

Eötvös Loránd Tudományegyetem,
Természettudományi Kar,
Meteorológiai Tanszék

Műhold- és radaradatokból származtatott áramlási mezők és cella-mozgásvektorok összehasonlító vizsgálata

Diplomamunka



Készítette:

BOGNÁR ILONA ZELMA

V. éves meteorológus

Témavezető:

Dr. Dombai Ferenc

Országos Meteorológiai Szolgálat

Tanszéki konzulens:

Dr. Weidinger Tamás

ELTE Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2010.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS.....	3
1. MŰHOLDAS ÉS RADAROS TÁVÉRZÉKELÉS.....	5
1.1 MŰHOLDAS MEGFIGYELÉSEK	5
1.2 RADAROS MÉRÉSEK	9
2. ZIVATAROK ÉS JELLEMZŐIK.....	11
2.1. A ZIVATAROK MEGFIGYELÉSE MŰHOLDDAL ÉS RADARRAL.....	12
<i>a. Zivatarfelhők megfigyelése IR és WV műholdképeken.....</i>	<i>12</i>
<i>b. A zivatarok megjelenése a radarképeken.....</i>	<i>13</i>
3. ZIVATARCELLA AZONOSÍTÁS ÉS KÖVETÉS	15
4. AZ ADATBÁZIS	19
4.1. LÉGKÖRI MOZGÁSVEKTOROK	19
4.2. RADAROS ÁTHELYEZŐDÉSI VEKTOROK	23
5. VIZSGÁLATI MÓDSZER.....	26
6. ESETTANULMÁNYOK.....	29
6.1. 2009. JÚNIUS 7.	29
6.2. 2009. JÚNIUS 16.	33
6.3. 2007. SZEPTEMBER 18.	36
7. EREDMÉNYEK.....	38
8. ÖSSZEFOGLALÁS	48
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	50
FELHASZNÁLT IRODALOM	51

Bevezetés

A zivatarrendszerek Földünk egyik legcsodálatosabb, de akár nagy károkat is okozó időjárási jelenségei. Ezekben a rendszerekben nagy energiák halmozódnak fel a légköri instabilitások, illetve a töltésszétválasztódási folyamatok miatt. Ez az energia heves szélrohamokban, intenzív csapadékhullásban, sokszor jégeső és villámkisülések formájában szabadul fel általában kisebb térségeket érintően, de komoly károkat okozva. A zivatarok viselkedése bonyolult fizikai folyamatok eredménye. Nehézséget jelent ezeknek a mezo- α skálájú, gyorsan fejlődő rendszereknek a detektálása, fejlődésük és pályájuk előrejelzése, a csapadékintenzitás, illetve a villámerősség megadása. E folyamatok felismerése és előrejelzése az alapja a kistérségekre, később esetleg egy-egy településre kiadható veszélyjelzésnek, illetve riasztásnak. E témakör fontosságát mi sem bizonyítja jobban, mint idén (2010) május közepén hazánkban kialakult veszélyes időjárási helyzet.

A műholdas és a radaros távérzékelés fejlődésével egyre közelebb kerülünk a zivatarrendszerek megismeréséhez. A zivatarok, zivatarcellák mozgásának, fejlődésének műholdas és radaros méréseken alapuló előrejelzésével kezdődött a Nowcasting előrejelzések módszertana (*Browning és Collier, 1982*). A mai fejlett Nowcasting-módszerek szerves részét képezik a 0–3 órás tartományban a radar- és műholdas méréseken alapuló extrapolációs előrejelzési eljárások (SCIT¹, AutoNowcaster; *Keenan et al. 2003*), amelyek legfontosabb inputja a megfigyelt zivatar, a csapadékrendszerek mozgása és az egyes zivatarcellák nyomon követése. A hazai meteorológiai gyakorlatban alkalmazott MEANDER² rendszernek is fontos elemei a radar és műholdas mérések (*Horváth, 2002*).

A légköri mozgások meghatározására alapvetően a felszíni szinoptikus mérőhálózat és a rádiószondás mérések adatait alkalmazzák. Ezek térbeli sűrűsége és időbeli gyakorisága elmarad a kívánalmaktól. A radaradatokból származtatott mozgásvektorokat csak akkor lehet kiszámolni, amikor a jól strukturált csapadékrendszerek, zivatarcellák már kialakultak. A műholdas áramlási vektorok viszont már korábban rendelkezésre állnak, amikor a cella még csak kialakulóban van, hiszen a műholdas távérzékelés lehetőséget ad arra, hogy a fejlődés kezdeti stádiumában is megfigyeljük a felhőzet mozgását.

¹ Storm Cell Identification and Tracking Algorithm – Zivatarcella Azonosítási és Követési Algoritmus

² Mesoscale Analysis Nowcasting and Decision Routines – Mezoskálájú Nowcasting Analízis és Döntéshozó Eljárás

Diplomamunkám témája a radar és műholdas távérzékelési rendszerekből származtatott mozgásvektorok összehasonlítása, azzal a céllal, hogy megítélhessük alkalmazhatóságukat az ultrarövidtávú előrejelzésekben és egy kifejlesztendő hazai, korai riasztórendszerben.

Az első fejezetben a műholdas és a radaros távérzékelést részletezem. Ezek után, röviden ismertetem a zivatarokat, majd a harmadik fejezetben a zivatardetektálási módszereket tekintem át, ezek után bemutatom az általam felhasznált adatbázisokat. Az ötödik fejezetben ismertetem az alkalmazott módszereket. Az Esettanulmányok című, hatodik fejezetben az általam vizsgált három nap szinoptikus helyzetét mutatom be. Végül ismertetem a kapott eredményeket, a radaros és műholdas módszerekkel meghatározott mozgásvektorok együttes vizsgálatát. A dolgozatot összefoglalás és részletes irodalomjegyzék zárja.

1. Műholdas és radaros távérzékelés

A távérzékelési rendszerek lényege, hogy közvetett módon, távolról figyelhetjük meg az időjárási folyamatokat. Amikor a műholdak és a radarok megjelentek a meteorológia szolgálatában, fokozatosan egyre több, új típusú információt tudtunk meg a légkörről (pl. felülről, oldalról és „belülről” is láthatjuk a felhőzetet). Ezek az információk beépültek a mindennapi meteorológiai gyakorlatba a modell inicializációtól a szinoptikus meteorológián át a veszélyjelzésig, és különböző riasztások kiadásáig. Folyamatosan zajlik a műholdak és a radarok fejlesztése; egyre jobb és jobb mechanikai és technikai eszközök kapnak helyet a távérzékelési eszközökön, egyre több és több információt nyerve általuk.

1.1 Műholdas megfigyelések

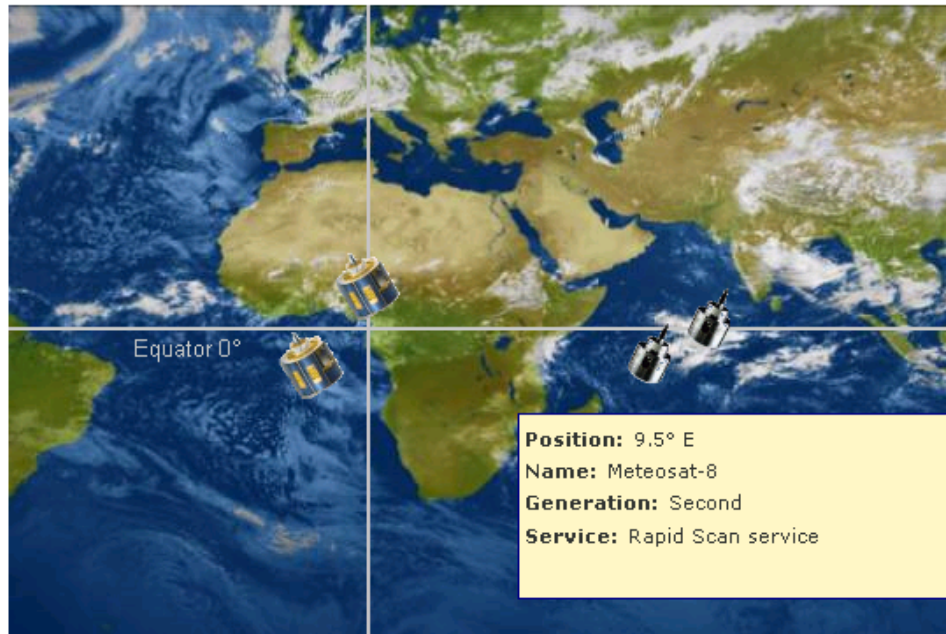
Magyarországon az 1970-es évek óta foglalkoznak meteorológiai műhold-megfigyelésekkel. Hazánk 1999 óta társult tagja, 2009. január 1-jétől pedig teljes jogú tagja az EUMETSAT³-nak. Ez a szervezet a műholdak európai rendszerét tartja fenn. Célja, hogy a tagok számára és azok együttműködésével az időjárás megfigyelését és előrejelzését támogassa, ezen kívül figyelje a környezetet és az éghajlatot.

1977-ben állították pályára az EUMETSAT első geostacionárius műholdját, a Meteosat-1-et. Technikai fejlesztések során újabb műholdakat lőttek fel, melyek sokszor párhuzamosan működtek együtt. 2002-ben állították pályára a második generációs Meteosat műholdcsalád első tagját, az MSG⁴-1-et (**1. ábra**). Ez a műhold jelenleg is operatíván működik, még 2011-ig, de mellette használatban van a legújabb MSG-2-es műhold (**2. ábra**), és az első generációból származó Meteosat-6 és Meteosat-7. A geostacionárius műholdak előnye, hogy mindig a Föld ugyanazon területe felett helyezkednek el, így folyamatos képet kapunk az időjárásról. Hátránya viszont, hogy nagyon távol kering a Földtől (36 000 km távolságban), így annak térbeli felbontása nem olyan jó, mint a kvázipoláris napszinkron műholdaké.

³ European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites – Meteorológiai Műholdak
Hasznosításának Európai Szervezete

⁴ Meteosat Second Generation

Az MSG műholdak fő műszere a SEVERI⁵, mely kétféle területi felbontásban (3 és 1 km), illetve 12 spektrális csatornában érzékel. Az MSG műholdak 15 perc alatt tapogatják le a félgömböt (korábban ez 30 perc volt).



1. ábra: MSG-1, azaz Meteosat-8-as műhold helyzete, (Forrás: www.eumetsat.int).



2. ábra: Az MSG-2, azaz a Meteosat-9-es műhold által „látott” terület, (Forrás: *Schmetz et al., 2002*).

⁵ Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager – Látható és Infravörös Leképező Berendezés

Az EUMETSAT 2006. október 19-én lőtte fel az első kvázipoláris műholdját, a MetOp-A-t. Ez a műhold nagy lépést jelentett az európai megfigyelések tekintetében. Jobb a műszerezettsége, mint bármelyik korábbi kvázipoláris műholdnak. Számos olyan műszer kapott helyet, amely képes mérni a hőmérséklet, nedvesség és a légköri nyomanyagok (pl. O₃, CO₂) vertikális profilját. A kvázipoláris műholdak „mindig körbepülnek” a Földet egy bizonyos pályán, így nagyobb területről kapunk képet, mint a geostacionárius műholdak esetében. Térbeli felbontásuk is nagyobb, hiszen alacsonyabban keringenek.

A közeljövőben az EUMETSAT azt tervezi, hogy még jobban kiszélesíti a műholdas mérések skáláját azáltal, hogy még további két második generációs, és két kvázipoláris műholdat lőnek fel. Ezen kívül folyik a harmadik generációs műholdak építése. Különös hangsúlyt fektetnek a veszélyes időjárási helyzetek megfigyelésére.

A műholdak különböző elnyelési sávokban mérnek. A látható tartományban készült képek alapján a felhők magasságára következtethetünk; minél fehérebb a felhő, annál magasabban van. Az infravörös tartomány segítségével olyan képeket nyerhetünk, melyekből a felhő hőmérsékletét állapíthatjuk meg; itt a fehér szín a leghidegebb tartományokra utal, és minél szürkébb színű a felhő, annál melegebb is. Ha pedig a vízgőz mennyiségére vagyunk kíváncsiak, a vízgőz elnyelési sávjában készült műholdképet kell tanulmányoznunk, ahol a fehér a legnedvesebb területeket jelöli, és minél szürkébb színű a képpont (pixel), annál kevesebb a vízgőztartalma.

Ezeket túlmenően további csatornákon keresztül is tudnak mérni a műholdak. A különböző csatornák kombinálásával pedig kiemelhetünk egyes időjárási képződményeket. Például a zivatarfelhők nappali azonosítására és vizsgálatára használják a Meteosat-8 műhoddal készült RGB kép VIS⁶0.6, NIR⁷1.6, IR⁸10.8i kombinációját, ahol a konvekció már a legkorábbi stádiumában fehéres, majd rózsaszínes színben jelenik meg. A fejlődés előrehaladtával egyre több rózsaszínt kap; a jég magenta színű pontokként jelenik meg, és egyre sötétebb lilát kap, ahogy a jégzemek nőnek (**3. ábra**) (*Osztrák Meteorológiai Szolgálat internetes oktatási segédanyaga*).

Az EUMETSAT feladatai közé tartozik a műholdas adatokból származtatott különféle produktumok előállításának. Ennek a feladatnak a megvalósítására több munkacsoportot szerveztek, amelyek különböző témára szakosodtak. Az egyik ilyen a Nowcasting

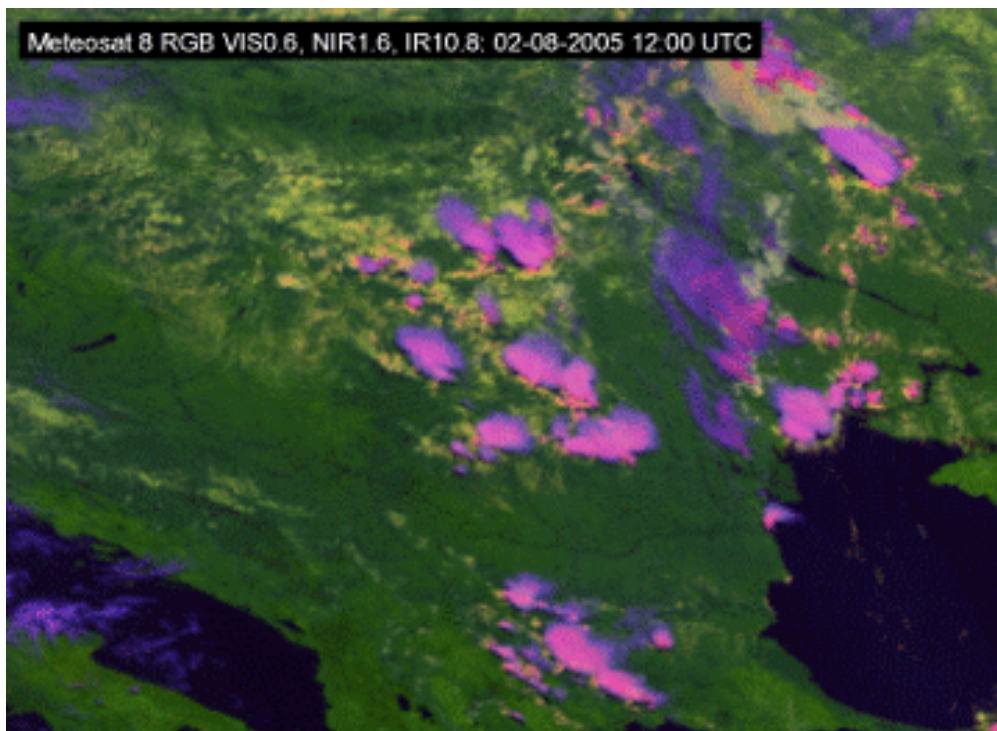
⁶ Visible – Látható

⁷ Near Infrared – Közeli Infravörös

⁸ Infrared – Infravörös

Munkacsoport (NWC SAF⁹). Olyan produktumokat állítanak elő, amelyek az időjárás analíziséhez és az ultrarövidtávú előrejelzéséhez nyújtanak segítséget. Az OMSZ¹⁰ aktív tagja ennek a munkacsoportnak. Diplomamunkám során a következő két produktumot használtam fel:

- Automatikus Műholdkép Interpretáció (ASII¹¹). Ebből készítik el opcionális produktumként a légköri elmozdulásvektorokat (AMV¹²) az IR10.8 és a WV¹³6.2 kép alapján,
- nagyfelbontású, látható sávból származtatott szélvektorok (HRW¹⁴).



3. ábra: VIS0.6, NIR1.6, IR10.8i csatornák kombinálásával készült műholdkép a konvekció megfigyelésére, 2005. 08. 02. 12:00 UTC, (Forrás: www.zamg.ac.at).

A műholdas szélvektorokat a felhőelemek elmozdulásából származtatják, és nyomási szintet is rendelnek hozzájuk (*Putsay et al., 2009; Diószeghy et al., 2005*). Az előbb említett két produktumot részletesen kifejtem a 4. fejezetben.

⁹ Nowcasting Satellite Application Facility

¹⁰ Országos Meteorológiai Szolgálat

¹¹ Automatic Satellite Image Interpretation

¹² Atmospheric Motion Vector

¹³ Water Vapour – Vízgőz

¹⁴ High Resolution Wind

1.2 Radaros mérések

A meteorológiában az időjárási radarok operatív alkalmazása több mint hat évtizedre tekint vissza. Az 1980-as években kezdődtek a rendszeres, hálózatszerű radarmérések Magyarországon. Az 1990-es évek óta az OMSZ automatizált radarokat alkalmaz az időjárás megfigyelésére. Az ország három különböző pontján helyeztek el radarokat: Szentgotthárd-Farkasfa, Nyíregyháza-Napkor és Budapest. Ma már Doppler-elvű, duál-polarizációs radarok működnek az OMSZ hálózatában. *(Megjegyezném, hogy Szentgotthárd-Farkasfa állomás helyett a Doppler-radar már Pogányváron, a Sármelléki repülőtér közelében üzemel).* Ezek a korszerű radarok már nem csak a csapadékintenzitásról adnak képet, hanem az időjárási rendszerekhez kapcsolódó, sugárirányú (radiális) áramlás összetevőjéről is, valamint a felhő és csapadék rendszereket alkotó részecskék által módosított polarizációs jellemezőkről (Nagy et al., 2002).

A meteorológiai radarok vizsgálatának középpontjában a felhő- és csapadékelemek állnak. A meteorológiai célok tulajdonságait kifejező paraméterek, illetve a technikai, műszaki jellemzők közötti összefüggést fejezi ki a radaregyenlet, amelynek legegyszerűbb felírási módja:

$$\bar{P}_{vett} = C \frac{Z}{R^2}, \quad \text{ahol} \quad Z = \frac{1}{C} \frac{\bar{P}_{vett}}{R^2}.$$

A tagok jelentése:

\bar{P}_{vett} - az antennára beeső sugárzás átlagos teljesítménye,

Z - a részecskék méret szerinti eloszlásából származtatható geometriai paraméter,

R - a meteorológiai cél távolsága.

A C radarállandó, a radar meteorológiai potenciálja, azaz

$$C = \frac{P_I c \tau G_M^2 \Theta^2 \pi^3}{4^5 2 \ln 2 \lambda^2} 0,93,$$

ahol

P_I - a kibocsátott impulzus teljesítménye,

c - az elektromágneses sugárzás sebessége, azaz a fénysebesség,

τ - a kibocsátott impulzus időtartama,

- G_M - az antenna maximális nyeresége,
- Θ - a főnyaláb szélessége,
- λ - a sugárzás hullámhossza.

A meteorológiában olyan megszorítást teszünk, miszerint a részecskék gömb alakúak, amelyeknek a mérete a radar hullámhosszához képest elhanyagolható. Így a visszaverődés a Rayleigh-szóródás alapján írható fel a következő alakban:

$$\eta = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 \sum d_i^6,$$

ahol

- d_i - a részecskék átmérője,
- m - a víz komplex törésmutatója.

Ez a reflexiós tényező (η), amelyben az összegként szereplő tag a reflektivitási tényező. Ez az, ami a meteorológiai célt szemléletesebben jellemzi, és amit fent Z -vel jelöltünk. Ezt a reflektivitási tényezőt tudja mérni a radar. Ezen kívül a Doppler-radarok mérik az objektumok sebességét is, a váltakozó irányú polarizációval pedig azok anyagát, halmazállapotát és alakját is azonosítani tudják.

A hazai radarok méréshatára 240 km. 9 különböző magassági szinten, függőleges tengely körüli forgó mozgással mérnek, melyek együttes időtartama kb. 5 perc. Egy-egy mérési periódus után a három hazai radarállomás méréseinek adataiból egy kompozit képet állítanak össze (*Dombai, 2007*).

Ugyanúgy, mint a műholdas adatokból, a radar által mért adatokból is származtathatunk produktumokat. Ilyen produktum a radar mozgásvektor, amelyet szintén felhasználtam vizsgálataim során. Ennek részletes leírását a 4. fejezetben mutatom be.

2. Zivatarok és jellemzőik

A meteorológiában akkor beszélünk zivatarról, amikor a vihart elektromos tevékenység kíséri. A zivatarfelhők, vagy Cumulonimbus (Cb) felhők a legösszetettebb rendszerek közé tartoznak a felhőfizikában. Ezek a gyönyörű képződmények óriási pusztítást tudnak okozni, akár a szélviharokat, a heves csapadékot, vagy a jégesőt tekintjük. Ide tartoznak a villámkárók is.

A mikrofizikai és a dinamikai folyamatok szoros kölcsönhatása figyelhető meg.

Az intenzitásukat tekintve lehetnek gyengébb, csak minimális csapadékot adó, kis zivartartevékenységet mutató cellák, és lehetnek óriási sebességű, orkánerejű széllel és akár tornádóval pusztító szupercellák is.

A zivatarfelhők ún. zivatarcellákból épülnek fel (*Byers et al., 1949*). A cellák száma alapján háromfajta zivatart különböztetünk meg.

- *Egycellás zivatarok*: rövid élettartamúak, és általában légtömegeken belül alakulnak ki.
- *Többscellás (multi-cellás) zivatarok*: hosszabb az élettartamuk, mint az egycellás zivataroké, mert olyan folyamatok játszódnak le, amelyek elősegítik újabb cellák kialakulását; ezek általában frontok és instabilitási vonalak mentén alakulnak ki.
- *Szupercellák*: egy, nagyobb cellából álló zivatarok, melyek élettartama akár több óra is lehet, e rendszerben alakulhatnak ki a tornádók.

A cellák fejlődését három szakaszra bonthatjuk (*Byers et al., 1949*):

- *fejlődő*: a cellán belül csak feláramlás figyelhető meg,
- *érett*: megjelenik egy leáramló terület is, amit a csapadék hullása alakít ki,
- *leépülő*: a leáramló terület feloszlítja a feláramló területet, és ez által maga a cella is feloszlik.

Az első szakasz kb. 10-15 percig tart. A cella átmérője kb. 8-10 km. Ekkor alakulnak ki a felhő- és csapadékelemek a feláramlás következtében, amikor is a kis részecskék ütköznek és egybeolvadnak, növekednek. A felhő szélén száraz levegő keveredik be a környező levegőből, ami a nedvesség csökkenését eredményezi a vízcseppecskék párolgása miatt. Ez hűlést és a felhajtóerő csökkenését okozza. Viszont az alacsonyabb szintekről érkező nedvesség-utánpótlás a cella növekedését tartja fenn. A szakasz vége fele

legerősebb a zivatar-tevékenység. A második szakasz kb. 15-30 percig tart. A nagyobb jégszemeket és esőcseppeket a feláramló levegő már nem tudja megtartani, és kihullnak a felhőből. Ez a folyamat alakítja ki a leáramló területet. A leáramló levegő a felszínre érve szétáramlik, ezt nevezik kifutószélnek. A kifutószél okozhatja a cella leépülését és újabb cellák kialakulását is. Ugyanis, a kifutószél a cella felé áramló meleg, nedves levegő mozgását gátolja, ami leépülést okoz, viszont a szétáramló levegő a környező meleg levegőt felemelkedésre kényszeríti, ami újabb cellákat eredményez. Ha a leáramló és a feláramló terület térben jól elkülönül egymástól, akkor a cella sokáig fenn tud maradni. A leépülő szakasz hossza kb. 30 perc. A csapadék intenzitása gyengül, a levegő már csak lefelé áramlik a cellában.

Amikor a cellák különböző fejlődési stádiumban vannak egy felhőtömegben belül, akkor beszélünk multi-cellás zivatarokról (*Geresdi, 2004; Osztrák Meteorológiai Szolgálat internetes oktatási segédanyaga*).

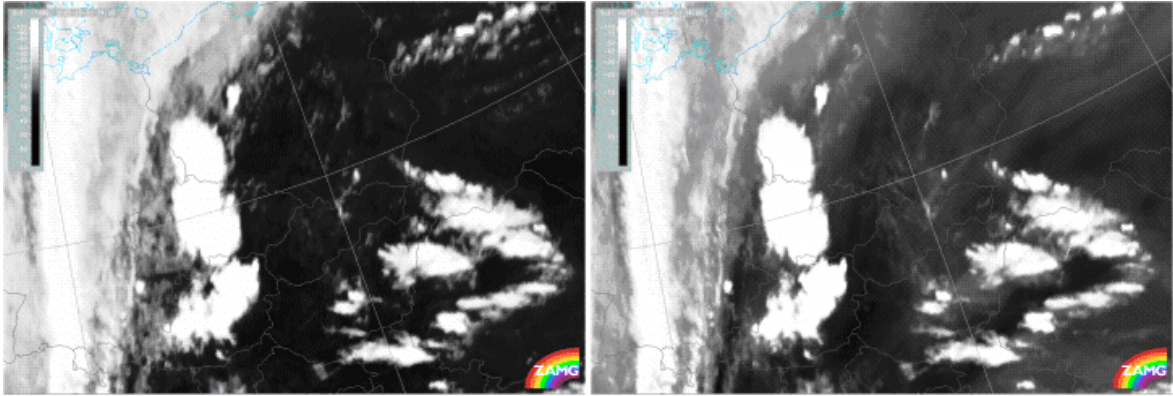
2.1. A zivatarok megfigyelése műholddal és radarral

a. Zivatarfelhők megfigyelése IR és WV műholdképeken

A technika fejlődésével egyre kisebb skálájú folyamatokat tudunk, egyre jobb minőségű képekkel vizsgálni. Így a kis skálákon mozgó zivatarcellákat is könnyen azonosíthatjuk műholdképek segítségével.

Az infravörös sávban készült műholdképeken a zivatarfelhő fejlődő, aktív része fehér színű, jelezvén a felhőtető nagyon alacsony hőmérsékletét. Majd amikor a zivatarfelhő a magasban záróréteggel találkozik, kialakul az üllő Cirrus felhőzetből, és ez a szétterült felhőzet is fehér színben jelenik meg a műholdképeken. Ez a felhőzet viszont eltakarja az alatta levő felhőket, így annak a területnek a megfigyelésére a műholdkép már nem alkalmas.

A vízgőz tartományban készült képeken a zivatarfelhők szintén fehér színben jelennek meg, hiszen tele vannak nedvességgel (**4. ábra**).



4. ábra: Bal oldali kép - Meteosat 8 IR 10.8, jobb oldali kép - Meteosat 8 WV 6.2 csatornában készült műholdképek, 2005. 05. 30. 14:00 UTC; a fejlődő zivatarfelhő szépen kirajzolódik éles kontúrokkal, (Forrás: www.zamg.ac.at).

b. A zivatarok megjelenése a radarképeken

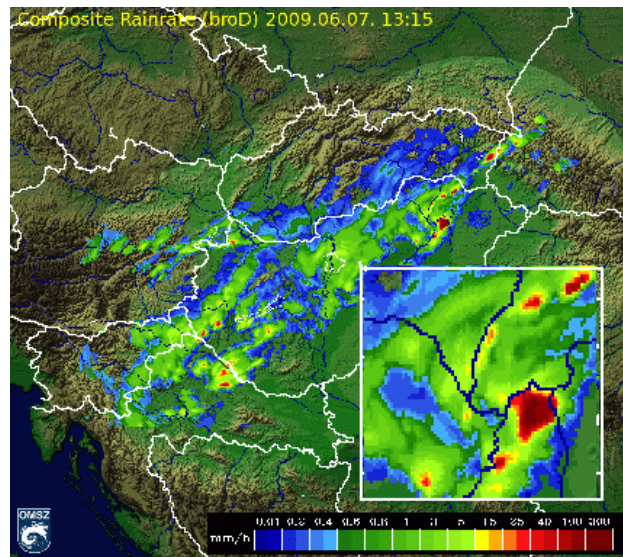
Az OMSZ időjárás-radarhálózatában jelenleg minden egyes radar 15 percenként megismételi egy összetett mérési folyamatot, amely különböző méréshatárokon, magassági szögeken, különböző mérési paraméterekkel (intenzitás, Doppler-polarizáció) történő méréseket jelent. A különböző mérések eredményeiből különböző adatmezők származtathatók. Alapvető produktumnak tekinthető a csapadék intenzitás, amit a reflektivitásból számolnak. A maximális intenzitás értékek alapján pedig a zivatarfelhő veszélyességére lehet következtetni. Ez a kompozit mező a radaronként előállított oszlop maximumból vett intenzitásmezők (CMAX) alapján készül. A kompozit kép készítésével csökkenthetők az egyes radarmérésekben rejlő hiányosságok, mint pl. a talajcélok takarása, a csapadék okozta gyengülés, mert korrigálódnak a másik két radar adataival. A hazai radarok egymástól mért távolsága 240-250 km, így majdnem teljes rálátást biztosítanak a szomszédos radar feletti térrészre. Az országos radarkép 800 x 500 km nagyságú területét a három radar jól lefedi. A kompozit kép elemi képpont mérete 2 x 2 km², hasonlóan a 256 km méréstartományban készült egyedi radarképekhez (**5. ábra**).

A következőkben kifejtem a zivatarokra jellemző csapadékintenzitások és -fajták jellemzőit a radarképeken.

Zápor

Közepes és erős konvektív aktivitásból származó, vertikálisan jól fejlett felhőzetből hullhat. Fő jellemzője a nagy tér- és időbeli változékonyság. Sokszor villámlások is kísérik. A pillanatnyi csapadékintenzitás 0,1 mm/h és 50-100 mm/h közötti, ennek

megfelelően 10 dBZ és 52-57 dBZ között változhat a radarjel. Rövid idő alatt rendkívül változatos területi eloszlásban 0,1-100 mm csapadékot eredményezhet. Nagyobb területi átlagban nem adnak nagy csapadékot, de lokálisan komoly problémákat okozhatnak a jelenséget kísérő erős szelekkel együtt. A radar teljes, 250 km-es mérési tartományában felderíthetők felhőzetük nagy magassága és a visszavert jel nagy intenzitása miatt. Radar echóik cellaszerűek, jellemzően határozott, éles kontúrral rendelkeznek. Az intenzitás térbeli változékonysága nagy, 10-30 dBZ/10 km.



5. ábra: OMSZ kompozit radar és csapadék intenzitás térkép, 2009. 06. 07. 13:15 UTC.

Jégeső

Erős instabilitáshoz köthető, konvektív aktivitásból származó, vegyes halmazállapotú cseppeket és jégszemeket adó csapadék, ami vertikálisan fejlett felhőzetből (Cb) hullik. Fő jellemzője a nagy tér- és időbeli változékonyság. A pillanatnyi csapadékintenzitás 0,1 és 100 mm/h között változhat, vagy akár meg is haladhatja azt. Ennek megfelelően radar reflektivitásuk 10 dBZ és 50-65 dBZ közötti. Rövid idő alatt is rendkívül változatos területi eloszlást mutat. Nagyobb területi átlagban nem adnak jelentős csapadékot, de lokálisan komoly problémákat okozhat a hirtelen lehulló nagy mennyiség, a jégszemek és a jelenséget kísérő erős szelek miatt. A radar teljes, 250 km-es mérési tartományában felderíthető a felhőzetük a nagy magasság és jelintenzitás miatt. Radar echóik cellaszerűek, jellemzően határozott, éles kontúrral rendelkeznek. Az intenzitás térbeli változása nagy, 10-40 dBZ/10 km. A felszínre hulló csapadék vegyes halmazállapotú, sokszor több mint 5 cm-t meghaladó méretű jégszemek is hullhatnak.

3. Zivatarcella azonosítás és követés

Először 2000-ben, a Sidney-i Olimpiai Játékok meteorológiai biztosításához kapcsolódva indítottak egy olyan nagyszabású meteorológiai kutatási programot, ahol különböző módszereket alkalmaztak és hasonlítottak össze az időjárás ultrarövidtávú előrejelzésére, nagy hangsúlyt fektetve a zivatarok megfigyelésére. Elengedhetetlen feladat volt az egyes sportesemények lebonyolítása előtt minél megbízhatóbb prognózist készíteni. Ennek a projektnek a *World Weather Research Programme (WWRP) Forecast Demonstration Project (FDP)* nevet adták. A program alapjai még az 1996-os Atlantai Olimpiai Játékok alatt készített megfigyeléseken és tanulmányokon alapultak. A *Sidney 2000* után csak S2000-nek nevezett program célja az volt, hogy bemutassa a modern előrejelzési rendszereket és, hogy meghatározzák ezek előnyeit, alkalmazhatóságukat nem csak a meteorológusok, hanem a hétköznapi emberek számára is.

Többféle rendszert fejlesztettek ki és használtak az Olimpiai Játékok során, mint például:

- *Canadian Radar Decision Systems (Kanadai Radarméréseket Elemző Rendszer, CARDS)*: ez egy olyan web-alapú rendszer, amely abban segít a meteorológusnak, hogy eldöntse az időjárási helyzet súlyosságát. Háromdimenziós Doppler-radar információkat használ, becslést ad a csapadékra, és információt szolgáltat a jég méretéről, mezociklonokról, tornádókról, kifutószélről, stb.
- *Warning Decision Support System (Riasztást Támogató Rendszer, WDSS)*: Doppler-radar, villámlási és felszíni adatokat használ a numerikus előrejelzésekhez, és van benne egy olyan algoritmus, amely a cellákat követi, és meghatározza a mezociklonokat, tornádókat, jégesőt, kifutószelet és villámlást.
- *AutoNowcaster (Automatizált Nowcasting, AN)*: automatikusan felismeri a határrétegben a konvergencia vonalakat és a konvektív viharokat, továbbá előrejelzi a zivatarok kialakulását, fejlődését és leépülését figyelembe véve a stabilitást, a vihar relatív mozgását a konvergencia-vonalhoz képest, az alacsonyszintű szélnyírást, a vihar-karakterisztikákat és a Cumulus felhőket.
- *CPOL Hydrometeor Classification (CHYD) and Rainfall (A Hidrometeorok és Csapadékfajták Osztályozása)*: 10 féle hidrometeort tud megkülönböztetni.
- *Generating Advanced Nowcasts for Deployment in Operational Land-Surface Flood (GANDOLF) Forecasts (Operatív Nowcasting Rendszer az Időjárási*

Események és a Gyors Árvizek Előrejelzésére): cellafelismerő rendszer, ami háromdimenziós radar adatokat, és műhold adatokat használ fel (*Keenan et al.* 2003).

A fentiekén kívül alkalmazták még a TITAN¹⁵ rendszert, amelyet a National Center for Atmospheric Research (Amerikai Egyesült Államok Légkörkutató központja, NCAR) fejlesztett ki 1992-ben. A TITAN radarméréseken alapuló eljárás. A zivatarokat háromdimenziós mérések alapján azonosítják be. Ez alapján sokkal pontosabb információkat kapnak magáról a felhőről is. Ennek megfelelő azonosító eljárást használnak az USA¹⁶ NEXRAD¹⁷ időjárás radarhálózatában (*Dixon et al.*, 1993).

Hazai zivatar-klimatológiai vizsgálatok során is felhasználták a TITAN módszert, pontosabban annak módosított változatát. A vizsgálat egyik fő célja az volt, hogy leírják a 2003-2007-es időszak alatt lezajló, veszélyes (nagy kárt okozó) viharok tér- és időbeli eloszlását (a zivatarokat kategóriákba sorolták), a másik pedig az volt, hogy analizálják a kapcsolatot a veszélyes zivatarok és a makroszinoptikus cirkulációs típusok között. A TITAN eljárással a zivatarokat ellipszisekkel ábrázolták (zivatar-ellipszisek). Két intenzitási küszöbértéket használtak: a 45 dBZ fölötti értékekkel a komolyabb zivatar-ellipsziseket, az 50 dBZ fölöttivel pedig a nagyon komoly zivatar-ellipsziseket azonosították. A tanulmányból kiderült, hogy az adott időszak alatt a viharos napok eloszlása kissé eltér minden évben. A nagyon súlyos vagy súlyos zivatarok főként az ország délnyugati, északi középső és északkeleti területein fordultak elő. Ezek a zivatarok nagy részben különböző típusú hidegfrontokkal voltak kapcsolatban, illetve olyan időjárási helyzettel, amikor egy anticiklon pereme húzódott hazánk felett (*Horváth et al.*, 2008).

Szintén radarméréseken alapuló eljárást alkalmaztak a Genovai Egyetem meteorológusai 2005-ben (*Rebora et al.*, 2006). Az eljárás lényege az volt, hogy a 10 mm/h küszöbérték feletti lokális csapadékintenzitás maximumokat azonosították, majd három különböző adatformát képeztek a radaradatokból. Ezeket a térbeli felbontás, és a reflektivitási értékre alkalmazott kategóriák különböztették meg egymástól. Egy átlagos cellaalakot számoltak ki, majd az ahhoz tartozó csapadékmennyiséget és intenzitást. Végeredményben a módszer a cella alakja, és annak csapadékintenzitása között állapított

¹⁵ Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting – Zivatar Azonosítás, Követés, Analízis és Nowcasting

¹⁶ United States of America – Amerikai Egyesült Államok

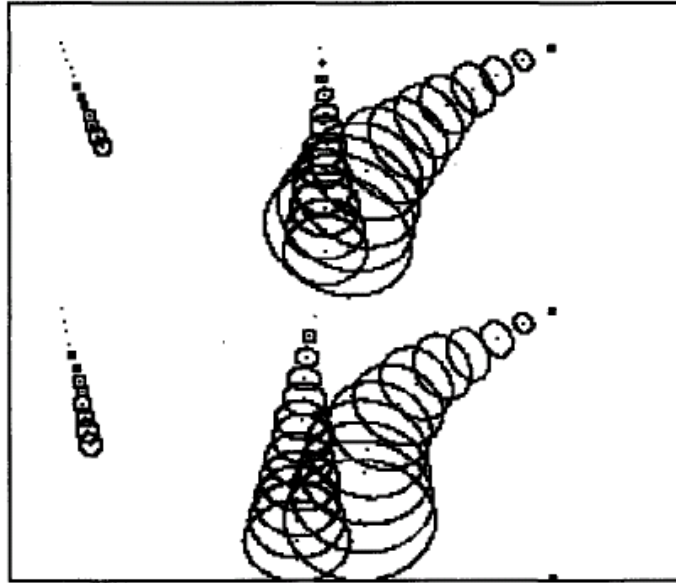
¹⁷ US National Weather Service's Next Generation Weather Radar – Egyesült Államok Nemzeti Időjárás Szolgálatának Következő Generációs Időjárás Radarja

meg kapcsolatot. A cikkben arra a következtetésre jutottak, hogy a radarfelbontást változtatva nincs nagy változás a cella-alakja, a becsült csapadékmennyiség és az intenzitási csúcsok között.

Műholdas képek zivatar megfigyelésekre való alkalmazására példa egy olyan módszer, amely az IR és WV csatornák adatait használja fel, és villámlási adatokkal kombinálja azokat. A GCD¹⁸ nevű algoritmust alkalmazzák, mely azon a gondolaton alapszik, hogy a mélykonvekciós felhők felett nem lesz jelentős a nedvességtartalom. Az eljárás jól használható az aktív mélykonvekciós helyzetek azonosításában, azonban az alacsony tetejű konvekciós felhők, és gyenge zivartervékenység esetén nem működik túl jól. Ezt javítják ki azzal, hogy együtt alkalmazzák a villámlokalizációs hálózat adataival. A zivatarban a vízgőz és a felhő részecskék felfelé szállítódnak a felhő tetejére; ekkor az IR és WV csatornák ugyanazt a hőmérsékletet mutatják. Majd a leszálló légmozgás hatása alá kerülnek, a jég kihullik a felhőből, de a vízgőz nem. Ezért ezeken a területeken egy csekély hőmérsékletkülönbség lesz az IR és WV csatornák értékei között. Az algoritmus kiküszöböli azokat a területeket, ahol az IR csatorna min. 1 °C-kal melegebb, mint a WV csatorna. Ezt a mérést összehasonlítják a radarmérésekkel. Kiszámolnak mellé egy indexet, ami a megbízhatóságot, jellemzi. Ezt követően villámlási adatok bevonásával finomítják a műholdas eljárást (*Medaglia et al.*, 2005).

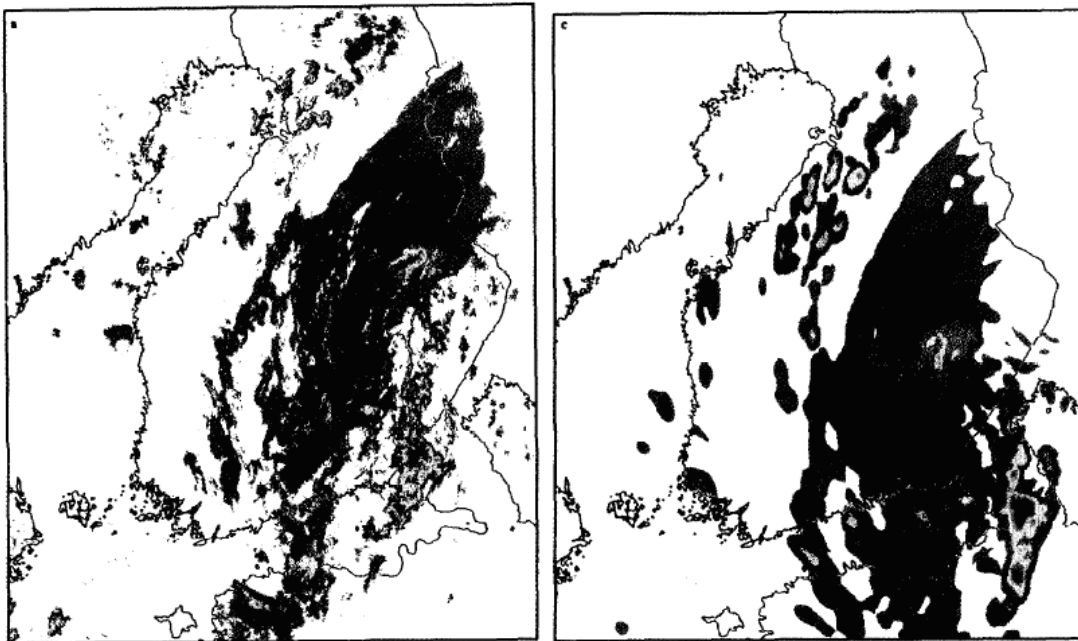
A mozgásvektorokat is elterjedten használják a zivatarok áthelyeződésének a leírásában. Az egyik ilyen módszer az, hogy az AMV adatokból származtatnak közvetlenül elmozdulásvektorokat. Az AMV vektorokkal kombinálják össze a radarképek reflektivitási mezőit és azt használják az AMV rendszer inputjaként. 5 perces szkennelési (radarmérési) időtartamot határoznak meg optimálisként, mert a 15 perces esetben a csapadékszóna nagyot fejlődhet, és nagy lenne a két egymást követő kép eltérése. A vektormező előállítás után alkalmazzák az AMV esetén bevált minőségi ellenőrzést. Ezt követően már egy simított mező áll rendelkezésre. Ezt interpolálják a meghatározott terület egészére. Az irány és sebesség eltérések a trajektóriák mentén egy ún. hibaellipszist rajzolnak ki, ami növekszik az idő előrehaladtával (**6. ábra**). 5 órára előre számolják ki a trajektóriákat, majd adnak egy küszöbértéket az ellipszis nagyságára, és ha azt eléri, akkor kihagyják a számításból. A hibaellipszisekben elhelyezkedő reflektivitásokból számolhatják ki a legvalószínűbb csapadékintenzitást.

¹⁸ Global Convective Diagnostic – Globális Konvektívítási Diagnosztika



6. ábra: Hibaellipszisek; az idő előrehaladtával nő a területük, (Forrás: *Hohti et al., 2000*).

A számolt csapadékvalószínűségi mezőt ábrázolva olyan képeket kapnak, mint egy radarkép (7. ábra). Ahogy egyre tovább megyünk az időben, egyre simább eloszlása lesz a csapadékmezőnek.



7. ábra: Csapadékvalószínűségi kép; bal oldal - 10 perc, jobb oldal - 4 óra, a kiindulási időtől számítva, (Forrás: *Hohti et al., 2000*).

A hiba valószínűsége természetesen az időben nő, de összességében jól használható az a trajektória számítás megbízhatóságának a szemléltetéséhez (*Hohti et al., 2000*).

4. Az adatbázis

A diplomamunkámban felhasznált adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat biztosította.

4.1. Légköri mozgásvektorok

A műholdadatokból származtatott produktumokat az EUMETSAT készíti, és bocsátja a tagországok rendelkezésre. A légköri mozgásvektorokat, az AMV-t, nemcsak a Meteosat műholdképekből, hanem az összes rendelkezésre álló geostacionárius műholdról származó képek alapján állítják össze. A második generációs Meteosat műholdak megjelenésével a vektorok „minősége” javult. Az MSG műholdak 15 percenként készítenek képet a különböző elnyelési sávokban. Ezekben az újgenerációs műholdakon lényegesen több csatorna áll rendelkezésre, mint az előző generációs (1990-es évek) Meteosat műholdakon. Ilyen új csatorna többek között a vízgőz 6.3 és 7.2 μm -es sávja, illetve a CO_2 elnyelési sávjai. Az IR–WV és az IR– CO_2 csatornák összevetésével, sokkal pontosabb becslést tudnak adni többek között a felhőmagasságára. További új mérési sávval, mint pl. a 3.9 μm -es csatornával, vagy az 1 km-es nagy felbontású látható csatornával javult az alacsony szintű felhőstruktúrák követése nappal és éjszaka egyaránt.

Az AMV tulajdonképpen a felhők mozgásából számított vektor, egymás utáni műholdképek felhasználásával. Ez a származtatás 1,5-6 óránként történik, szinoptikus skálájú (100 km, vagy annál rosszabb) horizontális felbontással. Az **1. táblázat** mutatja az AMV származtatásához felhasznált csatornákat.

Az AMV előállításának a folyamata a következő lépésekből áll:

- *cél-kijelölés*: vesznek egy rácshálózatot, melyben egy négyzet alapmérete 32 x 32 pixel. A céltárgyat a rács közepére helyezik és a rács körüli kereső területen optimalizálják. A következő tulajdonságokat vizsgálják meg:
 - minimum kontraszt,
 - minimális elfogadható helyi sztenderd eltérés,
 - nagy helyi sztenderd értékkel rendelkező pixelek minimális száma,
 - entrópia,

- felhő alakzat,
- szárazföld/tenger megoszlás,
- átfedés kontroll.

Alap csatornák		
Csatorna	Hullámhossz	Fő megfigyelési cél
IR	10.8 μm	Felhők
IR	6.2 μm	Magas szintű felhők / nedvesség
IR	7.3 μm	Magas és közepes szintű felhők / nedvesség
VIS	0.6 μm	Alacsony szintű felhők a tengerek felett
VIS	0.8 μm	Alacsony szintű felhők szárazföldek felett
Kibővített csatornák		
IR	9.7 μm	Felhő és ózon
IR	3.9 (8.7) μm	Alacsony szintű felhők éjjel
HRVIS	0.8 μm	Alacsony szintű felhők tengerek felett

1. táblázat: Az AMV származtatásához felhasznált műholdas csatornák és tulajdonságaik.

Az alkalmas célok tipikusan a legnagyobb kontraszttal és a legnagyobb számú standard eltéréssel rendelkeznek az optimalizált területen, és megkövetelik a többszintű felhős helyzetek kizárását.

- *Kép-kiemelés:* ennek az a lényege, hogy kiemelje a legmagasabb felhő szintet, mivel általában azt a legkönnyebb követni. Egy eljárást alkalmaznak arra, hogy kiválasszák a magas szintű felhővel teljesen vagy részlegesen fedett pixeleket (*Schmetz et. al., 1993*).
- *Követés:* a célkövetés az a feladat, amelyik általában a legtöbb számítógépes forrást igényli. Ezért több különböző eljárást alkalmaznak, hogy minimalizálják a számítógép terhelését.

- *Magassági meghatározás:* ez a feladat nagy kihívást jelent az AMV előállítási folyamatában. A legnehezebb feladat az áttetsző felhők magassági azonosítása. Ehhez nyújt segítséget a WV, az IR és a CO₂ csatorna.
- *Minőségi ellenőrzés:* az Automatikus Minőségi Kontroll (AQC¹⁹) a következőket tartalmazza: lokális konzisztencia (horizontális), sebesség konzisztencia (időben), irány konzisztencia (időben), vektor konzisztencia (időben) és a háttér konzisztencia.

Egy teljes órából vett, négy egymást követő kép alapján számolnak ki három közbülső vektormező. Az első képen jelölik ki a célokat, melyeket a következő képeken követnek tovább. A végső vektor ezeknek a közbülső vektoroknak a súlyozott átlagából készül (*Holmlund, 2000*). A **8. ábrán** egy vízgőz csatornában készült kép alapján számolt WV vektormező látható Európa területére.

A másik műholdproduktum, amit felhasználtam a diplomamunkám során, a nagy-felbontású szél (HRW) (**9. ábra**). Ezt a vektort az MSG műhold nagy felbontású, látható csatornájában (HRV²⁰) készült képeiből származtatják, tehát ez csak nappal áll rendelkezésre. Részletesebb (térbeli és időbeli) eszközt nyújt a meteorológia számára. 15 percenként áll rendelkezésre ez az adat is, és kétfajta térbeli felbontással rendelkezik (alap felbontás (basic): 30 km, részletes felbontás (detailed): 15 km). A vizsgálatok során azért alkalmaztuk ezt a produktumot, hogy megmutassuk a különböző térbeli felbontással rendelkező AMV és HRW milyen eredményeket produkál. A nagy felbontású szélmező azonban nem mindig áll rendelkezésre, mivel ezt az egyes szolgálatoknál telepített, Nowcasting SAF által kifejlesztett programcsomaggal helyileg kell előállítani. E produktum előállítása nem történik még operatíván az OMSZ-nál, ezért csak egy időpontra, egy napra kaptam ilyen adatokat.

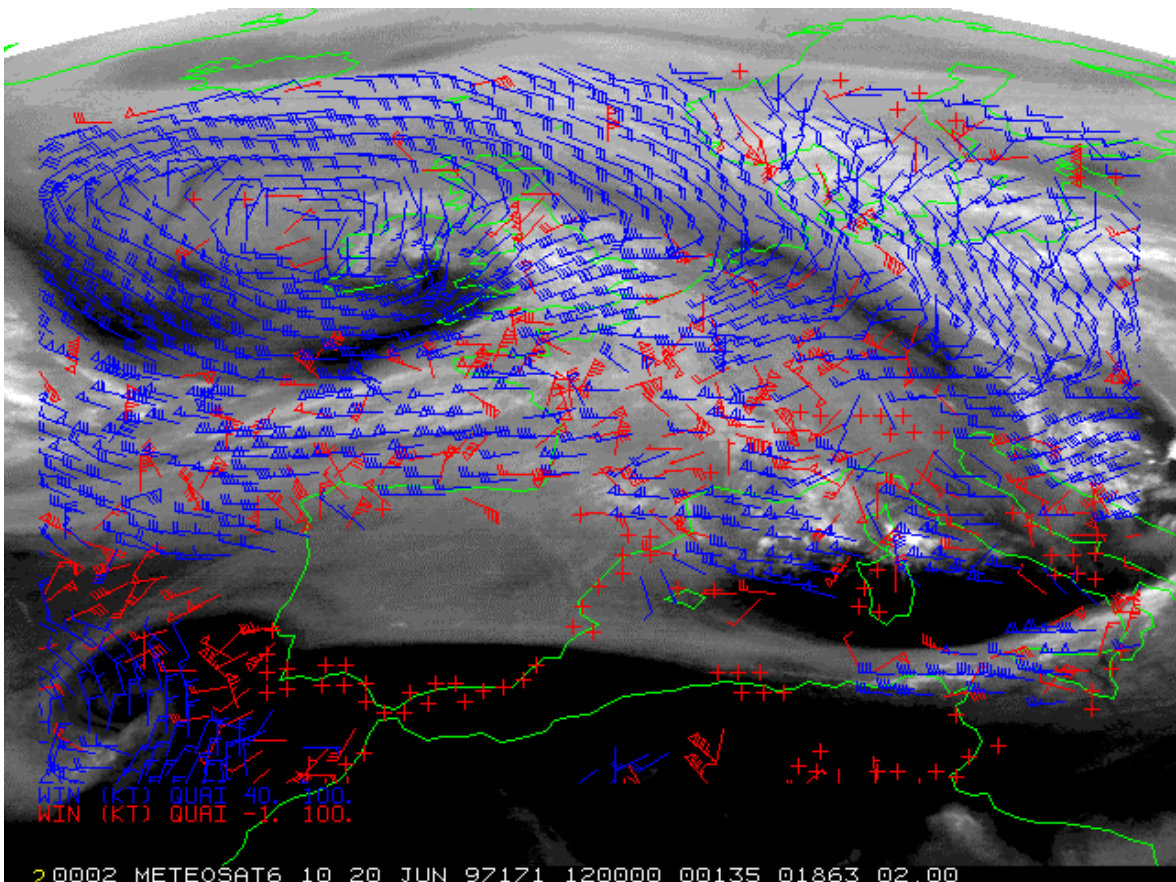
Ez a vektormező különösen fontos az ultrarövidtávú (vagy Nowcasting) előrejelzési célok esetén: ciklogenezis zónák, konvergencia és divergencia területek azonosítása; gyors mezoskálájú változások vizsgálata, melyek konvekcióhoz vezetnek; vagy a szélintenzitás vizsgálata (*Pereda et al., 2006*).

¹⁹ Automatic Quality Controll

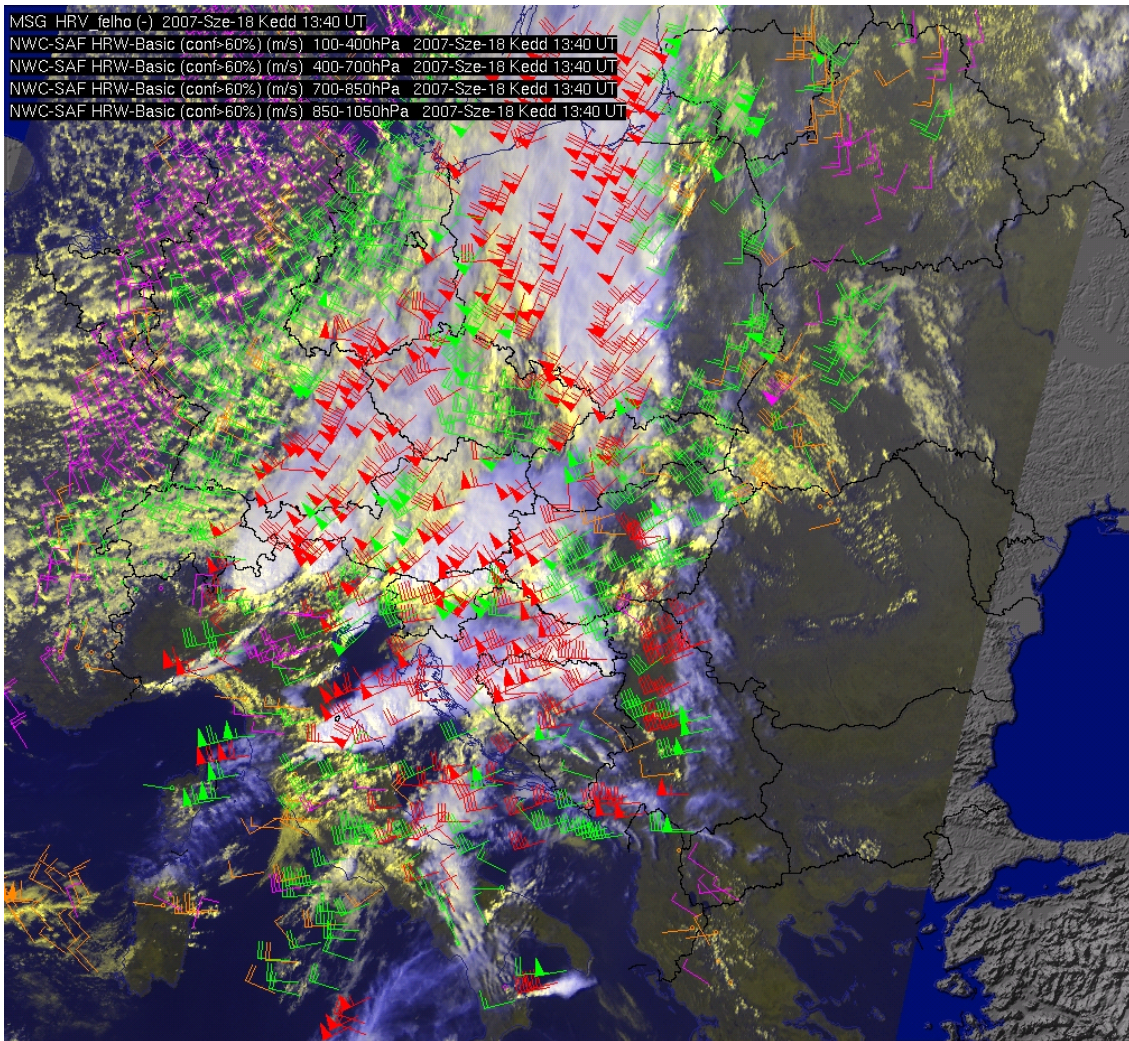
²⁰ High Resolution Visible

A nagy felbontású szélmező produktumot a következőképpen állítják elő:

1. *a kép előkészítése*: a nagy felbontású, látható képekből reflektancia számítása földrajzi koordinátákkal és nap zenitszög korrekcióval,
2. *feldolgozás*:
 - az alakzat kiválasztása: két módszer is rendelkezésre áll, az egyik a gradiens, a másik a fényességi küszöb módszer,
 - magassági meghatározás: a felhő alapjának és tetejének számításával (az alakzat figyelembe vételével), az IR 10.8 μm -es csatorna felhasználásával, vagy vertikális, klimatológiai profilokkal (4 magassági rétegre: 850-1050, 700-850, 400-700, 100-400 hPa),
 - az alakzat követése: a következő képen megkeresik a kiválasztott alakzatot, felhasználva a széladatokat,
3. *utófeldolgozás*: minőségi ellenőrzés, orografikus hatás-index meghatározása (Pereda, 2009).



8. ábra: Vízgőz (WV) csatornából számolt légköri mozgásvektorok a WV csatornában készült műholdképpel Európa térségére, 1997. 06. 20. , (Forrás: Holmlund, 2000).



9. ábra: HRW vektormező különböző magassági szinteken, 2007.09.18. 13:40 UTC;
 lila: 850-1050 hPa, barna: 700-850 hPa, zöld: 400-700 hPa, piros: 100-400 hPa
 (Forrás: OMSZ, HAWK3).

4.2. Radaros áthelyeződési vektorok

A radarból származtatott mozgásvektorokat az OMSZ-on belül, a Távérzékelési Osztály készíti. E vektorok számításának fő célja, hogy a csapadékösszegek készítésekor a mérések időbeli diszkretizációjából adódó hibákat csökkentsék a két időpont közé speciális interpolációs eljárással készített virtuális radarmérési adatokkal. A hazai radarmérések csak 15 percenként állnak rendelkezésre, és ennek az időbeli felbontásnak a következménye, hogy a csapadék numerikus összegzése hibával terhelt. Különösen nagy hiba keletkezik, amikor a gyorsan mozgó konvektív rendszerek áthelyeződése ez alatt a 15 perces diszkrét időlépcső alatt meghaladja a cella karakterisztikus méretét.

Az eljárást az OMSZ által készített kompozit radarképre dolgozták ki. A vizsgált képek 250 x 400 db, 2 x 2 km²-es radar-pixelre tartalmazzák a reflektivitási tényezőt, dBZ egységben. Két egymást követő radarképet hasonlítanak össze. Azt a vektorteret keresik, amellyel elmozgatva az első kép egyes pontjait, a térben áthelyezett kép maximálisan korrelál a második képpel.

Először is az egyes radarképeket 24 x 41 db, 18 x 18 km²-es alpnégyzetre bontják. Mindegyik négyzethez saját áthelyeződési vektort rendelnek. A vektort a négyzet közepére illesztik, ezért a vektortér fizikai térbeli felbontása 18 km. Az első képen az alpnégyzettel azonos méretű, ún. keresőnégyzetet mozgatnak észak-déli és kelet-nyugati irányba, pixel méretű lépésekben, így határozzák meg először a második kép kijelölt alpnégyzetéhez tartozó vektort. A kereső négyzet 62 x 62 km²-es (31 x 31 pixel) méretű területet pásztáz végig. Mind az első képre mutató kereső négyzet területére, mind pedig a második képre mutató alpnégyzet területére kiszámolják a kereső négyzet minden egyes pozíciójához tartozó reflektivitási értékek közötti korrelációt. Az elmozdulásvektor első becsült értékét a maximális korrelációval rendelkező keresőnégyzet alpnégyzetéhez viszonyított relatív helyzete adja.

Két másik, nagyobb felbontásban is alkalmazzák ugyanezt az eljárást. A második lépték esetén 3 x 3 db alpnégyzetet tartalmazó nagyobb négyzetet jelölnek ki a második képen, ami a kijelölt alpnégyzetet is magában foglalja középen; az első képen szintén ekkora kereső négyzetet vesznek. Ezzel megkapják a második becsült értéket. A harmadik léptékben pedig 5 x 5 db alpnégyzetet foglal magába a nagy négyzet. Ez adja a vektor harmadik becsült értékét.

Mivel a korrelációs eljárás nem tartalmaz fizikai összefüggéseket, ezért esetenként hibákat produkálhat a számítás: ezeknek a hibáknak a kiszűrése érdekében számolnak három térbeli lépcsővel. Ugyanis, miután kiszámolják a három becsült vektort, összehasonlítják azokat olyan módon, hogy megnézik két-két vektor vektori különbségét, és ha az egy bizonyos küszöbön belül van, akkor annak a két, vagy három vektornak a súlyozott átlaga lesz az áthelyeződési vektor a vizsgált alpnégyzetre. Ha a küszöbértéken kívül esik mindegyik, akkor arra az alpnégyzetre adathiányt rendelnek.

Csak olyan pixel-párokat vonnak be a számításba, amelyek esetén legalább az egyik értéke eléri a 7 dBZ-t. Az eljárás következménye, hogy nem minden alpnégyzetre kapnak vektort. Ez nagyban függ a csapadékrendszer kiterjedésétől.

Van egy második szintű hibaszűrési eljárás is. Ennek az a lényege, hogy egy bizonyos küszöbértéken belül kell, hogy legyen a vektor térbeli és időbeli környezetében lévő többi

vektortól vett eltérése (*különbsége*). Ez a térbeli környezet egy 5 x 5-ös alpnégyzet, az időbeli környezet pedig az előző két időlépcsőben meghatározott, szüretlen vektorok tere.

Azokra az alpnégyzetekre, amelyekre nem kerültek vektorok a fenti számítás alapján, extrapolációs eljárást alkalmaznak: a kiszámolt vektorok távolságával exponenciálisan csökkenő súlyozást vesznek, és az így kapott érték lesz az adott négyzetben az áthelyeződési vektor értéke. Így végül is a radarkép egészére kapnak egy vektormezőt, ami „valódi” és extrapolált vektorokból áll. Ezekkel a vektorokkal minden egyes pixelre, ami az adott alpnégyzetben van, lineárisan vektort interpolálnak a csúcsponti értékből. Így arra a területre, amelyet lefed az alpnégyzetek rendszere, kapnak egy vektorteret pixelfelbontásban. A keresőnégyzeteket úgy osztják fel, hogy azok az eredeti kompozit képen belül maradjanak, így lesz egy 17 pixeles széle a képnek, ahol nincsen áthelyeződési vektor. Ide a legközelebbi pixelértékeket töltik fel (*Németh et al., 2007*).

5. Vizsgálati módszer

Az OMSZ-nál a műhold- és a radarvektorok 15 percenként állnak rendelkezésre. A műholdvektorok minden óra 10., 25., 40. és 55. percére vannak megadva, a radarvektorok viszont a 15., 30., 45. percre és egész órákor. Vizsgálatom során a műholdas adatok 10. percben készült vektorát a 15. percben készült radaros vektorral vettem össze, a 25. perceset pedig a 30. percessel, és így tovább. Az 5 perces eltéréstől eltekintettem.

Az első lépés az adatok átkonvertálása volt txt formátumba, amit a HDF5²¹ nevű programmal végeztem el.

A műholdas, AMV-okat tartalmazó adatfájl a következőket foglalja magában:

- földrajzi szélesség,
- földrajzi hosszúság,
- *u* komponens,
- *v* komponens.

Az eredeti fájl nagy területre vonatkozó adatokat tartalmaz, beleértve az északi és a déli féltekén található részeket, és a 0. hosszúsági foktól nyugatra és keletre fekvő területeket is (attól függően persze, hogy maga az MSG műhold mekkora területet képes végigpásztázni). Ezért a következő lépésben ki kellett szűrni azokat az adatokat, melyek egy Magyarországot lefedő téglalapon helyezkednek el. Ennek a téglalapnak a koordinátái a következők: 45° 10' 30" és 49° 27' 40" közötti szélességi, és a 14° 3' 7" illetve a 23° 48' 7" közötti hosszúsági fokok közti terület. Ezt egy egyszerű Fortran programmal válogattam le, mely beolvassa az adott fájlt, majd az első (szélességi – lat) és a második (hosszúsági – lon) oszlopában található földrajzi koordinátákat vizsgálja meg: ha a kritérium teljesül, akkor kiírja egy fájlba mind a négy oszlopot. Így kaptam egy olyan fájlt, ami 48 db értéket tartalmaz minden időpontra. Ezek fix pontok, mindig ugyanarra a 48 pontra vannak értékek, ami kb. 90-100 km-es térbeli felbontást jelent.

A HRW-ek esetében már több információt tartalmaz az adatfájl. Az általam felhasznált földrajzi koordináták, továbbá irány és sebesség értékeken kívül például nyomást, hőmérsékletet is megad. E produktum esetén is ki kellett válogatni a Magyarország területére eső adatokat. A problémát az jelentette, hogy minden időpontban különböző számú vektor áll rendelkezésre, más-más pontokban.

²¹ Hierarchical Data Format – Hierarchikus Adat Forma

A HRW adatokat azért használtam fel, hogy az AMV adatokkal összehasonlítva megmutassam, milyen nagy szerepet játszik a felbontás a számítások pontosságában. A fő cél azonban a folyamatosan rendelkezésre álló AMV-ok és a radarvektorok összehasonlítása volt.

A radaradatokat tartalmazó fájlokat szintén a HDF5 nevű programmal konvertáltam txt fájlra. Ez a fájl is több adatot tartalmaz, de én ezekből csak azokat írtam bele a txt fájlba, amelyekre szükségem volt, nevezetesen a földrajzi szélesség és hosszúsági adatokat, a szélirányt és szélességet. Egy adott időpontra különböző számú radarvektor áll rendelkezésre, attól függően, hogy milyen az éppen aktuális csapadékmező. Volt tehát olyan időpont, amikor nem volt radarvektor. Azokat az időpontokat kihagytam a vizsgálatból. A radaros adatokból kapott vektormező térbeli felbontása kb. ötször nagyobb, mint az AMV-nak: kb. 20 km.

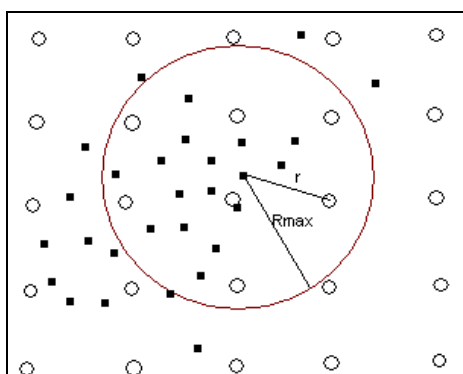
Az adatok most már rendelkezésre álltak a vektormező összehasonlítására. Ennek a feladatnak az volt az alapelve, hogy a radarvektorokhoz hasonlítom a műholdvektorokat, mivel a radarvektor értékek reprezentatívabbak, emellett pedig az AMV műholdvektor-tér felbontása sokkal kisebb. A fő kérdés az, hogy mennyire használhatók a műholdvektorok ultrarövidtávú előrejelzésekhez.

Az összehasonlításhoz szükség volt arra, hogy a műhold- és a radarvektor-terek egybeessenek. Ehhez egy matematikai közelítő módszert, az interpolációt alkalmaztam, hiszen a két vektortér eltérő térbeli felbontása és a vektorok különböző helyzete miatt ez elengedhetetlen. A stratégia az volt, hogy minden időpontra, amikor van radarvektor, előállítok egy interpolált műholdvektor-mezőt a radarvektorok minden pontjára.

Az interpolációra szintén egy Fortran programot írtam, melynek a lényege az, hogy minden egyes radarpont 100 km-es környezetében megnézi, hogy melyik műholdvektor van benne, és azokkal az értékekkel számol ki az adott radarpontra egy interpolált műholdvektor értéket (**10. ábra**).

Erre a nagy sugárra a műholdpontok térbeli felbontása miatt van szükség. Ugyanis kisebb értéket választva az adott radarpont környezetébe nagyon kevés, vagy esetleg egy műholdpont sem esett volna bele. Így az interpolált vektorok értékei nem nagyon tértek volna el egymástól. Az általam megválasztott 100 km esetén viszont 4-5 pontot biztosan tartalmaz a radarpont környezete. 100 km-es sugarú körbe eső műholdvektor értékeket négyzetes távolságfüggéssel vettem figyelembe. Ugyanis azt a gondolatot vettem alapul, hogy az adott pontra a keresett vektor értéke nagyobb mértékben függ a hozzá közelebb eső vektortól, és egyre kevésbé függ az egyre távolabb esőtől. Ennek alapján mindegyik

vektorhoz kiszámoltam egy súlyt, ami a távolsággal van kapcsolatban: amelyik vektor közelebb van, az nagyobb súllyal számít, mint az, amelyik messzebb található. Azokat az értékeket, amelyek kívül estek a körön nulla súllyal vettem figyelembe. Majd mindegyik értéket megszoroztam a hozzá tartozó súllyal, a súlyozott értékeket összeadtam, és végül elosztottam az összegzett súllyal. Így egyetlen radarpontra kaptam meg az interpolált értéket. Ezt alkalmaztam az összes radarpontra. Végeredményben kaptam minden egyes radarpontra egy interpolált műholdvektor értéket.



10. ábra: Az interpolációs eljárás alkalmazásánál használt módszer grafikus ábrázolása; R_{max} – a radarpont köré húzott kör sugara, r – a radar- és a műholdpont közötti távolság.

A HRW vektortér esetén az interpolációnál természetesen nem 100 km-rel számoltam, hanem csak 50 km-rel. Azért választottam ezt a távolságot, mert a zivatarok maximális térbeli kiterjedése legfeljebb 50 km, így ha éppen a zivatarcella környékére számolom az interpolált értéket, akkor a számolás figyelembe fogja venni az egész cella területére származtatott vektorokat. A másik ok a HRW mező térbeli felbontása, ugyanis 50 km-es sugarú környezetben elég nagyszámú HRW vektor található, amelyek segítségével kiszámolható az interpolált érték.

Ezek után volt még egy feladat: az AMV műholdadatok u és v komponensből állnak. Ezekből irányt és sebességet kellett számolnom, mivel ezzel tudok majd a továbbiakban dolgozni. Ezt is Fortran programmal készítettem el. Figyelembe kellett vennem, hogy a meteorológiában, ha 0° -ról fúj a szél, akkor az, az északi szelet jelenti. Ezen felül pedig az óramutató járásával megegyező irányba veszi fel az egyre nagyobb fok-értékeket. Viszont a szögfüggvények 0° -os értéke a meteorológiai 90° -kal esik egybe, és az érték az óramutató járásával ellentétes irányba növekszik. Ezek után e tulajdonságokat beépítve a programba, kiszámoltam a sebesség és irány értékeket.

Utolsó lépésként Excel programba olvastam be a fájlokat, így diagramokkal tudom szemléltetni az eredményeket.

6. Esettanulmányok

A műhold- és radarvektorok összehasonlító vizsgálatát három érdekes napra mutatom be: 2009. június 7-re, 2009. június 16-ra és 2007. szeptember 18-ra. Az első két időpont hasonló szinoptikus helyzetet mutat. A radarképeken szépen kivehető, kifejlett zivatarcellákat azonosíthatunk. A 2007. szeptember 18-ai időpontra pedig azért esett a választás, mert ekkor rendelkezésre álltak a HRW adatok is.

6.1. 2009. június 7.

2009. június 7.-én, a délutáni órákban, a Nyírségben kialakult pusztító vihar szinoptikus körülményeit vizsgálom meg részletesen.

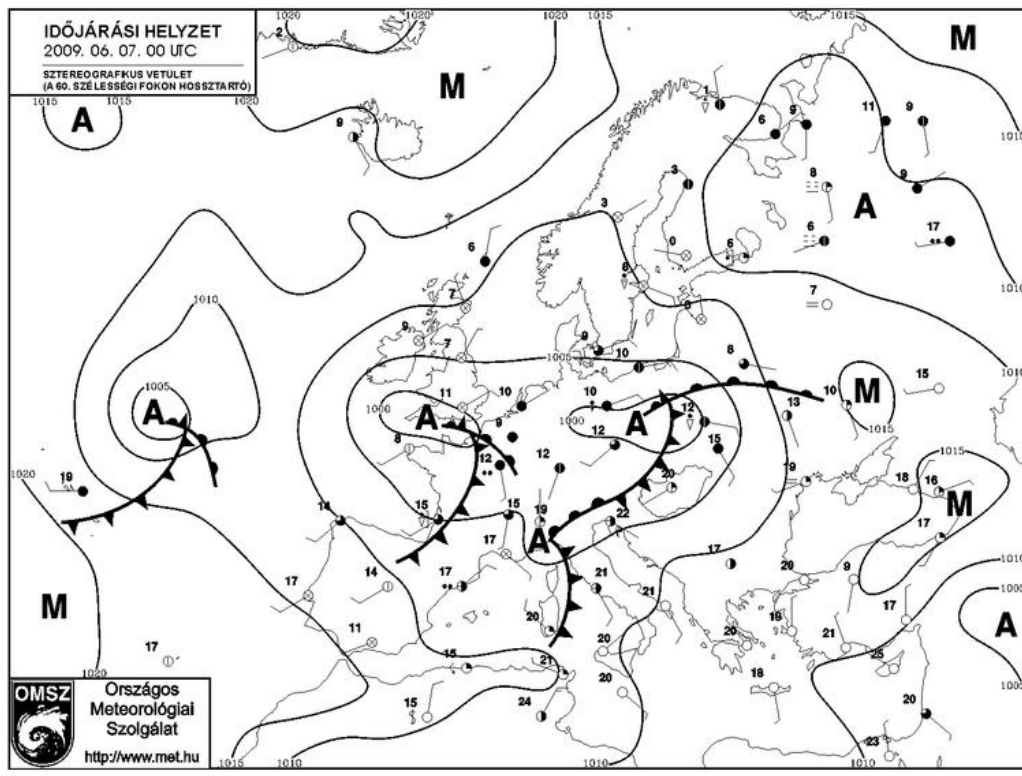
A vihar Nyíregyházán és a környező településeken, a Tiszavasvári-Nyírszöllős-Kemecse-Nyírbogdány-Demecser-Berkesz vonalon, több helyen jelentős károkat okozott, Kemecsen és Sényőn tojás nagyságú, csaknem 5 cm-es jég esett. Közel 7000 lakóépületet és csaknem 37 ezer hektárnyi ültetvényt rongált meg a hatalmas kifutószéllel érkező vihar.

Amíg Nyugat-Európa időjárását ciklonok és a hozzá tartozó frontrendszerek határozták meg, addig Kelet-Európában a Fekete-tenger medencéjében magas nyomású légtömeg helyezkedett el (**11. ábra**).

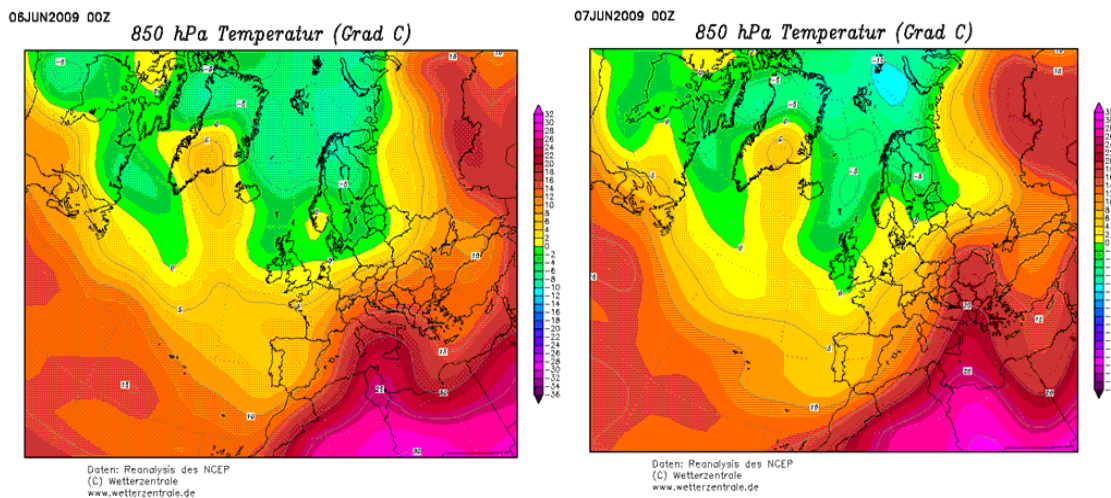
A Nyugat-Európa felett örvénylő több középpontú ciklonrendszer hidegfrontja június 6-án még hazánktól nyugatra, délnyugatra húzódott. Ekkor a Kárpát-medence ciklon előoldali helyzetben volt, ahol napközben nagyon erős melegadvekción zajlott a 850 hPa-os szinten, amely a **12. ábrán** jól látható.

A melegadvekción dél-délnyugatról történő gyors ránc húzódása nyomán az ország fölött a kb. 800-600 hPa-os légrétegben inverzió alakult ki, amely gátja volt a talajalapú labilitás kialakulásának, az emelt konvekció beindulását pedig a nem túl erős emelőhatások és az inverzió feletti légrétegekben előforduló nagy szélsőségek akadályozták.

Június 7-én a front már az északnyugati határainknál húzódott. A magasban gyenge hidekadvekción volt jellemző, amely a hőmérsékleti inverzió megszüntetésében segített. A front áthelyeződése megfigyelhető a felszíni hőmérsékletek változásával (**13. ábra**). Hat óra leforgása alatt (12:00-18:00 UTC közötti időszakban) a keleti ország részben 10 °C-ot esett vissza a hőmérséklet.



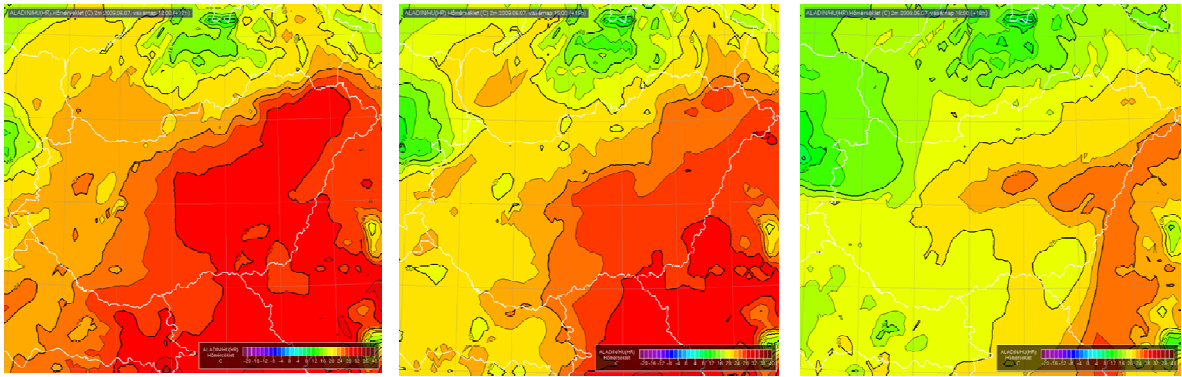
11. ábra: Frontvonalak Európa területén, 2009. 06. 07. 00:00 UTC, (Forrás: www.met.hu).



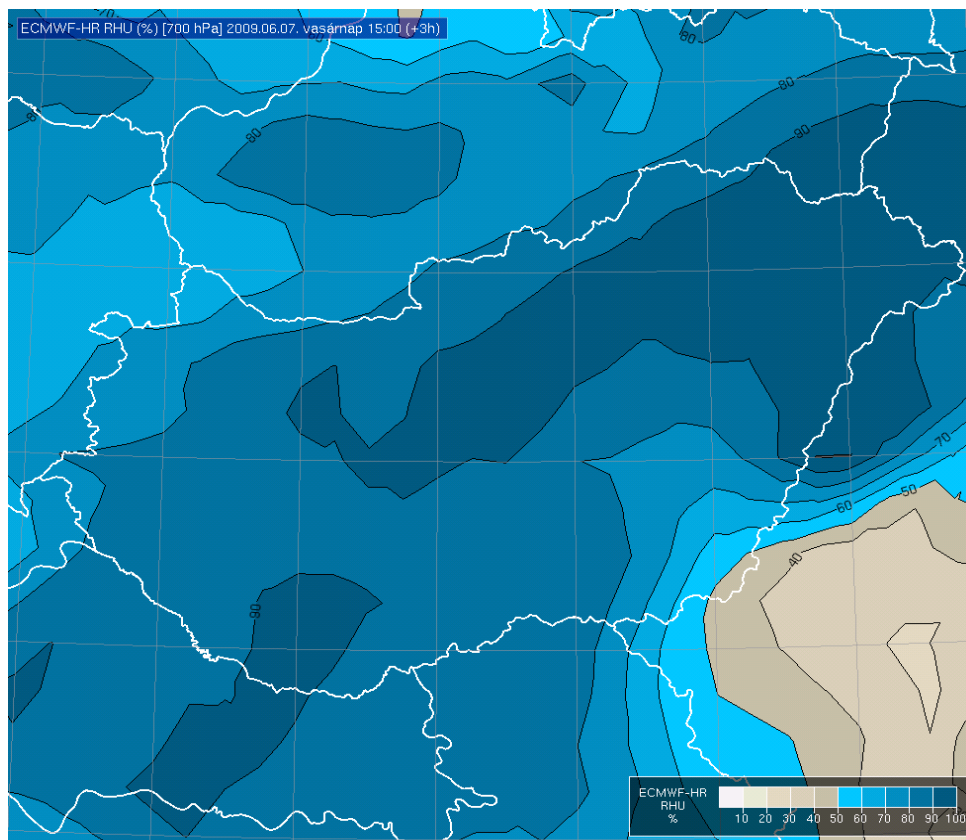
12. ábra: Hőmérsékleti mező 850 hPa-on; bal oldal - 2009.06.06. 00:00 UTC, jobb oldal – 2009. 06. 07. 00:00 UTC, (Forrás: www.wetterzentrale.de).

Ami a nedvességi viszonyokat illeti, az ÉK-i országrészen a 700 hPa-os szint nagy nedvességgel rendelkezett már 15:00 UTC-kor (14. ábra).

A 12:00 UTC-s budapesti (12843) rádiószondás felszállás (15. ábra) adatai is igazolják a 700 hPa-os szint magas nedvességtartalmát, a felhőzet kialakulását. A felhőzet alapja a 800 hPa-os szintre tehető. A felhőtető körülbelül 500 hPa-os szinten volt a 12:00 UTC-s felszállás alapján. A légrétegződés közel nedves-adiabatikus volt. Erős vertikális szél volt jellemző.

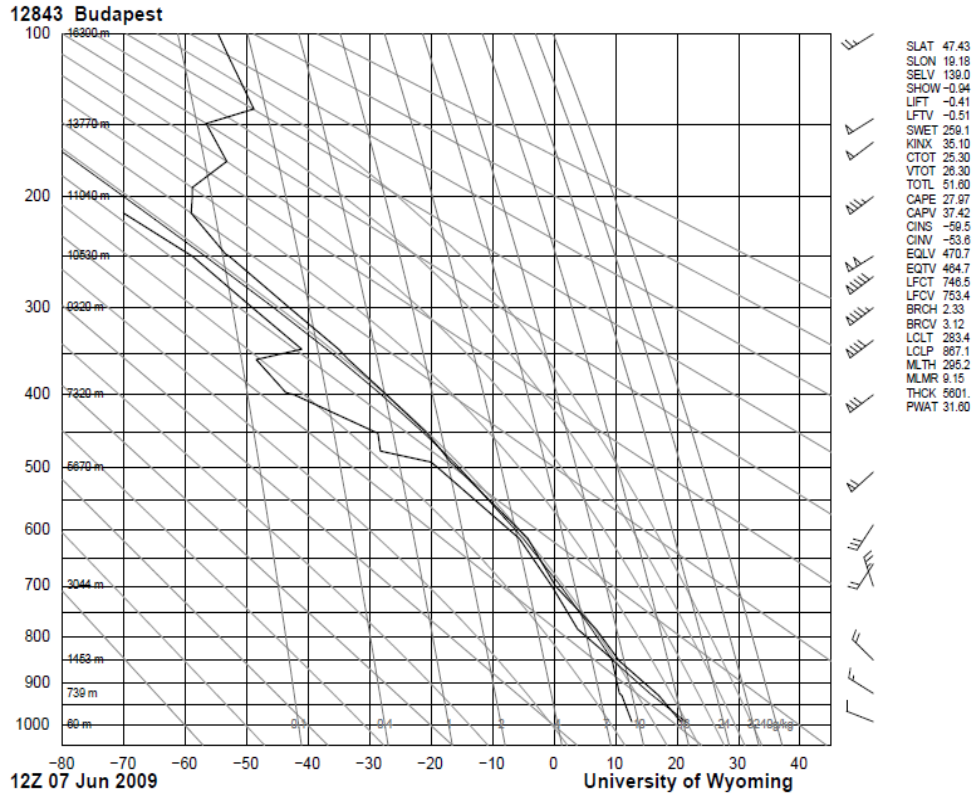


13. ábra: 2 m-es hőmérsékleti mező, ALADIN futtatás, 2009. 06. 07. 12:00, 15:00 és 18:00 UTC, (Forrás: OMSZ, HAWK3).

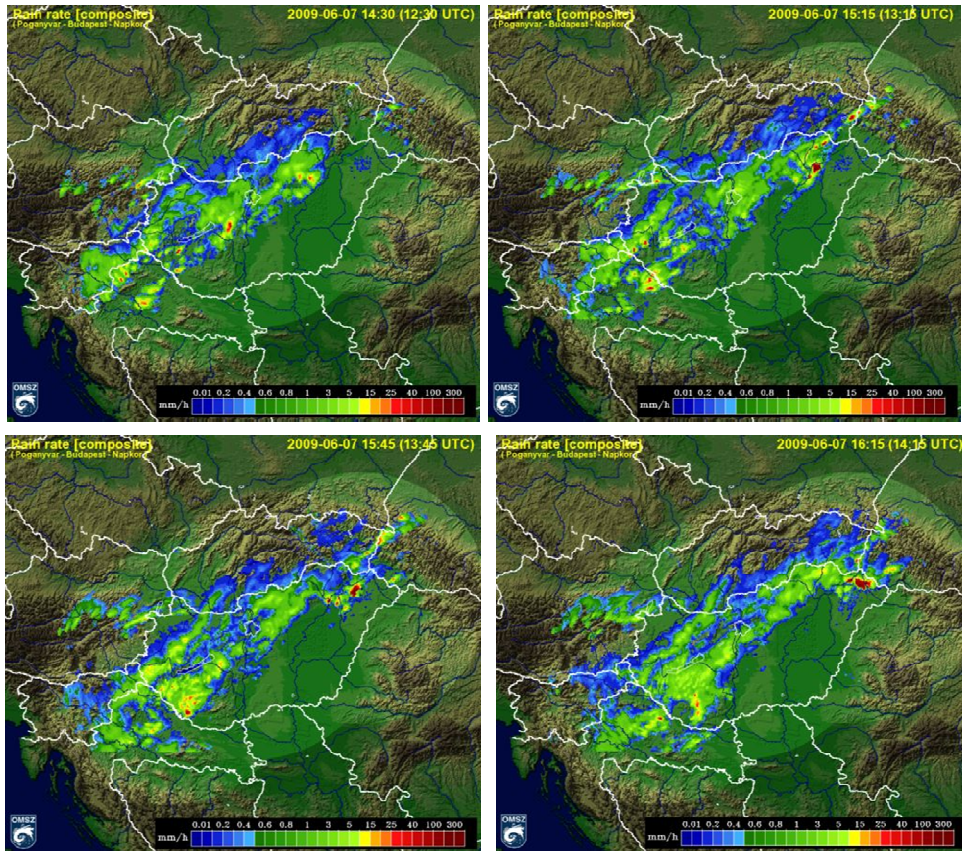


14. ábra: 700 hPa-os relatív nedvességi mező, ECMWF futtatás, 2009. 06. 07. 15:00 UTC, (Forrás: OMSZ, HAWK3).

A radarképeken (**16. ábra**) látható a zivatar fejlődése és haladása. A 12:30 UTC-kor készült radarképen tűnik fel először a zivatarcella, ami 14:45 UTC időpontban már elhagyta hazánkat. Maga a cella 16:00 UTC körül tűnik el teljesen. Élettartama 3-3,5 óra, s erejét tekintve is meg lehet állapítani, hogy szupercellával volt dolgunk.



15. ábra: Budapesti rádiószondás felszállás, 2009. 06. 07. 12:00 UTC,
(Forrás: www.weather.uwyo.edu).

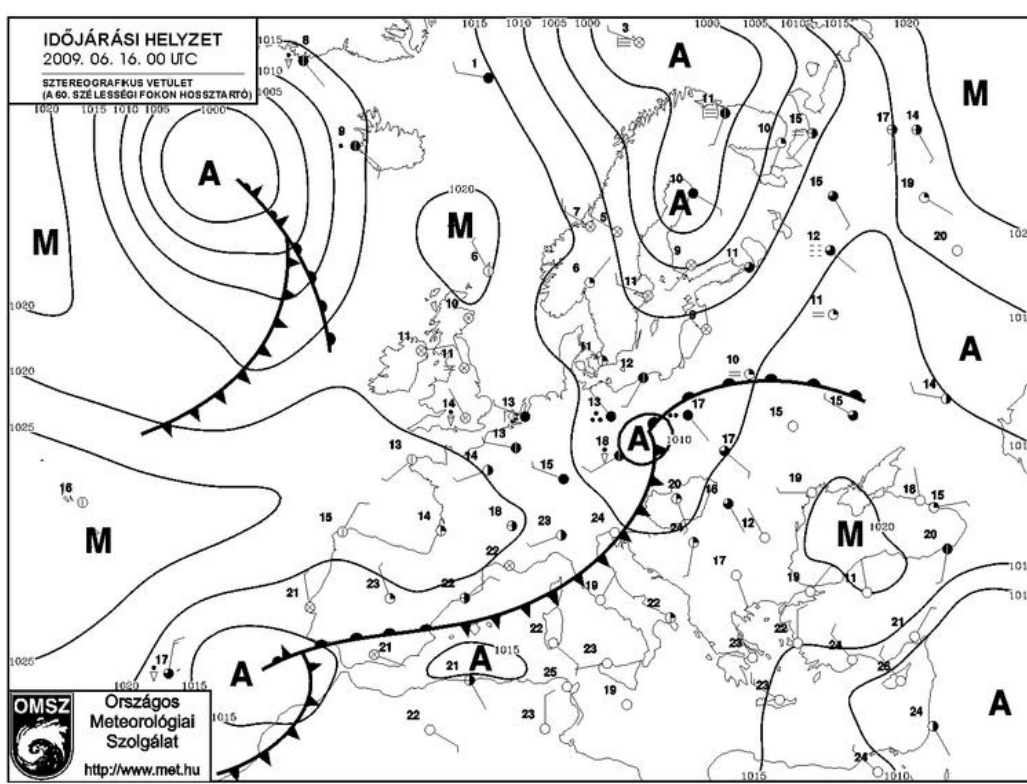


16. ábra: Zivatarcella fejlődése 2009. 06. 07-én, 12:30, 13:15, 13:45 és 14:15 UTC,
(Forrás: www.met.hu).

6.2. 2009. június 16.

A második esettanulmányban a 2009. június 16.-án, a délutáni órákban a Délnyugat-Magyarországon átvonuló vihar kialakulásának szinoptikus körülményeit fejtem ki. Az időjárási helyzet hasonló az előző szituációhoz, ezért csak röviden vázolom.

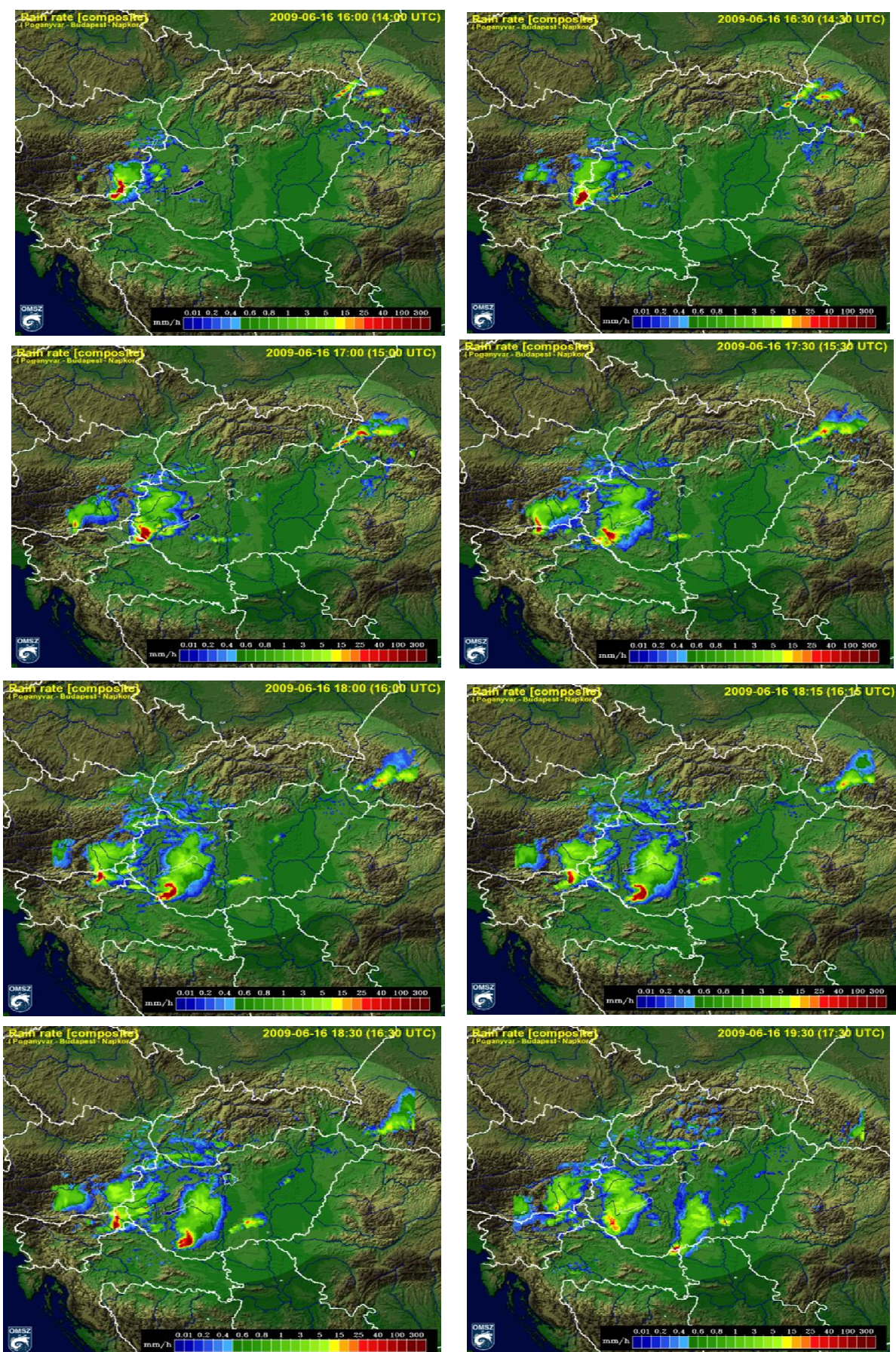
Amíg Nyugat-Európa időjárását ciklonok-anticiklonok alakították, addig a Földközi-tenger medencéjében és Kelet-Közép-Európában ciklonok és azok frontjai voltak a meghatározók (17. ábra).



17. ábra: Frontvonalak Európa területén, 2009. 06. 16. 00:00 UTC,
(Forrás: www.met.hu).

A Közép-Kelet-Európa fölött tartózkodó ciklon hidegfrontja éjjelkor Magyarország nyugati határnál húzódott. Előtte való nap a Kárpát-medence még a ciklon előoldali áramlási rendszerében helyezkedett el, ekkor erős DNy-i irányítottságú melegadvekciónak jellemezte a magasabb rétegeket, hasonlóan az előző (2009. június 7.) időponthoz. A június 16-ai nap folyamán a melegadvekciónak már tőlünk keletre erősödött meg, míg Magyarország felett gyenge hidegadvekciónak kezdődött.

A 12:00 UTC-s budapesti (128423) felszálláson egy gyenge inverzió látható a 850hPa-os szinten (18. ábra). Ez még a melegadvekciónak hatása, Ez az állapot nem volt kedvező a



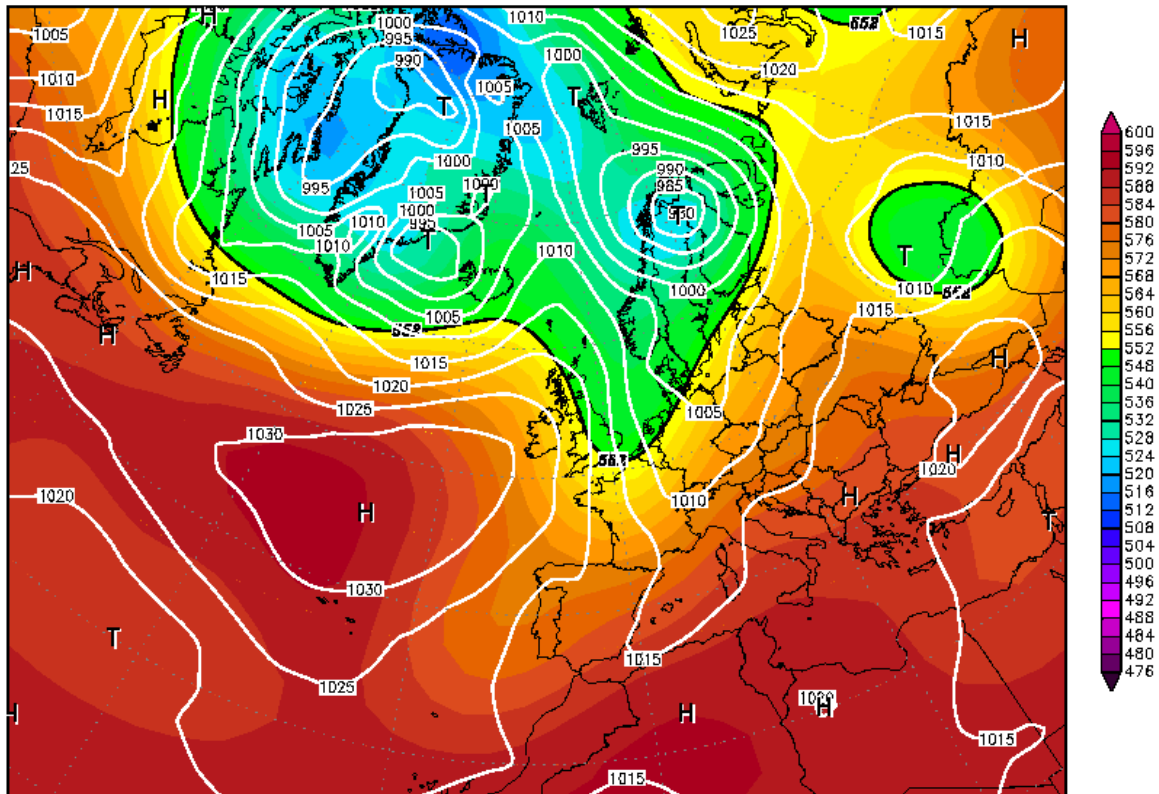
19. ábra: Zivatar fejlődése és vonulása 2009. 06. 06-án, 14:00, 14:30, 15:00, 15:30, 16:00, 16:15, 16:30 és 17:30 UTC, (Forrás: www.met.hu).

6.3. 2007. szeptember 18.

A 2007. szeptember 18-án az országban többfelé zivatar cellák alakultak ki. Magyarország egy skandináviai központú, alacsony geopotenciálú teknő előoldali áramlási rendszerébe került (20. ábra).

18SEP2007 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)

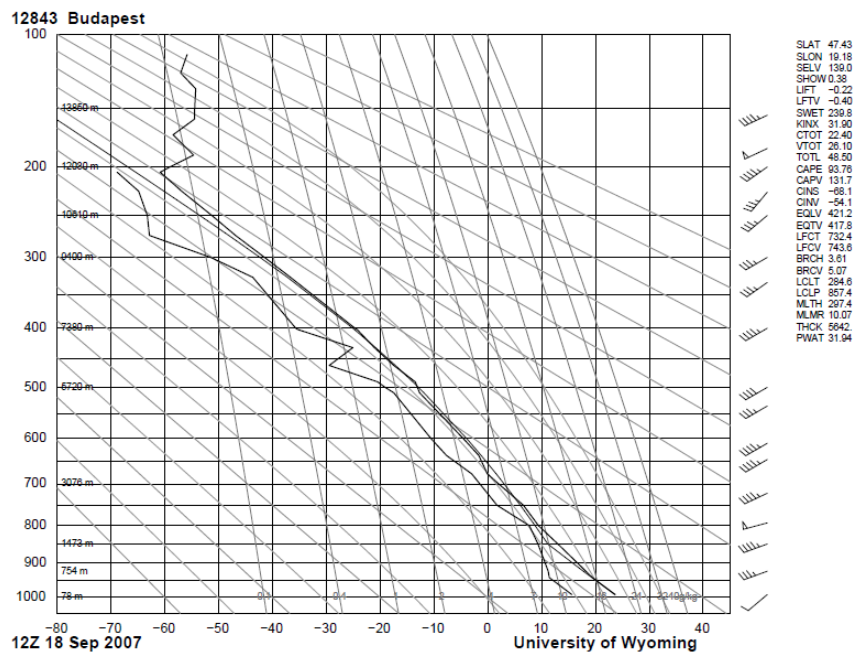


Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

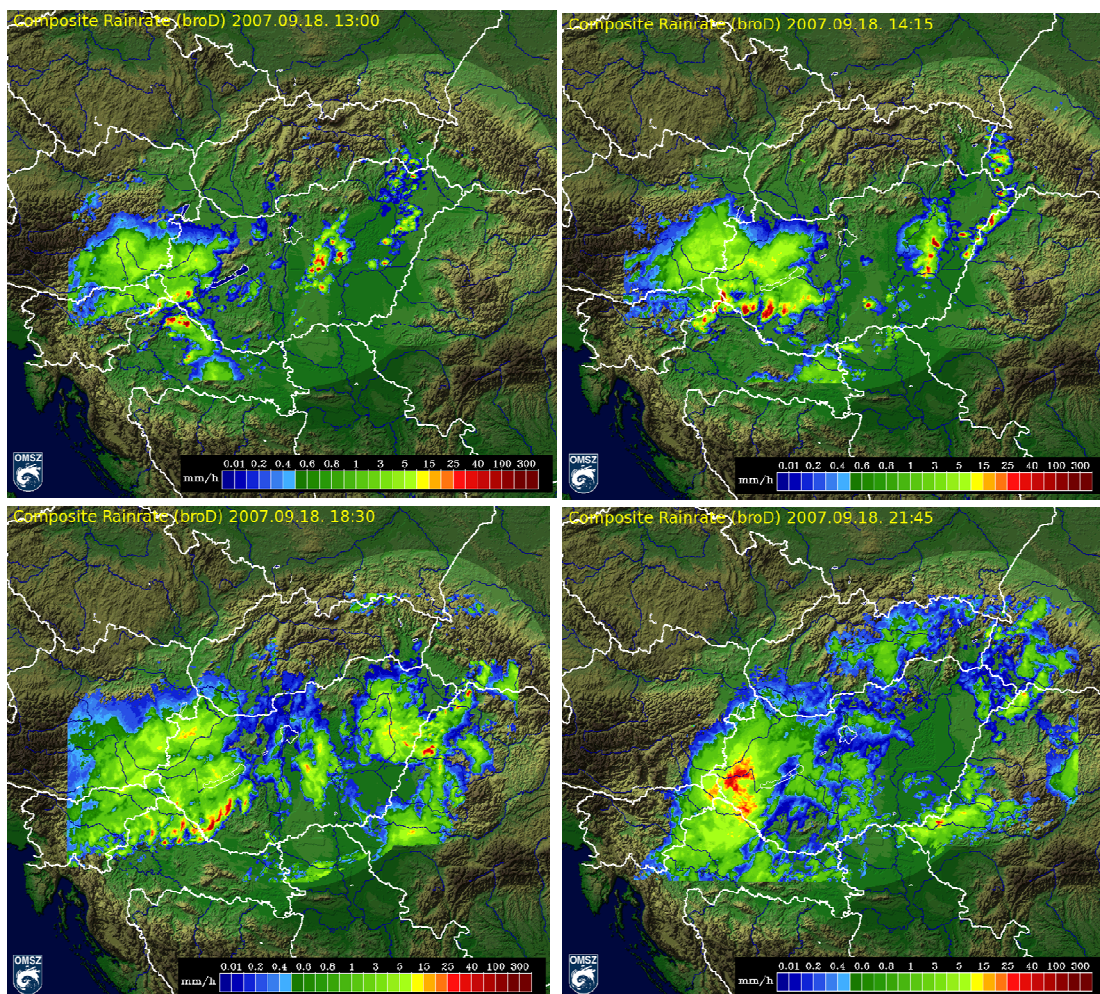
20. ábra: 500 hPa-os geopotenciálmező és talajnyomás, 2007. 09. 18. 00:00 UTC,
(Forrás: www.wetterzentrale.de).

A megelőző napon, itt is melegadvekciónak jellemezte a 850 hPa-os szintet, majd szeptember 18-án napközben egy erősebb hidegadvekciónak következett, ahogyan főként helyeződött a nyomási teknő. Ez erőteljesen labilizálta a légkört.

A 12:00 UTC-s budapesti felszállás (21. ábra) adatai alapján is látható: a légrétegződés labilis volt, a zivatarok kialakulásának adottak voltak a feltételei. A radarképek is jól szemléltetik, hogy szinte egész nap alakultak ki kisebb viharok, zivatarok (22. ábra).



21. ábra: Rádiószondás felszállás, 2007. 09. 18. 12:00 UTC, (Forrás: www.weather.uwyo.edu).



22. ábra: Zivatarok kialakulása 2007. 09. 18-án, 13:00, 14:15, 18:30 és 21:45 UTC, (Forrás: www.met.hu).

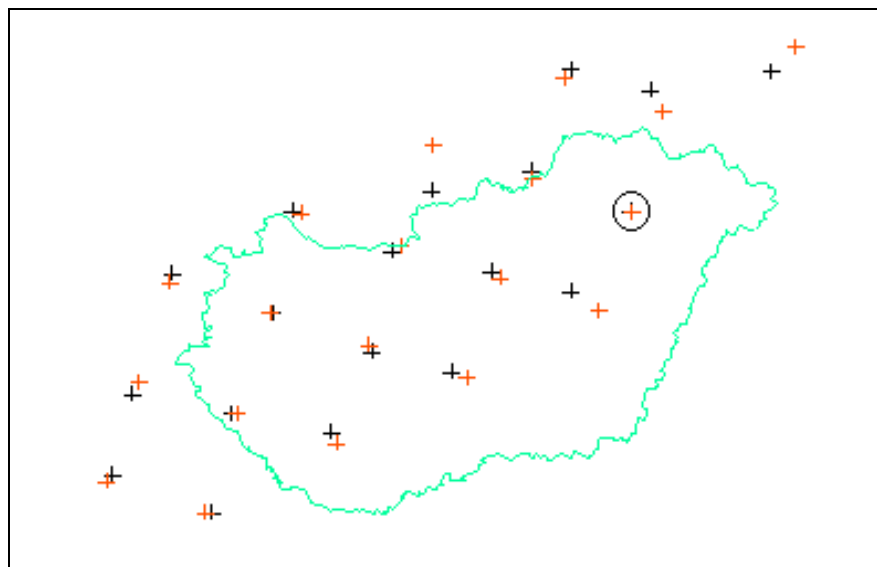
7. Eredmények

A műhold- és radarvektorok összehasonlító vizsgálatát három napra végeztem el: 2009. június 7-re, 2009. június 16-ra és 2007. szeptember 18-ra. Mint már említettem, a 2007. szeptember 18-ai időpontra a standard AMV produktumok mellett a nagyfelbontású HRW adatok is rendelkezésre álltak.

I. vizsgálat: legelőször a még *nyers műholdas AMV produktumokat* hasonlítottam össze a radaros mérésekből számolt elmozdulás vektorokkal. Megnéztem különböző időpontokra, hogy egy-egy műholdponthoz melyik radarpont esik a legközelebb, és azok értékei – mind a sebességek és irányok – mennyire egyeznek meg. Így képet kapunk arról, hogy milyen különbségek illetve milyen egyezések vannak a két, különböző módon számított mozgásvektorok között.

2009. június 7. 13:15 UTC-s időpontra 19 olyan műholdpont volt, amelynek a környezetében – jelen esetben maximum 40 km-es távolságra – volt radarpont (**23. ábra**). A grafikus megjelenítéshez az IDL nevű programot használtam fel.

Azt figyeltem meg, hogy a műholdas sebességértékek szinte minden esetben sokkal nagyobbak, mint a radarértékek, még akkor is, amikor majdnem egy rácspontra esik a műhold- és a radarvektor. A **23. ábrán** a keresztek mutatják a 19 vektor-párt.

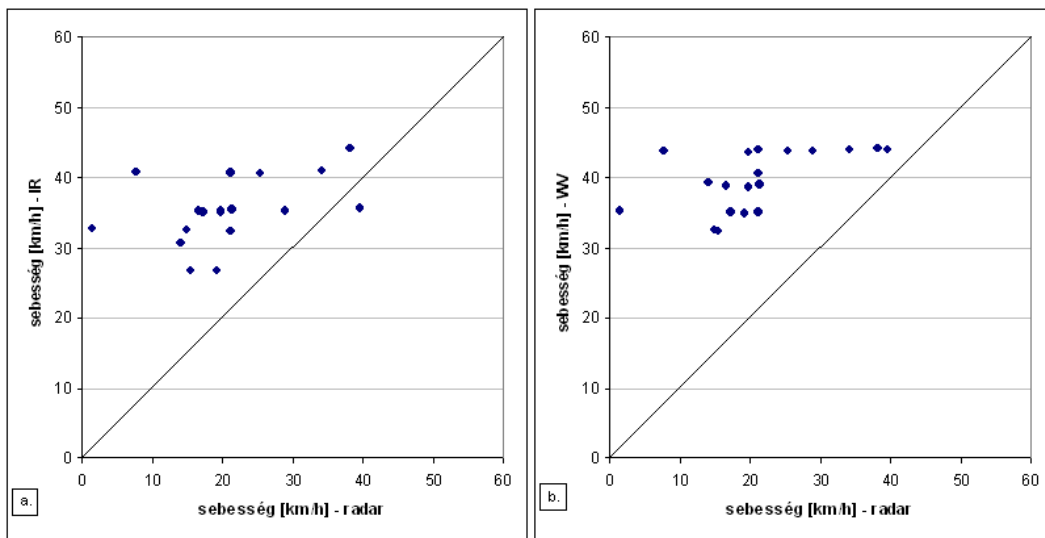


23. ábra: AMV-ok és a hozzájuk legközelebb álló radarvektorok helyzete; piros keresztek: AMV-ok, fekete keresztek: radarvektorok.

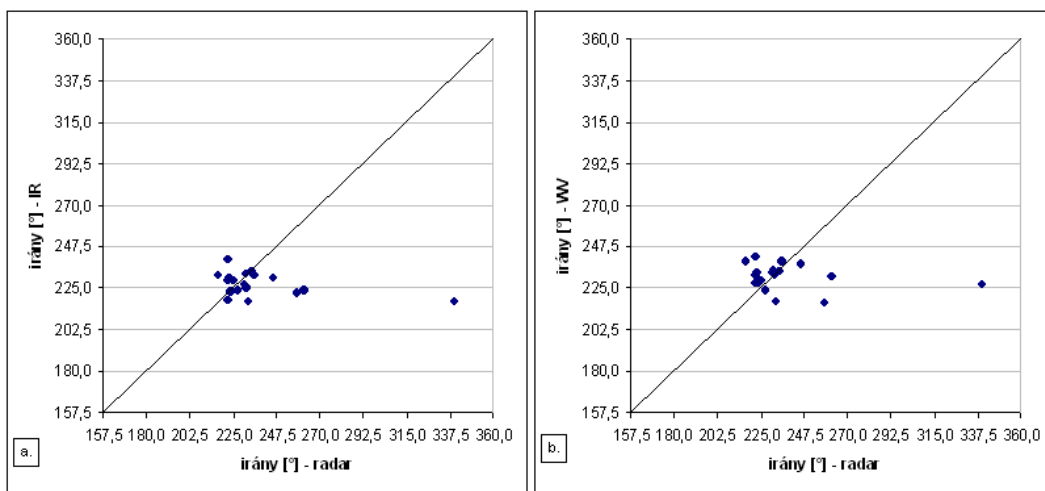
A bekarikázott vektorok kb. fél km távolságra vannak egymástól, sebességértékeik közötti különbség viszont nagy: a radar – IR között kb. 14 km/h, a radar – WV között

pedig kb. 17,6 km/h. (Egy lehetséges magyarázat az, hogy a kétféleképpen számított elmozdulás vektor nem ugyanazt a szintet jellemzi. A vastag felhőzet áthelyeződését első közelítésként a 700 hPa-os szint szélsősebességi adataival közelítjük.)

Vannak olyan vektorpárok is, melyek több km-re esnek egymástól, de nincs akkora különbség a sebességük között. A sebességek közötti korrelációt a következő, **24. ábra** mutatja. Ha az összehasonlított vektorok teljes mértékben megegyeznének, akkor a pontok a 45°-os egyenesen helyezkednének el.



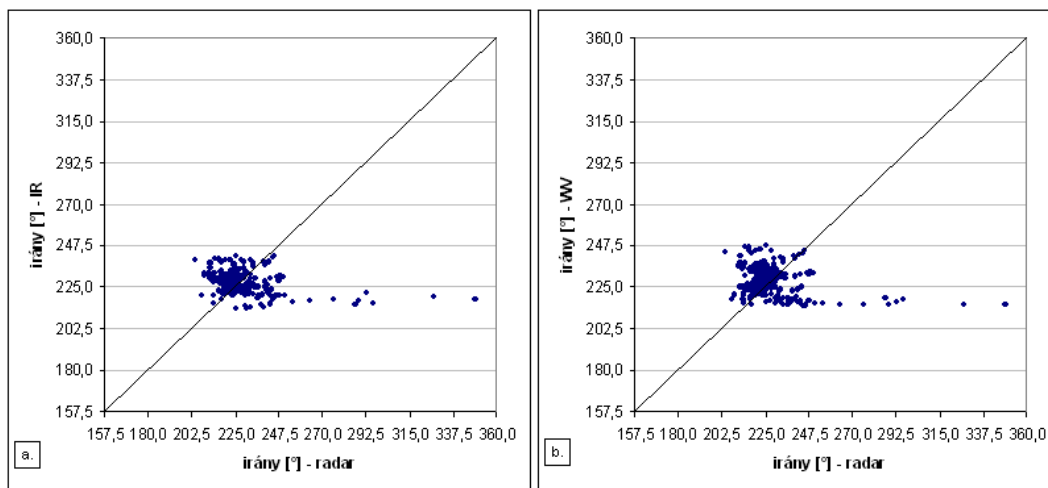
24. ábra: Műholdas, és a hozzájuk legközelebb álló radaros sebességértékek korrelációja 2009. 06. 07 13:15 UTC időpontban; a. IR – radar, b. WV – radar.



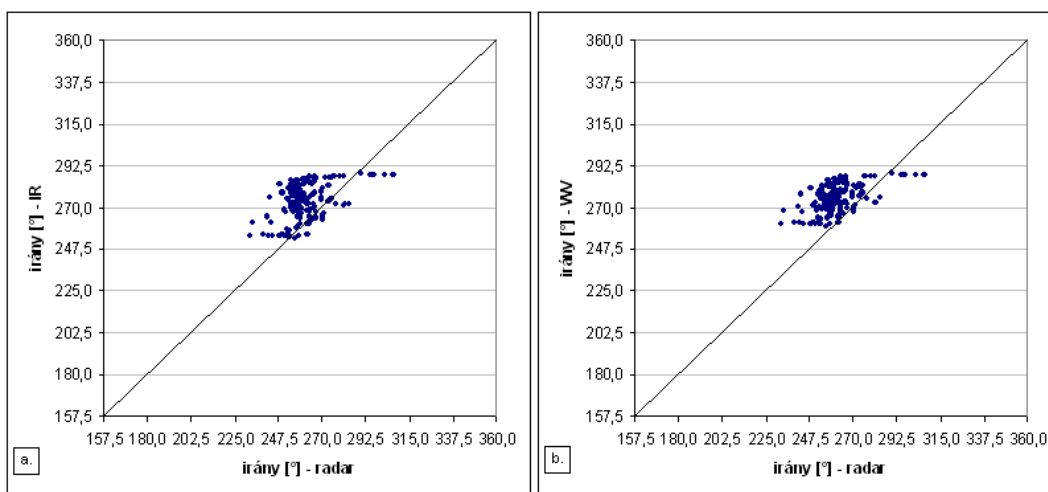
25. ábra: Műholdas, és a hozzájuk legközelebb álló radaros irányértékek korrelációja 2009. 06. 07 13:15 UTC időpontban, a. IR – radar, b. WV – radar.

Látható, hogy mind az IR, mind pedig a WV sebességek felülbecslik a radaros sebességeket, hiszen majdnem minden pont az egyenes felett szóródik.

A műholdas irányok itt is jól egyeznek a radaros irányokkal, egy-két kiugró esetet leszámítva (**25. ábra**). A többi időpontot megvizsgálva hasonló eredményekre jutottam. Ennek fényében folytattam a vizsgálatot úgy, hogy megnéztem mind a három napra, minden időpontra a radaros és a már *interpolált műholdas értékek* közötti összefüggéseket.



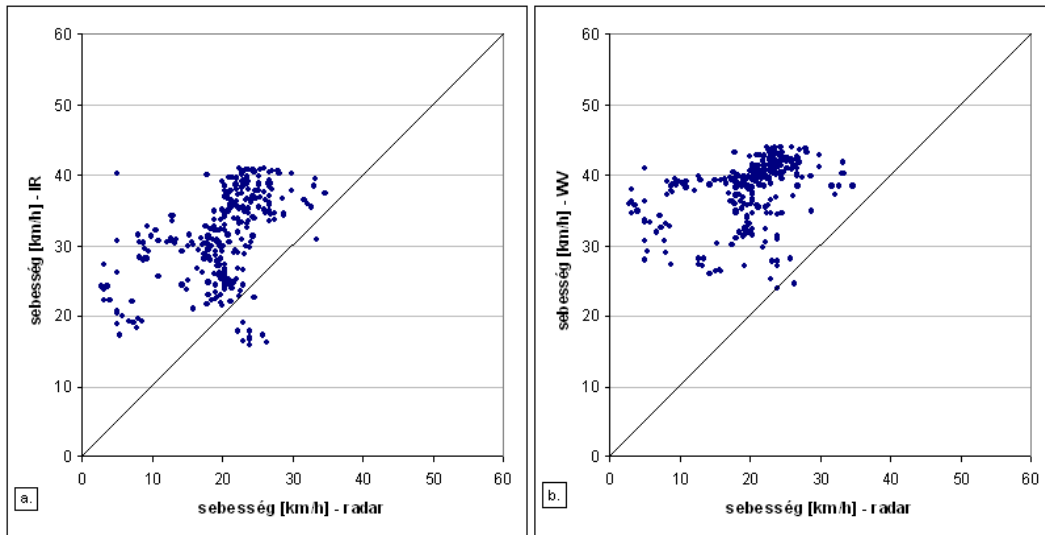
26. ábra: Interpolált AMV – radar irányok korrelációja 2009. 06. 07 14:15 UTC időpontban, a. IR – radar, b. WV – radar.



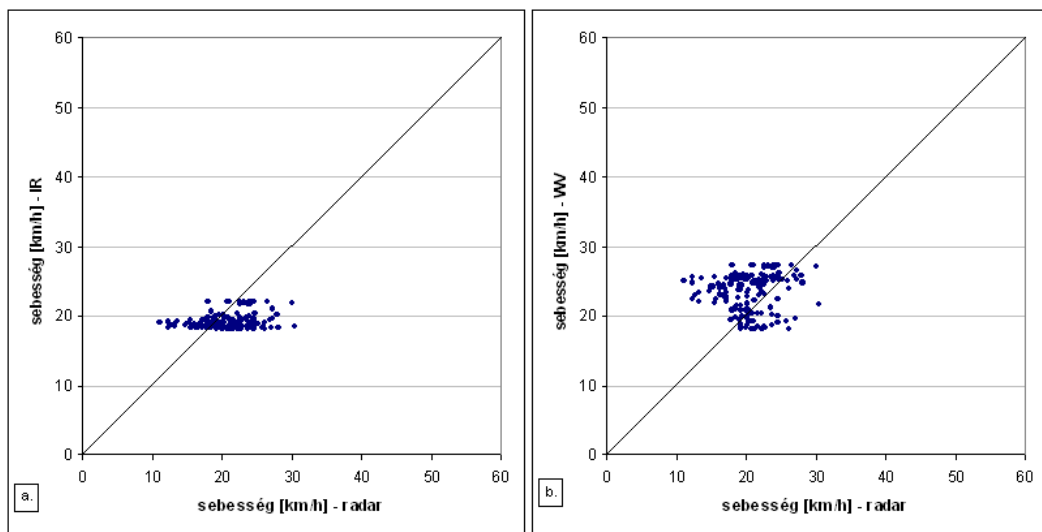
27. ábra: Interpolált AMV – radar irányok korrelációja 2009. 06. 16 16:45 UTC időpontban, a. IR – radar, b. WV – radar.

II. vizsgálat: interpolált AMV és radar adatok. A számítási eredmények közül a 2009. június 7-ére és 16-ára kapott eredményeket közöljük egy-egy kiválasztott időpontban, amikor a zivatar fejlett stádiumban volt. *(Ismét megemlíteném, hogy a műholdas mérések alapján csak a standard AMV légköri mozgásvektorok álltak rendelkezésre, erre a két időpontra.)* A legszembetűnőbb, ami az előző vizsgálatból is kiderült, hogy a műholdas irányok jó kapcsolatban állnak a radaros irányokkal (**26. és 27. ábra**). A sebességet

tekintve viszont elég nagy a műholdas felülbecslés, és némely esetben az adatok szóródása is jelentős (28. és 29. ábra). Hasonló vizsgálatokat mindkét napon más időpontokra is végeztünk, és hasonló következtetéseket vonhattunk le (itt külön nem közöljük az ábrákat).



28. ábra: Interpolált AMV – radar sebességek korrelációja 2009. 06. 07 14:15 UTC időpontban, a. IR – radar, b. WV – radar.

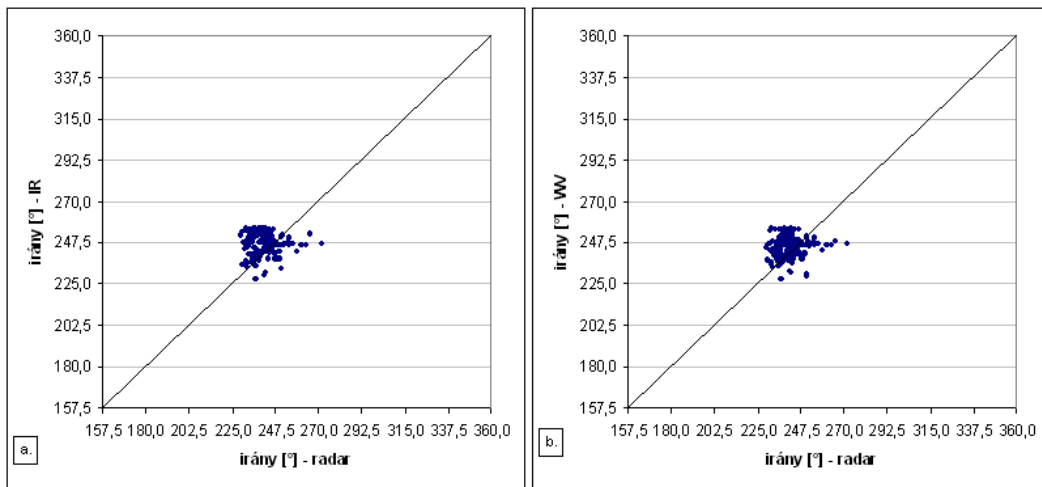


29. ábra: Interpolált AMV – radar sebességek korrelációja 2009. 06. 16 16:45 UTC időpontban, a. IR – radar, b. WV – radar.

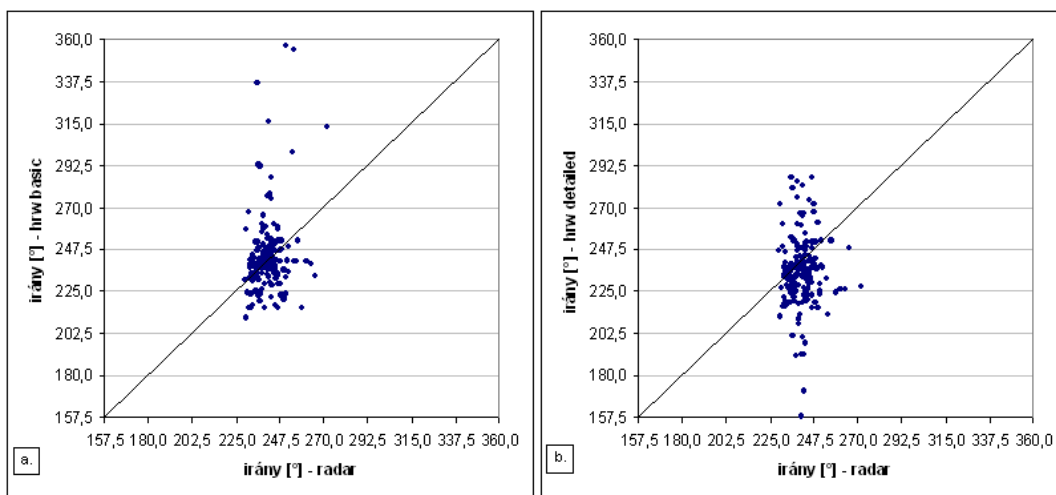
Sokszor megfigyelhető, hogy bizonyos értékek körül csoportosulnak a műholdas adatok. Például a 29.a. ábrán látható, hogy 19-20 km/h-s sebességértéket vesz fel nagyszámú IR műholdas vektor. Ez az interpoláció következménye. Ebben az esetben hasonló értékű műholdvektorok estek a radarvektorok környezetébe, melyek alapján az interpolált értékek nem tudtak változatosabb skálán mozogni. Sajnos a műholdadatok kicsi térbeli felbontása itt nagyon is kiütöközik.

III. vizsgálat: HRW az AMV műholdas vektorok és a radar adatok közötti kapcsolat.

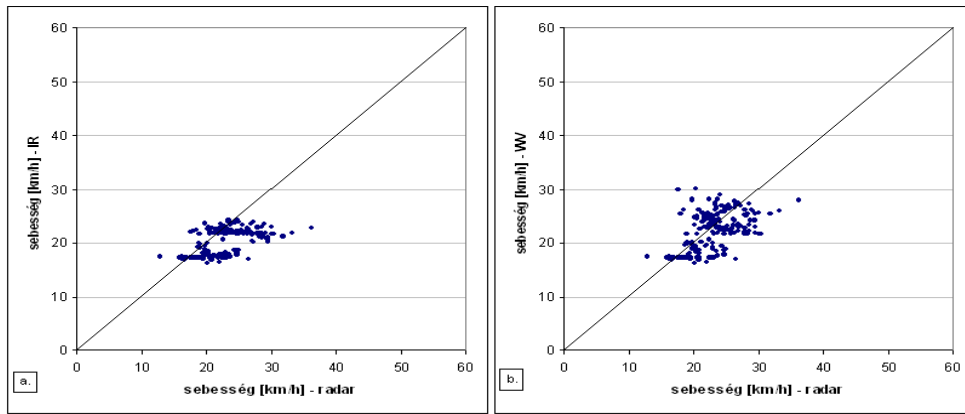
A 2007. szeptember 18-ai napra HRW adatok is rendelkezésemre álltak. Az AMV – radar és HRW – radar diagramok összehasonlításával megfigyelhetjük, hogy a HRW-es vektorok nem csoportosulnak egy bizonyos érték környékén, hanem jobban szóródnak. Ez a nagyobb térbeli felbontásának köszönhető. Vagyis annak, hogy az interpoláció során sokkal több értékkel lehetett számolni, mint az AMV esetén. Szintén ennek tudható be, hogy sokkal jobban korrelálnak a HRW-es vektorok a radarvektorokkal, mint az AMV-ok. Ez főleg a sebesség esetén figyelhető meg.



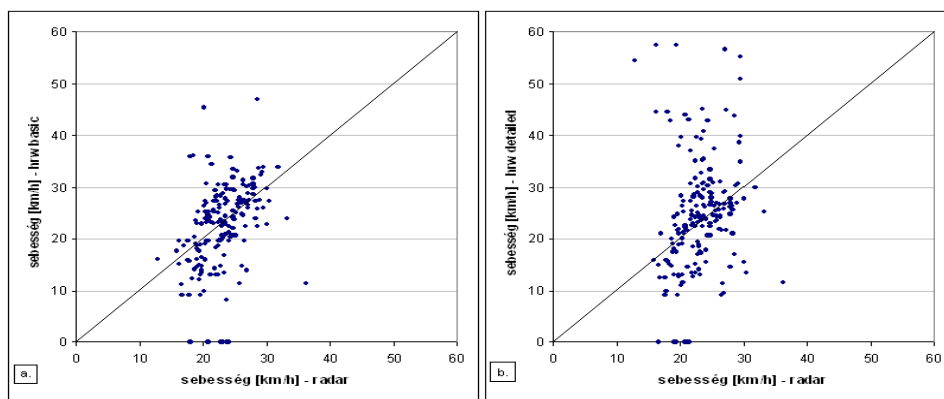
30. ábra: Interpolált AMV – radar irányok korrelációja 2007. 09. 18 14:00 UTC időpontban, a. IR – radar, b. WV – radar.



31. ábra: Interpolált HRW – radar irányok korrelációja 2007. 09. 18 14:00 UTC időpontban, a. HRW „basic” – radar, b. HRW „detailed” – radar.



32. ábra: Interpolált AMV – radar sebességek korrelációja 2007. 09. 18 14:00 UTC időpontban, a. IR – radar, b. WV – radar.

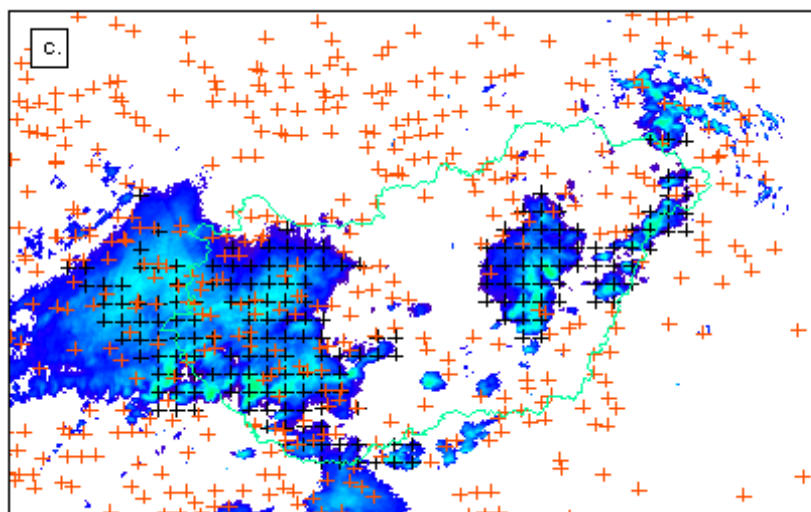
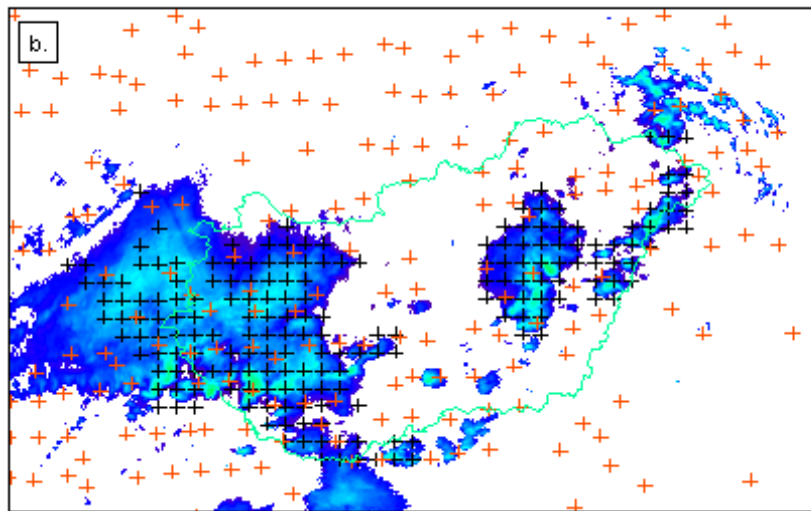
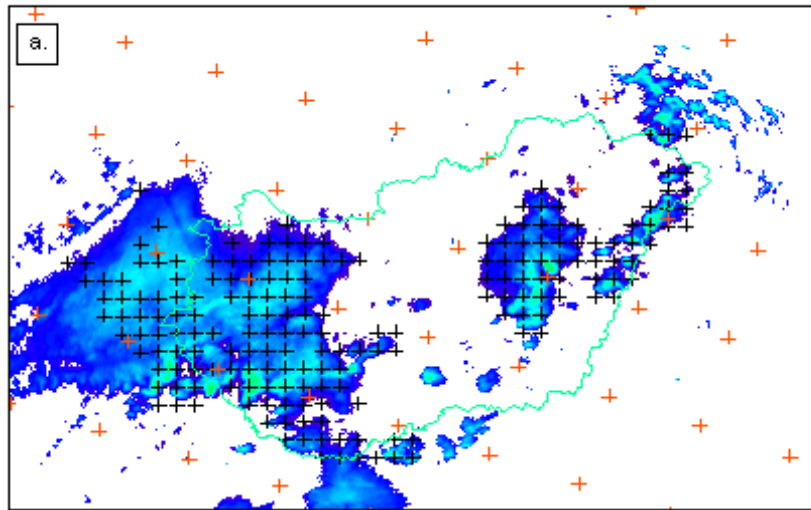


33. ábra: Interpolált HRW – radar sebességek korrelációja 2007. 09. 18 14:00 UTC időpontban, a. HRW „basic” – radar, b. HRW „detailed” – radar.

Az irányt tekintve láthatjuk (30. és 31. ábra), hogy az AMV – radar és a HRW – radar korrelációk között nincs nagyon nagy eltérés. Ez azt bizonyítja, hogy az eddigi megállapítás, mely szerint az AMV irányok jó egyezést mutatnak a radaros irányokkal, helyesnek bizonyul. Sőt, még azt is megállapíthatjuk, hogy a HRW-ek sokkal jobban szóródnak, és nagyobb irányeltéréseket is mutatnak néhol, mint az AMV-ok. A „basic” és a „detailed” adatok között nem fedezhető fel figyelemre méltó eltérés, nagyjából hasonló az eloszlásuk.

Mint már említettem, a sebességet tekintve sokkal jobb becslést ad a HRW. Itt is megfigyelhető – kisebb mértékben, mint az AMV esetén – az értékek felülbecslése néhány helyen, de az összességét tekintve már közelebb állnak a radaros sebesség értékekhez. Itt is, ugyanúgy, mint az irány esetében van egy-két érték, amelyik sokkal nagyobb, vagy van, ahol kisebb értéket ad, mint a radar. De nagy részben jól korrelálnak egymással (32. és 33. ábra).

A térbeli felbontásokat szemlélteti a következő, 34. ábra. Látható, hogy a legkisebb felbontása az AMV mezőnek, a legnagyobb pedig a HRW „detailed” mezőnek van.



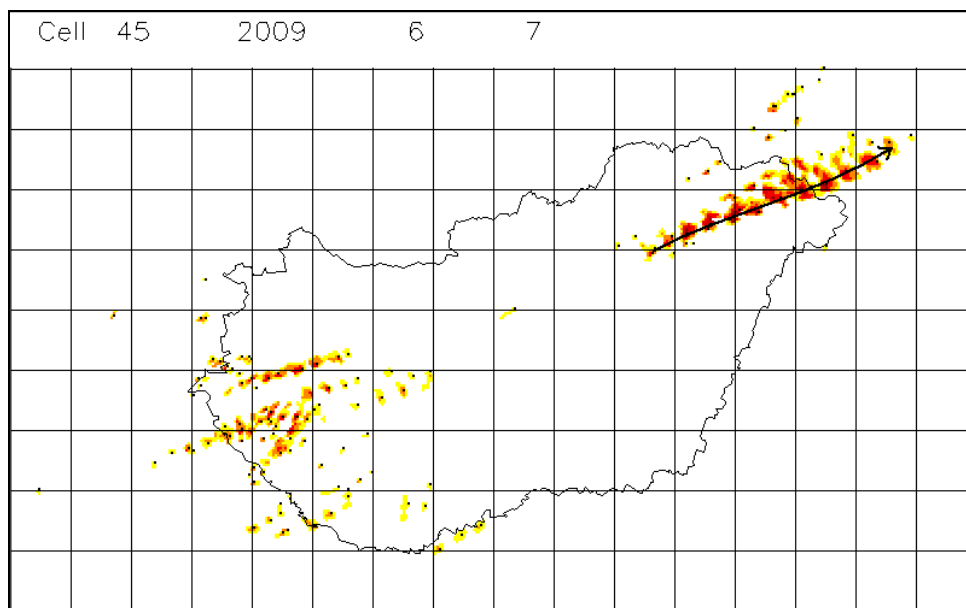
34. ábra: a. AMV és radar vektormező (fekete kereszt: radar, piros kereszt: AMV), b. HRW "basic" és radar vektormező (fekete: radar, piros: HRW „basic”), c. HRW "detailed" és radar vektormező (fekete: radar, piros: HRW „detailed”) 2007. 19. 18 16:45 UTC időpontban, radarképpel.

IV. vizsgálat: Mennyire adják vissza a cellák mozgását a műholdas elmozdulásvektorok (AMV)? A vizsgálatban az interpolált AMV értékeket vettem össze a radaros adatokból számított elmozdulásvektorokkal. Ez utóbbit tekintetem referenciának, mint ahogy azt eddig is tettem. Kiválasztottam egy-egy zivatarcellát és ezeket követtem. Meghatároztam a cella kialakulásának és feloszlásának az időpontját. A két időpont között 15 perces lépésekben mindkét módszerrel megadtam az áthelyeződési vektorokat (sebesség irány), ezeket hasonlítom össze. Felrajzoltam a trajektóriákat is. Itt is nagy változékonyság van a sebesség és az irány tekintetében. A 2009. június 7-ei, Nyírségben nagy károkat okozó zivatarcella mozgása, trajektóriája, a 45 dBZ-s küszöbértékkel a **35. ábrán** látható.

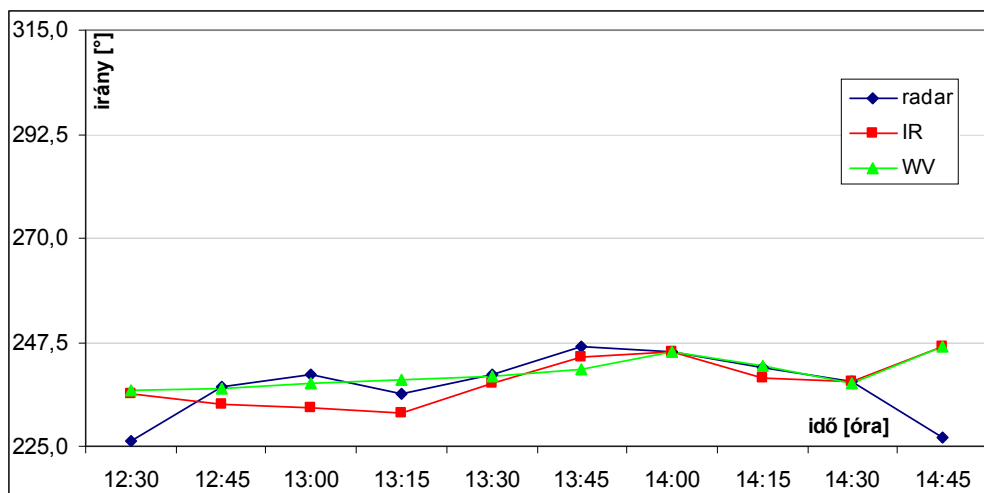
Megvizsgáltam, hogy a cella területén elhelyezkedő radarvektorok és az oda interpolált műholdvektorok milyen viszonyban vannak egymással. Ahogy az eddigi vizsgálatnál is, itt is jó egyezést mutatnak az irányok (**36. ábra**). Az áthelyeződési sebesség műholdas felülbecslése szintén látható (**37. ábra**).

Egy másik esetben, 2009. június 16-i napon Délnyugat-Magyarországon vonult végig egy zivatarcella (**38. ábra**). Az irány szempontjából itt kevésbé nagy az egyezés, viszont a műholdas és a vektoros sebességértékek nagyon jól korrelálnak egymással (**39. és 40. ábra**).

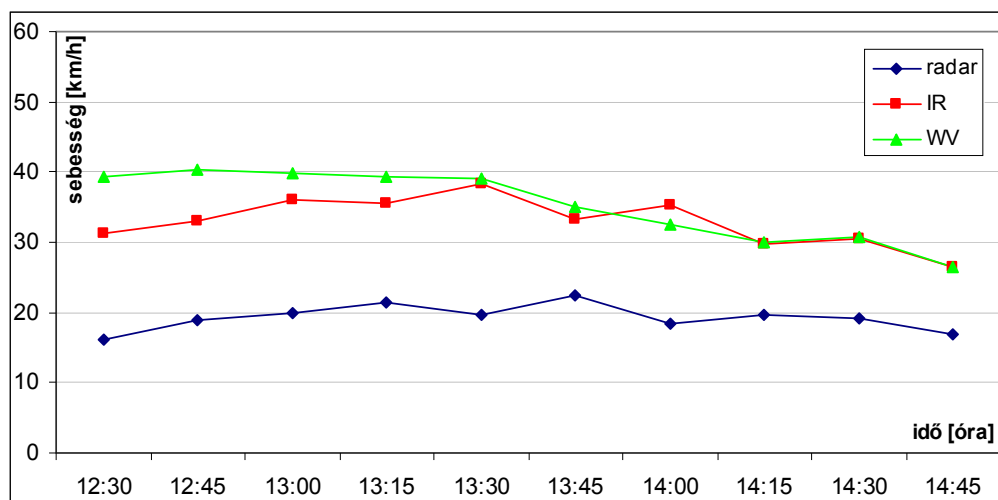
Ez a két eset jól mutatja, hogy esetről esetre változik a műholdas és a radaros áthelyeződési vektorok közötti kapcsolat szorossága. Ezt úgy interpretálhatjuk, hogy nem minden esetben megbízhatók a műholdas áthelyeződési vektorok. Ennek fényében azt a megállapítást kell tennem, hogy az AMV produktumok önmagukban nem alkalmasak a kis skálájú konvektív rendszerek áthelyeződési sebességének ultrarövidtávú előrejelzésére. Irány tekintetében az adatok megbízhatóbbnak mondhatók.



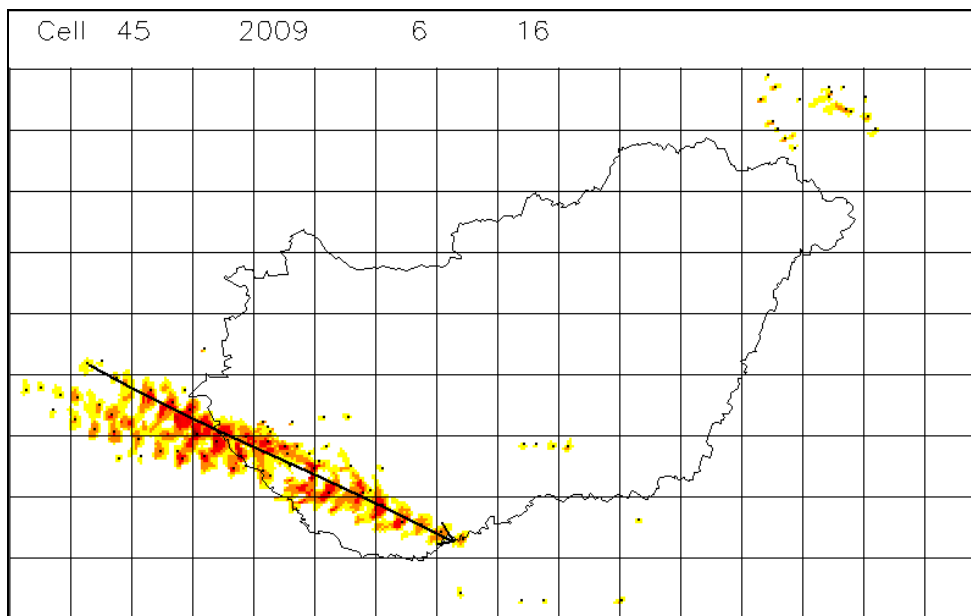
35. ábra: 45 dBZ-s küszöbértékkel kirajzolt cella-trajektória, 2009. 06. 07 napra.



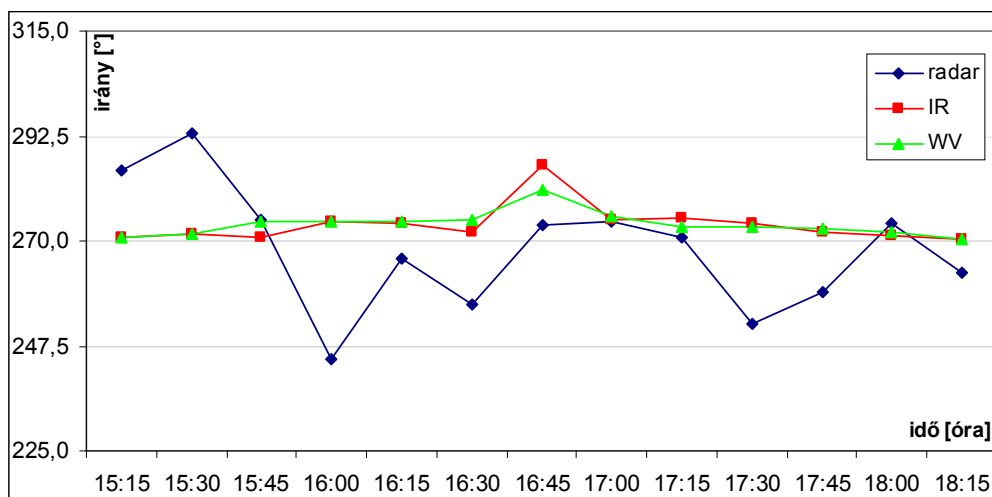
36. ábra: AMV (IR és WV) és radar irány kapcsolata az időben, 2009. 06. 07 napra.



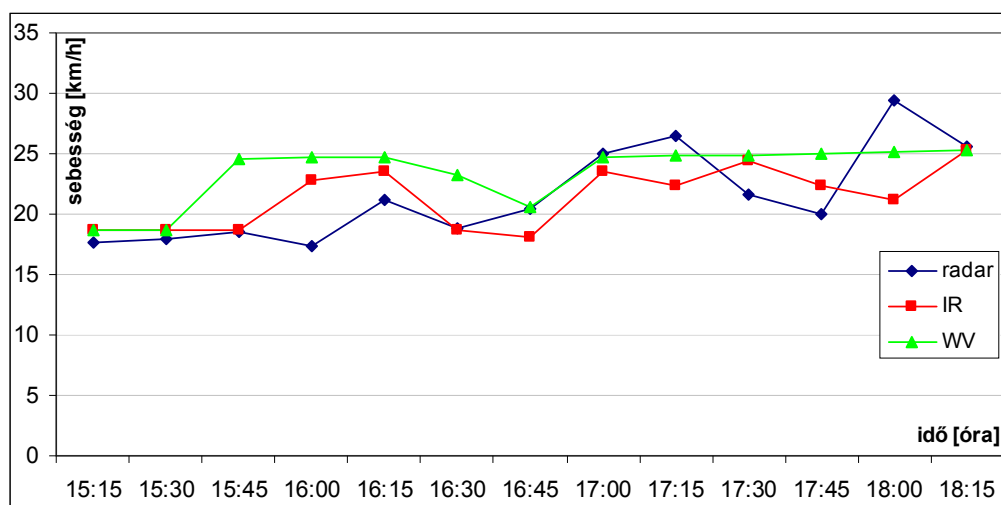
37. ábra: AMV (IR és WV) és radar sebesség kapcsolata az időben, 2009. 06. 07 napra.



38. ábra: 45 dBZ-s küszöbértékkal kirajzolt cella-trajektória, 2009. 06. 16 napra.



39. ábra: AMV (IR és WV) és radar irány kapcsolata az időben, 2009. 06. 16 napra.



40. ábra: AMV (IR és WV) és radar sebesség kapcsolata az időben, 2009. 06. 16 napra.

8. Összefoglalás

A diplomamunkámban együttesen elemeztem a műholdas adatokból származtatott és a radaros mérések alapján számított mozgásvektorokat. Megvizsgáltam a műholdas áthelyeződési v. mozgásvektorok felhasználhatóságát ultrarövidtávú (Nowcasting) előrejelzésekben. A kérdés fontosságát az adja, hogy gyakran alakulnak ki pusztító viharok, amelyek nagyon nagy károkat tudnak okozni.

Bemutattam a radaros és a műholdas adatokra támaszkodó számítási módszert, foglalkoztam a két különböző eszköz által mért cella áthelyeződési vektorok különbségével, például az eltérő térbeli felbontás hatásával. Láthattuk, hogy a műholdas légköri mozgásvektorok 90-100 km-es felbontása az általunk használt interpolációs eljárással (négyzetes távolságfüggés) már összehasonlíthatók a radaros mozgásvektorok, kb. ötször nagyobb felbontásával. Viszont hibaforrást jelent, hogy nem fizikai összefüggéseket alkalmazunk a műholdas vektormező térbeli finomítása esetén. Ezért további vizsgálatok szükségesek annak a kérdésnek a megválaszolásához, hogy vajon a mozgásvektorok esetén milyen interpolációs eljárás alkalmazása a legoptimálisabb.

Az általam fejlesztett műholdas légköri mozgásvektorok interpolációs eljárását három eseten teszteltük. A fő cél a műholdas mérések alapján következtetni a zivatarcellák áthelyeződési sebességére. Két esettanulmányon elemeztem egy-egy kiválasztott zivatarcellára az interpolált műholdvektor-mező viselkedését. Kimutattam, hogy a műholdas légköri mozgásvektorok (AMV) akár az infra-, akár a vízgőz-tartományból számolt vektorokat tekintve az áthelyeződés irányt a legtöbb esetben, a zivatarcellák mindhárom fejlődési szakaszaiban jól mutatják. Referenciaként a radarmérések alapján készített mozgásvektorok szolgáltak. Az áthelyeződési sebesség tekintetében sajnos ez nem mondható el. Volt olyan eset, ahol jól korrelált a két, összehasonlított sebességvektor-tér, de összességében a műholdas értékek lényegesen magasabb értékeket mutattak, ami ilyen formán nem használható fel. Az eltérések átlagértéke 15 km/h nagyságrendű volt.

Egy esetben (2007. szeptember 18.) lehetőségem volt az EUMETSAT nagyfelbontású műholdas szélvektoraival (HRW) is számításokat végezni. Ezek az adatok már jobban közelítik a radaros mozgásvektorokat, mint a hagyományos AMV-ok.

Terveim között szerepel az AMV és a HRW adatok együttes vizsgálata. A radaros és a két műholdas információ együttes alkalmazása lehetőséget teremthet egy olyan módszer

kifejlesztéséhez, amely már operatív gyakorlatban is alkalmazható a cellamozgások előrevetítésére.

További feladat lehet, hogy a radarvektorokat, és az interpolált műholdas éthelyeződési vektormezőt felhasználva a magyarországi kompozit radarképeket időben előre mozgatjuk, majd összevetjük az arra az időpontra vonatkozó valós radarképpel. Így ellenőrizhetjük, hogy a származtatott vektorok milyen megbízhatósággal alkalmazhatók; hány percre vetíthetők előre – adott hibahatáron belül – egy-egy zivatarcella mozgását.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Dombai Ferencnek, hogy folyamatosan segítette a diplomamunka elkészítését sok figyelemmel és türelemmel. Mindig számíthattam rá, ha kérdésem volt. Sok segítséget kaptam tanszéki konzulensemtől, Dr. Weidinger Tamástól is. A vizsgálatokhoz szükséges adatokat, és számítógépes kapacitást az Országos Meteorológiai Szolgálatot biztosította, ami a munka alapját adta.

Köszönettel tartozom csoporttársaimnak, Morvai Krisztiánnak, akihez a programozási feladat során fellépő problémákkal fordulhattam, Deák Biankának és Tüskés Boglárkának, akik szintén sokat segítettek a dolgozat befejezésénél.

Végül pedig külön köszönöm családomnak, vőlegényemnek, barátaimnak a sok biztatást és megértést.

Felhasznált irodalom

- Browning, K.A. and Collier, C.G., 1982. An integrated radar satellite nowcasting system in the UK. In: Nowcasting, Browning, K.A. (Ed.). *Academic Press*, London, 47–61.
- Byers, H.R. and Braham, R.R., 1949: The Thunderstorm. *US. Dept. of Commerce*, Washington.
- Diószeghy M., Gróbné Szenyán I., Kerényi J., Kertész S., Putsay M. és Rajnai M., 2005: Miért nevezték el második generációsak a legújabb METEOSAT műholdat?, Intenzív Meteorológiai Megfigyelések. *A 30. Meteorológiai Tudományos Napok előadásai*, OMSZ, 165–171.
- Dixon, M. and Wiener, G., 1993: TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting – A Radar-based Methodology. *J. of Atmos. and Oceanic Tech.* **10**(6), 785–797.
- Dombai F., 2007: Hazai villámlás lokalizációs és radar adatok összehasonlító elemzése, doktori (PhD) értekezés, ELTE-TTK
- Geresdi I., 2004: Felhőfizika. *Dialóg Campus Kiadó*, Budapest-Pécs
- Hohti, H., Koistinen, J., Nurmi, P., Saltikoff, E. and Holmlund, K., 2000: Precipitation nowcasting using radar-derived atmospheric motion vectors. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B* **25**(10–12), 1323–1327.
- Holmlund, K., 2000: The Atmospheric Motion Vector retrieval scheme for Meteosat second generation. *Proceedings of 5th International Winds Workshop, Melbourne*, 28 Feb. – 3 March. EUMETSAT.
- Horváth Á., 2002: MEANDER: Az Országos Meteorológiai Szolgálat Nowcasting rendszere. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* **17**, 86-94.
- Horváth Á., Ács F. and Seres A.T., 2008: Thunderstorm climatology analyses in Hungary using radar observations. *Időjárás* **112**(1), 1–14.
- Keenan, T., Joe, P., Wilson, J., et al., 2003: The Sydney 2000 World Weather Research Programme Forecast Demonstration Project: Overview and Current Status. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **84**, 1041–1054.

- Medaglia, C.M., Adamo, C., Formenton, M. and Piccolo, F., 2005: Nowcasting of convective cells over Italian Peninsula. *Adv. Geosci.* **2**, 173–176.
- Nagy J., Nagy Z. és Németh P., 2002: Hazai időjárás megfigyelések az előrejelzés szolgálatában. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek* **17**, 62–69.
- Németh P. és Horváth Gy., 2007: A térbeli áthelyeződés és időbeli fejlődés figyelembe vétele radaros csapadékösszeg képzésében. OMSZ/MFO Távérzékelési Osztály (Kézirat).
- Pereda, J.G., 2009: Product User Manual for „High Resolution Winds”. Applicable to SAFNWC/MSG version 2009, AEMET
- Pereda, J.G. and Serdán, J.M.F., 2006: Objective use of high resolution winds product from HRV MSG channel for nowcasting purposes. 8th International Wind Workshop Beijing, 24-28 April 2006.
- Putsay M. dr. és Kocsis Zs., 2009: Az EUMETSAT által műholdadatokból származtatott légköri és felszíni paraméterek. OMSZ
- Rebora, N. and Ferraris, L., 2006: The structure of convective rain cells at mid-latitudes. *Adv. Geosci.* **7**, 31–35.
- Schmetz, J., Pili, P., Tjemkes, S. et al., 2002: An Introduction To Meteosat Second Generation (MSG). *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **83**, 977–992.
- Schmetz, J., K. Holmlund, J. Hoffman, B. Strauss, B. Mason, V. Gärtner, A. Koch and L. van de Berg, 1993: Operational Cloud-Motion Winds from Meteosat Infrared Images. *J. Appl. Meteor.* **32**, 1209–1210.

Internetes hivatkozások

http://www.eumetsat.int/Home/Main/What_We_Do/Satellites/index.htm?l=en

<http://www.met.hu>

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