53. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF előző nap 12 UTC-s előrejelzés, valamint az analízis különbsége a 0-3 km-es relatív nedvességre (izovonalak), 2010.07.15. 12 UTC

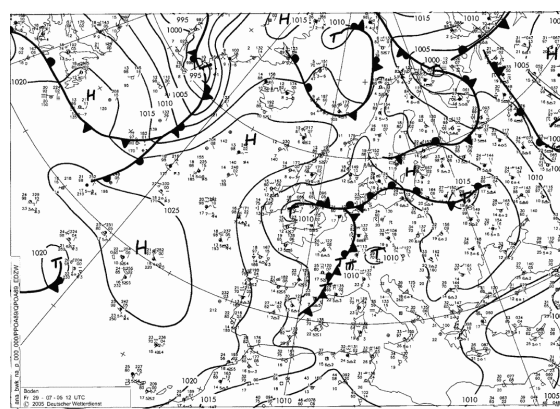
Rendkívül látványos az eredmény viszont akkor, ha külön szemléljük a kompozitképet alkotó egyes komponenseket. A 12,0 μm -es és 10,8 μm -es, illetve a 10,8 μm -es és 8,7 μm -es csatornán észlelhető fényességi hőmérséklet különbségéből adódó fényességi intenzitásokat visszszámolva BTD-re, előbbinél a szárazabb területeken -1, -2, a nedvesebb zónában -2, -3 $^{\circ}\text{C}$ körüli értékeket kapunk, ami megfelel az elvárásoknak (54a. ábra). A BTD(IR10,8-IR8,7) 0 és +6 $^{\circ}\text{C}$ -os határok közé esik e típusú kompozit esetén, az adott esetben pedig a száraz keleti oldalon 3-4, a nedves nyugati részen 2-3 $^{\circ}\text{C}$ közelében vannak az értékek (54b. ábra). Ezek jól korrelálnak a specifikus nedvesség nekik megfelelő 925 hPa-os szint, illetve a 600 és a 700 hPa átlagából képezett analízismezővel is (54c. és 54d. ábra).



54. ábra. A 12,0 μm -es és a 10,8 μm -es (a), valamint a 10,8 μm -es és a 8,7 μm -es (b) csatornák fénységi hőmérsékleteinek különbségei, illetve az ECMWF specifikus nedvesség-analízis a 900 hPa-os szintre (c), valamint a 600 és 700 hPa átlagára (d), 2010.07.15. 12 UTC

5.2.2. Nedvességre vonatkozó előrejelzési hibák vizsgálata

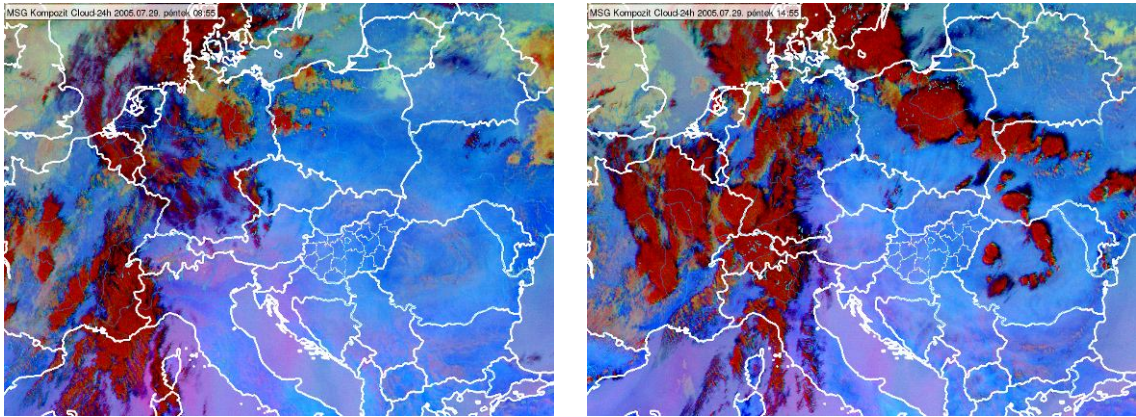
Az esettanulmányok hat típusa közül ez a legfontosabb számunkra, hiszen ez jelenti azokat a példákat, amikor csak az ECMWF nedvességi előrejelzését felhasználva valószínűleg nem született volna pontos prognózis a zivatarok helyét illetően. Ez a helyzet állhatott elő például 2005. július 29-én Lengyelországban és Ukrajnában, amely térség egy hullámzó front közelében helyezkedett el (55. ábra).



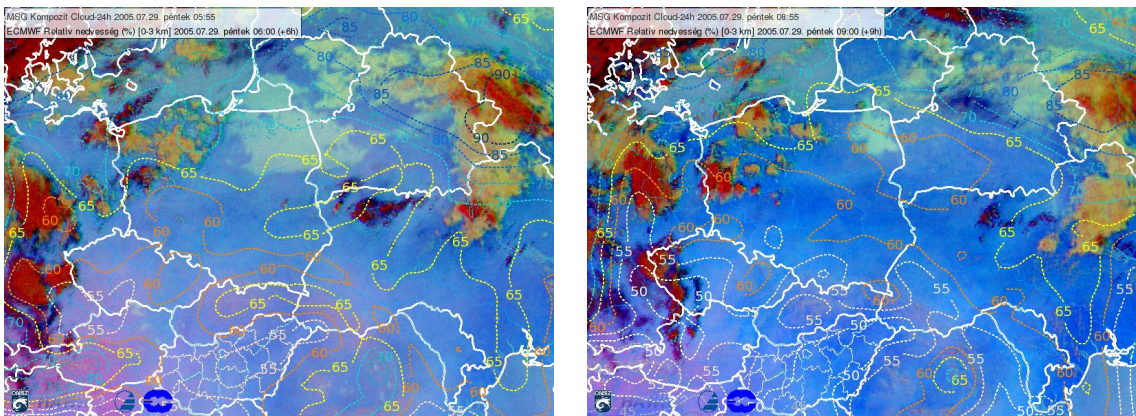
55. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2005.07.29. 12 UTC

Kora délelőtt még alig, ám 11 óra körül már egyértelműen kirajzolódott egy nedvesebb levegőjű sáv a két ország területén, és ha megnézzük az események alakulását, akkor azt tapasztaljuk, hogy az ESTOFEX szöveges előrejelzésében erre a napra várt mezoléptékű konvektív rendszertől (MKR) keletre, a vonal mentén is fejlődtek

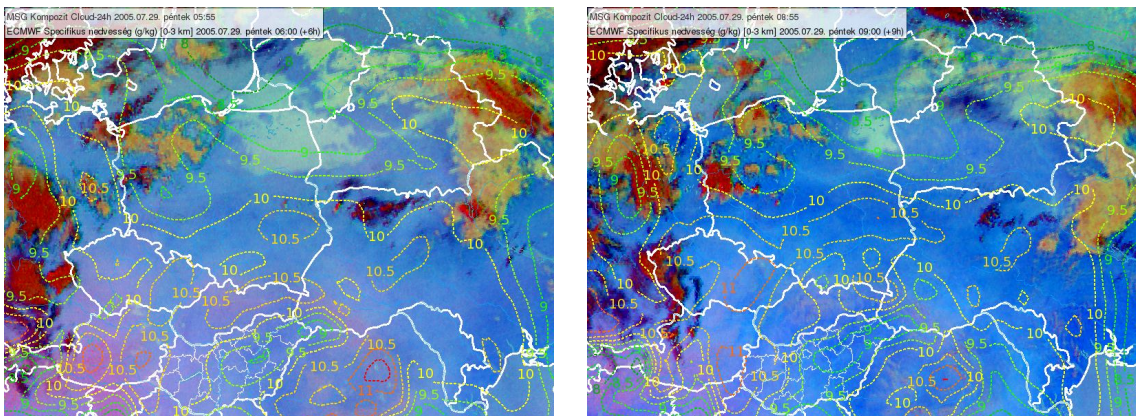
zivatarok (56. ábra). A 09 UTC-re szóló relatív nedvesség-előrejelzésben viszont egyáltalán nem fedezhető fel maximum az említett területen, és a 06 UTC-s időpontban is csak alig (57. ábra). Egy kissé jobb volt a helyzet a specifikus nedvességnél, ugyanis itt már láthatunk lokális maximumot, de ez sem nevezhető tökéletesnek, már csak azért



56. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2005.07.29. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)

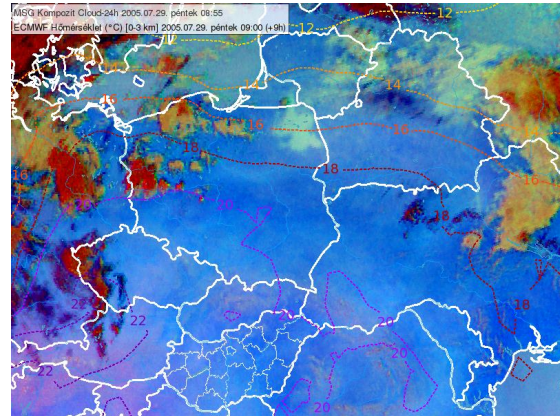


57. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es relatív nedvesség-előrejelzés (izovonalak), 2005.07.29. 06 UTC (balra) és 09 UTC (jobbra)

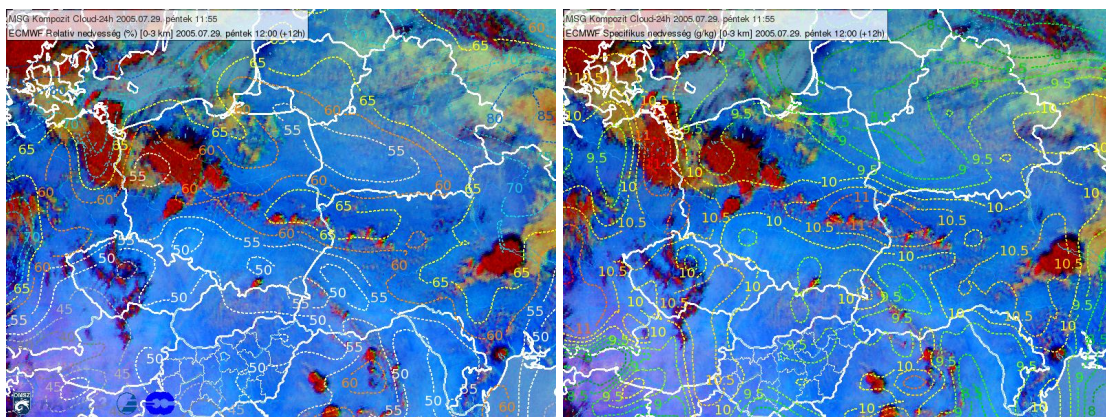


58. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es specifikus nedvesség-előrejelzés (izovonalak), 2005.07.29. 06 UTC (balra) és 09 UTC (jobbra)

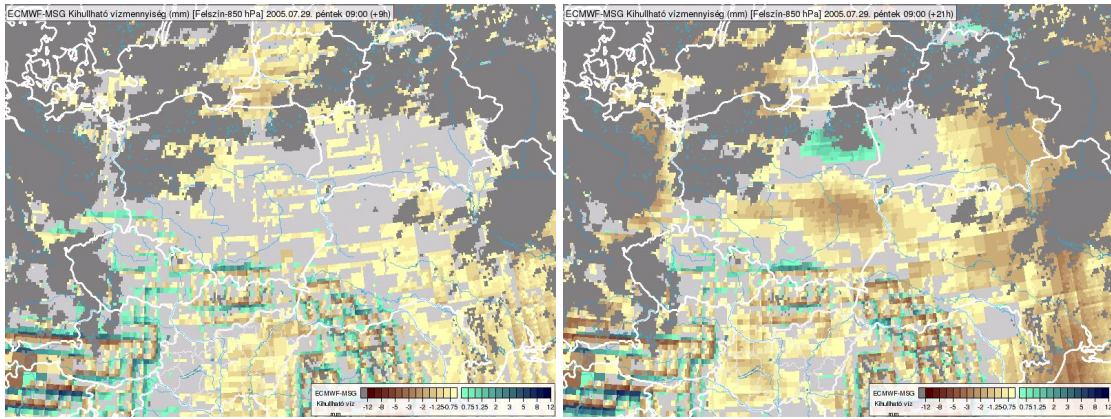
sem, mert Lengyelország teljes déli felére elég magas értékeket adott modell, holott a zivatarok csak a műholdképen is látható sávban voltak jelen (58. ábra). A Balti-tenger partján ráadásul alacsonyabb a specifikus nedvesség, mint a lengyel-cseh-szlovák határ mentén, pedig a relatív páratartalomnál pontosan fordított a kép. Ennek oka abban keresendő, hogy északon körülbelül 5 °C-kal hűvösebb volt a légkör alsó 3 km-ének levegője (59. ábra). 12 UTC-re elemezve a helyzetet nagyobb összhang tapasztalható, hiszen már van maximum mindkét nedvességi mérőszám esetén (60. ábra). Meglehetősen bonyolultnak tűnik tehát e mezők szempontjából az eset, ha viszont csak a levegő nedvességtartalmára vonatkozó információkat tekintjük, akkor a műholdkép egyértelműbbé teszi azt. Ezek után az ECMWF előrejelzés kisebb hibájára is következtethetnénk, de a modellfuttatás és az NWC SAF produktum különbségképpen nem dominálnak a sárgás színek. Ha viszont az előző nap 12 UTC-s futtatást is megnézzük, akkor már elég határozottan megmutatkozik a pontatlanságra utaló barna folt (61. ábra). Kora délelőttre előállítva még a SEVIRI 10-es és 9-es, illetve 9-es és 7-es csatornájára vonatkozó BTD értéket, azonnal szembeűnő a Lengyelország déli és Ukrajna középső részét elfoglaló sötét színű zóna, mely igen nagy nedvességre utal, és mindkét képen fellelhető. Igaz, a számunkra elsődleges BTD(12,0-10,8) esetén lényegesen jobban (62a. és 62b. ábra). Az egyes nyomási szinteken tapasztalható specifikus nedvességtartalom analíziséhez hozzárendelve is kellő mértékű egyezést láthatunk (62c. és 62d. ábra).



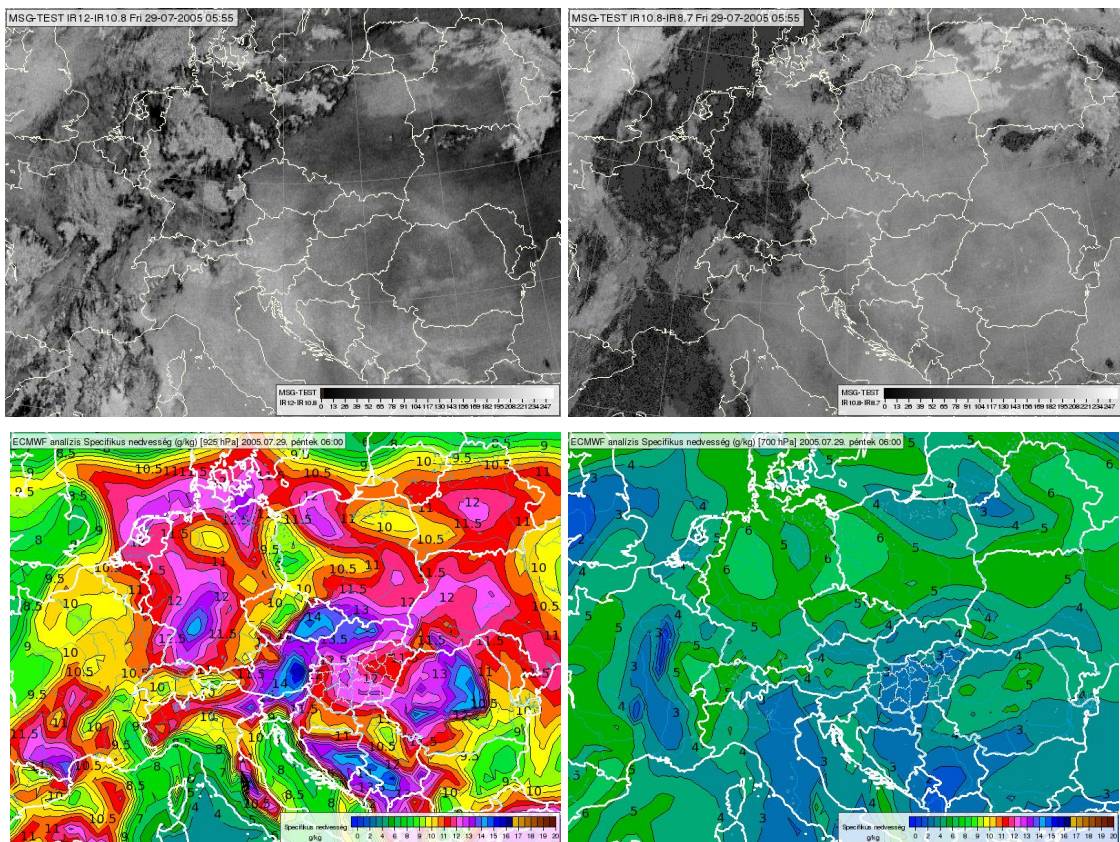
59. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es átlaghőmérséklet (izovonalak), 2005.07.29. 09 UTC



60. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s relatív nedvesség- (balra) és specifikus nedvesség-előrejelzés (jobbra) (izovonalak), 2005.07.29. 12 UTC



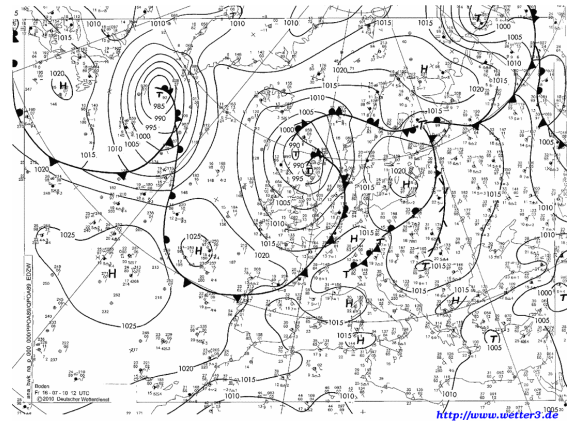
61. ábra. Az ECMWF előrejelzéséből származtatott és az NWC SAF BL produktumából származó kihullható vízmennyiség különbsége az aznap 00 UTC-s (balra) és az előző nap 12 UTC-s (jobbra) futtatásban, 2005.07.29. 09 UTC



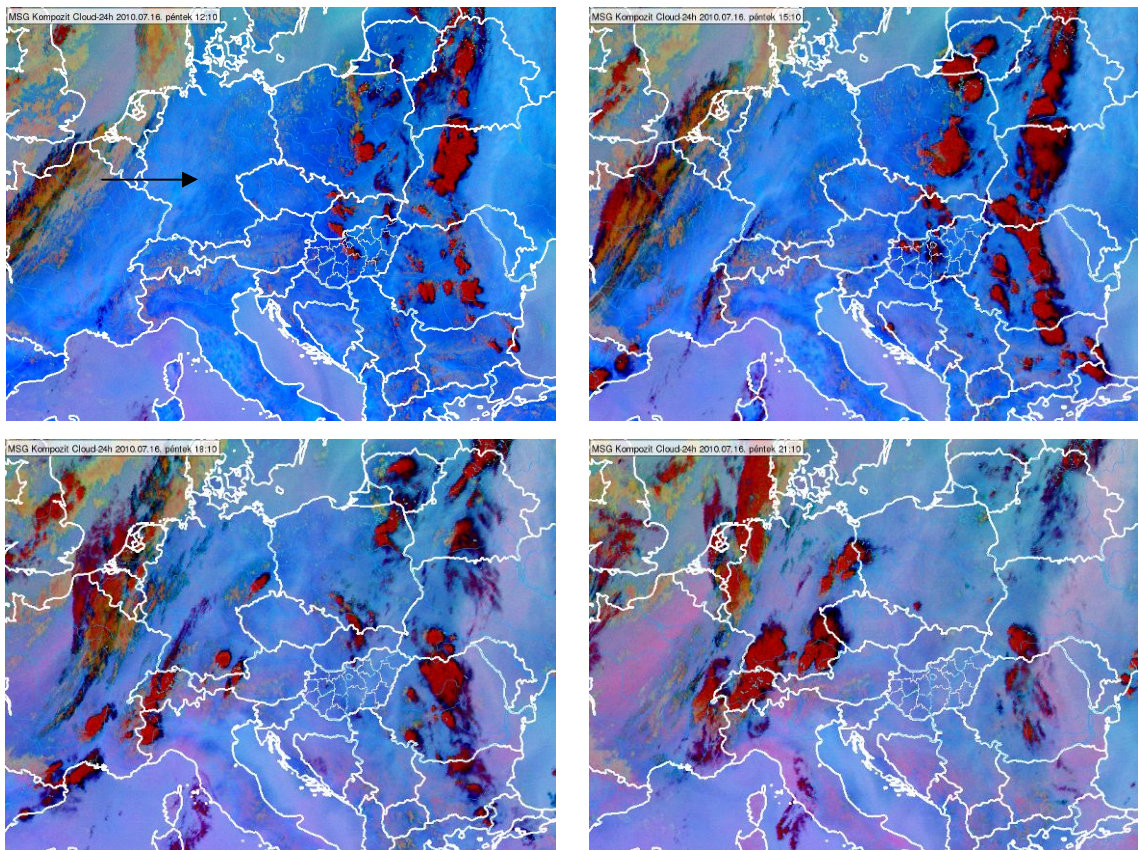
62. ábra. A 12,0 μm -es és a 10,8 μm -es (a), valamint a 10,8 μm -es és a 8,7 μm -es (b) csatornák fényességi hőmérsékleteinek különbségei, illetve az ECMWF specifikus nedvesség-analízis a 925 hPa-os (c), valamint a 700 hPa-os szintre (d), 2005.07.29. 06 UTC

A második példa Németországból való, ahol 2010. július 16-án egy hidegfront előterében keletkezett zivatar (*63. ábra*), mégpedig olyan helyen és időpontban, melyre a modell számításait figyelembe véve kevésbé lehetett következtetni. A 24 órás felhőzeti kompozitot szemlélve, ezúttal csak minimális eltérés mutatkozik a német-cseh határszakasz nyíllal jelzett részén még 09 és 12 UTC alkalmával is, ám 15 UTC-re már egyértelműbbé válik, hogy hol nedvesebb a határréteg (*64a.* és *64b. ábra*). Igazán erős

konvekcióra kezdetben még nem került sor, de késő délután, kora este Drezdtól nem messze már kifejlődött egy zivatarcella, mely később észak-északkelet felé haladva jégesőt, illetve erős szelet is okozott (64c. és 64d. ábra). Ennek a zivatarnak a megjelenése az előrejelzethez képest korainak, de nem rendkívülinek számít, hiszen az ESTOFEX előző este 1-es, aznap délben már 2-es fokozatú figyelmeztetést adott ki Németország déli és keleti tájaira, Ausztriára, Csehországra, a határreteg magas nedvességének, kihullható víztartalmának, valamint az 1000-1500 J/kg MLCAPE¹⁹-nek köszönhetően, de a hevesebb események inkább estére, éjszakára



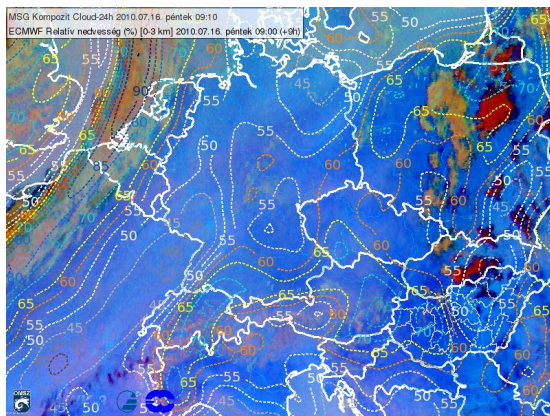
63. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2010.07.16. 12 UTC



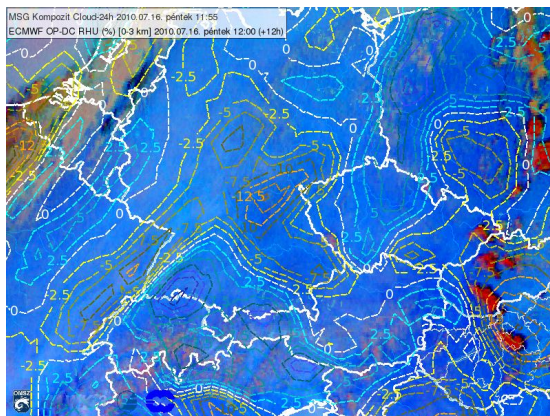
64. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.07.16. 12 UTC (a), 15 UTC (b), 18 UTC (c) és 21 UTC (d)

¹⁹ Mixed-Layer Convective Available Potential Energy (Kevert Réteg Konvektív Hozzáférhető Potenciális Energiája)

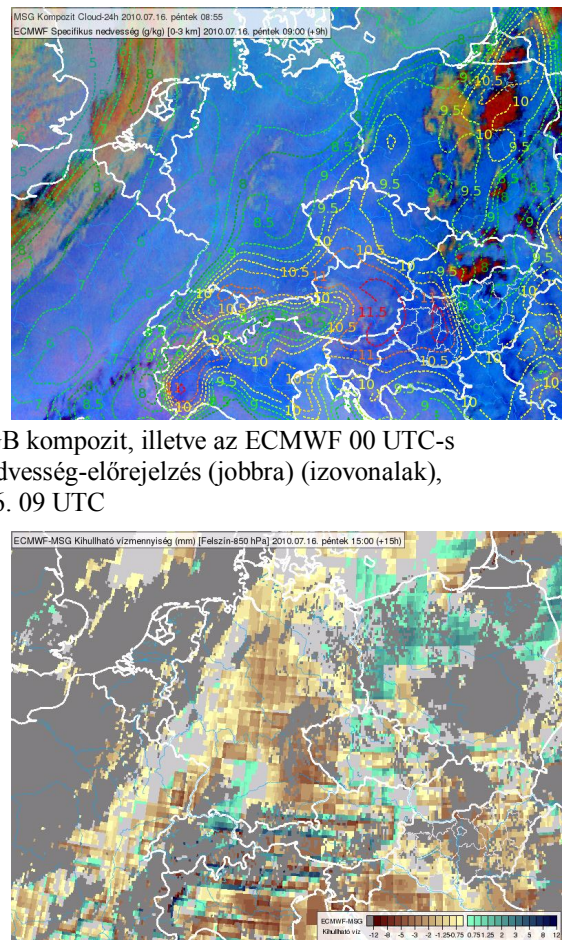
voltak prognosztizálhatók. Az előrejelzett relatív nedvességi mező a déli órákban éppen arra a területre adott valamelyest szárazabb levegőt, ahol a műholdas produktum alapján magasabb nedvességet vártunk volna. Ez ugyan a specifikus nedvességnél nem jelentkezik, de az továbbra is fennáll, hogy nincs lényegi eltérés a modelladatokban a kérdéses területen (65. ábra). A relatív nedvesség előrejelzése legalább 10-15%-kal bizonyult szárazabbnak, mint az analízis (66. ábra), ráadásul a modellből, illetve a műholdadatokból nyert kihullható vízmennyiségben is viszonylag nagy a különbség, többnyire 2-3 mm-rel magasabb a BL produktumban szereplő érték (67. ábra), tehát ekkor sem mondható pontosnak az ECMWF előrejelzése. Ezek után nem meglepő, hogy az adott területre és időszakra egyáltalán nem várt csapadékot a modell, csupán valamivel délebbre egy kis mennyiséget (68. ábra). A látottakat a rádiószondás felszállások is alátámasztják, ugyanis miközben Stuttgartban (10739) 12-13 °C-os volt a differencia a hőmérséklet és harmatpont értéke között, addig a nedvesebbnek ítélt térségben fekvő Kümmersbruck (10771) állomásán 10 °C körülnek adódott (69. ábra).



65. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s relatív nedvesség- (balra) és specifikus nedvesség-előrejelzés (jobbra) (izovonalak), 2010.07.16. 09 UTC

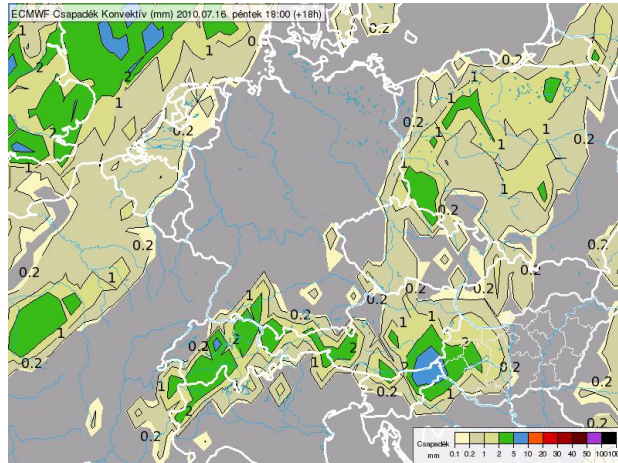


66. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF aznap 00 UTC-s előrejelzés, valamint az analízis különbsége a 0-3 km-es relatív nedvességre (izovonalak), 2010.07.16. 12 UTC

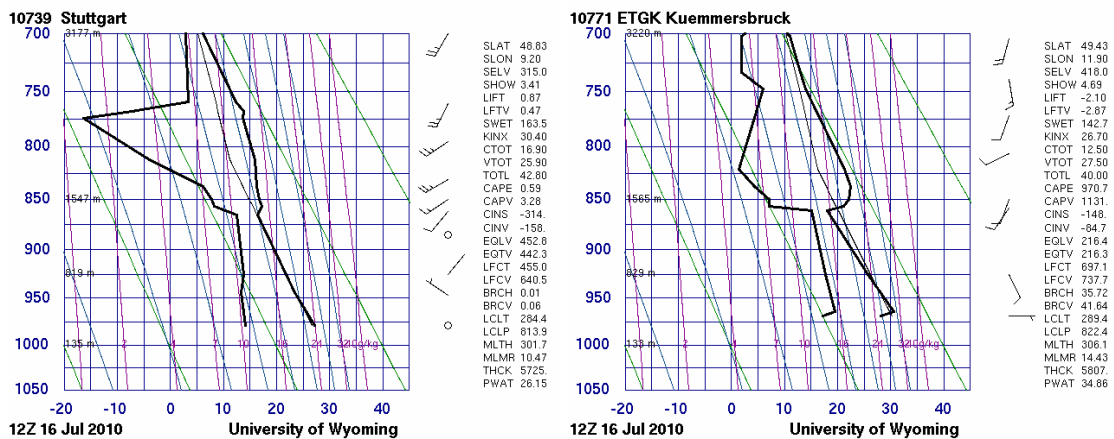


67. ábra. Az ECMWF előrejelzéséből származtatott és az NWC SAF BL produktumából származó kihullható vízmennyiség különbsége az aznap 00 UTC-s futtatásban, 2010.07.16. 15 UTC

Érdekességképpen megemlíteném még, hogy ez az eset a modell jó teljesítményét is illusztrálhatná, mivel a Kelet-Európában lévő határvonalat nagyon jól látta az előrejelzés, és a zivatarok is abban a térségben fejlődtek ki, ami a 64. ábrán megfigyelhető.

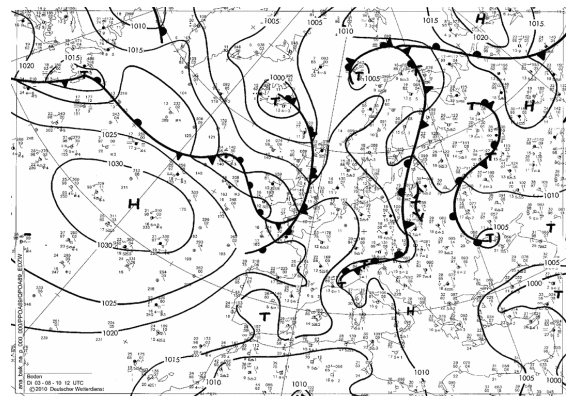


68. ábra. Az ECMWF aznap 00 UTC-s kumulált konvektív csapadék-előrejelzése, 2010.07.16. 18 UTC



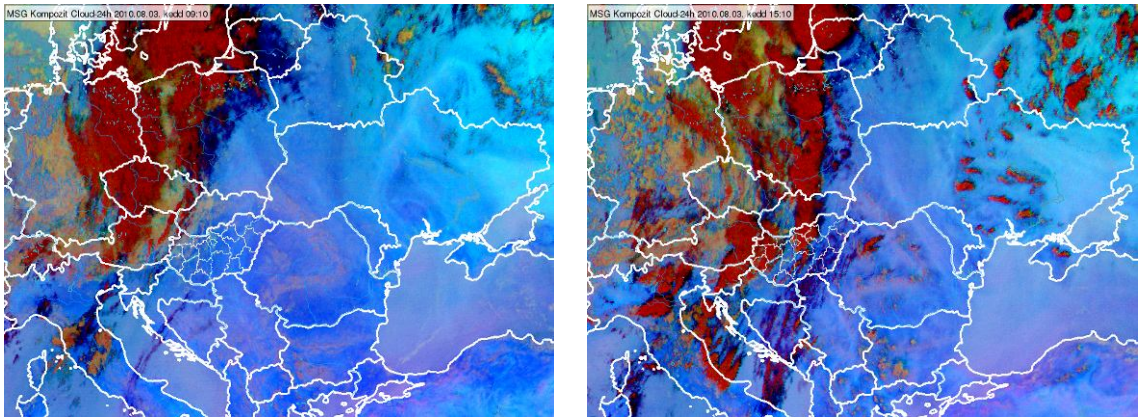
69. ábra. Rádiószondás felszállás az alsó 3 km-re 2010. július 16-án 12 UTC-kor, Stuttgart (10739) (balra), illetve Kümmersbruck (10771) (jobbra) állomáson

Az utolsó eset szűk három héttel későbbre, 2010. augusztus 3-ára datálódik, az érintett terület pedig Ukrajna volt. A kérdéses térség egy a Fekete-tenger nyugati partjaitól induló hullámzó fronttól keletre helyezkedett el (70. ábra). Több nedves, illetve száraz zóna is azonosítható a műholdfelvételen, melyek viszonylag nagy sebességgel helyeződtek át nyugat,

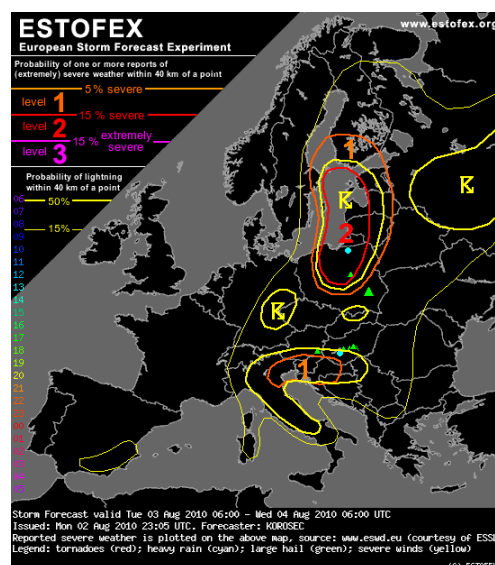


70. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2010.08.03. 12 UTC

északnyugat felé a nap folyamán, és egyes nedvesebb levegőjű „foltokban” a nap második felében konvektív cellák is létrejöttek (71. ábra). Erre azonban nem ott került sor, ahol arra például az ESTOFEX előrejelzéséből lehetett volna következtetni, hiszen az ország keleti fele nem tartozott bele a térképen jelölt térségbe (72. ábra). Változatos képet mutatnak az ECMWF relatív nedvességi mezői is: míg nyugatra délelőtt 65%-ot is jelez a modell a sötétebb kék rész felett, másutt még a 45%-ot is alig éri el, pedig a 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitképen egyértelműen látszanak nedvesebb határréteggel rendelkező vidékek (73. ábra). Van ugyan egy kisebb maximum ott, ahol kialakultak a zivatarok, a specifikus nedvességben pedig ez jobban is megjelenik, de a 9-9,5 g/kg-os érték még mindig alacsonyabb, mint az Ukrajna nyugati részén tapasztalható 10,5 g/kg feletti csúcs (74. ábra). Az utóbbi területen viszont eleinte nem, az ország középső és keleti tájain – az elvileg szárazabb levegőben – azonban már kora

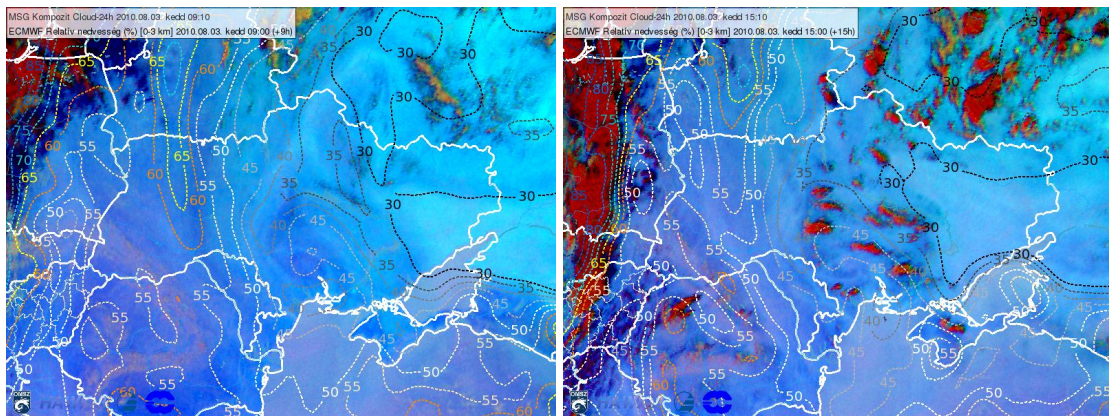


71. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.08.03. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)

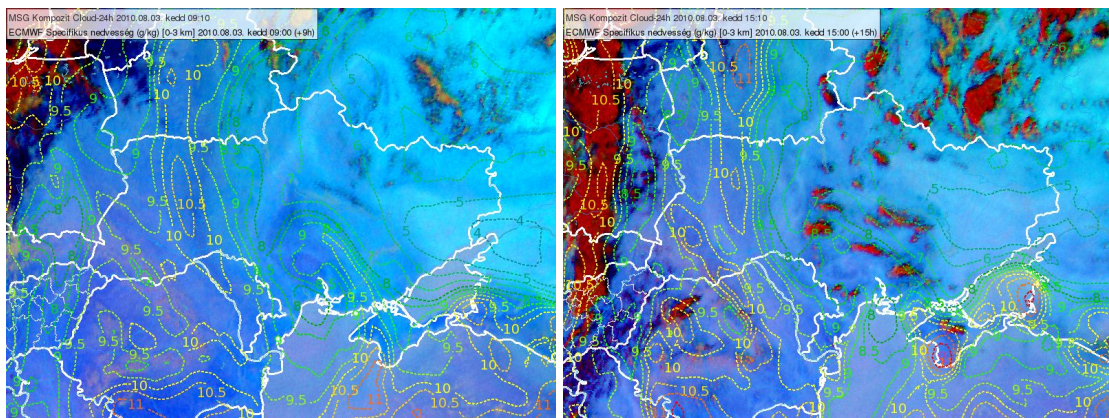


72. ábra. Az ESTOFEX előrejelzése, 2010.08.03. 06 UTC – 2010.08.04. 06 UTC

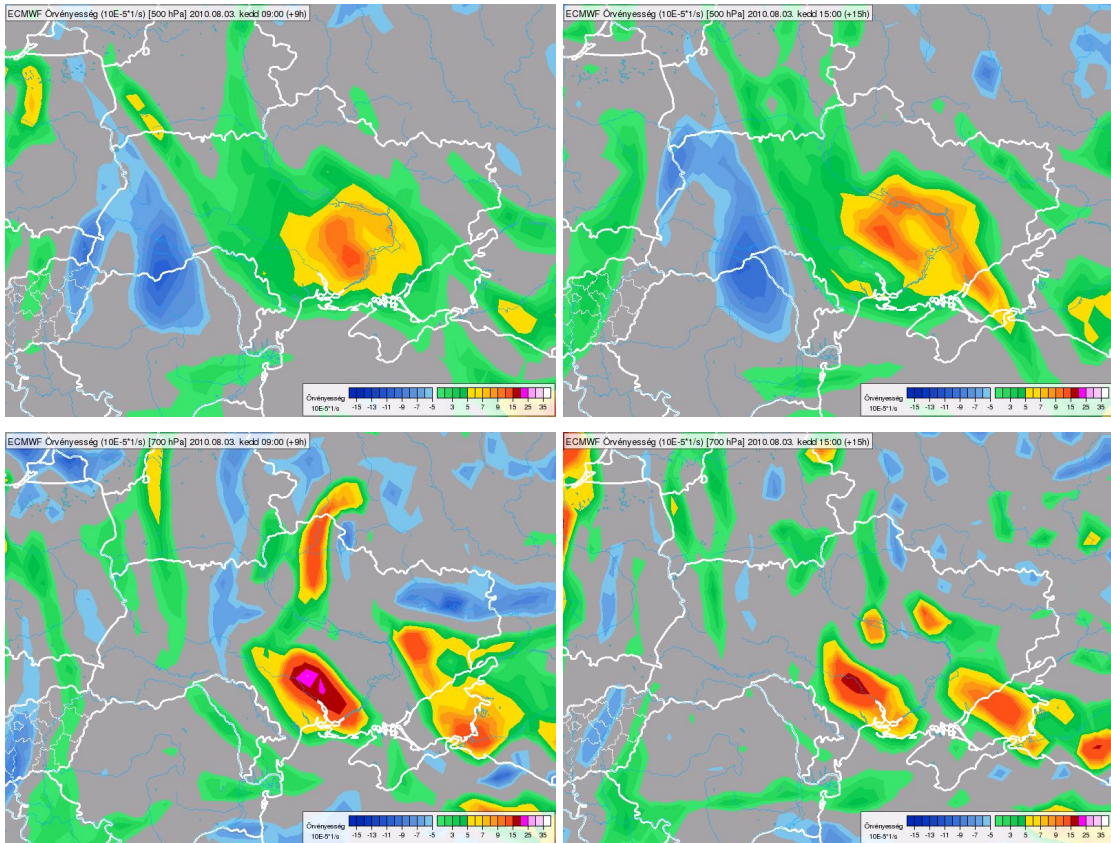
délután is keletkeztek gomolyfelhők. Ez annak volt köszönhető, hogy több szinten pozitív örvényesség advektálódott, ami elég erős kényszernek bizonyult ahhoz, hogy a műhold alapján, tehát a valóságban is nedvesebb vidékeken beinduljon a konvekció (75. ábra). Ebből továbbá az is kiderül, hogy erre nyugaton valószínűleg az 500 hPa-on lévő negatív örvényesség miatt nem került sor, az Azovi-tenger felett pedig hiába volt jelen a pozitív örvényesség, mert ott nagyon száraz volt a levegő a modellben és a műholdképen egyaránt. Arra, hogy ezúttal sem volt teljesen tökéletes az előrejelzés további két dologból következtethetünk. Az egyik az ECMWF és az NWC SAF produktum kihullható vízmennyiségbeli különbsége: ugyan a sárgás-barnás pontok mellett, kevés zöld is előfordul, de jobban megnézve a kompozitképet rögtön szembetűnik, hogy kis területen belül is változik a kék szín intenzitása, tehát ezek a finomszerkezetbeli eltérések okozhatják a színváltásokat (76. ábra). A másik, ennél egyértelműbb jel, hogy az előrejelzett konvektív csapadék gyakorlatilag minimális (77. ábra), ami minden bizonnyal a túl száraz nedvességi mezőkben rejlik.



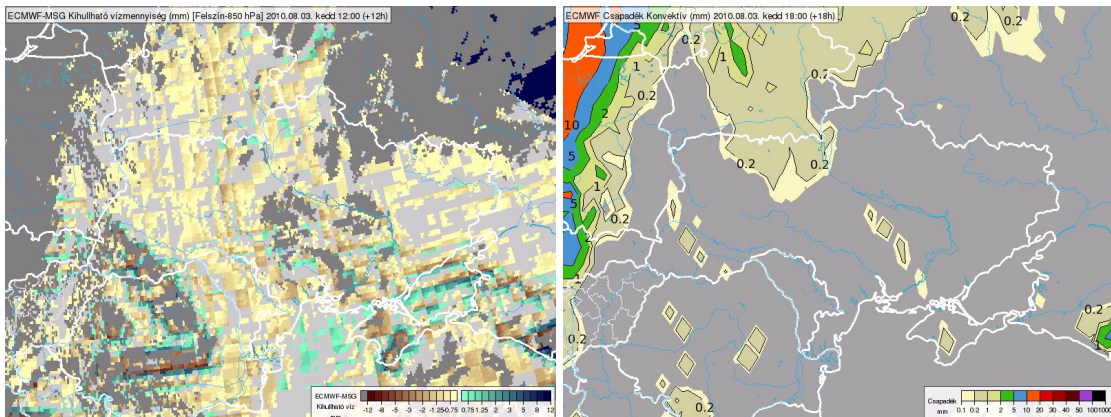
73. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es relatív nedvesség-előrejelzés (izovonalak), 2010.08.03. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



74. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es specifikus nedvesség-előrejelzés (izovonalak), 2010.08.03. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



75. ábra. Az ECMWF aznap 00 UTC-s 500 hPa-ra (fent), illetve 700 hPa-ra (lent) vonatkozó örvényesség-előrejelzése, 2010.08.03. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



76. ábra. Az ECMWF előrejelzéséből származtatott és az NWC SAF BL produktumából származó kihullható vízmennyiség különbsége az aznap 00 UTC-s futtatásban, 2010.08.03. 12 UTC

77. ábra. Az ECMWF aznap 00 UTC-s kumulált konvektív csapadék-előrejelzése, 2010.08.03. 18 UTC

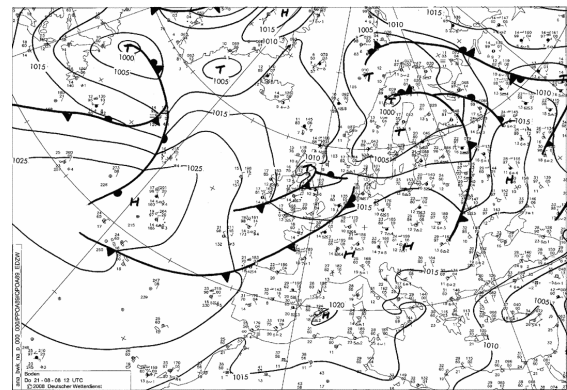
Hat eset került bemutatásra ebben a fejezetben, melyek rávilágítottak arra, hogy olyankor is segítséget nyújthat a műholdkép követése, amikor jó az előrejelzés. A sötétebb és világosabb kék területek ugyanis sokszor gyakorlatilag körberajzolták a zivatarok előfordulási helyét, tehát ha kedvezőek voltak a feltételek, akkor szinte kizárólag a sötét színű vidékek felett alakultak ki a cellák. Jó néhány ilyen példát találtam, ezért a dolgozat végén lévő függelékben egy válogatást is készítettem ezekből.

5.3. Frontok nedves levegőjének azonosítása

Az esettanulmányok zárásaként – három példán keresztül – egy, az eddigiektől eltérő felhasználási lehetőségét vázolom fel a produktumnak, ami azzal áll kapcsolatban, hogy miként jelenik meg rajta a frontok nedves levegője. Az első kettőnél olyan frontról beszélhetünk, mely nem rendelkezik összefüggő, kiterjedt felhőmezővel, ezáltal bizonyos műholdképeken komoly nehézségekbe ütközik pontos helyzetük meghatározása, míg a harmadik a hidegfront mögött tapasztalható, olykor jelentős mértékű kiszáradást szemlélteti, amely prognosztikai szempontból ugyancsak fontos lehet.

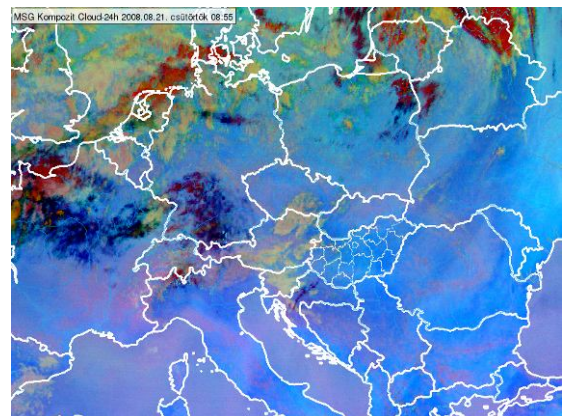
5.3.1. Kiterjedt felhőzet nélküli frontok

2008. augusztus 21-én Kelet-Európa felett tartózkodott az a hidegfront (78. ábra), mely inkább csak a balti államok, valamint Fehéroroszország térségében rendelkezett nagyobb területre kiterjedő felhőzettel, a nedves levegője ugyanakkor csaknem a Balkán-félszigetig megfigyelhető volt a vizsgált RGB kompozitképen (79. ábra). A front mozgása jól követhető az ECMWF előrejelzett relatív nedvességi mezőin is: a front előtt meglehetősen száraz volt a határréteg levegője (40-45% alatt), annak vonalában helyenként 65-70% is előfordult, míg a mögötte tapasztalható szárító hatású, leszálló légmozgások révén újból 55% körülire csökkent (80. ábra). A specifikus nedvesség izovonalai ugyancsak kirajzolják a hidegfront helyzetét (81. ábra), és ebben az időjárási helyzetben mindkét vizsgált futtatás, illetve az analízis is jól vizsgázott.

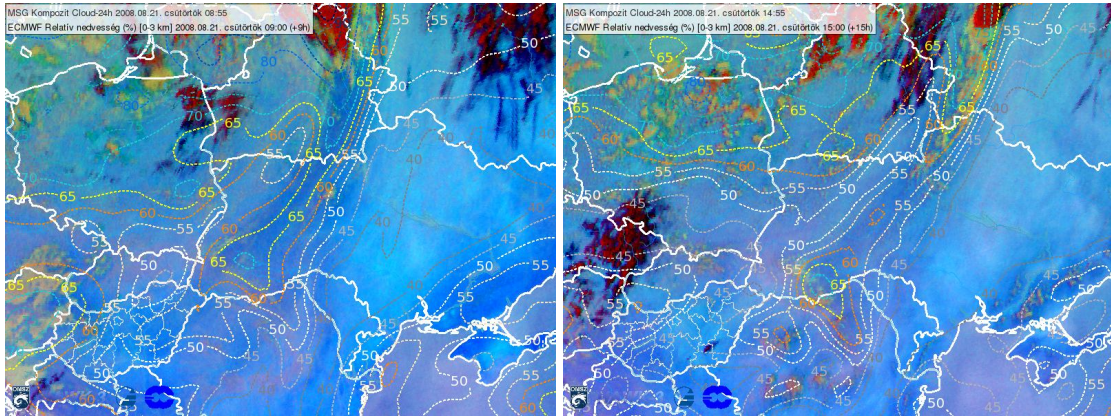


<http://www.wetter3.de/fax>

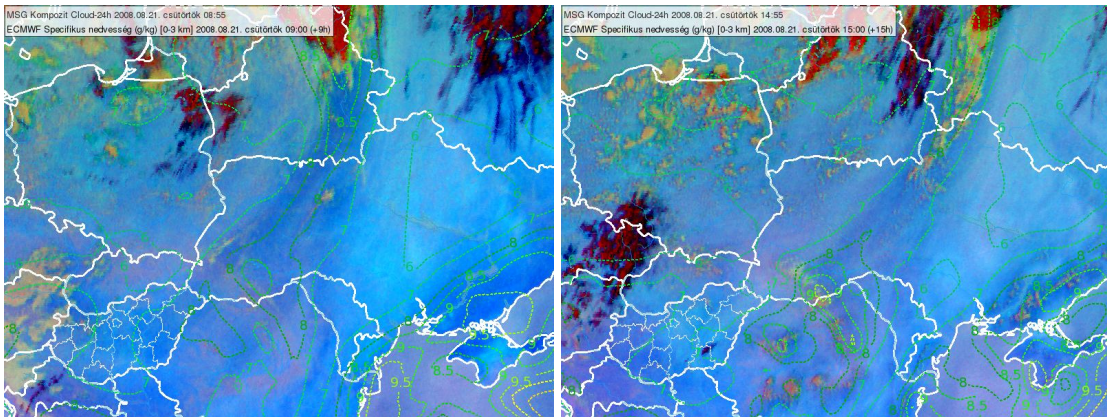
78. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2008.08.21. 12 UTC



79. ábra. A 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitkép, 2008.08.21. 09 UTC

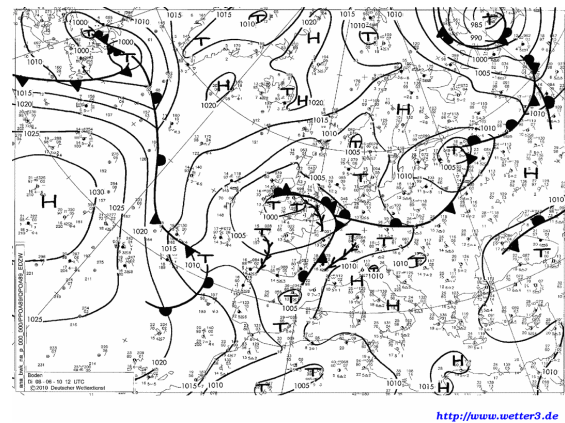


80. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es relatív nedvesség-előrejelzés (izovonalak), 2008.08.21. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



81. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es specifikus nedvesség-előrejelzés (izovonalak), 2008.08.21. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)

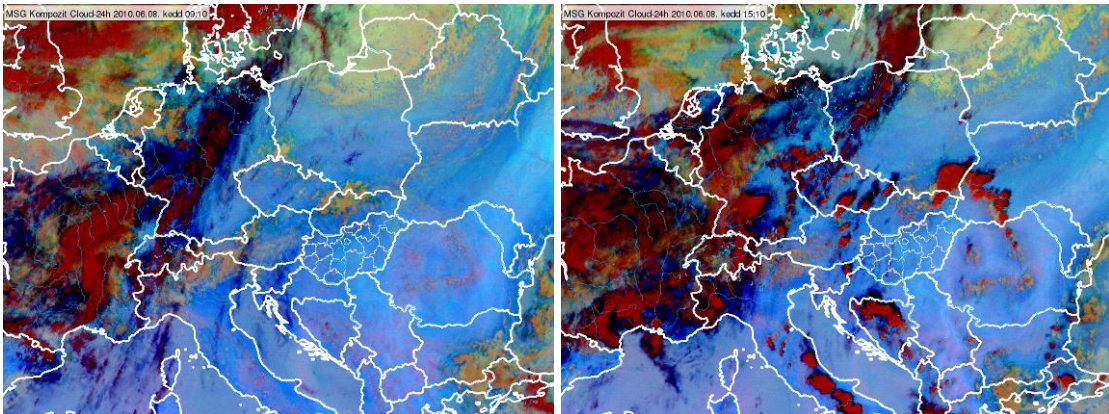
Hasonló folyamatok játszódtak le 2010. június 8-án, amikor szintén egy hidegfront érte el a Kelet-európai-síkságot (82. ábra). A kiterjedtebb felhőmező főként Oroszországra és elsősorban a reggeli órákra volt jellemző, napközben azonban a front mentén gomolyfelhők alakultak ki, sőt a Kárpátok hegyvonulatai felett – az orográfia hatásával erősítve – zivatarfelhők is megjelentek (83. ábra). A



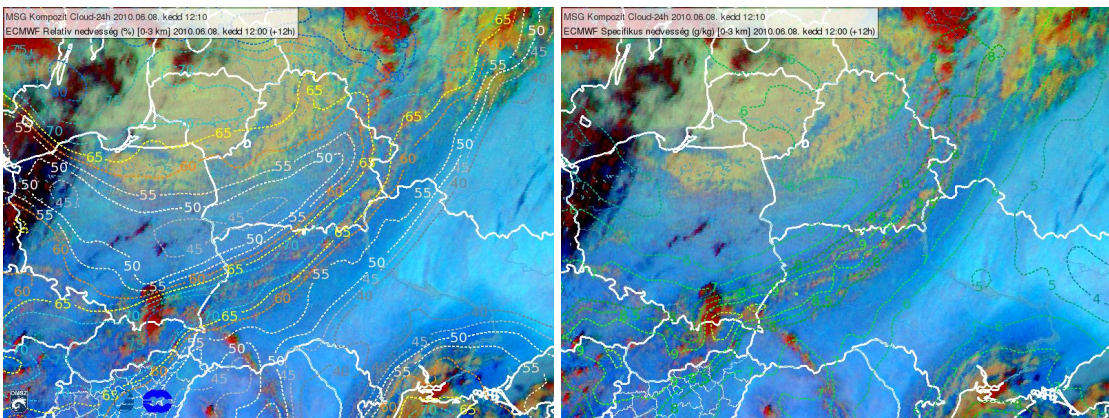
82. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2010.06.08. 12 UTC

relatív nedvességre vonatkozó előrejelzési térképek is alátámasztják a hidegfront jelenlétét, ráadásul ekkor még nagyobb volt a kontraszt, mint az előző példánál, hiszen nemcsak nedvesebb volt a fronthoz tartozó levegő (70% feletti relatív páratartalom),

hanem erősebb volt a kiszáradás is a front vonala mögött (45% körüli értékek), amit a specifikus nedvesség is jól mutatott (84. ábra).



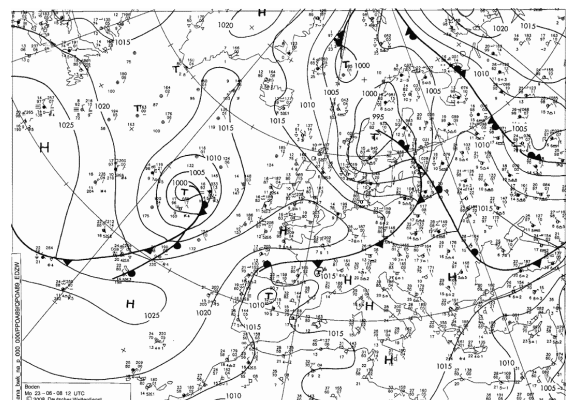
83. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.06.08. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



84. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s relatív nedvesség- (balra) és specifikus nedvesség-előrejelzés (jobbra) (izovonalak), 2010.06.08. 12 UTC

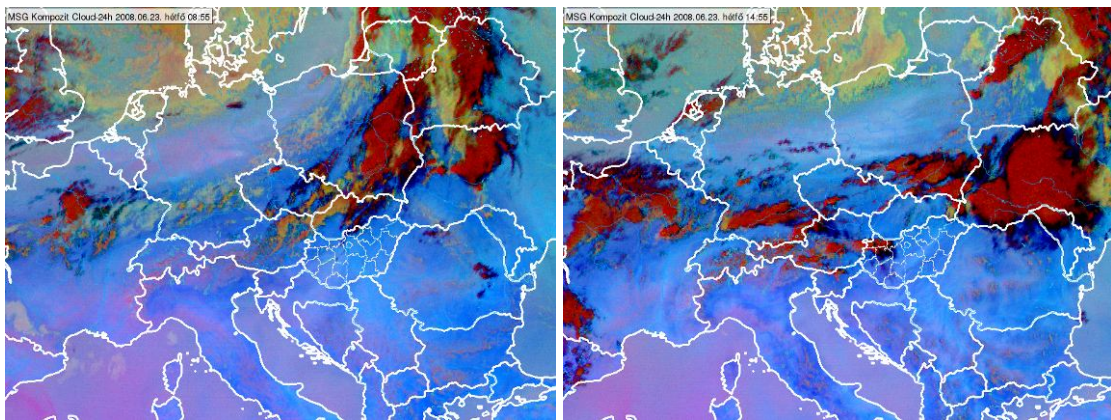
5.3.2. Hidegfront mögötti kiszáradás

Az első két hidegfrontnál is láhattuk, hogy kisebb mértékben kiszáradt a front mögött a levegő, ám ez a 2008. június 23-án Közép- és Nyugat-Európa északi részét elérő hidegfront (85. ábra) esetén sokkal látványosabbnak bizonyult. Itt sem volt teljesen zárt egyébként a felhőtakaró, sőt a nappali órákra nagy része fel is oszlott, ám a front vonulását heves zivatarok kísérték többek között Németország és Lengyelország déli, Ukrajna nyugati tájain, valamint Ausztriában

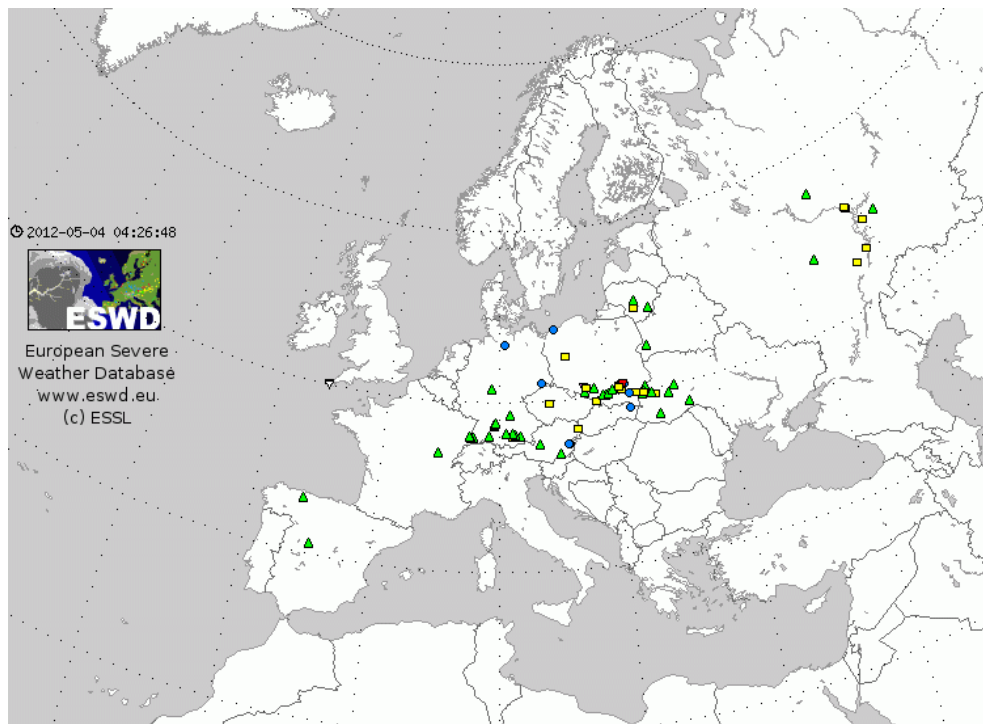


85. ábra. A Deutscher Wetterdienst frontanalízis-térképe, 2008.06.23. 12 UTC

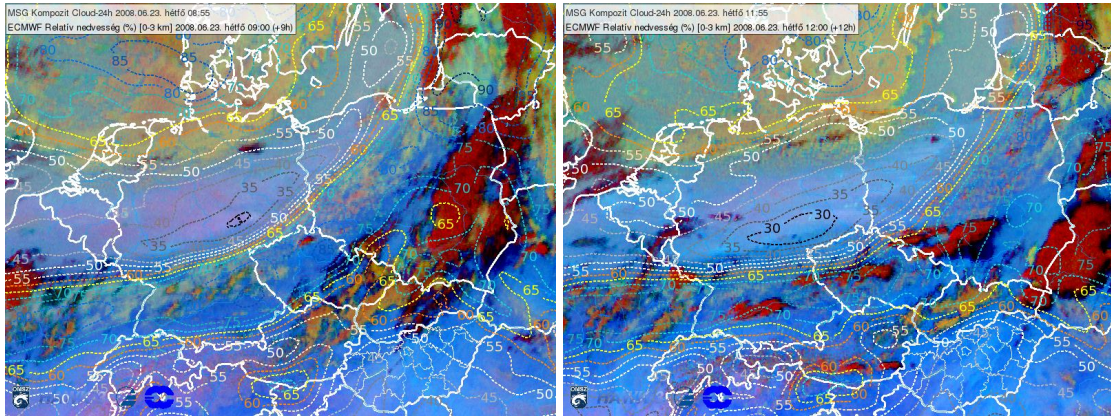
(86. ábra). Az említett térségből több mint 50 szélsőséges eseményre vonatkozó bejelentés érkezett az ESWD-hez, elsősorban nagyméretű jégről számoltak be, néhol 4-5 cm-es jégdarabok is hullottak (87. ábra). Ha megnézzük a relatív nedvesség előrejelzését, akkor talán 09 UTC-kor fedezhető fel a legélesebb választóvonal, de a különbség gyakorlatilag mindegyik időpontban 50% felettinek adódott a front vonala ($RH > 80\%$) és a front mögötti rész ($RH < 30\%$) között (88. ábra). Rendkívül markáns a specifikus nedvességbeli eltérés is, míg a front területén 10 g/kg-nál nagyobb értékek is előfordultak, addig mögötte, Németország és Lengyelország északi vidékei, illetve a Benelux államok felett helyenként mindössze 3-4 g vízgőzt tartalmazott a határreteg 1 kg levegője (89. ábra).



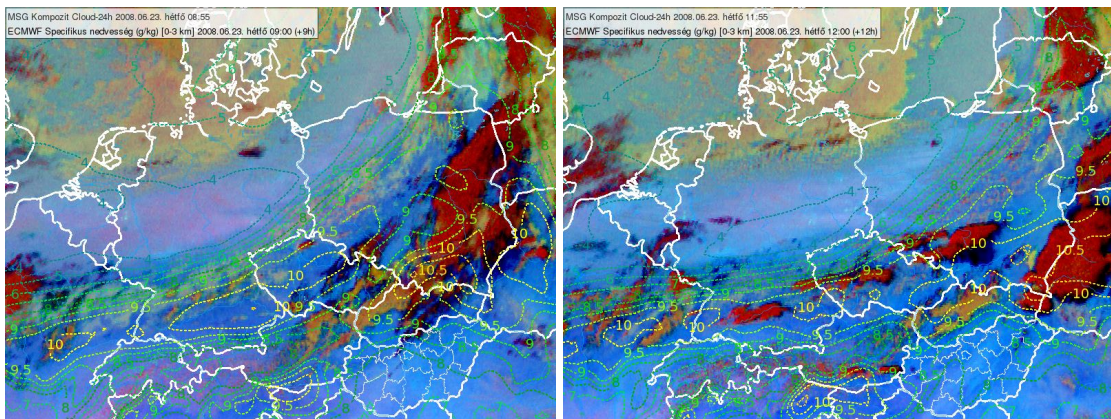
86. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2008.06.23. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



87. ábra. Az ESWD-hez érkezett bejelentések, 2008.06.23.
(zöld háromszög: nagyméretű jég, kék kör: felhőszakadás, sárga négyzet: viharos szél)



88. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es relatív nedvesség-előrejelzés (izovonalak), 2008.06.23. 09 UTC (balra) és 12 UTC (jobbra)



89. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, illetve az ECMWF 00 UTC-s 0-3 km-es specifikus nedvesség-előrejelzés (izovonalak), 2008.06.23. 09 UTC (balra) és 12 UTC (jobbra)

Az ebben a részben szereplő három példa inkább csak azt a célt szolgálta, hogy bemutassam a '24 órás felhőzeti kompozitkép' széles körben való alkalmazhatóságát, noha a frontok helyzetét általában kellő pontossággal meg tudjuk állapítani például az előrejelzések vagy az aktuális, földfelszíni megfigyelések szél, illetve harmatpont adatiból is. Ez a műholdas produktum viszont egy szemléletes megjelenítést tár elénk, hiszen a fronthoz mindig tartozik egy környezeténél nedvesebb levegőjű zóna, mely a műholdképben alkalmazott csatornákból fakadóan jól kivehető.

6. AJÁNLÁS MEGFOGALMAZÁSA

Ennek a fejezetnek a célja, hogy ismertessem a 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitkép tanulmányozása során szerzett tapasztalatokat. Ezt egyfajta ajánlásnak is lehet tekinteni, arra vonatkozóan, hogy miként érdemes használni ezen produktumot a nedves levegővel rendelkező határréteg azonosítására.

Előljáróban néhány fontos tudnivalót osztanék meg, melyek részben már említve lettek a dolgozatban. A műholdkép az éjszakai időszakban az esetek nagy részében nem szolgáltat érdemi információt, de viszonylag kis számban előfordultak olyanok, hogy ilyenkor is meg lehetett figyelni nedvességi határvonalat, amihez nem túl erős inverzióra van szükség. Továbbá fontos még azt is tudni, hogy leginkább májustól szeptemberig alkalmazható a módszer, amikor kellően magas a talajfelszín hőmérséklete. A fő időszak tehát a nyári nappaloké, és ekkor a leggyakoribbak a helyi hatások révén kialakuló ún. hőzivatarok is, de természetesen nem csak ilyen konvekció esetén figyelhetünk meg sötétebb vagy világosabb kék zónákat a műholdfelvételen.

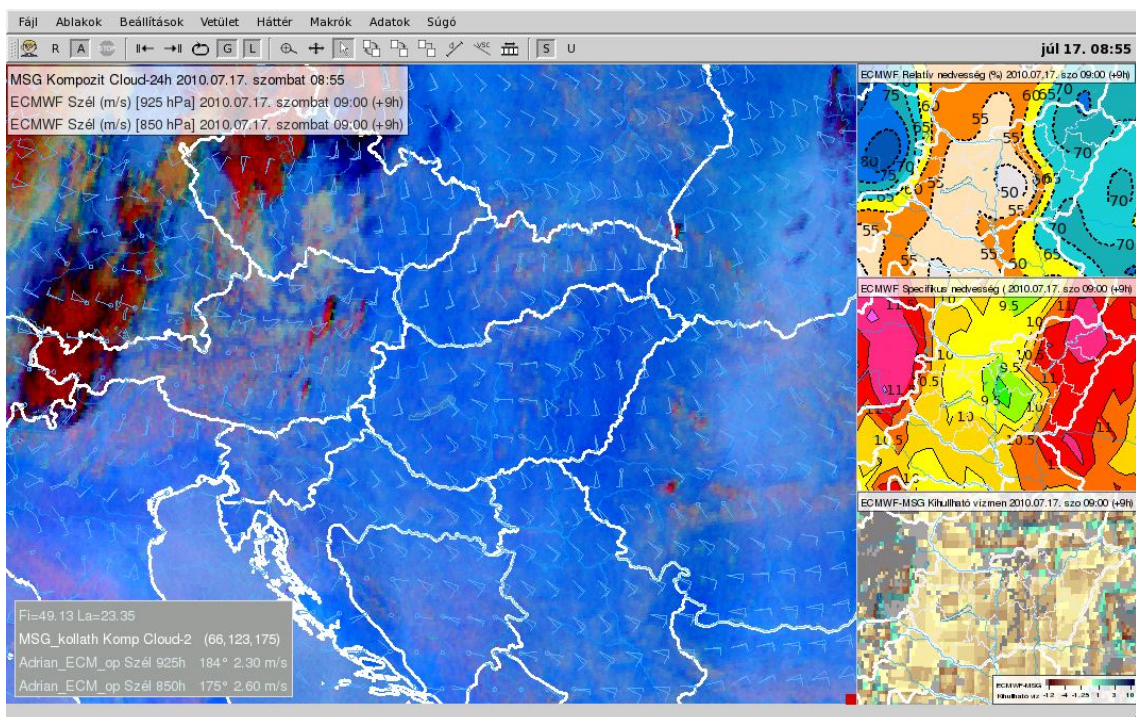
A produktum nagy előnye, hogy valós időben kaphatunk pontos képet a nedvesség eloszlásáról. Nem mindig különülnek el azonban élesen a magasabb nedvességtartalommal bíró zónák, ám ekkor érdemes megfigyelni a sötétebb színű területeken belüli finomszerkezeti eltéréseket is, melyek ugyancsak segítséget nyújthatnak. Ehhez nem szabad túlságosan kis térképkivágatot tekinteni, mivel a felbontás kisebb, mint például egy HRV kép esetén, de a Kárpát-medence tágabb környezetét magába foglaló HAWK-beli kivágat már megfelelő lehet. Mindenképp érdemes még a különféle térképelemekből csak kevesebbet használni, így többek között a megyehatárok megjelenítését kikapcsolni, mert a sok vonal esetlegesen elfedheti a különbségeket.

A nedvességi „foltok”, sávok, illetve választóvonalak ugyanakkor nem feltétlenül maradnak egy helyben, gyakorta változtatják helyzetüket, alakjukat, ezért hasznos lehet az előrejelzett 850 és 925 hPa-os szélzászlókat, akár azonos színnel is feltüntetni a műholdképen. Megjelenítésükre sötétebb kék árnyalat javasolt, hogy ne legyenek zavaróak, adott esetben többé-kevésbé beleolvadjanak a háttérbe, ezeket szemlélve viszont következtethetünk a várható áthelyeződésre.

Az eljárás nyilvánvalóan nem helyettesítheti teljes mértékben a modelladatok tanulmányozását, már csak a konvektív paraméterek miatt sem, hiszen ha más tényezők (például labilitás, örvényesség, divergencia) nem kedveznek a zivatarok kialakulásának,

akkor – mint ahogyan erre példát is láthattunk – hiába lenne elegendő nedvesség. Az előrejelzés és a műholdas mérés kihullható vízmennyisége közötti eltérést bemutató mező azonban rávilágíthat azokra a kritikus területekre, ahol felülbírálnak lehet a modell prognózisa, legalább a nedvesség vonatkozásában. Ez utóbbi képhez viszont amellet, hogy az ábrázolási módja további fejlesztést igényel, elengedhetetlen, hogy az NWC SAF BL produktuma operatíván hozzáférhető legyen.

A módszer könnyebb interpretációja érdekében készítettem egy négyablakos makró is a HAWK-ban, mely a szélmezőket tartalmazó műholdképből, egy relatív és egy specifikus nedvesség-előrejelzésből, illetve a kihullható víz különbségtérképéből áll (90. ábra).

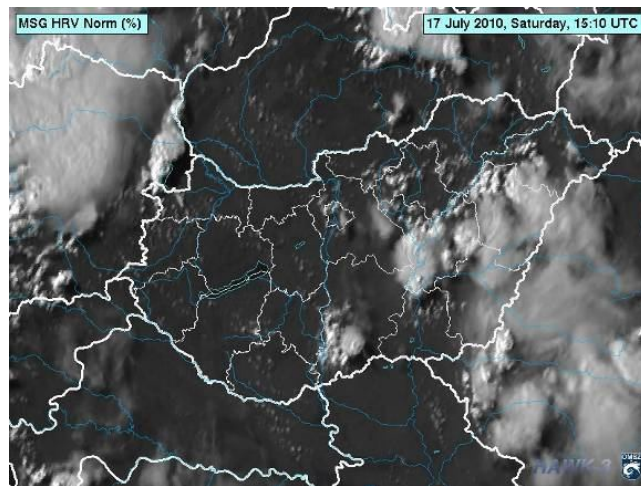


90. ábra. A módszer használatához ajánlott négyablakos, globális makró a HAWK-ban, 2010.07.17. 09 UTC

A fent bemutatott kép egy 2010. július 17-ei Kárpát-medence feletti esetet ábrázol. A késő délelőtt készült 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitképen ezúttal kevésbé látványosan, de viszonylag jól kivehető, hogy a Dunától keletre eső területek sötétebb kék színnel jelennek meg. Tehát nedvesebbek az alsó légrétegek, így ott elvileg nagyobb valószínűséggel pattanhatnak ki záporok, zivatarok, mint nyugaton. A keleties szélből azonban arra következtethetünk, hogy a középső országrészre akár jobban is átterjedhetnek a cellák, ám ezt a Duna vonalában a műholdfelvételen látható kisebb kiszáradás (világosabb szín) nem biztos, hogy támogatja. Az alsó 3 km-re vonatkozó relatív nedvesség-előrejelzési térképről ezt nagyjából jól leolvashatjuk, bár a középső

tájak felett észlelhető száraz „folt” elsőre kissé markánsnak tűnik. Ezt igazolja a specifikus nedvesség, mely nem mutat túl nagy különbséget országhatárainkon belül, illetve a kihullható vízbeli eltérés is, melynek barnás színei már viszonylag nagy modellhibára utalnak. Várakozásaink szerint tehát főként az Alföldön alakulhatnának ki zivatarok, az ehhez szükséges többi feltétel pedig ezúttal kedvező volt. Ez be is igazolódott, hiszen a Dunántúlon alig-alig voltak gomolyfelhők, keleten viszont igen magasra törtek (91. ábra), és a radarképek tanúsága szerint helyenként komolyabb csapadéktevékenység is kísérte a cellákat (92. ábra).

E szemléletes példa után mindent egybevetve tehát elmondható, hogy a műholdképpel részletesebben és hatékonyabban informálódhatunk ugyan a légkör alacsony szintjén lévő vízgőz mennyiségéről, de szükség van kiegészítő mezők vizsgálatára is.



91. ábra. Nagyfelbontású MSG műholdkép, 2010.07.17. 15:10 UTC



92. ábra. OMSZ kompozit radarkép, 2010.07.17. 15:15 UTC

7. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, ÖSSZEFOGLALÁS

A munkám elsődleges célja az volt, hogy az EUMETSAT alacsony szintű nedvességre vonatkozó műholdas produktumai közül a légtömegben belüli zivatarok előrejelzésére talán legjobban felhasználható 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitképet megvizsgáljam, és többek között az ECMWF különböző nedvességi előrejelzéseivel összevetve, rávilágítsak a módszer alkalmazhatóságára. A dolgozat készítése során azonban az is kiderült, hogy például az összefüggő felhőzet nélküli időjárási frontok pozíciójának meghatározása is elvégezhető a segítséggel.

Az egyes napok helyi idő szerint 8 és 11 órára vonatkozó térképes előrejelzéseim sokszor szinte teljes mértékben azonos lefutásúak voltak az izovonalak a műholdas produktumokon azonosítható látványos légtömeghatárokkal, azaz a modellek által előrejelzett relatív, illetve specifikus nedvesség-értékek egyaránt komoly gradiensekkel rendelkeztek ott, ahol a műholdképen egy éles száraz-nedves határfelület húzódott. Kevés olyan esetet találtunk, amikor egyértelmű javulást lehetett volna elérni a konvekcióra vonatkozó prognózisban, de mint megmutattuk, ilyenre is akad példa. Az ajánlásban bemutatott módon, a szélmezővel kombinált műholdképekkel azonban egzakt módon behatárolhatók a nedves levegőjű térségek. Segítségnyújtást a hibák feltárásához a kihullható vízmennyiség prognosztizált és távérzékelési eszközzel mért értékeinek összevetésére bevezetett térkép is, melynek révén számértékekkel is értékelhetőek az eltérések.

Az eredményeket látva ez után elmondható, hogy a 00 UTC-s futtatás +6, illetve +9 órára szóló előrejelzései, a várakozásainkkal némileg ellentétben, meglehetősen pontosak, tehát a műholdképek tanulmányozása nélkül is viszonylag jó prognózis készíthető. Már az elején is említettem viszont, hogy a legfrissebb modelladatok csak kora délelőtt válnak elérhetővé, amikor az aznapra szóló előrejelzések egy része már elkészült vagy éppen készülöben van. Az új futás sajátosságainak, esetleges pontatlanságainak megismerése nem egyik pillanatról a másikra történik, ami viszont elengedhetetlen ahhoz, hogy sikeresen jelezzük előre akár az aznapra, akár a következő napokra várható időjárást. Mivel többször is előfordult, hogy az előző nap 12 UTC-s futtatás nagyobb hibával terhelt, ezért ez növeli a módszer hasznosságát, mely így már kevésbé lehet megkérdőjelezhető.

Figyelembe kell venni a korlátokat is, azaz, hogy nagyrészt szabad szemmel végzett összehasonlításról van szó, így pedig első ránézésre nem minden alkalommal

vehető észre az eltérő karakterisztikák, és ez függ az egyéni tulajdonságoktól is. Szem előtt kell tartani továbbá, hogy a felhasználási lehetőségek meglehetősen korlátozottak. Ennek oka, hogy nemcsak hőmérsékleti inverzió esetén, hanem felhők jelenlétekor sem juthatunk információhoz ezzel a technikával, ami miatt jelentős mértékben csökken a szóba jöhető, optimális helyzetek száma.

A témát ezért mindenesetre további vizsgálatokra is érdemesnek ítélem, az pedig szinte biztosra vehető, hogy az esetek egy részében hasznosnak bizonyulhat a módszer a szinoptikusok számára, ha nem is a nagy mértékű javulás miatt, hanem például validációs szempontból. Ilyenkor ugyanis, ha kellő mértékű egyezést tapasztalunk, nagy biztonsággal elfogadhatjuk a modell alacsony szintű nedvességre és az ezzel szorosabban összefüggő más meteorológiai paraméterekre, például a labilitási viszonyokra vonatkozó előrejelzését.

A kapott eredmények rámutattak tehát arra, hogy a rövidtávú előrejelzések meglehetősen pontossá váltak az elmúlt években, így a műholdképek segítségével csak korlátozott számban tudunk javítani a prognózis sikerességén, de minden esetben nagy jelentősége lehet a zivatarokban rejlő veszélyek miatt.

IRODALOMJEGYZÉK

Kann, A., 2010: Application and verification of ECMWF products in Austria, *ZAMG, Vienna*, 9p.,

http://www.ecmwf.int/products/greenbook/2010/pdf/Austria_GB_2010.pdf

Kerkmann, J., 2010: Tri-spectral Window RGB Applications with MSG SEVIRI (24-h Microphysics RGB), *EUMETSAT Training Presentation*,

<http://www.rtc.dmi.gov.tr/FILES/KURS/334/DOCS/JochenKerkman2.pdf>

Kerkmann, J. and *Rosenfeld, D.*, 2005: Monitoring airmass/moisture boundaries with MSG, *EUMETSAT Case Studies*,

http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/iotm/iotm/20051004_dust/20051004_dust.html

Kerkmann, J., *Rosenfeld, D.*, *Roesli, HP.* and *König, M.*, 2005: Applications of Meteosat Second Generation (MSG), RGB images: part 03, Channel selection and enhancements, *MSG Channels Interpretation Guide Presentation*,

http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/PowerPoints/Channels/rgbpa_rt03_20050203.ppt

Kerkmann, J., *Rosenfeld, D.* and *Bridge, G.*, 2005: Applications of Meteosat Second Generation (MSG), RGB images: part 04, RGB composites with channels 01-11 and their interpretation, *MSG Channels Interpretation Guide Presentation*,

http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/PowerPoints/Channels/rgbpa_rt04_20050420.ppt

Kerkmann, J., *Lutz, H. J.*, *König, M.*, *Prieto, J.*, *Pylkko, P.*, *Roesli, H. P.*, *Rosenfeld, D.*, *Zwatz-Meise, V.*, *Schmetz, J.*, *Schipper, J.*, *Georgiev, C.* and *Santurette, P.*, 2006: MSG Channels, Interpretation Guide, Weather, Surface Conditions and Atmospheric Constituents, *EUMETSAT*,

http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html

Kerkmann, J., *Bridge, G.*, *Rosenfeld, D.*, *Lensky, I.*, *Prieto, J.*, *Roesli, HP.* and *Lindsey, D.*, 2010: Understanding convective clouds through the eyes of Meteosat second generation (MSG), *EUMETSAT Training Presentation*

Köpken, C., Kelly, G. and Thépaut J-N., 2004: Assimilation of Meteosat radiance data within the 4D-Var system at ECMWF: Assimilation experiments and forecast impact, Q. J. R. Meteorol. Soc., 130, pp. 2277-2292.

Martínez, M. A., Romero, R., Li, J., Manso, M. and Fernández, P., 2011: Product User Manual for “SEVIRI Physical Retrieval Product” (SPhR-PGE13 v1.1), AEMET, SAF/NWC/CDOP/INM/SCI/PUM/13, Issue 1, Rev 1, 32p.,

http://www.nwcsaf.org/scidocs/Documentation/SAF-NWC-CDOP-INM-SCI-PUM-13_v1.1.pdf

Norquist, D. C., 1995: Systematic humidity errors in numerical weather prediction models, PL-TR-95-2017 Environmental Research Papers, No. 1165, 32p.,

<http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA298123>

Putsay, M. és Kocsis, Zs., 2009: Az EUMETSAT által műholdadatokból származtatott légköri és felszíni paraméterek, OMSZ, Budapest, 63p.,

http://owww.met.hu/doc/EUMETSAT_produkum_ismerteto.pdf

Schipper, J. and Nietosvaara, V., 2009: Operational use of RGBs, EUMETSAT Training Module,

http://www.eumetrain.org/resources/operational_use_rgb.html

White, P. W., 2003: IFS documentation part II: Data assimilation (CY25r1), ECMWF Research Department, 160p.,

http://www.ecmwf.int/research/ifsdocs/CY25r1/pdf_files/Assimilation.pdf

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom témavezetőimnek, Kolláth Kornélnak a munkám során nyújtott rengeteg segítségért, illetve dr. Putsay Máriának a hasznos tanácsokért és az NWC SAF TPW, valamint BL produktumainak előállításáért.

Köszönöm belső konzulensemnek, dr. Pongrácz Ritának, hogy segítségemre volt a dolgozat megfelelő formájának kialakításában.

Köszönetem fejezem ki Szenyán Ildikónak, aki programokat adott a kompozitképek előállítására, valamint lehetővé tette számomra a megvizsgált RGB kompozitkép piros és zöld színösszetevőjének tanulmányozását.

Köszönetet mondok Ihász Istvánnak, az ECMWF adatasszimilációs folyamatának megismerésében nyújtott iránymutatásáért.

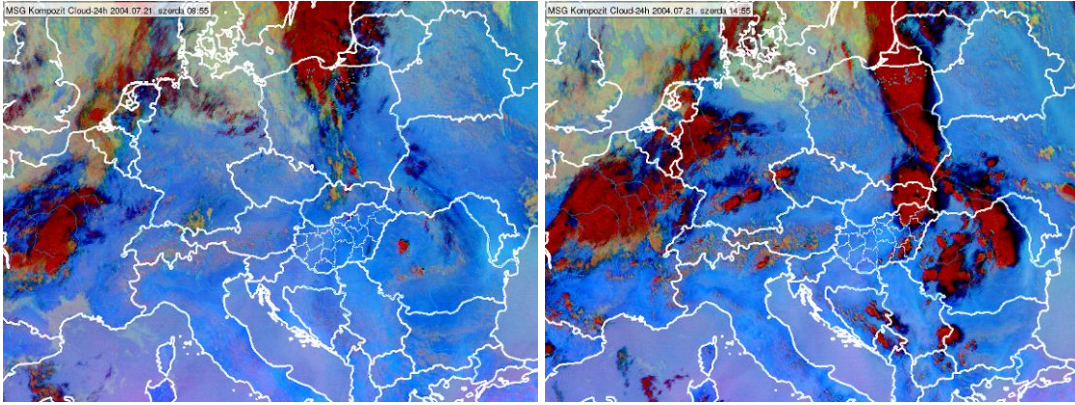
Köszönöm családomnak, barátaimnak, hogy mellettem álltak, mert nélkülük nem jöhetett volna létre ez a diplomamunka.

FÜGGELÉK

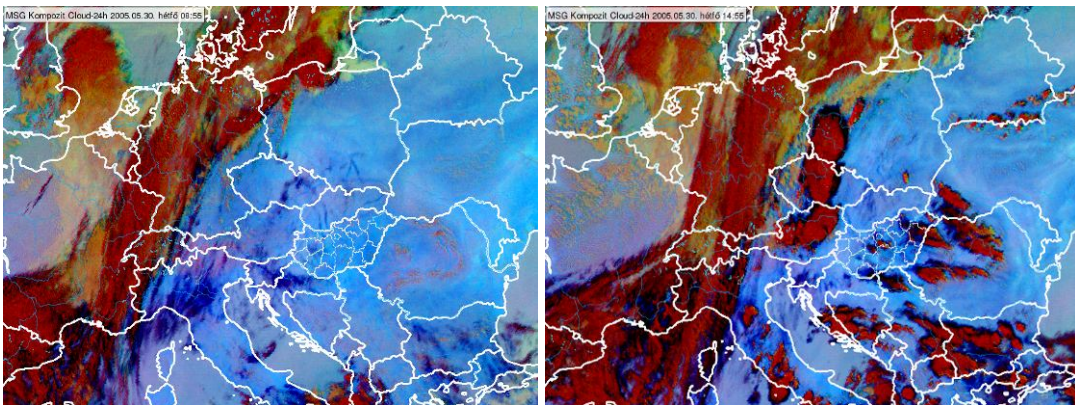
Az itt felsorakoztatott képek olyan zivataros esetekre mutatnak példát, melyek területi korlátok miatt ugyan nem kerültek bele a dolgozat fő részébe, így részletes magyarázatuktól is eltekintünk, de rendkívül látványos nedves zónák, illetve határvonalak figyelhetők meg rajtuk. A dátumok időrendben, egyéb csoportosítás nélkül követik egymást. Minden alkalomról két 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozitkép szerepel: a 09 UTC-s általában a zivatarok kialakulása előtti állapotot tükrözi, míg a 15 UTC-s képen már nagy számban vannak jelen konvektív cellák.

A bemutatott időpontok a következők:

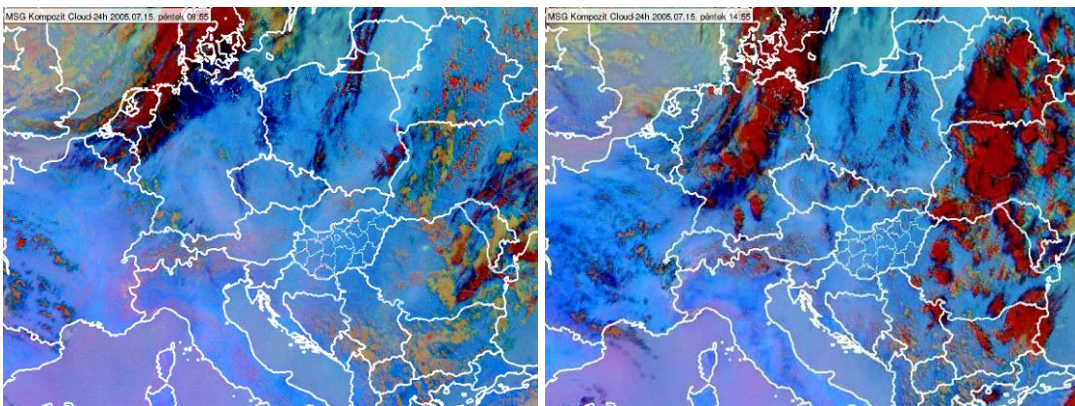
- 2004. július 21.
- 2005. május 30.
- 2005. július 15.
- 2005. július 30.
- 2006. július 27.
- 2007. május 22.
- 2007. június 7.
- 2009. június 11.
- 2009. június 20.
- 2009. június 29.
- 2009. június 30.
- 2009. július 1.
- 2010. július 14.
- 2010. július 17.
- 2010. július 18.
- 2010. július 22.
- 2010. július 24.
- 2010. augusztus 5.
- 2010. augusztus 15.



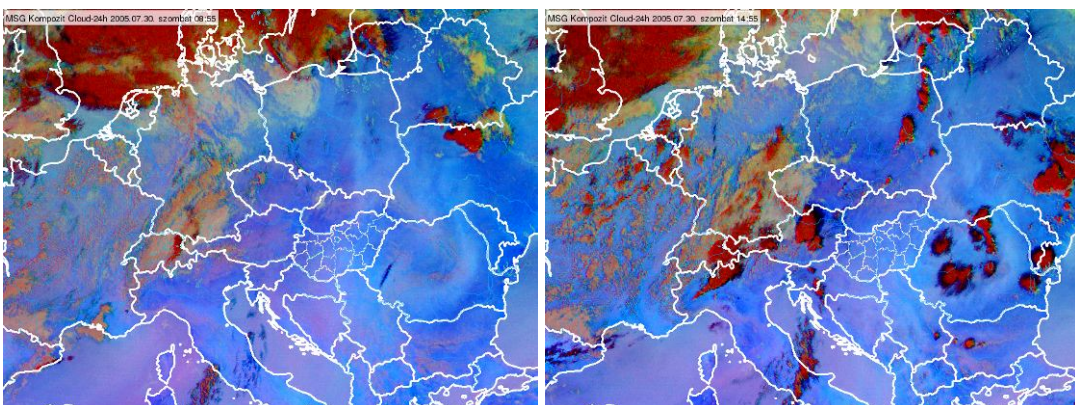
F1. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2004.07.21. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



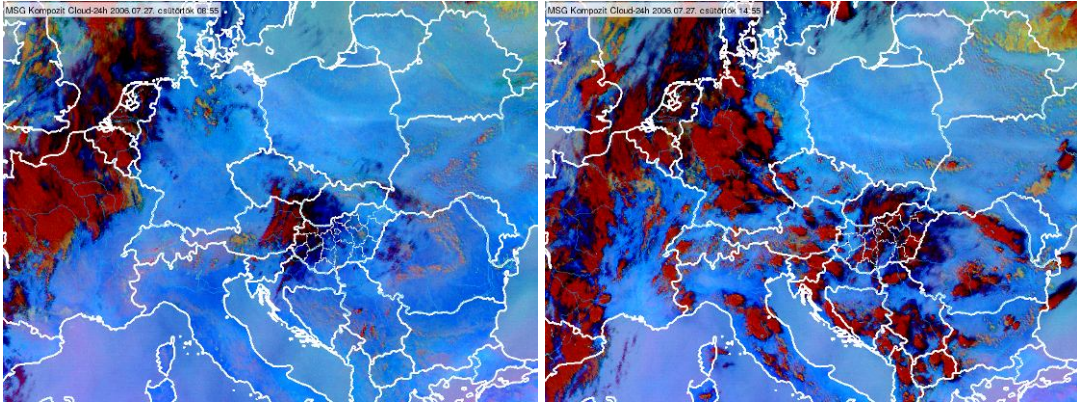
F2. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2005.05.30. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



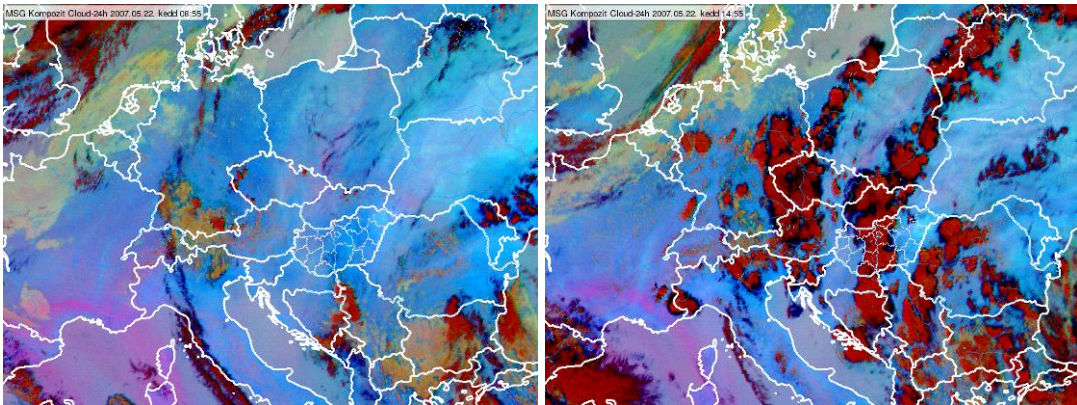
F3. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2005.07.15. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



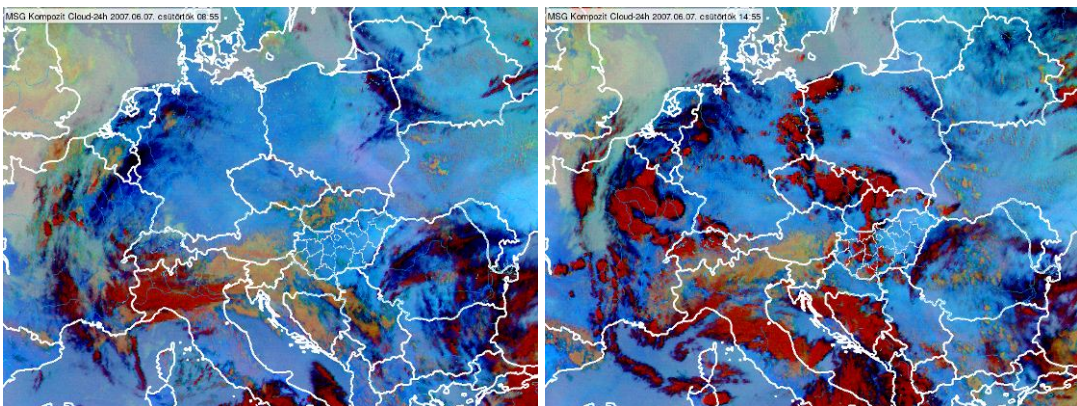
F4. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2005.07.30. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



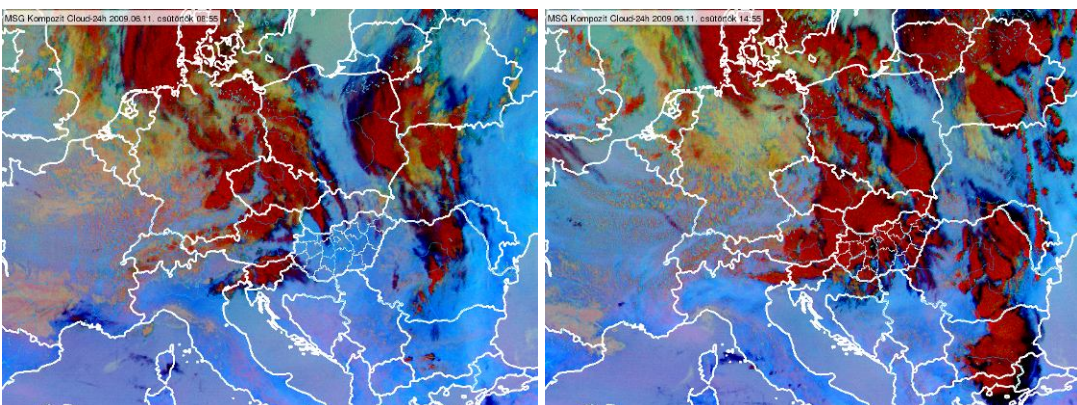
F5. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2006.07.27. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



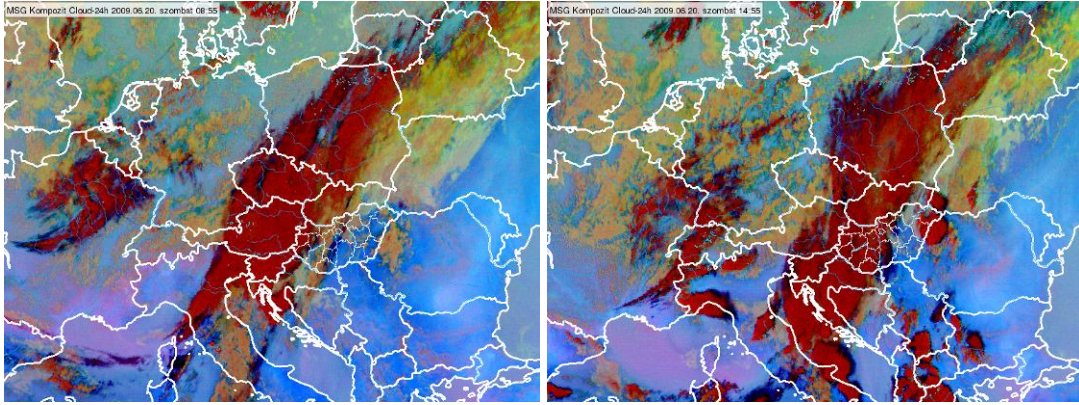
F6. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2007.05.22. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



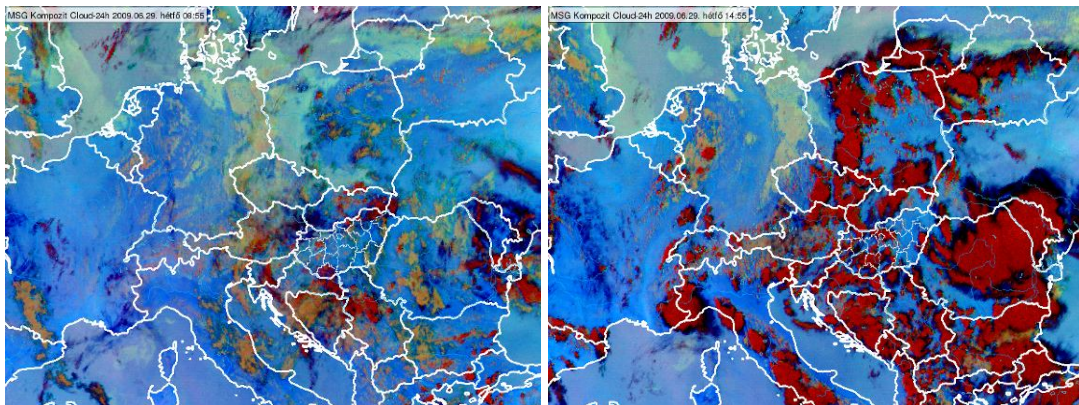
F7. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2007.06.07. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



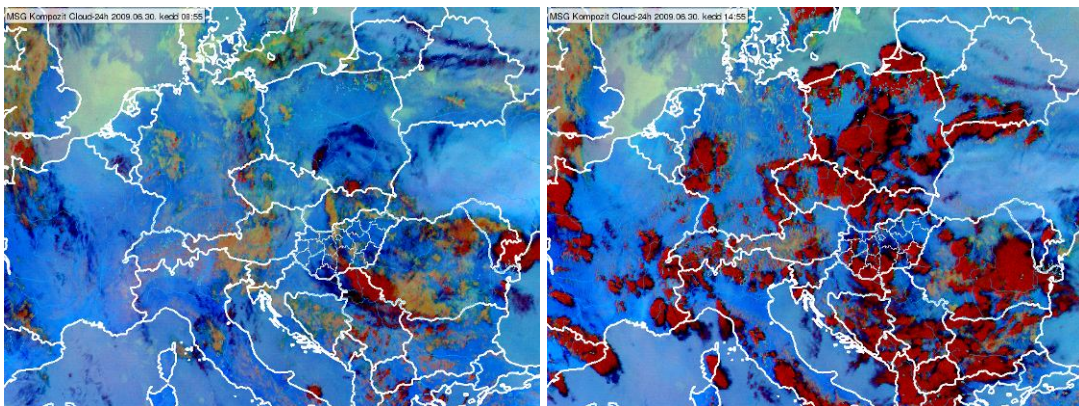
F8. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2009.06.11. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



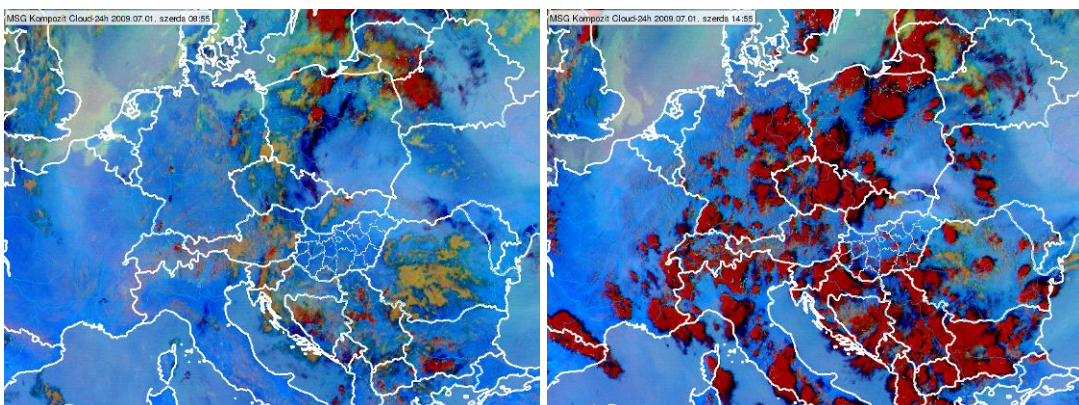
F9. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2009.06.20. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



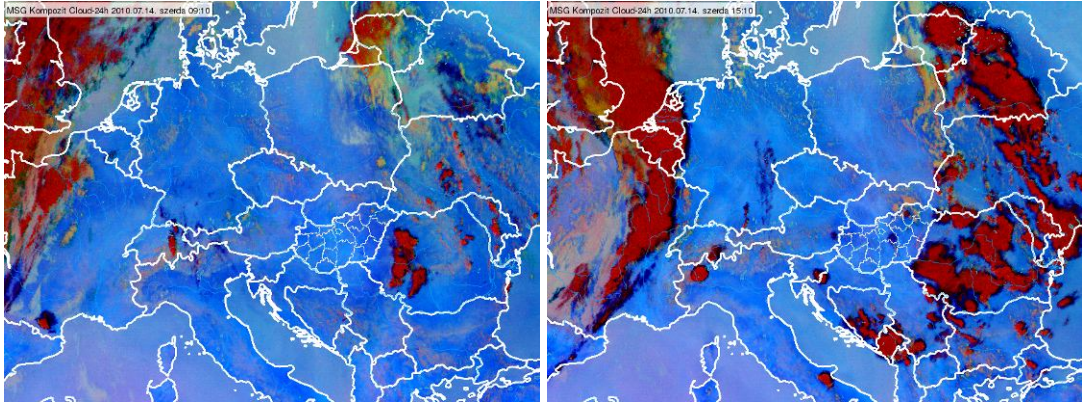
F10. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2009.06.29. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



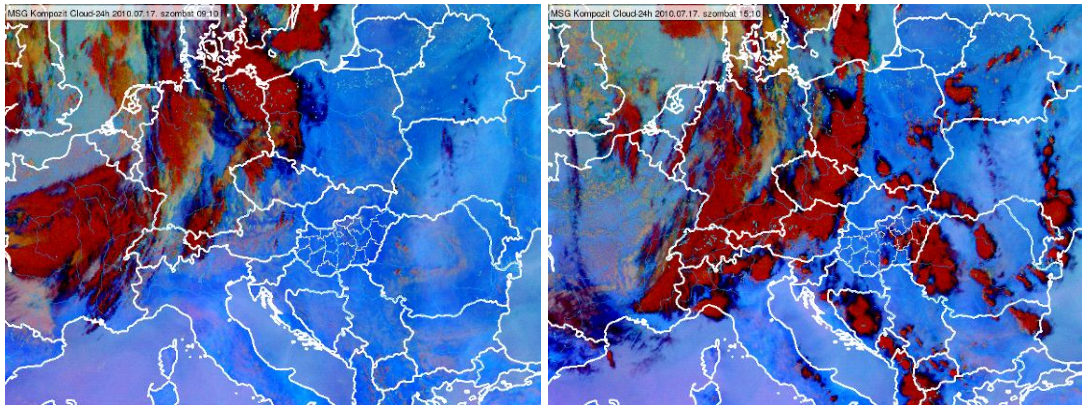
F11. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2009.06.30. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



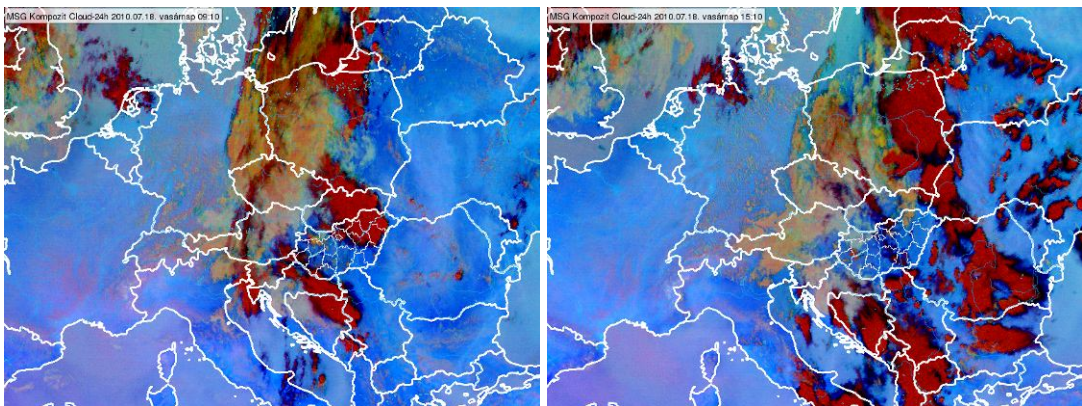
F12. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2009.07.01. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



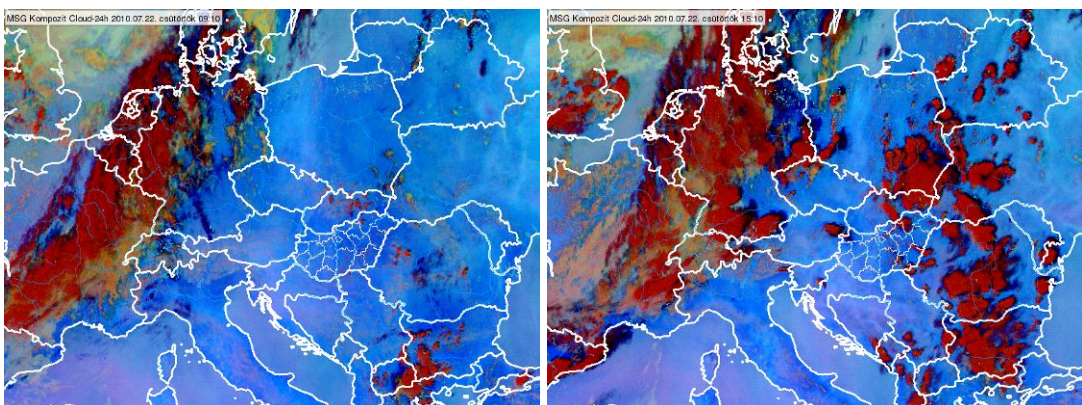
F13. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.07.14. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



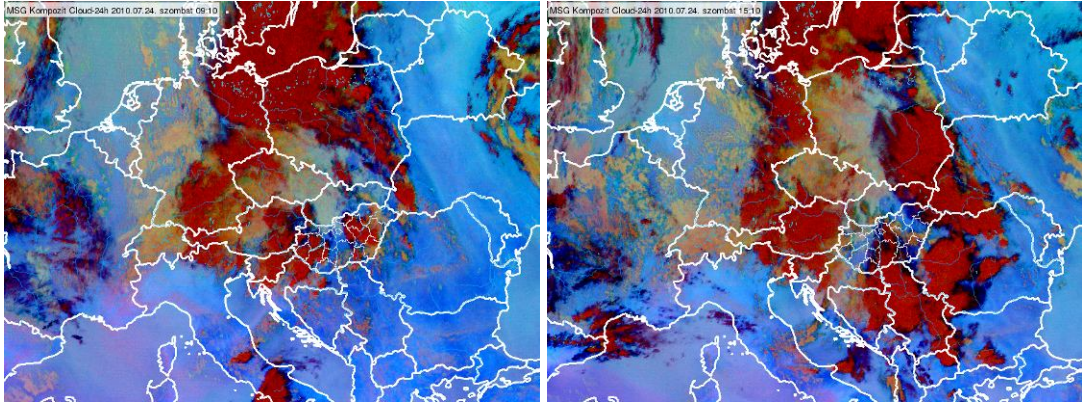
F14. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.07.17. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



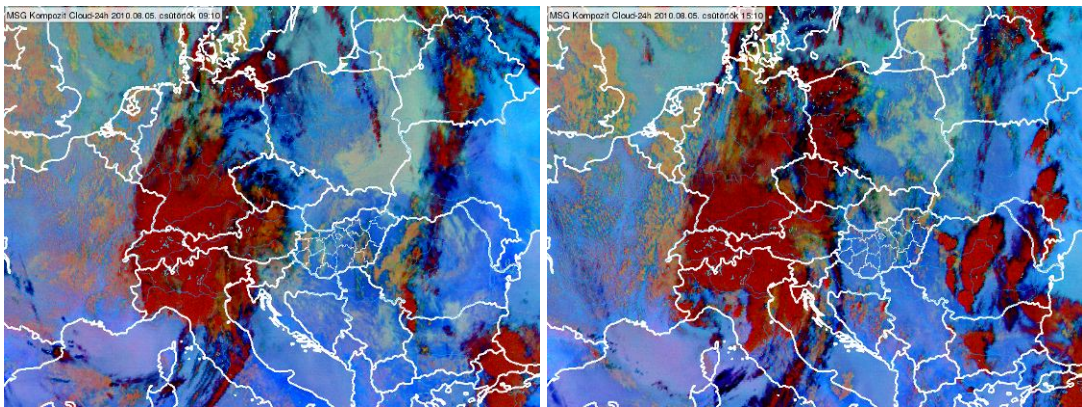
F15. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.07.18. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



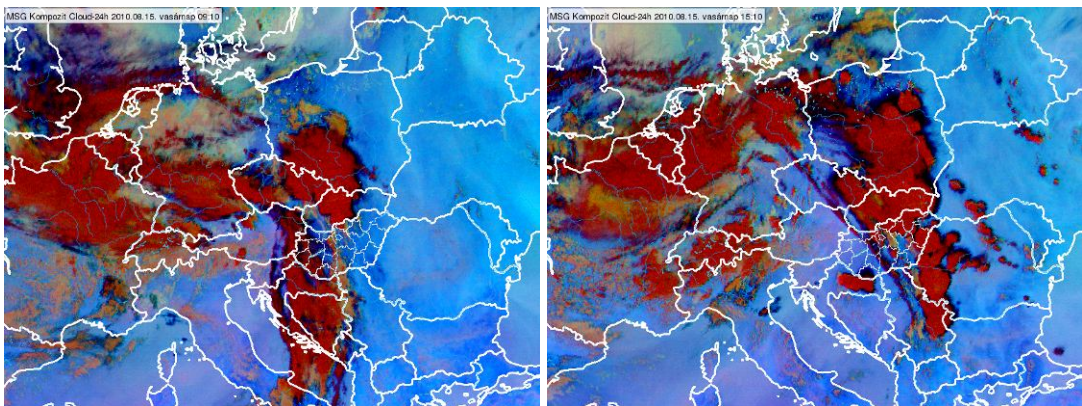
F16. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.07.22. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



F17. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.07.24. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



F18. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.08.05. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)



F19. ábra. 24 órás felhőzeti mikrofizikai RGB kompozit, 2010.08.15. 09 UTC (balra) és 15 UTC (jobbra)