

HIDEGCSEPPEK VIZSGÁLATA EURÓPA TÉRSÉGÉBEN AZ ECMWF ERA INTERIM REANALIZIS ALAPJÁN

STUDY OF THE COLD DROP BASED ON ECMWF'S ERA INTERIM IN EUROPE

Gaál Nikolett

ELTE TTK Környezettudományi Centrum, 1117 Budapest Pázmány Péter sétány 1/A gaalnikki@gmail.com

Összefoglalás: A felső troposzférában kialakuló – gyakran nehezen előrejelezhető – hidegcseppek illetve hideg örvények vizsgálatát tűztük ki célul statisztikus módszerek alkalmazásával, valamint esettanulmányok révén. A hidegcseppeket gyakran intenzív események, záporok, zivatarok, olykor tubák és nem mezociklonális tornádók kísérik. A felsorolt események miatt az Országos Meteorológiai Szolgálat Repülésmeteorológiai és Veszélyjelző Osztálytól kapott motiváció hatására saját fejlesztésű eszközrendszer használatával a jelenség összetett vizsgálatára került sor.

Abstract: We aimed to analyze the cold drops and the upper level low formed in the middle troposphere - which are often difficult to be predicted - by means of the statistical methods and case studies. Cold drops are often followed by intensive events such as heavy rainfall, thunderstorm, sometimes tubas and non mesocyclonic tornadoes. Due to the above mentioned events and the motivation of the Aviation and Severe Weather Forecasting Division at Hungarian Meteorological Service, the phenomenon was analyzed in a comprehensive way by a self-developed multiple method.

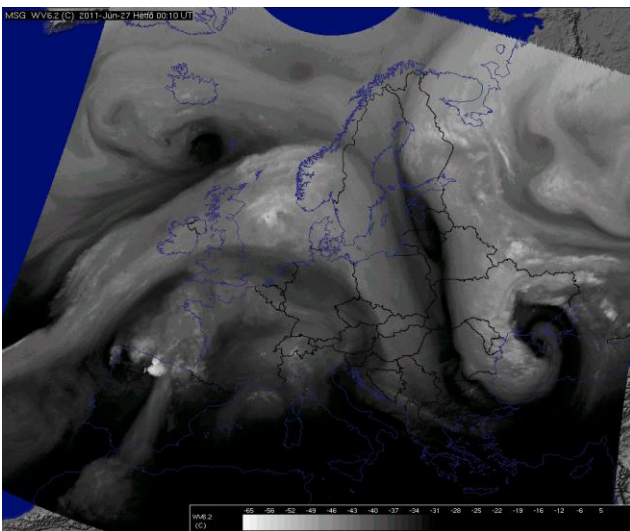
Bevezetés. A magassági hidegcsepp vagy más néven magassági hideg örvény olyan légtömeg, amely elkülönült a nyugatias vezető áramlástól. Ezáltal elszigetelődött a magasabb szélességek hideg levegőjétől, így a környezetéhez képest jóval hidegebb levegőt szállít az alacsonyabb szélességű jelentősen melegebb területek fölé. Az operatív gyakorlatban analizálása a közép-troposzférában, körülbelül 5500 méteres magasságban az 500 hPa-os nyomásszint környezetében történik. A jellemző ellipszis alakú szerkezete és több száz kilométer átmérője miatt a műholdképeken leginkább egy miniciklonhoz hasonlít (1. ábra). A hidegcsepp akár több napon keresztül is meghatározza egy adott térség időjárását,

gyakran jelentős mennyiségű és intenzív csapadéktevékenységgel jár együtt elsősorban a nyári félévben. A hidegcsepp az év bármely évszakában előfordulhat. A labilis légállapot nyáron kedvező feltételeket biztosít zivatar, jégeső, felhőszakadás kialakulásához, illetve bizonyos feltételek mellett akár heves zivatar előfordulásához, télen pedig az intenzív hózáporokért felelős. Jellegzetessége, hogy a magasban a hidegcseppen belül a levegő hidegebb, mint a hidegcseppen kívül. A hidegörvény elnevezést – az északi féltekén az óramutató járásával ellentétes irányú – ciklonális örvénylése miatt kapta.

1. A hidegcseppek életciklusa. Egy klasszikus fejlődésű magassági hideg örvény életciklusa 4 részre osztható fel, mialatt a magassági teknő alja leválik a vezető áramlásról, és végül feloszlik vagy egyesül egy másik teknővel (ZAMG, 2011 /a, /b).

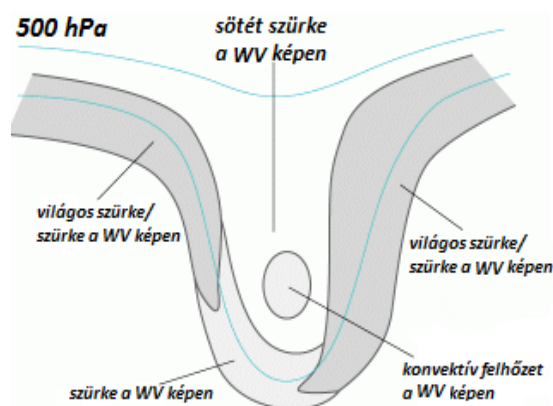
- magassági teknő (upper level low)
- leszakadás előtti állapot (tear-off)
- leszakadt örvény (cut-off)
- végső fázis (final stage)

1.1. A magassági teknő fázis. A magassági örvény képződésének előfeltétele a fő áramban található instabil hullámok jelenléte, ahol a hőmérséklet hullám a geopotenciális hullám mögött helyezkedik el. Ez a fázis az, ahol az említett magassági teknő a frontális felhőtömeg mögött még fennáll, így a műholdképeken a magassági örvény főágától jól fejlett felhősáv látszik. A látható (VIS 0.6) és infravörös (IR 10.8) képeken ez a felhőtömeg világos fehér, mely a vastag réteges felhőborítottságot mutatja (2. ábra). 1.2. Leszakadás előtti állapot. Ennek a szakasznak a fő meteorológiai folyamata a teknő elszakadása a vezetőáramlástól. A hullámnak inkább



1. ábra: Hidegcsepp 2011. június 27. 00 UTC-kor Délkelet-Európa felett, a Meteosat vízgőz csatornájában (WV 6.2) készült műholdképen. A fehér nyíl a hidegcsepp közepe felé mutat

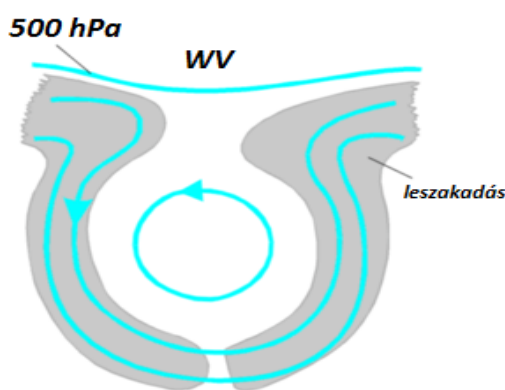
növekszik az amplitúdója (mélyül a hullám), ezt követően a hideg levegő a déli régiókban le fog szakadni a főáramlásról. A magassági teknő alja lassanként elválik a vezetőáramlástól, mely következtében egy zárt cirkuláció jön létre a felsőtroposzférában. Minthogy ez az örvény még a kezdeti stádiumában van, így nagyon gyenge, a fő magassági áramlás formája még ómega alakú. A gerinc gyakran a fő magassági teknő mögött folyamatosan kelet felé mozog, gyorsabban, mint a teknő. A felhőtömeg az IR 10.8 képeken világosszürkétől fehérig



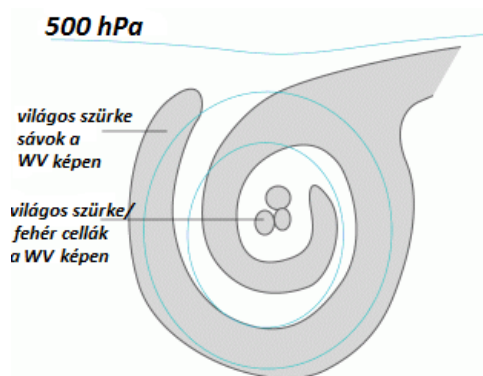
2. ábra: A magassági teknő fázis sematikus ábrája és a műholdképeken való felismerhetősége

ciklonális spirál a szegélytől a magassági örvény közepéig húzódik (4. ábra) (ZAMG, 2011 /a, /b).

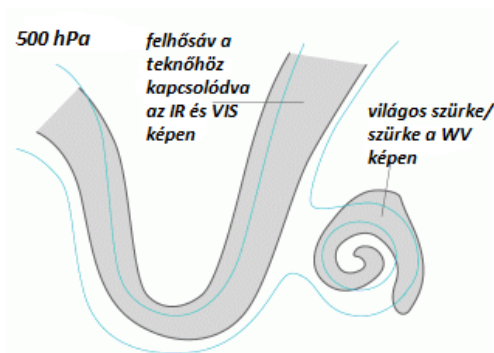
1.4. Végző fázis. A magassági örvény területén - a nagyon hideg felszíni területeket kivéve - konvekció lép fel. A felszín közelében a levegő meleg és az örvény cirkulációja a sűrűdés miatt lelassul. A konvekció következtében a magassági hidegörvény levegője melegszik és a sűrűdés hatása is érvényesül a magasabb légrétegekben. Ennek következtében a magassági örvény lassan gyengül. A legtöbb esetben a magassági örvény újra egyesül a vezető



3. ábra: A leszakadás előtti állapot sematikus ábrája és a műholdképeken való felismerhetősége



4. ábra: A leszakadt örvény sematikus ábrája és a műholdképeken való felismerhetősége



5. ábra: A végző fázis sematikus ábrája és a műholdképeken való felismerhetősége

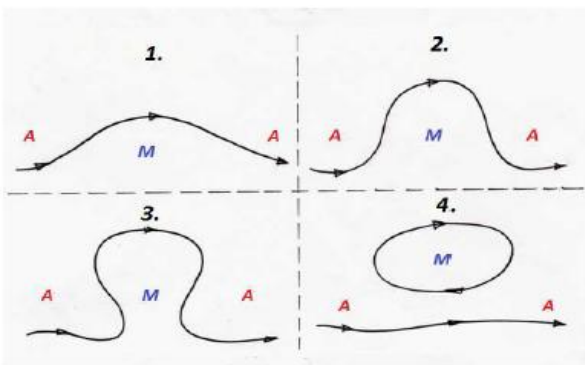
, míg a VIS 0.6 képeken sötétszürkétől szürkéig jelenik meg. A WV 6.2 képeken pontosan kivehető az örvénylő sávú nedves levegő (3. ábra).

1.3. Leszakadt örvény. Ellentétben az előző fázissal a leszakadás már befejeződött, a magassági örvény most a leghangsúlyosabb. A szélmező 500 hPa-on mutatja a legfejlettebb zárt cirkulációt. A teljes leszakadás fázisa alatt, a hidegebb levegő miatt fellépő hőmérsékletváltozás nem csak horizontális advekciót okoz, hanem az érett magassági örvény hideg levegőjének a hőmérséklete állandó marad, vagy olykor csökken. A teljesen fejlett magassági örvény elmozdulása nagyon lassú, ezért kvázi-stacionáriusként értelmezhetjük. A WV 6.2 – WV 7.3 képeken gyakran a

áramlással, mielőtt az teljesen feloszlana a konvekció hatására. Általában egy nagy kiterjedésű teknő hátulról közeledik a vezető áramlással és eléri a magassági örvényt. A magassági örvény így beépül a teknőbe. Ha a magassági örvény messze van a fő áramtól, feloszlik a konvekció miatt. Ha a magassági teknő fejlett, emellett a baroklinitás erős és a felszín meleg, egy baroklin fejlődésmenet figyelhető meg a magassági teknő főágán (5. ábra).

A fejlődésmenet 3-10 napig is eltarthat. Kétféle magassági örvényt különböztetünk meg a méretük és az élettartamuk szerint, a kis örvények élettartama 2-4 nap, míg a nagy örvények élettartama 5-14 napig is eltarthat. A nagy örvények kissé gyakoribbak a kisebb méretűeknél (ZAMG, 2011/a, /b).

2. A hidegcseppek vizsgálata a magyar szakirodalomban. A hazai szakirodalomban néhány helyen találkozhatunk a hidegcseppek vizsgálatával. Kiemelt szinoptikus jelentősége van a hidegcseppekre vonatkozó a blocking jelenségkörnek. Blocking helyzetek tipizálásakor jellegzetes áramlási képet kapunk, melyek rendszerint az 500 hPa-os főzobárszinten jól analizálható egy-egy blocking esemény fennállásakor (Veréb, 2008). Az 500 hPa-os szint analízise szerint a blokkoló anticiklonok típusai (Tóth, 2007) alapján megkülönböztetünk: Rex-típusú blockingot; ómega-helyzetet; „tűzgyűrű”, avagy leszakadó anticiklont; leszakadó, alacsony nyomású rendszert és kettéhasadó áramlási mezőt. Számunkra az ómega típusú blocking helyzet a fontos, kialakulása során gyakran hidegcseppek leszakadására számíthatunk (6. ábra).



6. ábra: Hidegcsepp kialakulásának folyamata az ún. ómega blocking helyzetben. „M” a magas-, „A” az alacsony-légnyomású területeket jelöli

A Kárpát-medence térségére szinoptikus osztályozást hozott létre Bodolainé (1983). Az osztályozásban csak azok a helyzetek kaptak szerepet, melyek a Duna és Tisza vízgyűjtő területén árhullámot hoztak létre. Hét típust határozott meg: west, west-peremháborgási, zonális, vonuló mediterrán, centrum, hideg légcsepp és nyugati ciklon típus. Bodolainé a veszélyes időjárási helyzetek hideg légcseppekkel való kapcsolatát és tipizálását Európában is úttörő módon végezte. A hideg légcsepp típus viszonylag ritkán, és főleg nyáron fordul elő. Létrejötté gyakran mezoléptékű konvektív időjárási rendszereket hoz létre és időnként hatékonyan szerepet vállal a tiszai árhullámok kialakításában (Szépszó, 2003).

3. A Középtávú Előrejelzések Európai Központja reanalízisei. 1975-ben 18 európai ország összefogása eredményeképpen jött létre a Középtávú Előrejelzések Európai Központja (ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecast) (Woods, 2005). Az ECMWF az 1979 és 1993 közötti időszakot lefedő ERA-15 projekt keretében az 1990-es évek közepén hozta létre az első hosszabb időszakot átfogó reanalízis adatbázist (Gibson et al., 1997). Az 1958 és 2002 közötti 45 éves időszakot lefedő ERA-40 projekt esetében jobb térbeli felbontással, a már létező, korszerű 3D-var adatasszimi-

lációs módszerrel az ECMWF 2003-ban állította elő az új reanalízist (Uppala et al. 2005). Az ERA-40 nem csak a légkör állapotát jellemzi az adott időszakra, hanem a szárazföld és az óceán felszínét is.

A XXI. század első évtizedének a közepén kezdődött el az ERA Interim reanalízis projekt, mely először 1989. január 1-től az éppen aktuális közelmúltig terjedő időszakot fogta át, majd pedig 2011 nyarán tíz évvel visszamenőleg meghosszabbítva 1979-től napjainkig terjedő időszakot fedi le (Dee et al., 2011). Az ERA Interim projekt keretében a reanalízis adatbázis havonta, két hónap késleltetéssel bővül. Az ERA Interimben a még finomabb - 0,75*0,75 fokos - térbeli felbontás mellett jelentős részben az ERA-40-ben alkalmazott 3D-var módszerrel szemben a még modernebb 4D-var adatasszimiációs módszer alkalmazása jelentős minőségi javulást eredményezett (Uppala et al., 2005). Emellett számottevő fejlődés mutatkozott a hidrológiai ciklusban, így jobban közelített a nullához a csapadék és párolgás különbsége, mint az ERA-40-ben. Az ECMWF több más partnerrel együttműködve az Európai Unió 7. Keretprogramja keretében 2014 és 2017 között készíti el az egész XX. századot is lefedő ún. ERA-CLIM projektben a legújabb reanalízis rendszert.

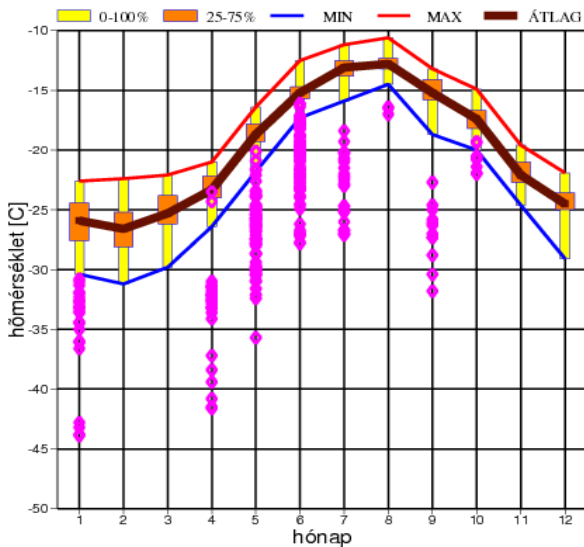
4. Hidegcseppek statisztikai és meteorológiai vizsgálata.

4.1. A hidegcseppek struktúrája. A 2002 és 2011 közötti időszakból a szinoptikus meteorológusok által hidegcseppek helyzetként meghatározott napok közül 70 esetet gyűjtöttünk össze. A 70 esetet naponta, hatóránkénti bontásban vizsgáltuk. Így a légkör háromdimenziós szerkezetének vizsgálatához, összesen 280 időpontban állt rendelkezésünkre a főzobárszinteken a hőmérséklet-, a geopotenciál-, a relatív nedvesség-, valamint a szélmező. A hidegcseppek karakterisztikus mérete kicsi, így egy-egy földrajzi helyen statisztikai értelemben kis számban fordul elő, ezért a vizsgált földrajzi területet kellően nagyra kellett választanunk. A terület északnyugati sarokpontja: é. sz. 60°, k. h. 10°, délkeleti sarokpontja: é. sz. 40°, k. h. 40°. A felhasznált adataink az ECMWF MARS adatbázisából származtak. A vizsgálatokhoz az ECMWF MAGICs++ szoftver alkalmazásával saját fejlesztésű FORTRAN programcsaládot készítettünk.

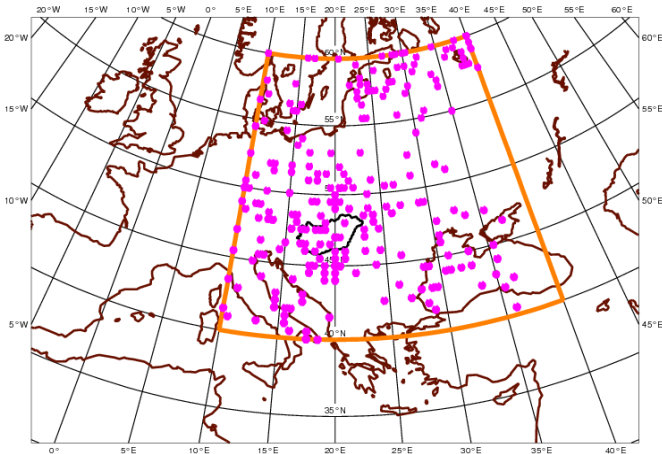
Az 1979-2008 időszakra vonatkozóan 500 hPa-on hőmérséklet havi átlagértékeket számítottunk, valamint havonta megkerestük a 30 évbeli hőmérsékleti minimum és maximum havi átlagértékeket. A 30 éves idősor alapján az 500 hPa-os szinten a felszínhez képest kisebb az éves amplitúdó, mintegy 15 °C, a felszín közeli 22-25 °C-kal szemben. A középtroposzféra jellemző éves hőmérsékleti menete körülbelül 1 hónapos késéssel követi a felszín közelében jellemző hőmérséklet évi menetét. Ez összhangban van azzal, hogy a légkör döntően a földfelszín irányából melegszik, s a besugárzási minimum és maximum hatása időben eltolódva mutatkozik a középtroposzférában. Jól látható, hogy a hidegcseppek napokon

a hőmérséklet jellemzően a 30 éves időszak havi közép-hőmérséklete alatt helyezkedik el (7. ábra).

A 8. ábrán a 2002 és 2011 között vizsgált 280 hidegcseppes mag pozícióit tüntettük fel. Jól látszik, hogy hidegcseppek hőmérsékleti minimum helyei leginkább Magyarországtól nyugatra, északnyugatra és északra helyezkednek el.

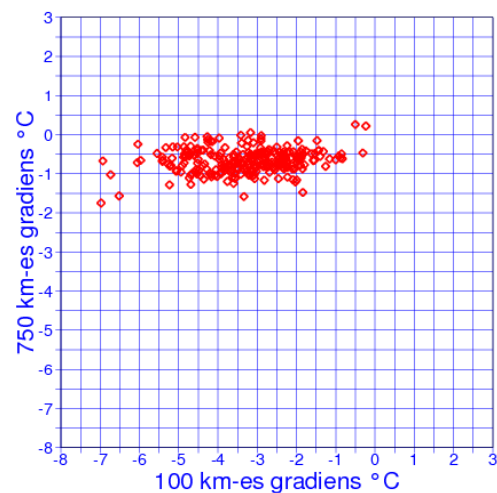
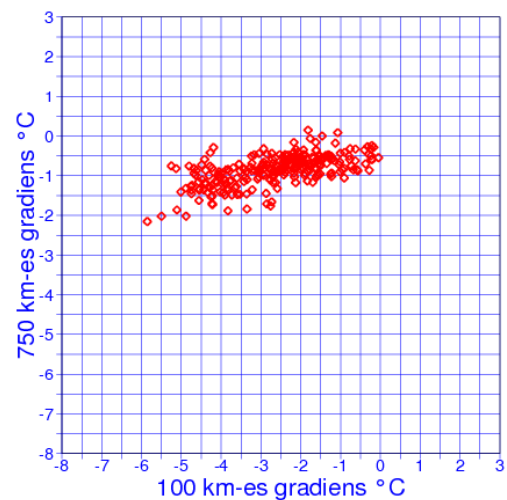


7. ábra: 30 éves időszor alapján 500 hPa-os havi középhőmérséklet átlagértékek (barna vonal), havonként a leghidegebb (kék vonal) és legmelegebb (piros vonal) havi közép középhőmérséklet, valamint a 280 kiválasztott, hidegcseppes epizód értékeit (lila pontok).



8. ábra: A 2002 és 2011 közötti 280 hidegcseppes szituáció minimum helyei (lila pontok), valamint a vizsgált tartomány (narancssárga vonal)

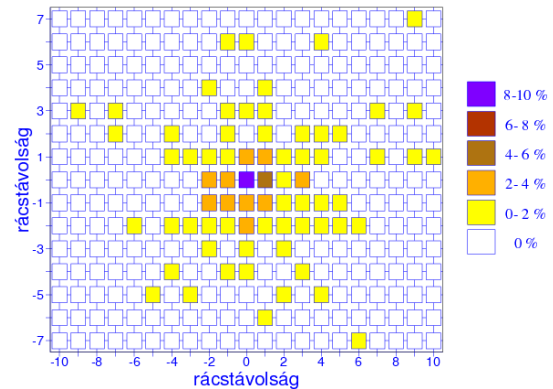
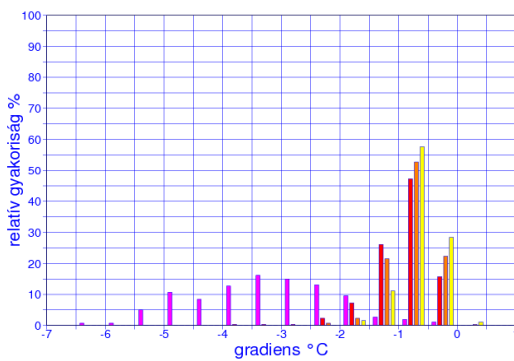
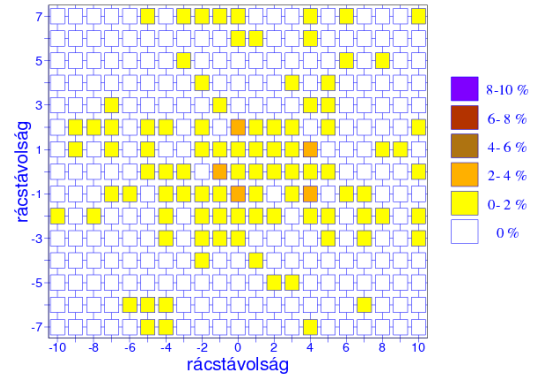
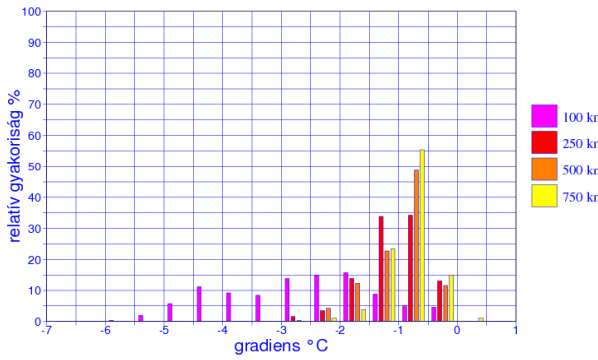
A statisztikai vizsgálathoz elegendő mintaszám biztosítása érdekében hidegcsepp felismerő algoritmus kifejlesztését tűztük ki célul. A 400, 500, 700 és 850 hPa-os főzobárfelület hőmérséklet mezeje alapján határoztuk meg szintenként a lokális hőmérsékleti minimumot. Első lépésként a fent definiált vizsgálati tartomány mindegyik rácspontjának az 500 hPa-os szintjén kerestük meg a minimumot. A 280 kiválasztott időpontban, a minimum



9. ábra: A hidegcsepp középpontja valamint a 100, 250, 500 és 750 km-es sugarú körön vett átlagérték gradiense $^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ egységben a 400 és a 850 hPa-os főzobárszinten

helyek környezetében – 100 és 750 km távolság között – különböző „sugarú körökön”, a pont körüli átlagos gradiens számításával vizsgáltuk meg a hőmérsékleti mező szerkezetét. Minden vizsgált nyomásszinten a gradiensek gyakoriságából távolság szerint bontottan hisztogramokat készítettünk.

Vizsgálati eredményeink összhangban vannak a várt struktúrával, azaz a mag körül nagy gradiensek jellemzőek, míg távolabb már jóval alacsonyabb értékek. A hidegcseppekre jellemző sajátos horizontális hőmérsékleti struktúra, jó megkülönböztetési lehetőséget ad a mérsékelt övi ciklonokkal szemben, amelyeket jóval nagyobb kiterjedés és hőmérsékleti asszimetria (okkludálódott fázisban már nem) jellemzi. A hidegcseppek jellegzetessége, hogy a belső mag inkább csak a felső troposzférában jellemző, az alsó troposzférában kevésbé fejlett, vagy alig mutatható ki, szemben a mérsékelt övi ciklonokkal. Az objektív módszerrel meghatározott hidegcsepp középpont körül 100, 250, 500 és 700 km-es sugarú körön számolt horizontális hőmérsékleti gradienseket számítottunk ki. Az említett 400, 500, 700 és 850 hPa-os főzobárszinten a gradiens gyakoriságot $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/100$



10. ábra: A hidegcsepp középpontja valamint a 100 és 750 km-es sugarú körön vett átlagérték gradienspárok a 280 vizsgált esetben a 400 (baloldal) és a 850 hPa-os (jobboldal) főzobárszinten

11. ábra: A hidegcseppek tengely dőlés irány gyakorisági térképe 400/500 hPa (baloldal), 400/700 hPa (jobb oldal). Átlagos ráctávolság észak-déli irányban 55 km, kelet-nyugati irányban 40 km

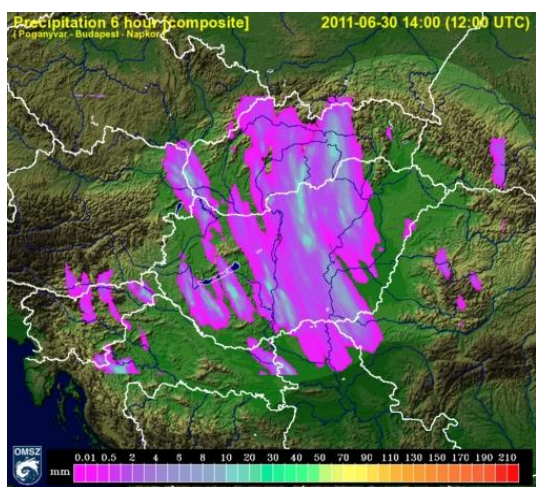
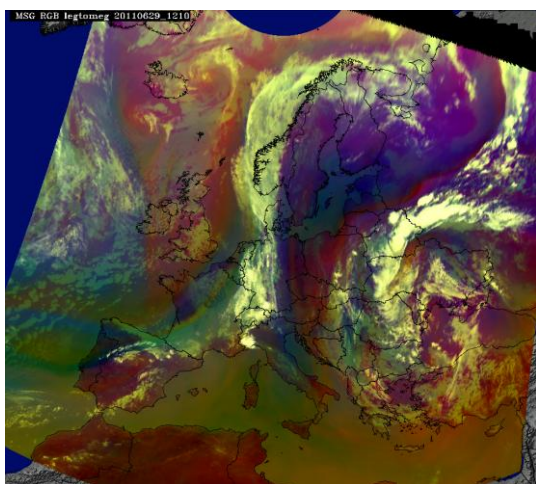
km-es érték közönként, hisztogram formájában megjelenítettük (9. ábra).

A 100 km-es sugarú körön számolt gradiensek jellemzően jóval nagyobbak, mint a nagyobb területen vett gradiensek, s a terület növekedésével a gradiens értékek is egyre kisebbek, összhangban a hidegcseppek jellemzően kis horizontális kiterjedésével. A fő izobárpárokon számolt horizontális gradienseket kereszt diagram formájában is megjelenítettük (10. ábra). A 750/100 km-es az 500/100 km-es, a 250/100 km-es gradiens párokat számoltuk ki, az előző pontbeli hisztogramos vizsgálatban tett megállapításokat tovább finomíthatjuk, a nagyobb területen számolt hőmérsékleti gradiensek minden esetben kisebbek, mint a kisebb területen vett gradiensek.

Szintén megvizsgáltuk a nyomásszinteken a hidegcseppek hőmérsékleti minimum helyeinek egymáshoz képest vett térbeli elmozdulását, más szavakkal a hidegcsepp tengelydőlését. A 400 és 500, valamint a 400 és 850 hPa-os rétegben számított tengelydőlés gyakorisági térképet mutatja a 11. ábra. Látható, hogy a 400 és 500 hPa szint között a dőlés jellemzően kisebb, mint nagyobb szintkülönbségnél, általában egyenes tengelyű, de a keleti és délkeleti dőlés irány is gyakorinak mondható, így az égtájak szerinti gyakoriság is jól vizsgálható.

4.2. Hidegcseppek vizsgálata műhold és radar térképek alkalmazásával. A hidegcseppek/ hidegörvények felhő- és csapadékrendszerére jellemző spirális szerkezetét műhold és radarfelvételeken jól nyomon tudjuk követni. A hidegcseppek intenzitásának és térbeli szerkezetének vizsgálatához látható, infravörös és vízgőz Meteosat műholdképeket, valamint magyarországi radartérképeket is felhasználtunk. A 12. ábra mutatja a 2011. június 29-i hidegcseppes esethez kapcsolódó műhold és radarképet, melynek bal oldalán a hidegcsepp spirális szerkezete jól megfigyelhető.

4.3. Hidegcseppek vizsgálata térképes formában, valamint a hidegcseppek előrejelezhetőségének vizsgálata ensemble előrejelzések alapján. A 4.1. pontban meghatározott hidegcseppek jellemzőinek alaposabb vizsgálatához térképes megjelenítési eszközöket fejlesztettünk ki. Három fő térképes megjelenítési eszközt használtunk. Két megjelenítési módot az ERA Interim, illetve determinisztikus előrejelzések esetében alkalmaztunk, a harmadikat az ensemble előrejelzések esetében. A hidegcseppek háromdimenziós szerkezetének tanulmányozásához jó eljárás, ha egy lapon több meteorológiai paraméterhez s több nyomás szinthez tartozó térképet együttesen jelenítünk meg (13. ábra). A hidegcsepp magát kékes-lila szín mutatja



12. ábra: 2011. június 29. 12 UTC európai hamis színezésű „légtömeg” kompozit műholdkép és magyarországi 6 óras csapadékösszeg radarkép

A baroklinitás jellemzésére jó módszer, ha egy térképen jelenítjük meg a geopotenciál és hőmérséklet mezőt (14. ábra). Ensemble előrejelzések esetében az operatív előrejelzői gyakorlatban alkalmazott klasszikus fáklya diagram (15. a ábra) mellett spagetti diagram térkép megjelenítésére szintén programot fejlesztettünk ki (15. b ábra). A 15. a ábrán 2011. július 2-i hidegcseppes esetet két nappal megelőzően készült ensemble fáklya előrejelzés látható. A 15. a ábrán az 500 hPa-os szint hőmérsékleti ensemble fáklyáján jól megfigyelhetjük a hidegcsepp átvonulására mutató jellegzetes markáns U alakú menetet a második előrejelzési napnál, az 500 hPa-os szinten az előrejelzése alapján nagy valószínűséggel 24 óra alatt mintegy 8 fokos lehűlés, majd a hidegcseppet követően szintén 24 óra alatt ugyanekkora mértékű melegedés várható a hidegcsepp következtében. A 15. b ábrán spagetti diagram térképen jól megfigyelhető a hidegcsepp középpont intenzitás és pozíció előrejelzés bizonytalansága.

4.4. Hidegcsepp pálya számítás ERA Interim mezők alapján.

Munkánk befejező fázisában az objektív

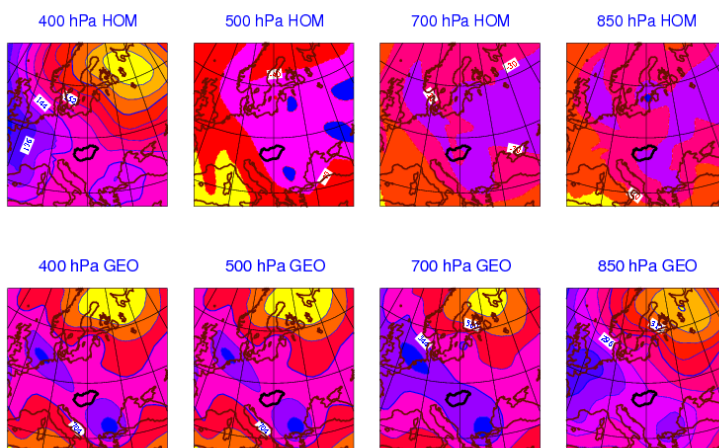
felismertetéssel meghatározott hidegcsepp középpont időbeli változását illusztráló térkép kifejlesztését tűztük ki célul. A 16. ábrán a 2011. június 26-án kezdődő hidegcseppes esetben a hidegcsepp középpont időbeli mozgása követhető nyomon, mely a későbbiekben egy újabb hidegcseppel egyesülve haladt tovább.

További tervek. A kapott eredményeink alapján további célunk a hidegcsepp felismerő algoritmus tesztelése az 1981 és 2010 közötti 30 évnapi reanalízis mezők alapján. Az objektív felismerő algoritmussal szemben követelmény, hogy a módszer jól el tudja különíteni a hidegcsepp / hidegörvény eseteket a mérsékelt övi ciklonoktól. Eddigi eredményeink megalapozottá teszik a fenti célkitűzést. A hidegcsepp felismerő algoritmus használatának másik tervezett módja a potenciálisan hidegcseppes területek kijelölése az aktuális ensemble előrejelzések alapján.

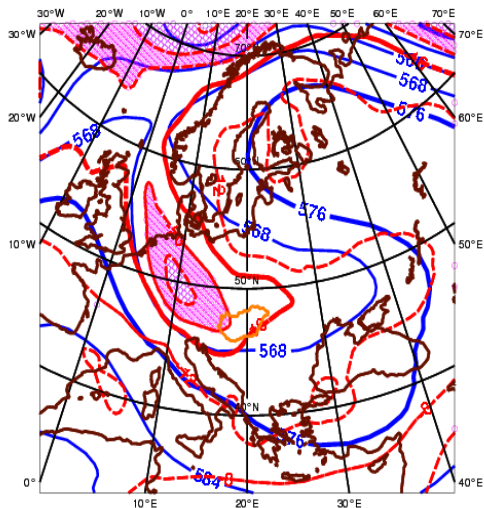
Köszönetnyilvánítás. Köszönetemet szeretném kifejezni Ihász István témavezetőmnek a rengeteg tanácsért, ötletért, értékes és inspiráló szakmai ismereteiért és nem utolsósorban lelkiismeretes munkájáért, amivel hozzájárult a dolgozatom létrejöttéhez. Továbbá szeretném megköszönni Barcza Zoltánnak, hogy munkámat mindvégig figyelemmel kísérte és tanácsaival segítette. Szeretnék köszönetet mondani Gróbné Szenyán Ildikónak a műholdképek kigyűjtésében nyújtott segítségével. Horváth Ákosnak és Fodor Zoltánnak is nagyon köszönöm a számtalan hasznos szakmai tanácsot, a lelkes és inspiráló segítséget.

Irodalom

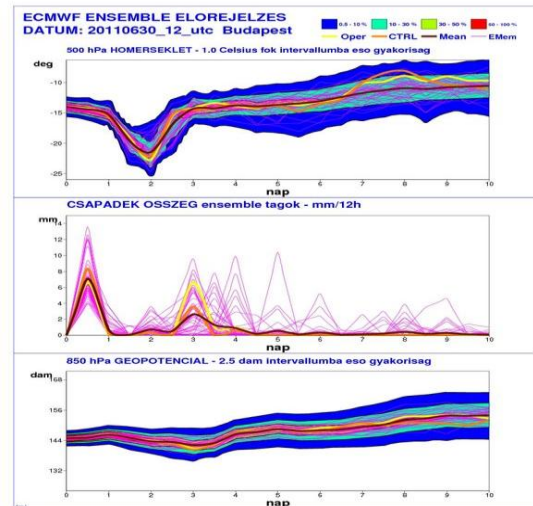
Bodolainé, J.E: 1983: Árhullámok szinoptikai feltételei a Duna és a Tisza vízgyűjtő területén OMSZ Hivatalos Kiadványai LVI. kötet Budapest. Dee D.P, Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisfordm P., Poli P., Kobayshi S., Andrae U., Balmaseda, M.A., Balsamo, G., Bauer P., Bechtold P. Beljaars A.C.M., Van de Ber L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Matricardi M., McNally A.P. Monge-Sanz B.M., Morcrette J.J., Park B.K., Puebey C., Rosnay P., Tavalato C., Thépaut J.N., Vitart



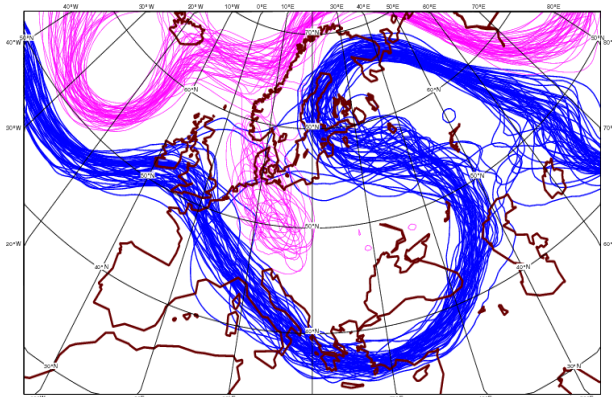
13. ábra: ERA Interim 2008. január 3. 00 UTC-s hőmérséklet és geopotenciál analízis a 400, 500, 700 és 850 hPa-os főzobárszinten



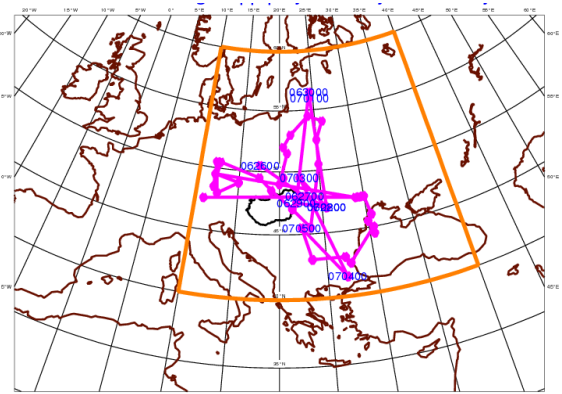
14. ábra: 2011. július 1. 18 UTC-s 500 hPa-os geopotenciál (kék vonal) és hőmérséklet (piros vonal) mező



15.a ábra: Az ECMWF 2011. június 30. 12 UTC-s futtatású budapesti 850 hPa-os geopotenciál, 12 órás csapadékösszeg, 500 hPa-os hőmérséklet 10 napos ensemble fájklya diagramja.



15.b ábra: Az ECMWF 2011. július 1. 18 UTC-re érvényes 90 órás 500 hPa magasság ensemble előrejelzése. Két izovonal- 568 dam (lila) és 576 dam (kék) – ensemble spagetti diagramja



16. ábra: Az 500 hPa-os izobárfelületen a hidegcsepp pályájának mozgása ERA Interim analízisek alapján 2011. június 26. és július 5. között

F. 2011: The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137: 553–597. DOI:10.1002/qj.828 Gibson J., Kallberg P., Uppala S., Nomura A. Hernandez A. Serrano E. 1997: ERA description. *ERA-15 Report Series*, No. 1, ECMWF Reading, UK.
 Szépszó, G. 2003: A 80-as 90-es évek árhullámainak szinoptikus klimatológiai értékelése, *Diplomamunka*. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest.
 Tóth, T. 2007: Jelentős csapadékhullással járó Földközi-tengeri ciklonok klimatológiája blokkoló anticiklonok gyakoriságának függvényében. *Diplomamunka*. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest.
 Uppala, S.M., Kallberg P., Simmons, A.J., Andrae, U., Da Costa Bechtold, V., Fiorino, M., Gibson J.K., Haseler J., Hernandez A., Kelly G.A., Li Z., Onogi K., Saarinen S., Sokka N., Allan R.P., Andersson E., Arpe K., Balmaseda, M.A., Beljaars A.C.,

Van De Berg L., Bidlot J., Bormann N., Caires S., Chevalier F., Dethof A., Dragosavac M., Fisher M., Fuentes M., Hagemann S., Holm E., Hoskins B.J., Isaksen L., Janssen P.A., Jenne R., McNally A.P., Mahfouf J.F., Morcrette J.F., Rayner N.A., Saunders R.W., Simon P., Sterl A., Trenberth K.E., Untch A., Vasiljevic D., Viterbo P., Woolen J. 2005: The ERA-40 reanalysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 131: 2961–3012
 Veréb, K. 2008: A szélmezőn alapuló cirkulációs index alkalmazása blocking helyzetek felismerésére. *Diplomamunka*. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest.
 Woods, A. 2005: *Medium-Range Weather Prediction The European Approach*. Springer 270 pp.
 Internetes hivatkozások:
<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/ULL/index.htm>
<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/ULL/backgr.htm>