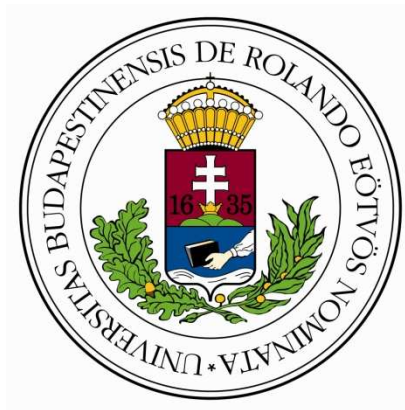


Eötvös Loránd Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Környezettudományi Centrum

Hidegcseppek vizsgálata Európa térségében ECMWF az ERA Interim reanalízis alapján

SZAKDOLGOZAT



Készítette:

Gaál Nikolett Tímea
KÖRNYEZETTAN ALAPSZAKOS HALLGATÓ
METEOROLÓGIA SZAKIRÁNY

Témavezető:

Ihász István
(Országos Meteorológiai Szolgálat)

Tanszéki konzulens:

Dr. Barcza Zoltán
(ELTE Meteorológiai Tanszék)

Budapest
2012

Tartalomjegyzék

Bevezetés	3
1. A hidegcseppek életciklusának szinoptikai és dinamikai háttere.....	5
1.1. A magassági teknő fázis	7
1.2. Leszakadás előtti állapot	8
1.3. Leszakadt örvény.....	9
1.4. Végző fázis	10
1.5. A konvekció szerepe a hidegcseppek életciklusában	11
2. Szinoptikus időjárási helyzetek osztályozási módszerei.....	12
3. Az Európai Középtávú Előrejelző Központ ECMWF reanalízisei	17
4. Hidegcseppek statisztikai és meteorológiai vizsgálata.....	18
4.1. 500 hPa hőmérséklet havi átlagok vizsgálata.....	19
4.2. Hidegcseppek középpontja körüli horizontális gradiens, valamint a hidegcsepp tengelydőlés meghatározása	20
4.3. Hidegcseppek vizsgálata műhold és radar térképek alkalmazásával.....	22
4.4. Hidegcseppek vizsgálata térképes formában, és a hidegcseppek előre jelezhetőségének vizsgálata ensemble előrejelzések alapján.....	22
4.5. Hidegcsepp pálya ERA interim mezők alapján.....	24
5. Esettanulmányok	25
5.1. 1989-es májusi zöldár a Tiszán	25
5.2. 2009 a hidegcseppek által okozott tubák és tornádók éve	26
5.2.1. 2009. május 29. – június 1. – Hidegcsepp	27
5.2.2. 2009. június 11-12. – Átvonuló hidegfront hidegcseppel.....	28
5.2.3. 2009. június 23–29. – Lassú mozgású magassági hidegörvény	29
5.3. 2011. június 25. - július 3. hidegcsepp által okozott erős lehűlés	29
Összefoglalás	31
Köszönetnyilvánítás	32
Irodalomjegyzék	33

Bevezetés

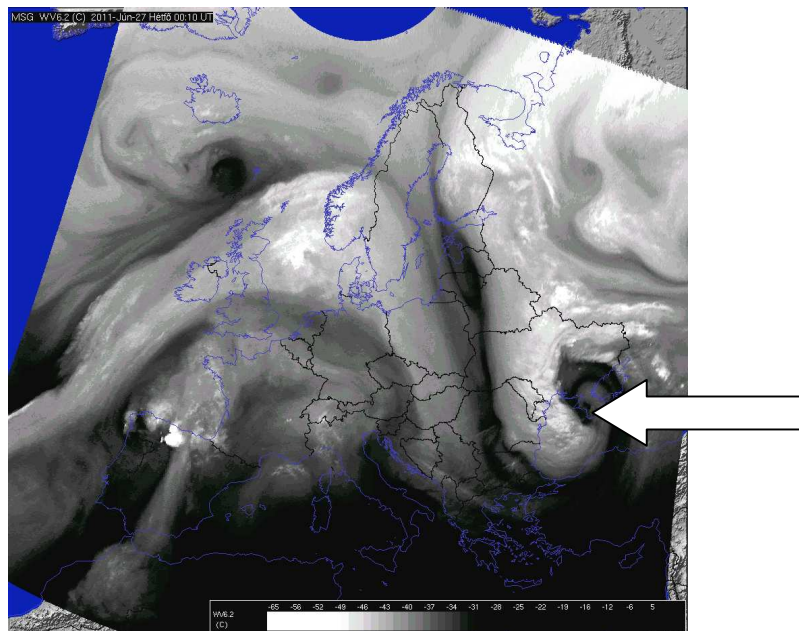
**Tudásunk egy csepp,
amit nem tudunk,
az egy egész óceán.
(Isaac Newton)**

Habár Newton szerint tudásunk csupán „egy csepp”, a hidegcseppek vizsgálatakor ezt mégis paradoxonnak tekinthetjük, hiszen a hidegcseppek szinoptikai vizsgálata a hazai és az európai szakirodalomban a jelentőségéhez mérten talán kevésbé volt kutatás tárgya az elmúlt évtizedekben. Így keletkezési helyükről, kialakulási feltételeikről, szinoptikai és dinamikai hátterükről csak keveset tudunk.

A meteorológusok legfőbb célja, hogy a légkör működését minél jobban megismerjék. Hiszen ha ez sikerül, rendkívül sok olyan légköri eseményt előre jelezhetnek, amellyel a meteorológiai jelenségek – így például a hidegcseppek – által előidézett katasztrófák – hatalmas felhőszakadások, heves zivatarok esetleg tornádók – elkerülhetőek lehetnek. Ezáltal figyelmeztethetik az embereket az életükre kihatással lévő természeti csapásokra, amellyel akár emberéletek is megmenthetők.

Szakdolgozatomban egy olyan jelenség elemzését tűztem ki célul, melyet igen nehéz pontosan előre jelezni (főként azért, mert még nem eléggé ismerjük a kialakulási és életfeltételeit). A hidegcseppek alaposabb ismeretével mindinkább védekezni tudnánk a fent említett káros hatásai ellen.

A magassági hidegcsepp vagy más néven magassági hidegörvény olyan légtömeg, amely elkülönült a nyugatias vezető áramlástól. Ezáltal elszigetelődött a magasabb szélességek hideg levegőjétől, így jóval hidegebb levegőt szállít az alacsonyabb szélességű területek melegebb légtömegébe. A képződmény magjában a légnyomás nem feltétlenül alacsonyabb, mint az azt körülölelő területeken. Analízisa rendszerint a középtroposzférában, 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*).



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

Akár több napon keresztül is meghatározza egy adott térség időjárását, gyakran jelentős mennyiségű és intenzív csapadéktevékenységgel jár együtt. A hidegcsepp az év bármely évszakában előfordulhat. A jelenség területén főként a nyári évszakban labilis a levegő, így nyáron kedvező feltételeket biztosíthat a heves zivatarok, jégeső, felhőszakadás kialakulására, télen, pedig az igen erőteljes hózáporokért felelős. Jellemzősége, hogy a magasban a levegő hidegebb, mint a hidegcseppen kívül, így ez is jelentősen hozzájárul a felhőképződéshez. A hidegörvény elnevezést – az északi féltekén az óramutató járásával ellentétes irányú – ciklonális örvénylése miatt kapta.

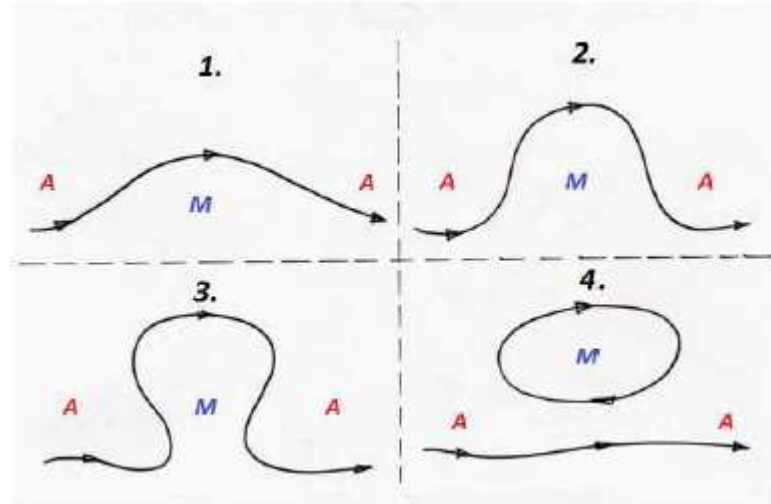
Szakdolgozatom első fejezetében bemutatom a hidegcseppek életciklusának négy jellemző fázisát, valamint a légköri konvekció szerepét a hidegcseppek fejlődésében. A második fejezetben ismertetem a szinoptikus időjárási helyzetek osztályozási módszereit. A harmadik fejezetben bemutatásra kerülnek az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF) reanalíziseihez kapcsolódó főbb fejlesztési lépések. A negyedik fejezetben a saját munkám keretében az ECMWF ERA Interim reanalízisre alapozottan az elmúlt 10 évből kiválasztott 70 hidegcseppes eset, statisztikai és meteorológiai vizsgálatát mutatom be. Az ötödik fejezetben, három fő esettanulmányban a hidegcseppek fejlődési folyamatait vizsgálom. Végül pedig az eredményeket, a szakdolgozati munka során levont legfontosabb következtetéseket foglalom össze.

1. A hidegcseppek életciklusának szinoptikai és dinamikai háttere

Kiemelt szinoptikus jelentősége van a hidegcseppekre vonatkozva a blocking jelenségeknek, ezen belül a blocking anticiklonoknak. A mérsékelt szélességek domináns áramlása zonális, azaz nyugat-keleti irányú, mely bizonyos esetekben válik meridionálissá, azaz északi-déli irányítottá. Blockingnak nevezzük azt a helyzetet, mikor a zonális áramlás megszakad, így meridionálissá válik, és ez tartósan fennmarad (VERÉB K. 2008). A jelenség neve abból ered, hogy a zonális áramlást blokkolja egy tartósan egy helyben veszteglő anticiklon. Ez egy olyan rendszer, melyhez kapcsolódhatnak ciklonok is (GYURÓ Gy. 2007).

Az 1940-es években kezdték el a blocking jelenségek vizsgálni részletesebben (REX, D.F. 1950 /a, /b). A jelenség kutatására nagy szükség van, mivel egy olyan állapotról van szó, amely legalább néhány napig, esetenként egy héten túl is fennáll, így nem csupán a rövidtávú előrejelzést befolyásolja. Nagy térségekre kiterjedő, huzamosabb ideig fennálló szélsőséges időjárást okozhat. Nagyfokú eltérést okoz a csapadék és hőmérsékleti mezőkben (GYURÓ Gy. 2001), (GYURÓ Gy. 2002), (TÓTH T.- GYURÓ Gy. 2006).

Blocking helyzetek tipizálásakor jellegzetes áramlási képet kapunk, melyek az 500 hPa-os főizobárszinten egy-egy blocking esemény fennállásakor mutatkoznak meg. A főizobárszint analízise alapján szokták a típusait azonosítani. Az 500 hPa-os szint analízise szerint a blokkoló anticiklonok típusai (TÓTH T. 2007) alapján megkülönböztetünk: Rex-típusú blockingot; ómega-helyzetet; „tűzgyűrű”, avagy leszakadó anticiklont; leszakadó, alacsony nyomású rendszert és kettéhasadó áramlási mezőt. Számunkra az ómega helyzet a fontos, mely áramlási képe a görög ómega betűhöz hasonlít. Az ómega-típus az 500 hPa-os főizobárszinten jelenik meg, melyben a többi típustól eltérően a jelenség fennmaradása alatt, alig változik az anticiklonok és ciklonok helyzete. Két ciklon foglal helyet az ómega betű két oldalán, a ciklonok elhelyezkedési helyén az időbeni állandóság miatt általában jelentős mennyiségű csapadékhullás következik be. Az ómega típusú blocking helyzet kialakulása során gyakran hidegcseppek leszakadására számíthatunk (2. ábra).



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

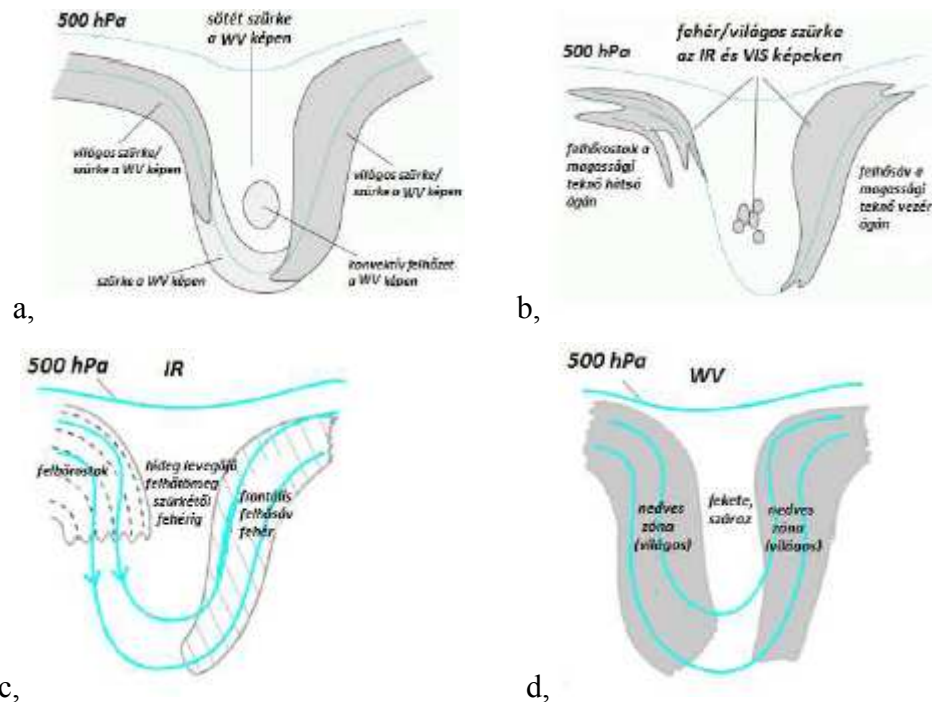
Mint már említettük a magassági hideg örvény ciklonális áramlású a közép és felső troposzférában. Ezt nevezzük más néven hidegcseppnek, mert a benne található levegő hidegebb, mint az azt körülvevő légtömeg. Általában kisebb skálájú képződmények, mint az érett stádiumú extratrópusi ciklonok. Életciklusukban ez az örvénylevés a következménye annak, hogy a végfázisban izolálódnak a fő nyugati áramlástól. A magassági örvények relatíve hosszú életűek, jellemző élettartamuk 2 és 10 nap közé tehető. A magassági örvény alatti levegő instabil lehet, mely konvekcióhoz és a konvektív felhőképződéshez vezet. Az örvény felhőszerkezete az infravörös (IR), látható (VIS), és vízgőz (WV) csatornában készült műholdképeken utal az életciklusuk jelenlegi állapotára (ZAMG, 2011 /a, /b)

Egy klasszikus fejlődésű magassági hideg örvény életciklusa 4 részre osztható fel, mialatt a magassági teknő alja leválik a vezető áramlásról, és végül fel oszlik 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

Már említettük, hogy a magassági örvény képződésének előfeltétele a fő áramban található instabil hullámok jelenléte, ahol a hőmérséklet hullám a geopotenciális hullám mögött helyezkedik el (3. a-d ábra). 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 fehér, mely a vastag réteges felhőborítottságot mutatja.



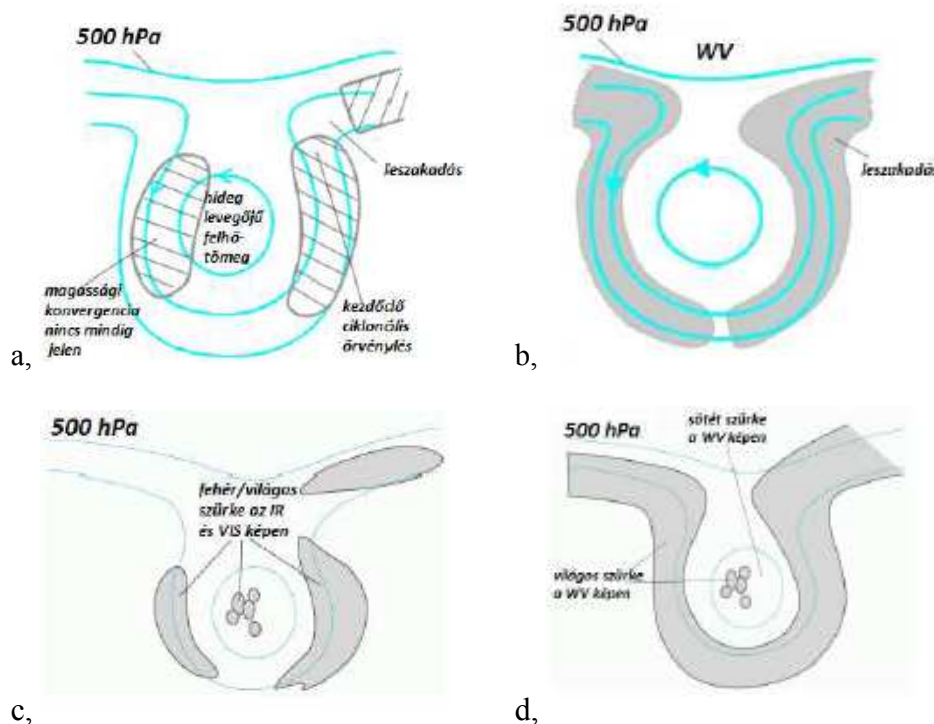
3. a-d ábra. A magassági teknő fázis sematikus ábrája és a műholdképeken való felismerhetősége

A magassági teknő hátulsó sávján lehetnek a teknővel utazó gomolyfelhők, melyek normális esetben a jelenséget követő melegfronthoz kapcsolódnak. Ellentétben a frontális felhősávokkal, ezek a felhőrostok magas szintű felhők, amiket emiatt csak az IR és WV (WV 6.2) képeken láthatjuk. Hideg levegőjű felhőtömegek szintén fennállhatnak, de ezek nem látszanak a vízgőz képeken. Az északi hemiszférában a magassági örvényhez tartozó az izohipszáknak és izotermáknak a déli irányú elhajlása, a teknő süllyedéséhez vezet. Hideg advekciónál található a teknő belsejében és meleg advekciónál a geopotenciális hullám gerincén. A teknő vertikális tengelyén a magassággal hátrafelé irányuló dőlés a jellemző. A hullámok amplitúdója növekszik, a hullámhossz viszont csökken (ZAMG, 2011 /a, /b).

1.2. Leszakadás előtti állapot

Ennek a szakasznak a fő meteorológiai folyamata a teknő elszakadása a vezetőáramlástól. A hullámnak inkább növekszik az amplitúdója (mélyül a hullám), majd a hideg levegő a déli régiókban le fog szakadni a poláris áramról. A magassági teknő alja lassanként elválik a vezetőáramlástól, amely következtében egy zárt izohipszákból álló cirkuláció jön létre a középtroposzférában. Minthogy ez az örvény még a kezdeti stádiumában van ezért nagyon gyenge, és a fő magassági áramlás még követi a fordított ómega alakú izohipszákat. 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, míg a VIS 0.6 képeken sötétszürkétől szürkéig jelenik meg. A WV 6.2 képeken pontosan kivehető az örvénylő sávú nedves levegő. Emellett a hideg levegő jellegzetesen a teknő közepén a sötétszürkétől a feketéig látszik, jelezvén a száraz és néhány esetben sztratoszférikus levegőt. Mialatt a felhő szerkezet az IR képeken korlátozottan látható a leszakadt magassági teknő területén, addig a WV jellegzetesen elterül a terület felett jelezvén a nedvesség forrásokat (4. a-d ábra) (ZAMG, 2011 /a, /b).



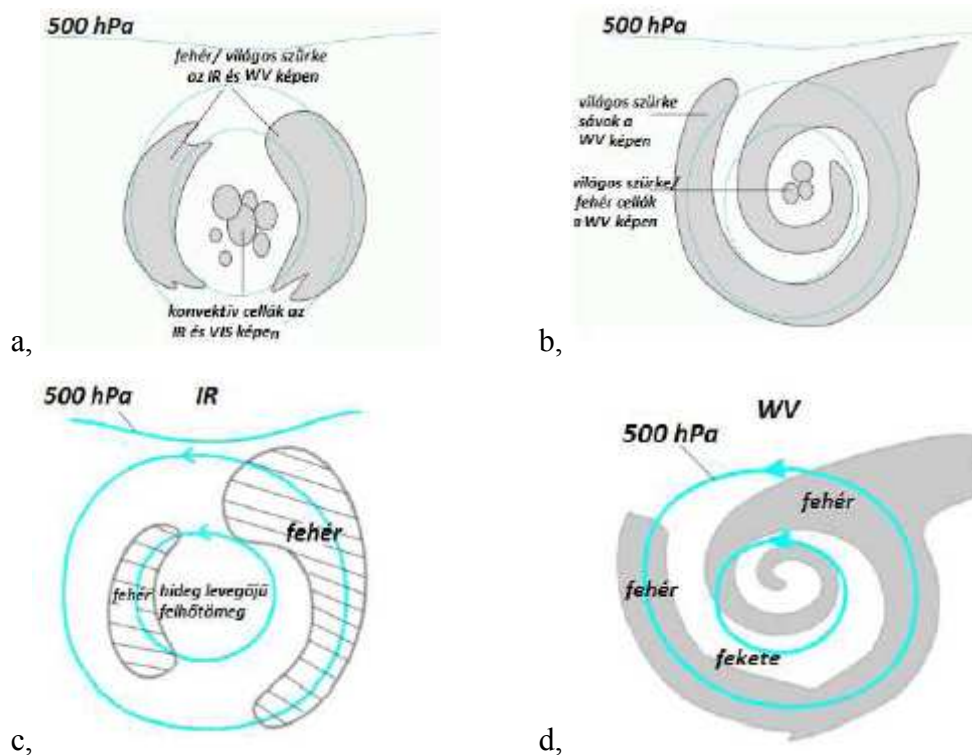
4. a-d ábra. A leszakadás előtti állapot sematikus ábrája és a műholdképeken való felismerhetősége

1.3. Leszakadt örvény

Ellentétben az előző fázissal a leszakadás már befejeződött és 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. Diabatikus hő átadása a felszíntől a magasabb szintek felé két folyamatot hoz létre:

- Egyrészt, a diabatikus hő átadása instabilitást okoz a magassági hidegörvény magjában, mely gyakran zivatarfelhő fejlődéséhez vezet.
- Másrészt, a hideg levegő a magban egyre melegebbé válik, így a horizontális hőmérsékleti gradiens a mag és a környezet között lecsökken. Ennek következtében az örvénylés gyengül, s olykor teljesen le is állhat. Gyakran azonban újrafelződés veszi kezdetét és az örvény egyesül a vezető áramlással.

A teljesen fejlett magassági örvény elmozdulása nagyon lassú, ezért kvázistacionáriusként értelmezhetjük. Leszakadt állapotban mindkét felhősáv ciklonális görbülete erősebbé válik. A WV 6.2 – WV 7.3 képeken gyakran a ciklonális spirál a szegélytől a magassági örvény közepéig húzódik (5. a-d ábra) (ZAMG, 2011 /a, /b).

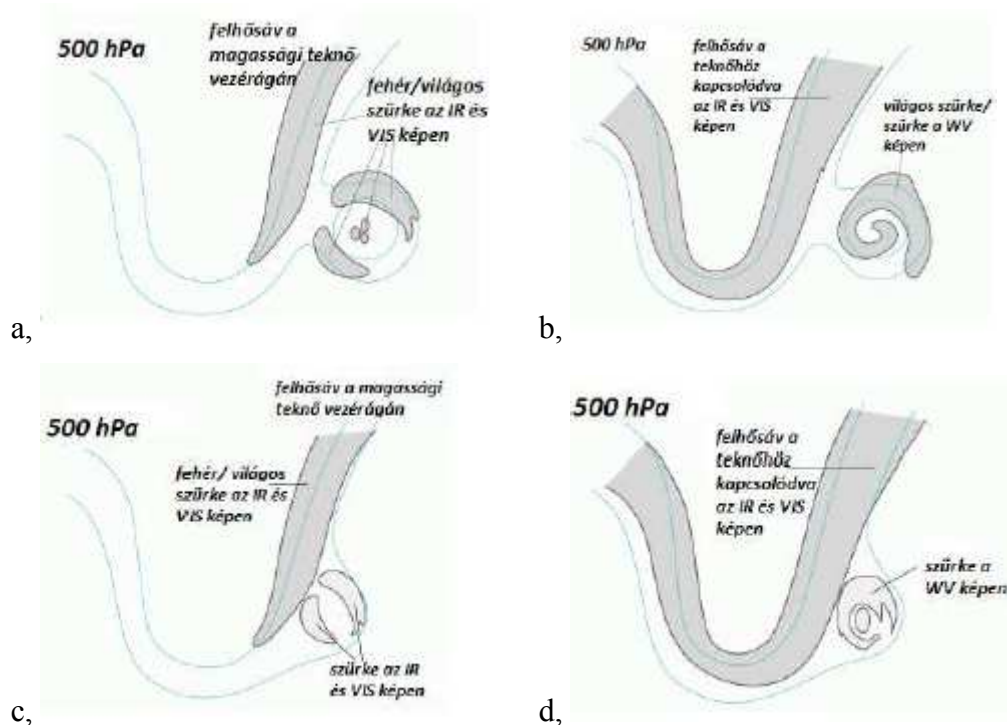


5. a-d ábra. A leszakadt örvény sematikus ábrája és a műholdképeken való felismerhetősége

1.4. Végső fázis

A magassági örvényben - a nagyon hideg felszíni területeket kivéve - intenzív konvekció lép fel. A felszínhez közel a levegő meleg és az örvény cirkulációja a sűrűlódás miatt lelassul. A konvekció a magasabb légrétegekbe meleg levegőt hoz és emellett a sűrűlódás hatása felfelé irányul. Ennek következtében a magassági örvény lassan gyengül. A legtöbb esetben a magassági örvény újra egyesül a vezető áramlással mielőtt teljesen feloszlana a konvekció hatására.

Általában a nagy teknő hátulról közeledik a vezető áramlásban és eléri a magassági örvényt. A magassági örvény így egyesülni tud egy másik magassági örvénnyel és a vezető áram elragadja a magassági örvények kombinációját. Ha a magassági örvény messze van a fő áramtól, feloszlik a konvekció miatt. Ha a magassági teknő fejlett, emelet a baroklinitás erős és a felszín meleg, egy baroklin fejlődésmenet figyelhető meg a magassági teknő főágán (6. a-d ábra).



6. a-d ábra. A végső fázis sematikus ábrája és a műholdképeken való felismerhetősége

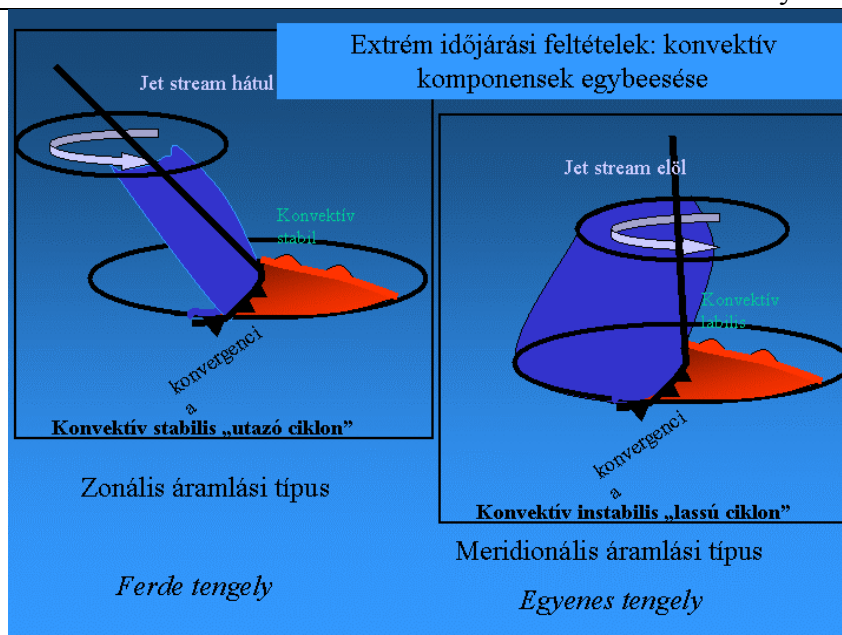
Általában több ciklon fejlődik egymás után. A nagy magassági örvény fokozatosan gyengül, és végül a fő áram elkapja a maradványát. A fejlődésmenet 3-10 napig is eltarthat. Kétféle magassági örvényt különböztetünk meg a méretük és az élettartamuk szerint, a kis örvények élettartama 2-4 nap és a nagy örvények élettartama 5-14 napig. A nagy örvények kissé gyakoribbak, mint a kisebb méretűek (ZAMG, 2011/a, /b).

1.5. A konvekció szerepe a hidegcseppek életciklusában

Rendkívül meghatározó szerepe van a légköri folyamatok között az erőteljes, koncentrált feláramlásokkal járó légköri jelenségeknek, melyeket összefoglalva konvektív folyamatoknak nevezünk. A konvektív jelenségek körébe, különböző mérettartományokba tartozó folyamatok tartoznak, melyek a szabad szemmel láthatatlan termikektől a gomolyfelhőkön át a zivatarokig minden formában előfordulhatnak. Olykor veszedelmes jelenségeket hozhat létre a konvekció, melyek a heves zivatargócokban, szupercellákban illetve a kiterjedt zivatarláncokban mutatkoznak meg.

A konvekciót kiváltó hatások közül a légköri felhajtóerő a legismertebb, amely felelős az ún. szabadkonvekció létrejöttéért. A légköri felhajtóerő a legfőbb okozója a légtömegben belüli zivataroknak. A második kiváltó tényező a torlódás, mely eredményeképpen kényszer konvekció lép fel. E jelenség körébe tartozik többek között a domborzat által keltett kényszer feláramlás vagy a két légtömeget elválasztó hidegfront, mely hatásaként gyakran intenzív feltorlódó felhőzet keletkezik. A harmadik – és választott témánk szempontjából kiváltképp fontos – kiváltó tényező a vertikális és horizontális irányú szélfordulás és szélerősség változás, más néven szélnyírás. A szélnyírás konvekciót erősítő-gerjesztő hatását csupán akkor fejt ki, ha a feláramlást már kiváltotta az előző két összetevő valamelyike. Rendkívül heves zivatarok és szupercellák kialakulásáért a szélnyírás az előző hatásokkal együtt felelős. Ezt a három hatást nevezzük konvektív komponenseknek (HORVÁTH Á. 2007).

Ha szinoptikus skálán vizsgáljuk a konvektív jelenségek kialakulását, akkor azt tapasztaljuk, hogy a zivatarok kialakulásához kapcsolódóan a ciklon tengelyének ferdesége a meghatározó. A nagyobb tengelydőléssel rendelkező ciklonok esetén nagyobb a hidegfront dőlése is, így a hidegfront talaj menti szakaszához mérten hátrébb található a magasban lévő front mögötti hideg levegő, tehát a melegszelet kevésbé labilis. Azokban a ciklonokban, melyek meredekebb tengellyel rendelkeznek, kevésbé dől meg a front felülete, így a magasban a melegszelethez közelebb található a hideg levegő. Esetenként a melegszelet fölé is helyeződhet a hidegszelet, mely a labilitást jelentősen megnöveli. Szintén az egyenes tengely következménye, hogy a melegszelet fölé kerülhet a magassági örvény, tehát jelentős lesz a szélnyírás is (7. ábra).



7. ábra. A ciklon tengelyének dőlése meghatározó szerepet játszik a ciklon konvektív aktivitásában
(HORVÁTH Á. (2007) .nyomán).

A hidegcseppek vizsgálata szempontjából fontos, hogy az anticiklonok közé szorult cut off ciklonok esetén még ennél is erősebb a zivatar hajlam, ahol megsokszorozódik a konvergenciavonalak száma a közel egy helyben álló ciklon többszörös okklúziója következtében, illetve állandó labilitást és szélnyírást okoz a ciklon magasabb rétegeiben örvénylő hidegcsepp (HORVÁTH Á. 2007).

2. Szinoptikus időjárási helyzetek osztályozási módszerei

Az időjárási rendszerek szinoptikus skálájú osztályozása a már több mint 100 éves európai megfigyelő hálózat kialakulása után pár évvel vette kezdetét mikor már az időjárási térképek napi szinten jelentek meg. Az első szinoptikus klimatológiai osztályozást Van Bebber készítette el, melyben elkülönítette egymástól az Európa feletti ciklonok leggyakoribb vonulási pályáit. Az 1940-es években (BAUR F. et al. 1944) bevezették a „Grosswetterlage” (makroszinoptikus vagy időjárási helyzet) kifejezést, munkájukban az Európára vonatkozó makroszinoptikus helyzeteket 21 időjárási típusba sorolták. A típusok leírásában a tengerszinti légnyomás eloszlása közel ugyanolyan marad több napon keresztül egy nagyobb térség felett. Ezt az osztályozást HESS, P., BREZOWSKY, H. (1952) teljesen átdolgozta, melyben már figyelembe vették a tengerszinti nyomásmezőn kívül a magasabb légköri szintek jellemző áramlási viszonyait (pl. az 500 hPa-os abszolút topográfiai mezőt) is. Az ún. HB-típusok Közép-Európa középpontúak, bár ez alatt általában Németországot értették.

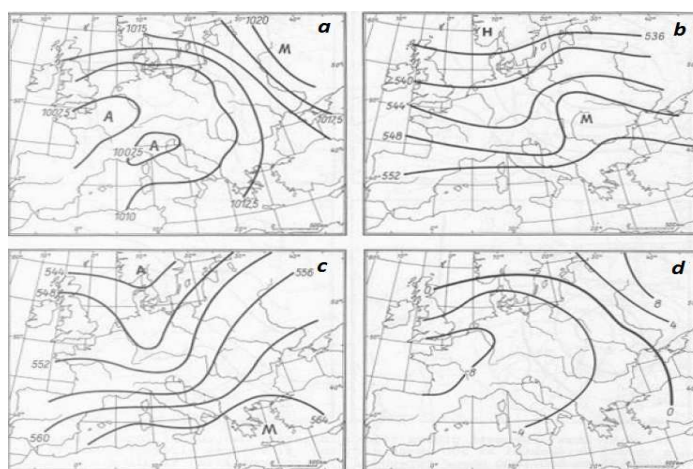
A Hess-Brezowsky-féle katalógus Közép-Európára vett időjárási helyzetképe és bárikus viszonyai tekintetében 4 zonális, 18 meridionális és 7 kevert cirkulációs makroszinoptikus helyzet között tesz különbséget. Ezenkívül fenntart egy típust a besorolásra alkalmatlan mezők számára. A következő évtizedekben fokozatosan kibővítették és továbbfejlesztették osztályozásukat (HESS, P., BREZOWSKY, H. 1969, 1977). Saját térségükre vonatkozó speciális tipizálások elkészítése néhány más európai országban is megtörtént, mint például Ausztriában LAUSCHER, F. (1972) az ún. kelet-alpesi időjárási helyzeteket alkotta meg vagy, mint SCHÜEPP, M. (1968) típusokat hozott létre Svájc számára.

Egy a Kárpát-medencére kialakított speciális típusrendszer megalkotása is elkészült rövidesen (PÉCZELY, GY. 1957), (PÉCZELY GY. 1983), mely a földrajzi helyzetből adódott speciális helyi hatások figyelembevételével (Kárpátok, Alpok, Földközi-tenger) lett kidolgozva. Péczely a Kárpát-medence térségét lefedő 1901 és 1957 közötti naponkénti tengerszinti légnyomás térképek alapján szubjektív módszerrel 13 típust hozott létre. Osztályozása 5 fő típust tartalmazott, amelyek a négy égtáj szerint irányított időjárási helyzet, valamint a centrum helyzet. Alapvető – már többek által felvetett – problémája az osztályozásnak, hogy csupán egy, a légkörben lejátszódó pillanatfelvétel során készült. A Péczely-féle tipizálás további problémája, hogy Magyarország legnagyobb részén a légnyomás abszolút értéke, nevezetesen az 1015 hPa értékhez képesti viszonya szerint különböztette meg egymástól a ciklonális és anticiklonális típusokat (HIRSCH T. 2006).

PÉCZELY, Gy. (1957) után bő két évtizeddel szintén a Kárpát-medence térségére szinoptikus osztályozást hozott létre BODOLAINÉ, J. E. (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. Csapadékkal kapcsolatos szinoptikus-klimatológiai kutatásokban az így létrehozott típusok rendkívül jól felhasználhatóak, mivel a típusok tartalmazzák az éven belüli csapadékhatékonyságot és a hozzá tartozó gyakoriság eloszlást is. Az időjárási helyzetek időben stabil tipizálása érdekében mind a talajközeli, mind a magas légköri viszonyokat figyelembevevő osztályozást dolgozott ki.

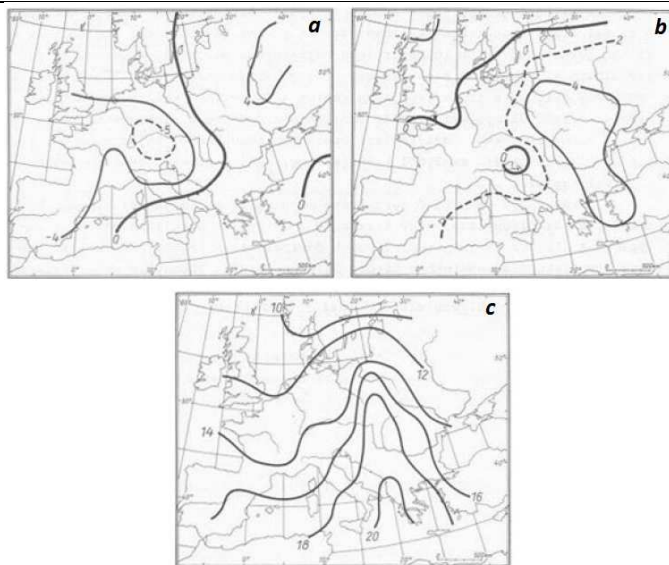
Módszere során az 500 hPa-os abszolút és az 500/1000 hPa-os relatív topográfia térképek teknővonalait valamint a talajközeli ciklon helyzetét vizsgálta (BODOLAINÉ J. E. 1983).

Ezek a makroszinoptikus helyzetek nem a pillanatnyi állapotát tükrözik a légkörnek, mint több Péczely-féle típusban, hanem mindig egy folyamatot tekintenek (HIRSCH T. 2006). A vizsgálatok alapját az 1876-1977 között eltelt kicsivel több, mint 100 év múltbéli árhullámainak sorozata nyújtotta, melyek a Duna és Tisza vízgyűjtőterületén zajlottak le. A rendelkezésre álló magassági mérések alapján a szerző szerint nagyobb árhullám többnyire csak olyan időjárási típusok időbeli halmozódása során jön létre, melyek nagy csapadékot adnak. BODOLAINÉ J. E. (1983) külön vizsgálta azokat az eseteket, melyeket a felhalmozódott hó olvadása váltott ki télen és tavasszal. A típusok közepes mezőkkel lettek reprezentálva, melyek az egyes típusnapok mezőinek átlagolásával készültek (SZÉPSZÓ G. 2003). BODOLAINÉ J. E. (1983) egyik típusa a 7 közül a hideg légcsepp típus /H/, mely előfordulása során, Németország felett található a hideg légcsepp, amely olykor elhúzódhat akár az Észak-Adriáig is (8. a-d ábra).



8. a-d ábra. Hideg légcsepp típusú helyzetek a) közepes talaj menti nyomástérkép; b) közepes 500 hPa-os térkép; c) közepes 500 hPa-os relatív topográfia; d) a talajon vett közepes eltérések normál értékektől (BODOLAINÉ J. E. (1983) nyomán)

Ebben az esetben Franciaországtól a Pó-síkságon keresztül a Kárpát-medencéig regionális örvények találhatóak. 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 (9. a-c ábra) (SZÉPSZÓ G. 2003). A Duna vízgyűjtőterületén ez a típus nem játszik szerepet.



9. a-c ábra. A hideg légcsepp típusú időjárási helyzet a) közepes eltérés a normál értékektől az 500 hPa-os szinten; b) közepes eltérés a normál értékektől az 500/1000 hPa-os rétegben; c) a potenciálisan kihullható vízmennyiség tiszai árhullámok esetén (SZÉPSZÓ G. (2003) nyomán)

A Bodolainé féle típusrendszer sem hibátlan, ha a téli nagycsapadékos helyzeteket tekintjük, mert csak azokat a szituációkat részletezi, melyek a Duna és a Tisza vízgyűjtőterületére árhullámot hoznak, ám az összes téli nagycsapadékos helyzet ezt nem tudja létrehozni (HIRSCH T. 2006). Egy új szinoptikus típus (speciális mediterrán ciklon) kiegészítésével próbálta megoldani a problémát HIRSCH, T.(2000), míg egy abszolút új típusrendszert a budapesti nagy havazásos esetek osztályozására alkotott BABOLCSAI, GY., HIRSCH, T. (2006).

Az osztályozás elsődleges célja, hogy megjelöljük az események halmazát, illetve csoportosítsuk azokat összefüggésük és/vagy hasonlóságuk alapján. Az osztályozás egy olyan eszköz, amely segít, hogy a fontos jelenségeket jobban megismerhessük. Éppen ezért rendkívül fontos, hogy megfelelően specifikáljuk az osztályozás célját és olyan tulajdonságokat válasszunk alapjául, amelyek a folyamatokat és jelenségeket jól leírják.

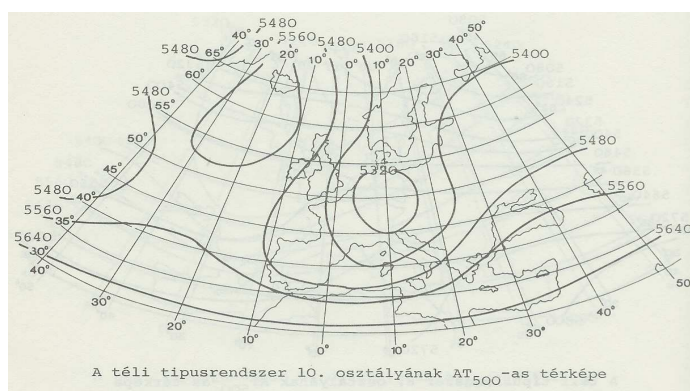
A fent említett tipizálások kivétel nélkül mind szubjektívák, tehát egy adott személy dönt a kialakítandó típusokról, illetve az adott helyzetek besorolásáról, meghatározott meteorológiai elemek vizsgálata alapján. A szubjektív osztályozás hátránya, hogy erősen emberfüggő. Objektív osztályozás történik, ha az esetek különböző csoportokra osztására matematikai algoritmusokat használnak fel. Előnye, hogy automatizálható, tehát embertől független, ám a szubjektív osztályozás előnye ezzel szemben, hogy az emberi agy kombináló képessége rendkívül nagy, s e kombinációs összetettség olykor csak nagyon nehezen kivitelezhető algoritmusok

leírásával. A legjobb megoldás talán az lenne, ha olyan rendszert sikerülne kialakítani, melyben mindkét osztályozás előnyeit ki lehetne használni (HIRSCH T. 2006).

Objektív módszerek alkalmazás témakörében tekintsünk néhány példát. AMBRÓZY P. – BARTHOLY J. – GULYÁS O. (1983) cluster-analízisre (a cluster angol szó, jelentése köteg, nyaláb, csomag, csoport) alapozott objektív módszer segítségével évszakos bontású makroszinoptikus típusokat alakítottak ki az atlanti-európai térségre. A cluster-analízis célja, hogy különböző időjárási helyzeteket (objektumokat) közös tulajdonságaik szerint azok hasonlósága alapján csoportokba sorolja. A legtöbb clusterező eljárás módszertanilag a matematikai statisztika nem paraméteres módszerei körébe sorolható.

A clusterezést többnyire számítógépen hajtották végre, erre az objektumok nagy száma, illetve bonyolultsága miatt volt szükség. A clusterezés egy kódolási vagy kódszűkítési művelet, amikor egyetlen számmal, a cluster (hozzárendelt csoport) sorszámával adjuk meg a sok, bonyolult paraméterrel jellemzett objektumot. A csoportba tartozó egyedek közös és általános tulajdonságait mutatja a csoport kódja.

AMBRÓZY P. – BARTHOLY J. – GULYÁS O. (1983) clusteranalízis módszerét használták fel, hogy összeválogassák a hasonló objektumokat. Megteremtették a HB-típusok objektív felismerését és elvégezték a típusok korrekcióját is. Sok szempontból jobbnak bizonyultak a Hess-Brezowsky-féle típusoknál az általuk kialakított évszakos bontású makroszinoptikus rendszerezés. Számunkra a téli típusrendszer 10. osztálya fontos, mely a hidegcseppes típust mutatja be (10. ábra).



10. ábra. HB téli 10-es típus (AMBRÓZY P. – BARTHOLY J. – GULYÁS O. (1983) nyomán)

Hasonló módon jártak el BARTHOLY J. - KABA M. (1987), akik empirikusan kiterjesztették a teljes atlanti-európai térségre a HB-helyzeteket 8 magyarországi állomás, 60 év napi 18 meteorológiai karakterisztikáját elemezték. Így meghatározták az egyes HB-típusokra vonatkozó magyarországi időjárási helyzetképeket.

3. Az Európai Középtávú Előrejelző Központ ECMWF reanalízisei

1975-ben 18 európai ország összefogása eredményeképpen kezdte el működését az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecast) (WOODS, A. 2005). A kelet-közép-európai országok közül Magyarország elsőként csatlakozott 1994. július 1-én (KABA M. 1995). Az ECMWF jelenleg 34 tagországgal rendelkezik. 1979-ben készült el az első operatív determinisztikus középtávú előrejelzés, s 1992 óta az úgynevezett EPS (Ensemble Prediction System) valószínűségi előrejelzések is operatíván készülnek (MOLTENI, F. R. et al., 1996). A mai modern előrejelző rendszerek hihetetlenül gyorsan fejlődnek, ennek köszönhetően azok a megfigyelések, melyek az elmúlt évtizedekből származnak sokkal összetettebb módon kerülnek felhasználásra a reanalízis adatbázisok elkészítése során, mint amikor azok eredeti analízise történt a múltban.

Ennek következtében olyan globális, jó minőségű adatbázisok állnak rendelkezésünkre, melyeket elterjedten alkalmaznak a mezőgazdaságban, a vízgazdálkodásban az egészségügyben és a levegőminőségvédelemben (UPPALA, S. M. et al. 2008). A reanalízis adatok előállítása érdekében, az adatasszimilációs rendszerek korszerű és rögzített változatával dolgoznak. Az operatíván működő analízisekkel szemben a reanalízis jóval alkalmasabbá vált az éghajlat hosszútávú változékonyságának elemzésére (SIMMONS, A. et al. 2007).

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, J. 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 adatasszimilációs módszerrel az ECMWF 2003-ban állította elő (UPPALA, S.M. et al. 2005). Az ERA-40 nem csak a légkör állapotát jellemzi az adott időszakra, hanem a szárazföld és az óceán felszínét is (UPPALA, S.M. et al. 2008).

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, D.P. et al. 2011). Az ERA Interim projekt keretében a reanalízis adatbázis havonta, két hónap késleltetéssel bővül. Az ERA Interimben a még finomabb - $0,75 \times 0,75$ fokos - térbeli felbontás mellett jelentős

részben az ERA-40-ben alkalmazott 3D-var módszerrel szemben a még modernebb 4D-var adatasszimilációs módszer alkalmazása jelentős minőségi javulást eredményezett (UPPALA, S. M. 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 (UPPALA, S. M. et al. 2008). 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 projekt a legújabb reanalízis rendszert.

4. Hidegcseppek statisztikai és meteorológiai vizsgálata

2002 és 2011 között 70 hidegcseppest napot – amelyeket szinoptikus meteorológusok annak értékelték – választottunk ki. A 70 esetet naponta, hatóránkénti bontásban vizsgáltuk. A légkör háromdimenziós szerkezetének vizsgálatához, összesen 280 időpontban állt rendelkezésünkre a főizobárszinteken a geopotenciál, a hőmérséklet, 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 választottuk. A terület északnyugati sarokpontja: é. sz. 60°, k. h. 10°, délkeleti sarokpontja: é. sz. 40°, k. h. 40°. A 280 hidegcsepp lokális minimum helyét az (12. ábra) mutatja. A felhasznált adataink 0,5*0,5 fokos rácshálózaton az ECMWF MARS adatbázisából származtak.

Az statisztikai vizsgálatához elegendő mintaszám biztosítása érdekében a hidegcsepp felismerő algoritmus kifejlesztését tűztük ki célul. A 400, 500, 700 és 850 hPa-os főizobárfelület 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 helyek környezetében – 100 és 750 km távolság között – különböző sugarú körökön, a pont körüli átlagos gradiens számításával vizsgáltuk meg hőmérsékleti mező szerkezetét. Minden vizsgált nyomásszinten a gradiensek gyakoriságából távolság szerint bontottan hisztogramokat készítettünk.

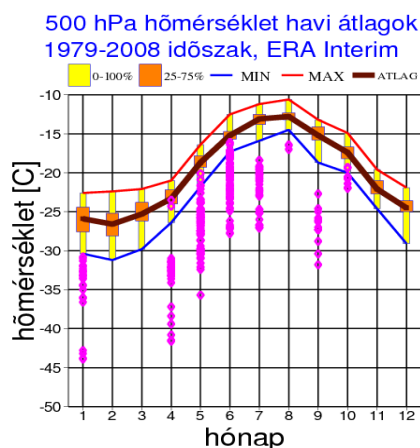
Vizsgálatai eredményeink összhangban vannak a várt struktúrával, azaz a mag körül nagy gradiensek jellemzők, míg távolabb már jóval alacsonyabb értékek. A hidegcseppekre jellemző sajátos horizontális hőmérsékleti struktúra, jó megkülönböztetési lehetőséget ad a mérsékelt övi ciklonokkal szemben, amelyeket jóval nagyobb kiterjedés és hőmérsékleti asszimetria (okkludálódott fázisban már nem)

jellemzi. A hidegcseppek jellegzetessége, hogy az intenzív belső mag inkább csak a középtroposzférában jellemző, az alsó troposzférában kevésbé fejlett a mag, vagy alig mutatható ki, szemben a mérsékelt övi ciklonokkal. Szintén megvizsgáltuk a nyomásszinteken a minimum helyek egymáshoz képesti térbeli elmozdulását, más szavakkal a hidegcsepp tengelydőlését. A vizsgálatokhoz az ECMWF MAGICs++ szoftver alkalmazásával saját fejlesztésű FORTRAN programcsaládot készítettünk. A következő alfejezetekben kissé részletesebben is bemutatom az eredményeket.

4.1. 500 hPa hőmérséklet havi átlagok vizsgálata

Az 1979-2008 időszakra vonatkozóan 500 hPa-on hőmérséklet havi átlagértékeket számítottunk, valamint havonta megkerestük a 30 évbeli 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.

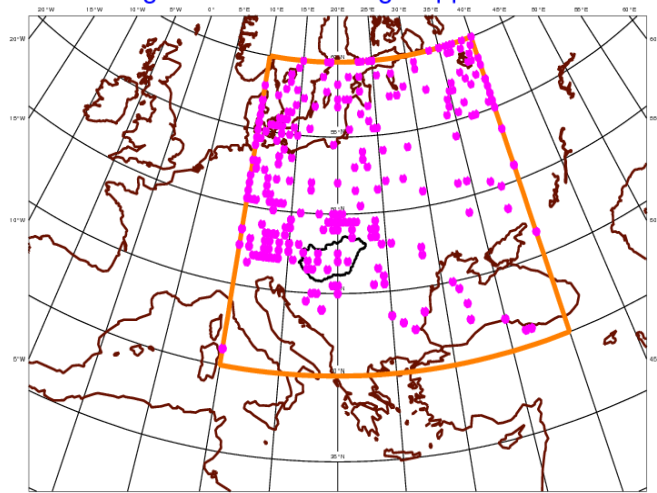
Jól látható, hogy a hidegcseppek napokon a hőmérséklet mindig a 30 éves időszak havi középhőmérséklete alatt helyezkedik el (11. ábra).



11. ábra. 30 éves idősor alapján 500 hPa-os havi középhőmérséklet átlagértékek (barna vonal), havonként a leghidegebb (kék vonal) és legmelegebb (piros vonal) havi középhőmérséklet, valamint a 280 kiválasztott, hidegcseppek epizód minimum helyei (lila pontok)

A 12. ábrán 2002 és 2011 között vizsgált 280 hidegcseppek mag pozícióit tüntettük fel. Jól látszik, hogy a minimumok leginkább Magyarországtól északnyugatra helyezkednek el.

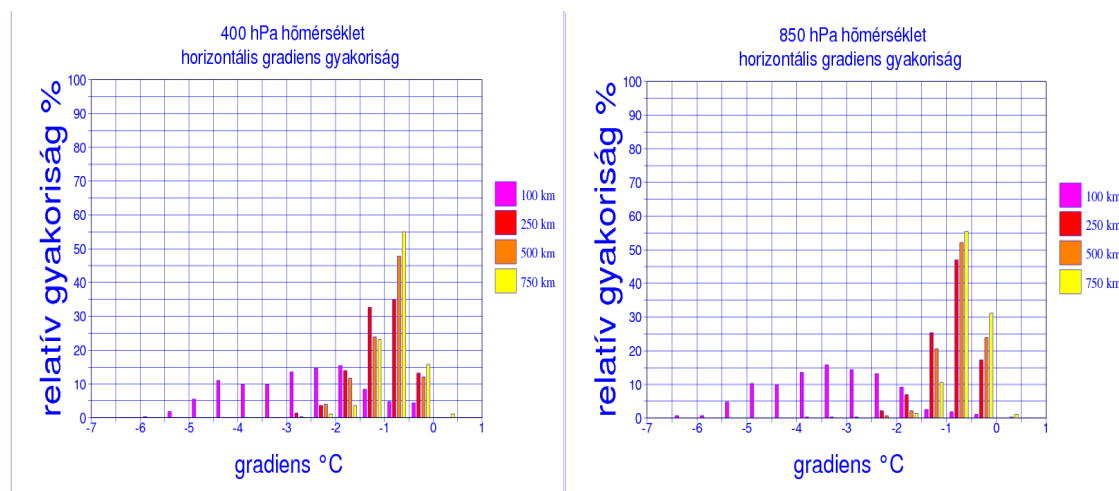
a vizsgált 280 darab hidegcsepp: 2002-2011



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

4.2. Hidegcseppek középpontja körüli horizontális gradiens, valamint a hidegcsepp tengelydőlés meghatározása

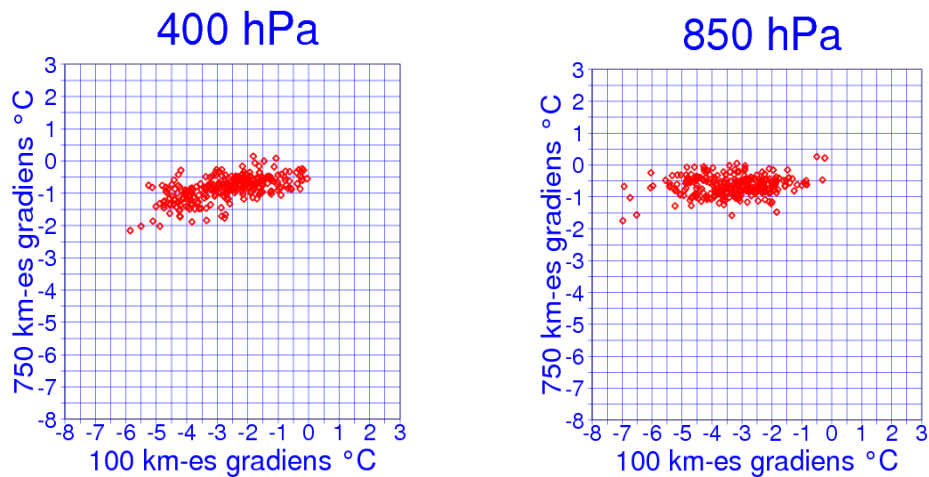
Az objektív módszerrel meghatározott hidegcsepp középpont körül 100, 250, 500 és 700 km-es sugarú körön számolt horizontális gradienseket számítottunk ki. Az említett 400, 500, 700 és 850 hPa-os főizobárszinten a gradiens gyakoriságot $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ km}$ -es gyakorisággal, hisztogram formájában megjelenítettük (13. ábra).



13. 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 főizobárszinten

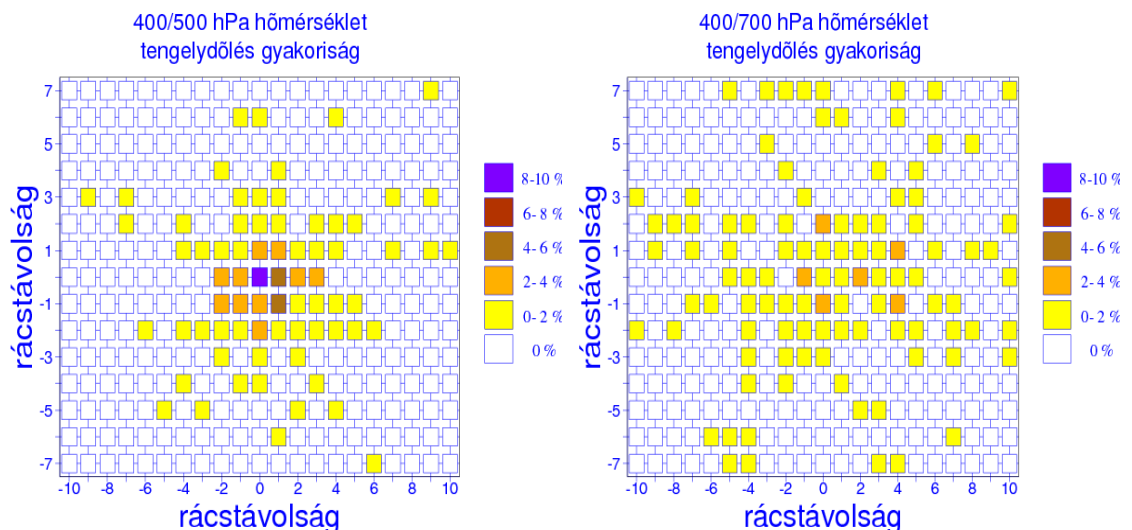
A 100 km-es sugarú körön számolt gradiensek jellemzően jóval nagyobbak, mint a nagyobb területen vett gradiensek, s a terület növekedésével a gradiens értékek is egyre kisebbek, összhangban a hidegcseppek jellemzően kis horizontális kiterjedésével. A fő izobárpárokon számolt horizontális gradienseket kereszt diagram formájában is

megjelenítettük (14. 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 gradiensek minden esetben kisebbek, mint a kisebb területen vett gradiensek.



14. ábra. A hidegcsepp középontja valamint a 100 és 750 km-es sugarú körön vett átlagérték gradienspárok a 280 vizsgált esetben a 400 és a 850 hPa-os főizobárszinten

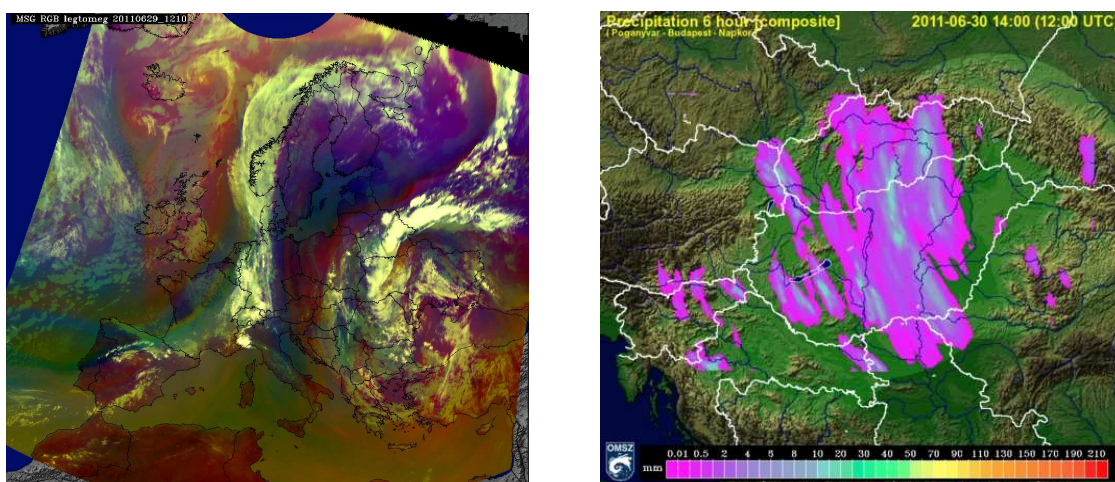
Munkánk következő fázisában az egyes fő izobárszinteken számolt hidegcsepp középontok egymáshoz képesti horizontális helyzetét, azaz a hidegcsepp tengely dőlését vizsgáltuk. A 400 és 500, valamint a 400 és 850 hPa-os felületen tengelydőlés gyakorisági térképet mutatja a 15. ábra. Látható, hogy a 400 és 500 hPa szint között a dőlés, jellemzően kisebb, és az égtájak szerinti gyakoriság is jól vizsgálható (15. ábra).



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

4.3. Hidegcseppek vizsgálata műhold és radar térképek alkalmazásával

A hidegcseppek/hidegörvények 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 (16. ábra) a következő fejezetben bemutatott egyik – 2011. június 29-i – hidegcseppek esethez kapcsolódó műhold és radarkép, melynek bal oldalán a hidegcsepp spirális szerkezete jól megfigyelhető.



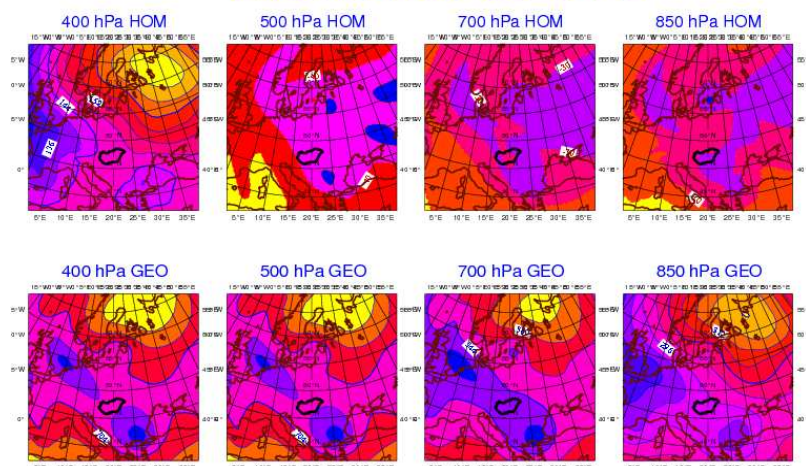
16. ábra. 2011. június 29. 12 UTC európai hamis színezésű „légtömeg” kompozit műholdkép és magyarországi 6 órás csapadékösszeg radarkép

4.4. Hidegcseppek vizsgálata térképes formában, és a hidegcseppek előre jelezhetőségének vizsgálata ensemble előrejelzések alapján

A 4.1. pontbeli statisztikai vizsgálatainkban meghatározott hidegcseppek jellemzőinek alaposabb vizsgálatához térképes megjelenítési eszközöket fejlesztettünk ki szintén a már említett MAGICS++ software felhasználásával. Három fő térképes megjelenítési eszközt használtunk. Két megjelenítési módot az ERA Interim illetve determinisztikus előrejelzések esetében alkalmazunk, a harmadikat az ensemble előrejelzések esetében.

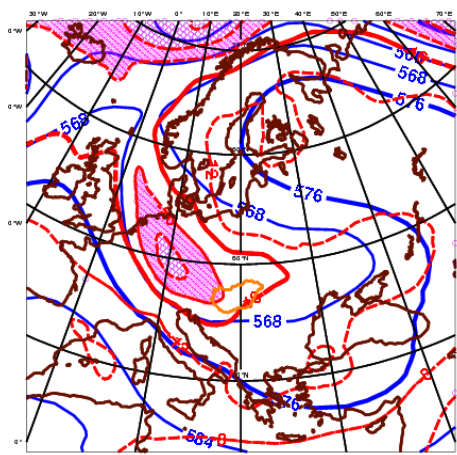
A hidegcseppek háromdimenziós szerkezetének tanulmányozásához jó eszköz, ha egy lapon több meteorológiai paraméterhez s több nyomás szinthez tartozó térképet együttesen jelenítünk meg (17. ábra). A baroklinitás jellemzésére jó eszköz, ha egy térképen jelenítjük meg a geopotenciál és hőmérséklet mezőt (18. ábra). A hidegcsepp magját lila szín mutatja.

2008.01.03 00 UTC



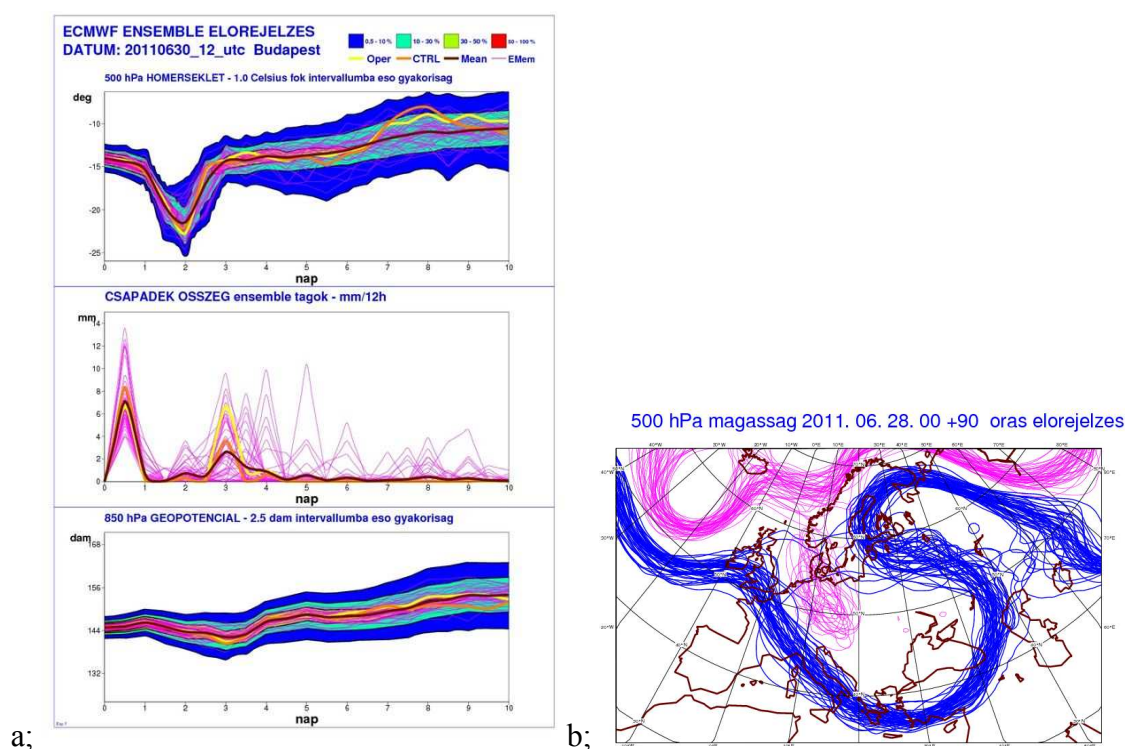
17. ábra: ERA Interim 2008. január 3. 00 UTC-os hőmérséklet és geopotenciál analízis a 400, 500, 700 és 850 hPa-os főizobárszinten

2011. 07. 01. 18 UTC
500 hPa geopotenciál & hőmérséklet



18. ábra: 2011. július 1. 18 UTC-s 500 hPa-os geopotenciál és hőmérséklet mező

Ensemble előrejelzések esetében az operatív előrejelzői gyakorlatban alkalmazott klasszikus fáklya diagram (19. a ábra) mellett spagetti diagram térkép megjelenítésére szintén programot fejlesztettünk ki (19. b ábra). A 19. a ábrán 2011. július 2-i hidegcseppek esetet két nappal megelőzően készült ensemble fáklya előrejelzés látható. A 19. a ábrán jól megfigyelhetjük a hidegcsepp átvonulására mutató jellegzetes markáns U alakú menetet a második előrejelzési nappál, az 500 hPa-os szinten elég nagy valószínűséggel 24 óra alatt mintegy 8 fokos lehűlés, majd a hidegcseppet követően szintén 24 óra alatt ugyanekkora mértékű melegedés látszik. A 19. b ábrán ún. spagetti diagram térképen jól megfigyelhető a hidegcsepp középpont intenzitás és pozíció előrejelzés bizonytalansága.

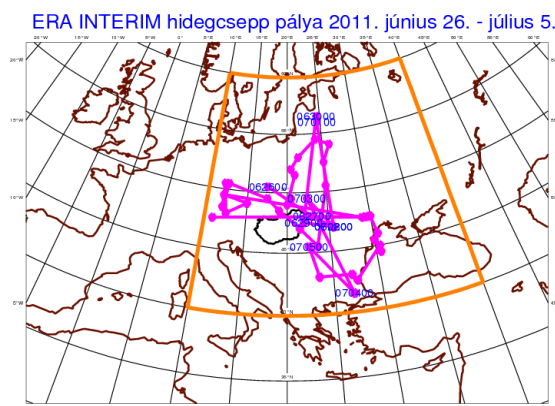


19. a ábra: 2011. június 30. 12 UTC-kor készült budapesti 850 hPa-os hőmérséklet, 12 órás csapadékösszeg, 500 hPa-os geopotenciál 10 napos ensemble fáklya diagram

19. b ábra: 2011. július 1. 18 UTC-re érvényes 90 órás 500 hPa magasság ensemble előrejelzés. Két izovonal sereg van feltüntetve: 568 dam (lila) és 576 dam (kék)

4.5. Hidegcsepp pálya ERA interim mezők alapján

Munkánk befejező fázisában az objektív felismertetéssel meghatározott hidegcsepp középpontok időbeli változását illusztráló térkép kifejlesztését tűztük ki célul. A 20. ábrán az 5. fejezetben részletes elemzésben bemutatásra kerülő hidegcseppek esetében a hidegcsepp középpont időbeli mozgása követhető nyomon.



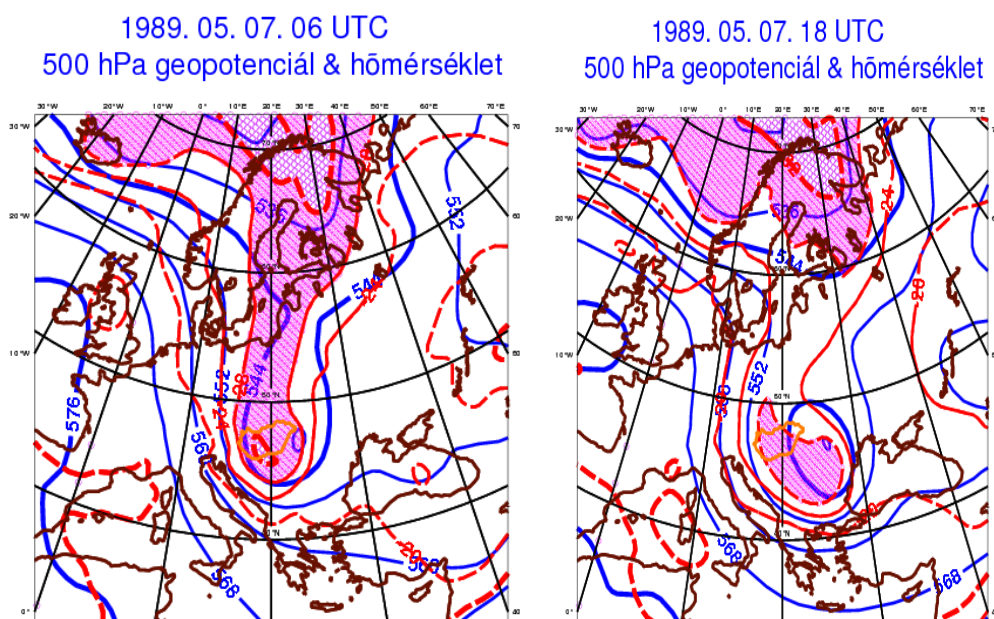
20. ábra: Az 500 hPa-os izobárfelületen a hidegcsepp pályájának mozgása ERA Interim analízisek alapján 2011. június 26. és július 5. között

5. Esettanulmányok

5.1. 1989-es májusi zöldár a Tiszán

1989 májusában heves árvíz, ún. „zöldár” vonult le, két egymást követő hullámban a Tisza vízgyűjtő területein. A május eleji frontális nagycsapadékos helyzetet követően 1989. május 6-a és 9-e között a Tisza vízgyűjtő területén szintén nagy mennyiségű csapadék hullott. Ebben az esetben egy markáns hideg légörvény okozta az intenzív csapadéktevékenységet, melynek mozgása lelassult a Kárpát-medence északkeleti részén.

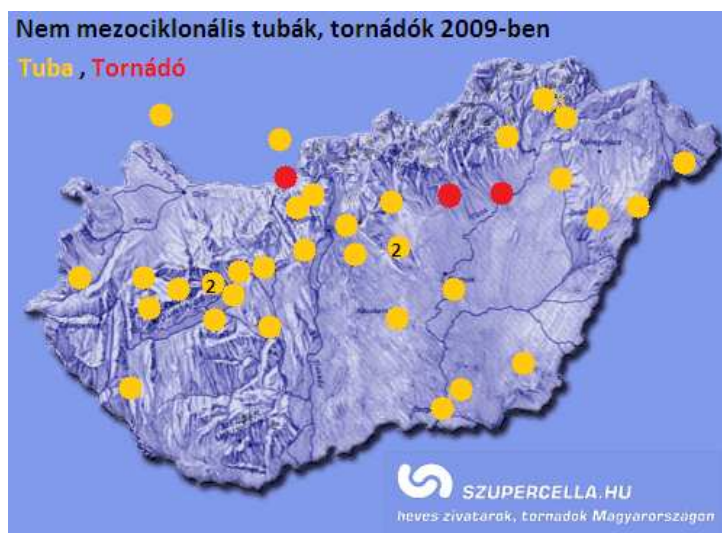
Az örvény Erdély felett erősödött meg az 500 hPa-os szinten. A hideg légcsepp aktivitását bizonyítja, hogy analizálható egy önálló, zárt izohipszával rendelkező ciklonként, még a 300 hPa-os szinten is. Ez a típusú, ún. leszakadt magassági hidegörvény (más néven cut off ciklon) többnyire elősegíti a meleg nedves szállítószalag hátrahajlását, amely ebben az esetben is bekövetkezett. A meleg, nedves levegő hátrahajlása, a telítéshez közeli légállapot, a jelentős vertikális feláramlás, a magassági hideg levegő labilizáló hatása, ezen kívül hosszantartó északi áramlás különösképpen a Bihar-hegység északi részén és az Északkeleti-Kárpátokban jelentős mennyiségű csapadékot okozott. A legintenzívebb csapadék a háromnapos csapadékos perióduson belül május 7. 06 UTC és május 8. 06 UTC között hullott, amikor is a Tisza vízgyűjtő területe a magassági hideg légörvény előoldalán helyezkedett el (21. ábra).



21. ábra. Az ERA Interim analízis 500 hPa-os szint magassága és hőmérséklete 1989. május 7-én 06 és 18 UTC-kor (a lila terület a -28°C alatti hőmérsékletet jelöli)

5.2. 2009 a hidegcseppek által okozott tubák és tornádók éve

A felhőtölcsérek (tubák és tornádók) kétféleképpen jöhetnek létre, mezociklonális és nem mezociklonális módon. Magyarországon sokkal gyakoribbak a nem mezociklonális tubák és tornádók, mint a mezociklonálisak. Kétségtelenül a 2009-es év volt a nem mezociklonális tubák, és tornádók éve (22. ábra).



22. ábra. Nem mezociklonális tubák és tornádók eloszlása 2009-ben Magyarországon

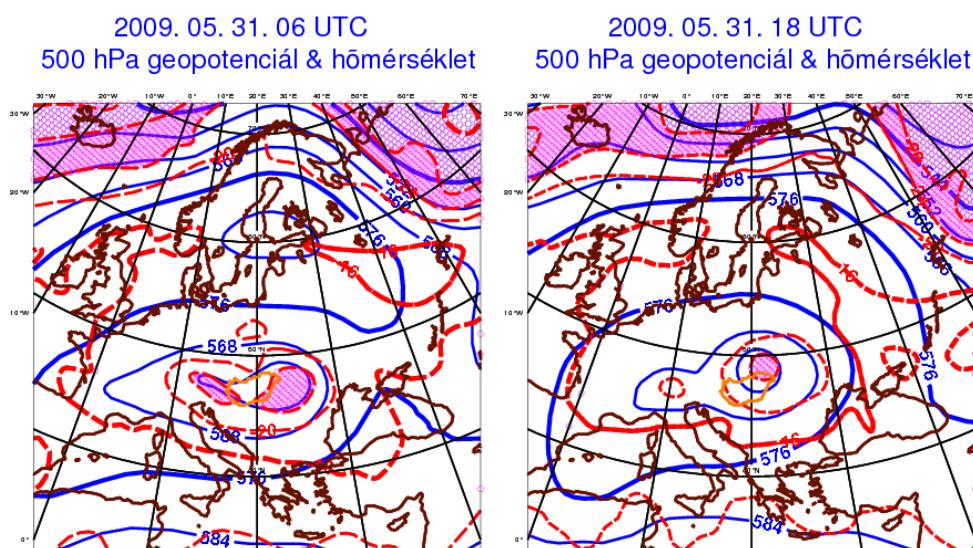
(forrás: szupercella.hu)

A mezociklonális tuba vagy tornádó szupercellákban alakulhat ki. Az erőteljes feláramlás és a szélnyírás kölcsönhatásaként jön létre a szupercella, melynek eredményeképpen, egy függőleges tengely mentén forgó mezociklonhoz kapcsolódó zivatarfelhő képződik. A mezociklonban található okklúziós front végén jelenhet meg a tornádó.

Tartósan egy helyben álló, vagy lassan mozgó talajközeli konvergencia szükséges a nem mezociklonális tubák illetve tornádók megszületéséhez, amely felett feláramlások jönnek létre. A konvergenciavonal mentén a horizontális szélnyírás következtében, vertikális tengelyű örvények keletkezhetnek. Egy ilyen típusú örvény erőteljes feláramlással párosulva függőlegesen megnyúlik, majd az örvény sugara lecsökken, így tornádó erejű forgás alakulhat ki az impulzus momentum megmaradása értelmében. Az örvény a talajról terjed felfelé, ezenkívül a mezociklon létrejötte nem előzi meg a magasabb rétegekben a tornádó kialakulását. Viszont a mezociklonális tornádókhoz hasonlóan a tölcserfelhő először a felhő alapja közelében jön létre.

5.2.1. 2009. május 29. – június 1. – Hidegcsepp

2009. május 28-án egy a felszínen zárt izobárokkal nem rendelkező magassági hidegörvény érte el országunkat (23. ábra), mely kellő labilitást is okozott. Így a labilitás és nedvességtartalom elegendő volt intenzív záporok, helyenként zivatarok kialakulásához. A középső országrészben, majd a Dunántúl keleti részén az erőteljesebb konvekció hatására helyenként nem mezociklonális tuba, tornádó alakult ki.



23. ábra. Az ERA Interim analízis 500 hPa-os szint magassága és hőmérséklete 2009. május 31-én 06 és 18 UTC-kor (a lila terület a -24°C alatti hőmérsékletet jelöli)

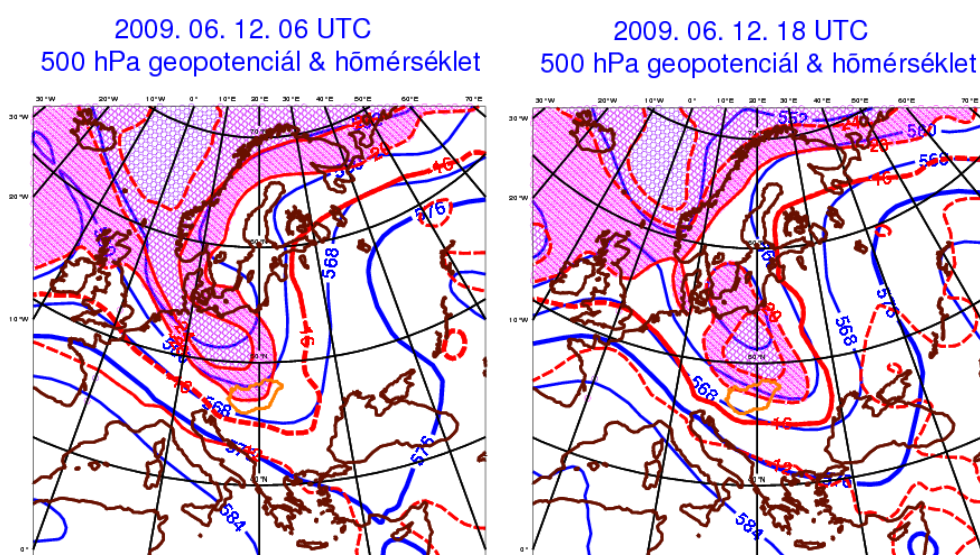
A Magyarország felett található hidegcsepp a kellő feláramlással, a magas páratartalom miatti alacsony felhőalappal és megfelelő örvényességgel együtt biztosította az esélyét a felhőtölcsérek kialakulásához. A két nap alatt öt tubát jelentettek az észlelők: 2011. május 30-án kora délután: Ajka (24. ábra), Csór, Gödöllő, majd másnap május 31-én dél körül: Monorierdő és Kondoros.



24. ábra. Az ajkai tuba (forrás: idokep.hu)

5.2.2. 2009. június 11-12. – Átvonuló hidegfront hidegcseppel

Magyarország időjárását szintén egy magassági hidegcsepp alakította, mely az Európába ÉNy-DK-i tengellyel benyúló teknőről szakadt le (25. ábra). Ennek középpontja országunkon kívül maradt egész nap, de a vele járó pozitív örvényesség-advekciónak északkeleti megyéinket jelentősen érintette. Ámbár itt a tartósan mutatkozó konvergenciával együtt nem mezociklonális tubákat is eredményezhetett, aminek egy tornádó (Adács) (26. ábra) és egy tuba (Debrecen) lett a végeredménye.



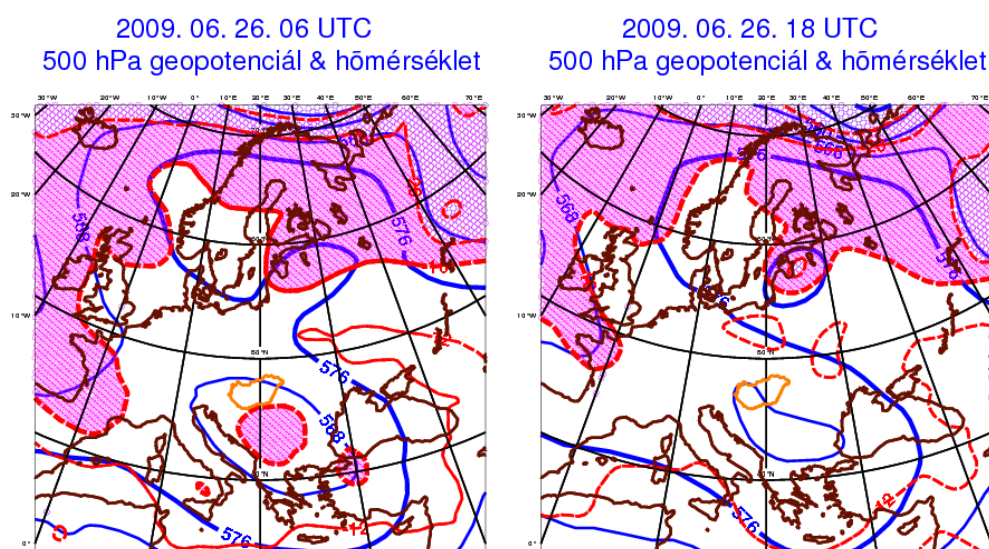
25. ábra. Az ERA Interim analízis 500 hPa-os szint magassága és hőmérséklete 2009. június 12-én 06 és 18 UTC-kor (a lila terület a -20°C alatti hőmérsékletet jelöli)



26. ábra. Az adácsi tornádó (forrás: idokep.hu)

5.2.3. 2009. június 23–29. – Lassú mozgású magassági hidegörvény

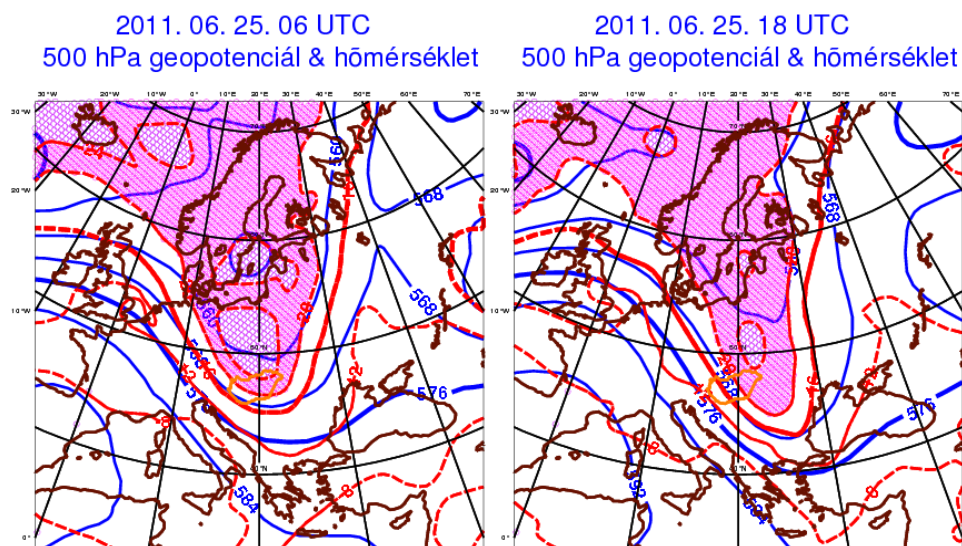
2009. június 23. és 29. között ismét egy magassági hidegörvény alakította hazánk időjárását, mely tőlünk délre helyezkedett el, mely a nap folyamán fokozatosan gyengült és lassan délkelet felé haladt (27. ábra). Egy sekély többközpontú ciklonrendszer helyezkedett el a talajszinten, mely napközben az egyik középpontjával a keleti-középső országrész felett volt megtalálható, így nagyobb területek felett okozott konvergenciát. Nagy térségű emelés volt jelen a hidegörvény közelsége miatt, ami a középső országrészre volt főként hatással napközben. A hozzátartozó konvergenciával együtt, így nagy eséllyel eredményezhetett nem mezociklonális tubát, illetve tornádót főleg a Duna-Tisza közének déli részén. Az eredmény magáért beszél, a nap mérlege 23 tuba és 2 tornádó (ebből az egyik Erdélyben volt található).



27. ábra. Az ERA Interim analízis 500 hPa-os szint magassága és hőmérséklete 2009. június 26-án 06 és 18 UTC-kor (a lila terület a -16 C alatti hőmérsékletet jelöli)

5.3. 2011. június 25. - július 3. hidegcsepp által okozott erős lehűlés

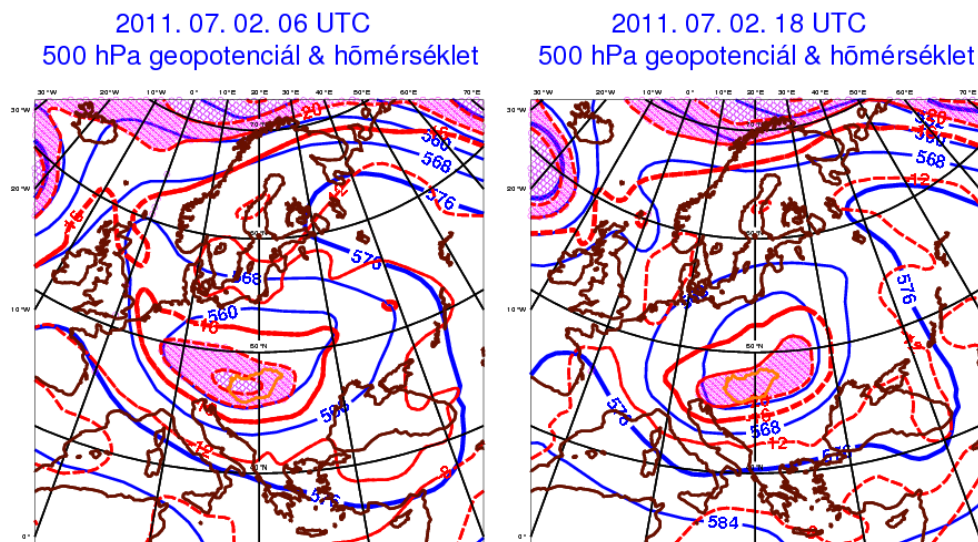
2011. június 25-én intenzív záporokkal, zivatarokkal járó hidegcsepp éreztette a hatását (28. ábra) Magyarország északkeleti részén. Másnap hidegrekord is született: 2011. június 26-án hazánkban pár fok híján fagyott. Ezen a napon 3,4 fokig csökkent a hőmérséklet hajnalra a Nógrád megyei Zabaron, ezzel veszítette el első helyét egy 93 éven át tartó napi rekord.



28. ábra. Az ERA Interim analízis 500 hPa-os szint magassága és hőmérséklete

2011. június 25-én 06 és 18 UTC-kor (a lila terület a -20°C alatti hőmérsékletet jelöli)

A 2011. június 30-ai hidegfront után július 2-ára virradó éjszakán záporokkal, zivatarokkal járó hidegcsepp érte el Magyarországot (29. ábra). A tőlünk északra örvénylő magassági hideg légcsepp miatt, 2011. július eleje inkább az izlandi nyarat idézte, mint a nálunk megszokottat. 2011. július 3-án az ország több részén mindössze 4°C -ot mértek. Magyarország több településén is befűtöttek az emberek a „hideg” miatt.



29. ábra. Az ERA Interim analízis 500 hPa-os szint magassága és hőmérséklete

2011. július 2-án 06 és 18 UTC-kor (a lila terület a -20°C alatti hőmérsékletet jelöli)

Összefoglalás

Szakdolgozatomat az Országos Meteorológiai Szolgálat Módszerfejlesztési Osztályán készítettem. Munkám során egy olyan jelenségkör vizsgálatával foglalkoztam, mely Európára és azon belül Magyarországra nagy hatással van. Szakdolgozatomban először definiáltam a hidegcseppet és bemutattam a hidegcseppek életciklusának négy jellemző fázisát. Ezt követően ismertettük a szinoptikus időjárási helyzetek osztályozási módszereit. Munkámban az Európai Középtávú Előrejelző Központ (ECMWF) ERA Interim reanalízis adatbázist használtam.

Saját munkám keretében az elmúlt 10 évből kiválasztott 70 hidegcseppes eset, statisztikai és meteorológiai vizsgálatát mutattam be. Mivel hidegcseppes eset viszonylag ritkán fordul elő, elvétele csak egy-egy helyen, ezért a kellő számú statisztikai minta érdekében, hidegcsepp felismerő algoritmust dolgoztunk ki. Vizsgálati területünk északnyugati sarokpontja: é. sz. 60°, k. h. 10°, délkeleti sarokpontja: é. sz. 40°, k. h. 40°. A kiválasztott esetekhez tartozó hatórás időbeli bontásban rendelkezésre álló, összesen 280 időpont alapján, a jelenség háromdimenziós szerkezetét feltáró összetett statisztikai feldolgozást végeztünk. Ezt követően a hidegcseppek diagnosztizálása és előrejelzése során használható eszközöket tekintettem át, valamint több új módszer kidolgozását is megvalósítottuk.

A hidegcseppek háromdimenziós diagnosztizálását a 400, 500, 700 és 850 hPa-os szinteken a hidegcsepp középpontja körüli 100, 250, 500 és 750 km-es horizontális gradiens mezők, a hidegcsepp tengelyének dőlése, valamint a közép és alsó troposzféra közötti horizontális gradiens különbség alapján tettük. A hidegcseppek vizsgálata során látható, infravörös és vízgőz csatornában készült Meteosat műholdképeket valamint magyarországi 6 órás csapadékösszeg térképeket is használtunk. Következő lépésben a hidegcseppek térképes megjelenítésére többféle grafikus eszközöket fejlesztettünk ki. Négy esettanulmányban a hidegcseppek fejlődési folyamatait mutattam be.

A kapott eredményeink alapján további célunk a hidegcsepp felismerő algoritmus tesztelése az 1981 és 2010 közötti 30 évnyi napi 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 alapján megalapozottá teszik a 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 szakdolgozatom létrejöttéhez.

Továbbá szeretném megköszönni Barcza Zoltán tanszéki konzulensemnek, hogy munkámat mindvégig figyelemmel kísérte és tanácsaival segítette.

Szeretnék köszönetet mondani Gróbné Szenyán Ildikónak a műholdképek kigyűjtésében nyújtott segítségéért.

Horváth Ákosnak, Fodor Zoltánnak, Bonta Imrének is nagyon köszönöm a számtalan hasznos szakmai tanácsot, a lelkes és inspiráló segítséget.

Valamint köszönetemet szeretném kifejezni családomnak és mindazoknak, akik valamilyen formában hozzájárultak a dolgozatom elkészültéhez.

Irodalomjegyzék

- AMBRÓZY P.-BARTHOLY J.-GULYÁS O. 1983 Évszakos bontású makroszinoptikus típusok kialakítása cluster-analízissel az atlanti-európai térségre. *Meteorológiai tanulmányok*, No. 39.
- BABOLCSAI GY.- HIRSCH T. 2006 Characteristics and synoptic classification of heavy snowfall events in Budapest for the period 1953-2003, Part I. *Időjárás*, 110, 1-13.
- BARTHOLY J.- KABA M. 1987 A Hess- Brezowsky-féle makroszinoptikus típusok meteorológia – statisztikai elemzése és korrekciója. *Meteorológiai Tanulmányok*. Budapest, No. 57.
- BAUR F. - HESS P. - NAGEL H. 1944 Kalender der Grosswetterlagen Europas 1881-1939. Bad Homburg v. d. H.
- 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.-BERRISFORD M. P.-POLI P.-KOBAYASHI S.-ANDRAE U.-BALMASEDA M. A.-BALSAMO G.-BAUER P.-BECHTOLD P.-BELJAARS A. C. M.-VAN DE BERG L.-BIDLOT J.-BORMANN N.-DELSOL C.-DRAGANI R.-FUENTES M.-GEER A. J.-HAIMBERGER L.-HEALY S.B.-HERSBACH H.-HOLM E.V.-ISAKSEN L.-KALLBERG P.-KÖHLER M.-MATRICARDI M.-MCNALLY A. P.-MONGE-SANZ B. M.-MORCRETTE J. J.-PARK B. K.-PEUBEY C.-DE ROSNAY P.-TAVOLATO C.-THÉPAUT J. N.-VITART 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.
- GYURÓ GY. 2001 Szinoptikus előadások IV. A blokkoló anticiklon. *Egyetemi Meteorológiai Füzetek*, No. 16.
- GYURÓ GY. 2002 Az elmúlt ősz szélsőségei szinoptikus szemmel. A blocking. *Beszámoló a 2001. évi tevékenységről*. OMSZ, Budapest, 138-144.
- GYURÓ GY. 2007 A szinoptikus meteorológia fogalomrendszere. *ELTE-munkafüzetek*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- HESS P.-BREZOWSKY H. 1952 Katalog der Grosswetterlagen Europas. Ber. Dt. Wetterd. in der US-Zone 33.

- HESS P.-BREZOWSKY H. 1969 Katalog der Grosswetterlagen Europas. 2. neu bearb. u. erg. Aufl.. Ber. Dt. Wetterd. 15 (113).
- HESS P.-BREZOWSKY H. (1977) Katalog der Grosswetterlagen Europas 1881-1976. 3. verb. u. erg. Aufl.. Ber. Dt. Wetterd. 15 (113).
- HIRSCH T. 2000 Synoptic-climatological investigation of weather systems causing heavy precipitation in winter in Hungary. *Időjárás*, 104, 173-196.
- HIRSCH T. 2006 Téli magyarországi nagy csapadékos helyzetek vizsgálata és előrejelzése Doktori (PhD) értekezés. Budapest ELTE.
- HORVÁTH Á. 2007 A légköri konvekció. *OMSZ kiadvány*. 4-17.
- KABA M. 1995 Csatlakozásunk a Középtávú Időjárás Előrejelzések Európai Központjához, *Légkör* 1995/4. 34.
- LAUSCHER F. 1972 25 Jahre mit täglicher Klassifikation der Wetterlage in den Ostalpenländern. *Wetter und Leben*, 24
- MOLTENI F. R.-BUIZZA T. N.-PALMER T.N.-PETROLIAGIS, 1996. The ECMWF ensemble prediction system: methodology and validation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 122, 37-119
- PÉCZELY GY. 1957: Grosswetterlagen in Ungarn. Kleinere Veröffentlichungen der Zentralanstalt für Meteorologie, Budapest, 30, 86 p.
- PÉCZELY GY. 1983 Magyarország makroszinoptikus helyzeteinek katalógusa (1881-1983). *Az Országos Meteorológiai Szolgálat kisebb kiadványai*, 53. kötet.
- REX D. F. (1950a) Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate. Part I. An aerological study of blocking action. *Tellus* 2: 196–211.
- REX D. F. (1950b) Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate. Part II. The climatology of blocking action. *Tellus* 2: 275–301.
- SIMMONS A.-UPPALA S.-DEE D.-KOBAYASHI S. 2007. ERA-Interim: New ECMWF reanalysis products from 1989 onwards. *ECMWF Newsletter*. 110, 25-35.
- SCHÜEPP M. 1968 Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 - 1967 im zentralen Alpengebiet. Veröff. SMA Zürich, 11.
- SZÉPSZÓ G. 2003 A 80-as 90-es évek árhullámainak szinoptikus klimatológiai, *Diplomamunka*. ELTE Meteorológiai Tanszék, Budapest.
- TÓTH T.-GYURÓ GY. 2006 Jelentős csapadékhullással járó földközi-tengeri ciklonok klimatológiája blokkoló anticiklonok gyakoriságának függvényében. *A III.*

Magyar Földrajzi Konferencia tudományos közleményei. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, 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 X.-ONOGI K.-SAARINEN S.-SOKKA N.-ALLAN R.P.-ANDERSSON E.-ARPE K.-BALMASEDA M. A.-BELJAARS A. C. M.-VAN DE BERG L.-BIDLOT J.-BORMANN N.-CAIRES S.-CHEVALLIER F.-DETHOF A.-DRAGOSAVAC M.-FISHER M.-FUENTES M.-HAGEMANN S.-HOLM E.-HOSKINS B. J.-ISAKSEN L.-JANSSEN P. A. E. M. JENNE R.-MCNALLY A. P.-MAHFOUF J. F.-MORCRETTE J. J.-RAYNER N.A.-SAUNDERS R.W.-SIMON P.-STERL A.-TRENBERTH K. E.-UNTCH A.-VASILJEVIC D.-VITERBO P.-WOOLLEN J. 2005: The ERA-40 re-analysis. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 131: 2961–3012

UPPALA S.-DEE D.-KOBAYASHI S.-SIMMONS A. 2008. Evolution of reanalysis at ECMWF. *In proceedings of Third WCRP International Conference on Reanalysis, 28 January – 1 February 2008.* Tokyo, Japan.

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:

ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.) *MANUAL OF SYNOPTIC SATELLITE METEOROLOGY MAIN PAGE*, 2011a:

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/ULL/index.htm>

ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.) *MANUAL OF SYNOPTIC SATELLITE METEOROLOGY MAIN PAGE* , 2011b:

<http://www.zamg.ac.at/docu/Manual/SatManu/CMs/ULL/backgr.htm>