

Trópusi jellegű mediterrán ciklonok vizsgálata

TDK DOLGOZAT



Készítette:

Hérincs Dávid

Meteorológus MSc I. félév

Témavezető:

Soósné Dr. Dezső Zsuzsanna

Adjunktus, ELTE-TTK Meteorológiai Tanszék

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Földrajz- és Földtudományi Intézet

Meteorológiai Tanszék

Budapest, 2014.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	3
2. Hibrid trópusi ciklonok	6
2.1. A nagy amplitúdójú magassági teknőkben bekövetkező trópusi ciklon genezis	6
2.2. Az 1999. és 2014. között az Atlanti-óceánon, a 30. szélességi körtől északra megfigyelt hibrid trópusi és szubtrópusi ciklonok adatai	8
3. Vince hurrikán (2005.10.08. - 2005.10.11.)	10
3.1. A Vince hurrikán elemzése műholdas és felszíni meteorológiai adatok alapján	10
3.2. A Vince hurrikán elemzése az ECMWF reanalízis adatok alapján	16
3.3. Tengerfelszín-hőmérséklet adatok az ECMWF reanalízis alapján	20
4. Trópusi jellegű mediterrán ciklonok	22
5. Zsanett (2007.10.17. - 2007.10.19.)	24
5.1. A Zsanett ciklon elemzése műholdas és felszíni meteorológiai adatok alapján	24
5.2. A Zsanett ciklon elemzése az ECMWF reanalízis adatok alapján	27
5.3. Tengerfelszín-hőmérséklet adatok az ECMWF reanalízis alapján	31
6. Rolf (2011.11.07. - 2011.11.09.)	33
6.1. A Rolf ciklon elemzése műholdas és felszíni meteorológiai adatok alapján	33
6.2. A Rolf ciklon elemzése az ECMWF reanalízis adatok alapján	39
6.3. Tengervíz-hőmérséklet adatok az ECMWF reanalízis alapján	44
7. Összegzés	46
7.1. Az adatok összehasonlítása	46
7.2. További tervek	50
8. 1. Függelék	57

1. Bevezetés

*"IF IT LOOKS LIKE A HURRICANE... IT PROBABLY IS... DESPITE ITS ENVIRONMENT AND UNUSUAL LOCATION."*¹

Ezekkel a szavakkal kezdte az amerikai Nemzeti Hurrikánközpont a 2005-ös Vince hurrikánról szóló 2-es számú diszkusszióját október 9-én este, amikor a ciklon nem messze Madeira szigetétől hurrikánná erősödött (*www.nhc.noaa.gov* - (9)). Vince kialakulása szokatlan volt, ugyanis az óceán keleti felén, Európa közvetlen közelében fejlődött ki, mindössze 23-24 °C körüli tengervíz-hőmérséklet mellett, egy korábbi mérsékelt övi ciklon átalakulásával (*www.nhc.noaa.gov* - (10)). Vincét majdnem két hónappal később követte az Epsilon hurrikán, mely december első napjaiban 5 napon keresztül hurrikán tudott maradni a nyílt óceán felett. Ráadásul a tengervíz ebben az esetben még hidegebb, 21-22 °C-os volt (*www.nhc.noaa.gov* - (11)). Már korábban, a műholdas megfigyelések fejlődésével megállapították, hogy a trópusi ciklonok hagyományos, trópusi vizek felett képződő zivatarrendszerekből való kialakulása mellett létezik egy másik, úgynevezett hibrid kialakulási út is. Nevezetesen, amikor a nyugati áramlásból leszakadó (cut off) mérsékelt övi ciklonok hosszú ideig viszonylag meleg tengervíz fölé helyeződnek, ahol egyre inkább a zivatarképződés veszi át bennük a szerepet, és feloszlanak a frontjaik. A folyamat során ezek a ciklonok előbb szubtrópusi, majd végül trópusi besorolást kapnak. Vince és Epsilon, illetve néhány későbbi ciklon (melyek közül Európához való közelsége miatt kiemelkedik a 2009-es Grace trópusi vihar) esete azonban rámutatott arra, hogy ez a folyamat a korábban szükségesnek gondolt 26 °C körülinél jóval hidegebb vizek felett is lejátszódhat.

Szintén a műholdak segítségével már több, mint 30 évvel ezelőtt megfigyelték, hogy hagyományos mediterrán ciklonok átalakulásával időnként a Földközi-tenger felett is keletkezhetnek olyan ciklonok, melyek trópusi struktúrával, olykor jól fejlett szemmel rendelkeznek. Ezekkel azonban hosszú ideig nem foglalkoztak nagyobb mértékben, csupán egy-egy jelentősebb példányról készült szakmai tanulmány (*Erik Rasmussen, 1987*), (*K. Emanuel, 2005*), a legtöbb trópusi ciklonokkal foglalkozó meteorológiai szolgálat pedig elhatárolódott bármiféle besorolásuktól. Néhányukról azonban elérhetőek

¹Ha úgy néz ki, mint egy hurrikán, akkor valószínűleg az, a szokatlan környezete és helye ellenére.

voltak mért adatok part menti meteorológiai állomások vagy mérőhajók révén, melyek megmutatták, hogy egyik-másik gyengébb hurrikánnak megfelelő erősségű volt. A helyzet a 2000-es években kezdett változni, amikor az amatőr meteorológia révén egyre nagyobb figyelem terelődött ezekre a légköri képződményekre. Végül a 2011 novemberében kialakult rendszert már hivatalos szervezet, a NOAA is trópusi viharrá nyilvánította, bár ez kisebb vitákat váltott ki. A legnagyobb kérdés ennek megfelelően napjainkban az, hogy ezek a hibrid ciklonok lehetnek-e valódi trópusi ciklonok, ahogy az Atlanti-óceánon létrejövő társaik.

Jelen dolgozatomban azt a célt tűztem ki, hogy megvizsgáljam a Földközi-tenger felett kialakult jelentősebb trópusi jellegű mediterrán ciklonokat, közös jellemvonásokat, tulajdonságokat keresve. E során előbb ismertettem az Atlanti-óceánon megfigyelt hibrid kialakulású trópusi és szubtrópusi ciklonok kialakulási folyamatának menetét, valamint az elmúlt 15 évben megfigyelt ilyen rendszerek alapvető statisztikáit. Az esetek közül Európához való közelsége miatt kiemeltem a 2005-ös Vince hurrikánt, melyet referenciaként használtam, vagyis a trópusi jellegű mediterrán ciklonok elemzési folyamatát erre is elvégeztem. Ezt követően kerülnek ismertetésre a Földközi-tengeren kialakult trópusi jellegű mediterrán ciklonok. A dolgozatban csak az őszi időszakban előfordult ciklonokat vizsgáltam, mivel a télieknél a tengervíz hőmérséklete már jóval alacsonyabb volt az Atlanti-óceánon megfigyelt hibrid trópusi ciklonokénál is, de a jelentősebb magassági hideg miatt mélyebb mediterrán ciklonok átalakulásával jött létre trópusi struktúrájú ciklon. Feltételezhető, hogy itt elsősorban az eredeti mediterrán ciklon nagyobb rotációs energiája játszott nagyobb szerepet az átalakulásban, de ennek alátámasztása részletesebb vizsgálatot igényel, ami a hosszabb távú terveim között szerepel. A bemutatott ciklonok esetében a következő vizsgálati módszert alkalmaztam:

- Elsőként saját magam által gyűjtött műholdképek és szárazföldi mért adatok segítségével elemeztem egy-egy ciklon életfázisát a trópusi jellegűvé alakulástól a feloszlásáig. Ahol műholdkép-animáció is elérhető volt, ott az egyes kivágatokra berajzoltam a magassági ciklonok helyzetét és a becsült magassági áramlásokat is. Ezt ahol lehetséges volt, az egyes ciklonokhoz kapcsolódó műholdas szélesség-mérésekkel egészítettem ki.

- A következőkben az ECMWF Era-Interim adatbázisából (*Gibson J. K. et. al., 1997*) letöltött adatokat felhasználva vizsgáltam tovább a ciklonokat. Az adatlekérést minden esetben 6 nyomási szintre, 975 hPa-ra, 925 hPa-ra, 850 hPa-ra, 700 hPa-ra, 500 hPa-ra és 300 hPa-ra végeztem el, a meteorológiai paraméterek pedig a hőmérséklet, a relatív örvényesség és a divergencia voltak. Ezekből elsőként az alsó 5 szintre számított vertikális átlaghőmérsékletet ábrázoltam és elemeztem, meleg magra utaló vonásokat keresve. Ezt követte a 850 hPa-on vett relatív örvényesség és a 300 hPa-on vett divergencia ábrázolása és elemzése, mely két paraméter a trópusi ciklonok vizsgálatánál gyakran használt, igen jellegzetes képet mutató mező (*William M. Frank, 1977*).
- Végül szintén az ECMWF Era-Interim adatbázisából letöltöttem a tengerfelszín-hőmérséklet adatokat, melyeket szintén ábrázoltam és elemeztem. Ebben az esetben azt vizsgáltam, hogy a ciklonok útvonalán és környezetükben elérte-e a vízhőmérséklet a 20-21 °C-ot, mely érték az Atlanti-óceánon megfigyelt hibrid trópusi ciklonokhoz alapján egy minimálisan szükséges értéknek vehető. A lementett adatok feldolgozását és ábrázolást itt, és az előző esetben is a GrADS program segítségével hajtottam végre.

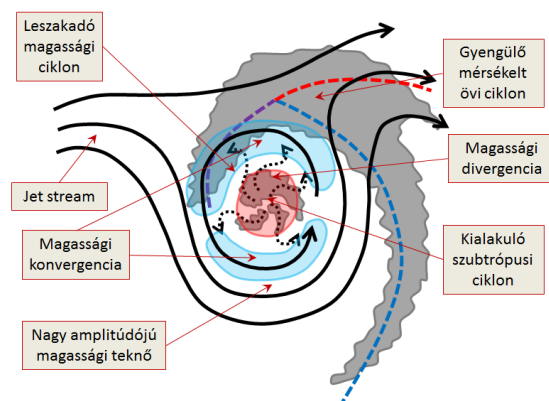
A vizsgálataim végén az adatokat ciklononként elemeztem, és összevetettem őket a trópusi ciklonokra jellemző tipikus értékekkel. Ily módon az egyes csoportokon végighaladva láthatóvá vált, hogy a Földközi-tengeren kialakult trópusi jellegű mediterrán ciklonok mely tulajdonságaikban voltak a trópusi ciklonokkal megegyezők, és melyekben eltérők.

2. Hibrid trópusi ciklonok

2.1. A nagy amplitúdójú magassági teknőkben bekövetkező trópusi ciklon genezis

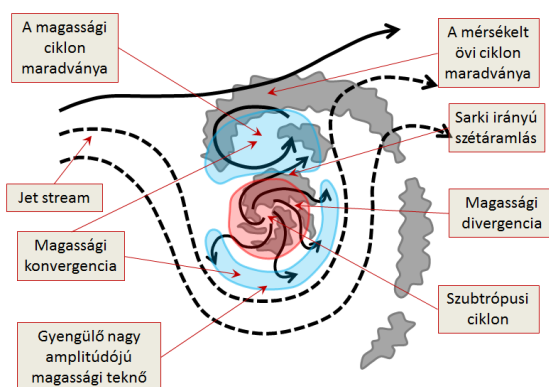
Hibrid úton, mérsékelt övi ciklonokból kialakuló trópusi ciklonok leggyakrabban egy-egy olyan nagy amplitúdójú Rossby-hullám által határolt magassági teknőben keletkezett cut off ciklonból alakulnak ki, melyek kellően délre jutottak ahhoz, hogy nagyobb mértékben tudjanak a tengervízből energia-utánpótlást szerezni. A tapasztalatok alapján ehhez a folyamathoz 20-24 °C-os víz hőmérséklet is elegendő, amennyiben az átalakuló ciklon tartósan kedvező időjárási feltételeknek van kitéve, és felette főként a kezdeti időszakban hideg levegő helyezkedik el. Az átalakuláshoz leginkább a kezdeti konvekció tartóssá és szervezetté válása szükséges, melynek két fontos feltétele a kellő nedvességtartalmú légtömeg, valamint a legfeljebb gyenge szélnyírás. Utóbbit a magassági teknő sokáig garantálhatja akkor, ha tartósan stacionáriussá és emellett egyre gyengébbé válik, és újabb teknők nem érkeznek a ciklon közelébe. Az előbbi nagyban függ attól, hogy az eredeti mérsékelt övi ciklon mennyi nedvességet tárolt magában, ezt pedig a leginkább a keletkezési körülményei határozzák meg. A feltételnek legjobban megfelelő mérsékelt övi ciklonok vagy eleve az óceán felett, nem túl magas földrajzi szélességeken keletkeztek, vagy szárazföldi (például az Egyesült Államok feletti) keletkezés esetén hamar az óceán fölé helyeződtek (*John R. Gyakm, 2010*). A következőkben a hibrid módon kialakuló trópusi ciklonok három legfőbb állomását mutatom be.

Az 1. ábrán a hibrid trópusi ciklon genezis első szakasza látható. Ekkor még határozottan fennáll a felszíni mérsékelt övi ciklonhoz kapcsolódó magassági ciklon, melynek központjában a környezeténél hidegebb a levegő. Ez a melegebb tengerfelszínnel kölcsönhatva nagymértékű labilitást indukál, mely jelentős és egyre szervezettebb zápor- és zivatarképződéshez vezet. A tartóssá váló konvekció hatására megkezdődik a központi mag melegedése, és a magassági ciklon magassági konvergencia zónájával szemben a konvektív központ felett már gyenge magassági divergencia (szétáramlás), angol nevén outflow kezd kibontakozni.



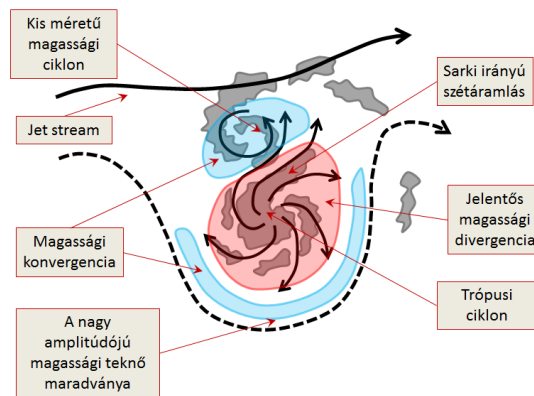
1. ábra. A hibrid trópusi ciklon kialakulásának első fázisa (saját készítésű ábra, John R. Gyakm munkája alapján)

A következő fázist a 2. ábra mutatja, mely jellemzően 18-36 órával követi az elsőt. Ekkor a korábbi mérsékelt övi ciklon már szinte teljesen feloszlik, illetve megkezdődik a magassági teknő gyengülése. A ciklon centrumában ugyanakkor tartóssá válik a zivatarképződés, mely felett a magasban már jól szervezett magassági divergencia fejlődik ki. Ezt viszont még határozottan körülöleli a korábbi magasság ciklon ciklonális áramlású, konvergens mezeje. Mindemellett a nagy amplitúdójú teknőben időnként önálló, kis méretű magassági örvények alakulnak ki a divergens terület körül. Ezek azok, melyek az átalakulóban lévő ciklonra jelentős hatást fejthetnek ki, ugyanis a környezetükben erősítik a magassági áramlást, és ez által a ciklon feletti szétáramlást is, ami a trópusivá váló ciklon további fejlődésével és erősödésével járhat.



2. ábra. A hibrid trópusi ciklon kialakulásának második fázisa (saját készítésű ábra, John R. Gyakm munkája alapján)

A folyamat végső állomását a 3. ábra mutatja, mely jellemzően 12-24 órával az előző után következik be. Itt a ciklon már teljes mértékben trópusivá alakul, amivel együtt a korábbi mérsékelt övi ciklon alacsonyszintű áramlási rendszere teljesen feloszlik. A ciklon felett kiterjedt és szervezett divergencia jelenik meg, ennek környezetében viszont még ekkor is gyakran megfigyelhető egy vagy több kisebb magassági ciklon, mely a magassági szétáramlásra továbbra is kedvező hatást fejt ki. A kialakult trópusi ciklon élettartama és erőssége a számára kedvező légköri feltételek fennállási idejétől függ. A megfigyelt esetek alapján átlagosan 2-5 napig élnek, míg a legnagyobb erősségük 1-es, ritkábban 2-es kategóriájú hurrikán. A hurrikán erősség eléréséhez a tapasztalatok alapján jellemzően legalább 22-23 °C-os vízhőmérséklet szükséges.



3. ábra. A hibrid trópusi ciklon kialakulásának harmadik fázisa (saját készítésű ábra, John R. Gyakm munkája alapján)

2.2. Az 1999. és 2014. között az Atlanti-óceánon, a 30. szélességi körtől északra megfigyelt hibrid trópusi és szubtrópusi ciklonok adatai

Az alábbi táblázatban az 1999. és 2014. között az Atlanti-óceánon hibrid úton kialakult trópusi és szubtrópusi ciklonok legfőbb adatai láthatóak (*www.nhc.noaa.gov* - (12)), (*www.wetterzentrale.de* - (13)), (*en.wikipedia.org* - (14)). Nagy bizonyossággal ebből az időszakból érhetőek el a beazonosításukhoz szükséges archív elemzések, műholdképek és szinoptikus analízisek. A valódi hibrid ciklonok azonosítását ugyanis nehezíti, hogy több esetben egy feloszlóban lévő mérsékelt övi ciklon frontrendszerének, illetve egy,

a trópusi vizek felett keletkező sekély ciklonális mezőnek a kölcsönhatása vezetett egy későbbi trópusi ciklon kifejlődéséhez. A felsorolt listában két olyan rendszer is szerepel mely közvetlenül hatással volt Európára, ezek a 2005-ös Vince hurrikán és a 2009-es Grace trópusi vihar. A 3. fejezetben a Vince hurrikánról részletes jellemzés olvasható.

Év	Név	Kategória	Maximális szélesség	Minimális légnyomás	Szubtrópusi stádium	Trópusi stádium	Teljes élettartam
2014*	-	-	-	-	-	-	-
2013	<i>Unnamed</i>	STS	85 km/h	997 hPa	2,25 nap	-	2,25 nap
2012	Chris	H1	140 km/h	974 hPa	0,75 nap	3,00 nap	3,75 nap
2011	Sean	TS	100 km/h	982 hPa	0,50 nap	3,25 nap	3,75 nap
2010	-	-	-	-	-	-	-
2009	Grace	TS	100 km/h	986 hPa	-	2,00 nap	2,00 nap
2008	Laura	TS	95 km/h	994 hPa	1,25 nap	1,00 nap	2,25 nap
2007	Andrea	STS	95 km/h	1001 hPa	2,00 nap	-	2,00 nap
2006	<i>Unnamed</i>	TS	85 km/h	988 hPa	-	1,25 nap	1,25 nap
2005	Vince	H1	120 km/h	988 hPa	1,25 nap	2,25 nap	3,50 nap
	Delta	TS	110 km/h	980 hPa	0,75 nap	5,00 nap	5,75 nap
2004	Otto	TS	85 km/h	995 hPa	1,00 nap	2,75 nap	3,75 nap
2003	Ana	TS	95 km/h	944 hPa	0,75 nap	3,25 nap	4,00 nap
	Peter	TS	110 km/h	990 hPa	1,50 nap	2,00 nap	3,50 nap
2002	-	-	-	-	-	-	-
2001	Karen	H1	130 km/h	982 hPa	1,25 nap	2,50 nap	3,75 nap
	Noel	H1	120 km/h	986 hPa	1,50 nap	1,00 nap	2,50 nap
	Olga	H1	150 km/h	973 hPa	0,50 nap	10,50 nap	11,00 nap
2000	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-
Átlag	-	-	108,00 km/h	987,33 hPa	1,17 nap	3,06 nap	3,67 nap

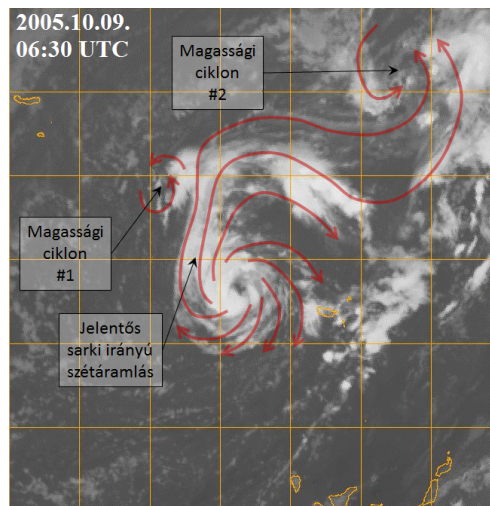
Az egyes kategóriák jelentése: STS - szubtrópusi vihar, TS - trópusi vihar, H1 - 1-es kategóriájú hurrikán *2014. november 30-ig bezárólag.

3. Vince hurrikán (2005.10.08. - 2005.10.11.)

3.1. A Vince hurrikán elemzése műholdas és felszíni meteorológiai adatok alapján

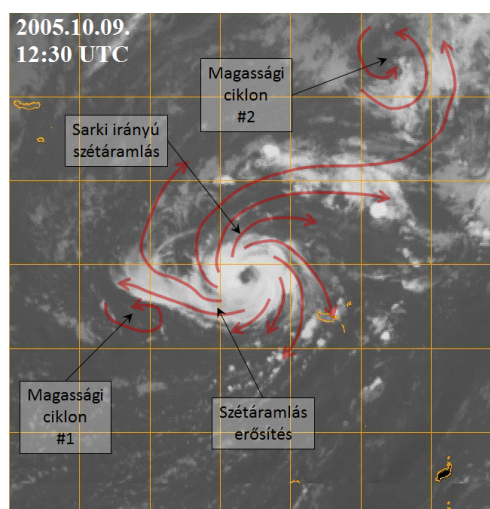
A Vince hurrikán egy korábbi mérsékelt övi ciklon átalakulásával jött létre 2005 októberében. A mérsékelt övi ciklon egy hidegfront peremhullámaként 5-én alakult ki, majd ez dél felé helyeződve és leszakadva a Rossby-hullámról 8-án szubtrópusi, 9-én pedig trópusi ciklon lett, és 18 UTC-kor rövid időre elérte az 1-es kategóriájú hurrikán fokozatot is. A ciklon kialakulása és megerősödése szokatlan volt, mivel ez az Atlanti-óceán északkeleti régiójában történt, ahol a rendszeres (műholdas) megfigyelések kezdete, az 1950-es, 1960-as évek óta még nem tapasztaltak hurrikánt. Történelmi feljegyzések ugyanakkor utalnak arra, hogy 1842 októberében egy hasonló pályán mozgó, de erősebb, a becslések alapján 2-es kategóriájú hurrikán haladt végig a térségben (*Vaquero J. M. et. al., 2008*). Ennek pontos kialakulási helye és körülményei azonban természetesen nem vizsgálhatók.

A műholdképeket vizsgálva Vince környezetében 9-ére két kisebb, önálló magassági ciklon alakult ki. Ezek minden bizonnyal elősegítették az átalakuló ciklon aznapi jelentős fejlődését. A 4. ábrán a még szubtrópusi vihar stádiumú Vince környezetében lévő magassági áramlások láthatóak. A ciklonok a kialakulásuk sorrendjében kerültek indexelésre. Az 1-es ciklon a korábbi műholdképeket vizsgálva még Vincétől kelet-északkeletre fejlődött ki, és fokozatosan körbehaladt körülötte az óramutató járásával ellentétes irányban. Mindemellett ez végig közelebb helyezkedett el Vince középpontjához, így nagyobb hatást gyakorolt a ciklon fejlődésére. A két magassági ciklon ekkor együttesen a ciklon északi oldalán helyezkedett el, de különböző térnegyedben. Együttes hatásuk révén határozott sarki irányú szétáramlás (poleward outflow) épült ki a ciklon északnyugati oldalán.



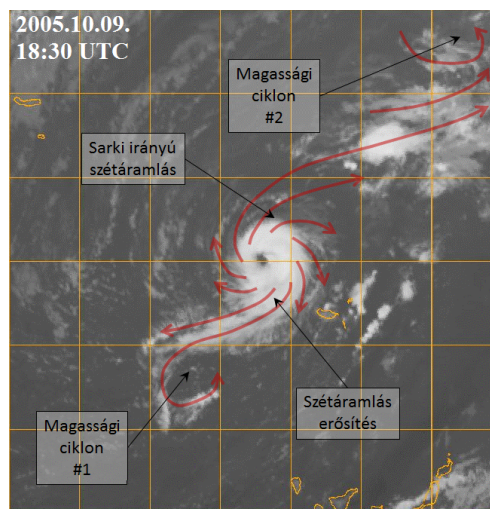
4. ábra. Magassági áramlások a Vince szubtrópusi vihar környezetében 2005.10.09. 06:30 UTC (*www.nrlmry.navy.mil* - (15))

6 órával később Vince már trópusi viharrá alakult, és ekkorra jóval fejlettebb lett a felhőzetének struktúrája is. A magassági ciklonok helyzetének változásával, az 5. ábrán megfigyelhető módon a korábbi sarki irányú szétáramlás ugyan gyengült, de ez csupán a 2-es magassági ciklon távoli pozíciójának volt köszönhető. Az 1-es magassági ciklon, folytatva a korábbi mozgását Vince körül, továbbra is jelentős támogató hatást fejtett ki a magassági szétáramlásra, immár a déli és a nyugati oldalon.



5. ábra. Magassági áramlások a Vince trópusi vihar környezetében 2005.10.09. 12:30 UTC (*www.nrlmry.navy.mil* - (15))

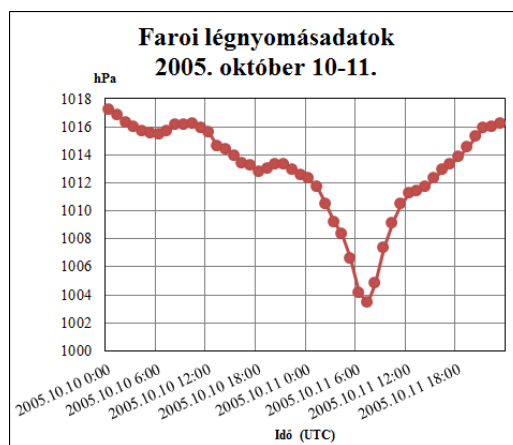
További 6 óra elteltével az 1-es magassági ciklon már éppen a 2-essel ellentétes oldalon helyezkedett el, ahogy ez a 6. ábrán megfigyelhető. A köztük kialakult magassági divergencia legerősebb zónája így éppen a hurrikánna alakult Vince felett húzódott. Ennek köszönhetően minden térszögben szabályos magassági szétáramlás épült ki, de a 2-es ciklon hatására ez továbbra is a déli oldalon volt erősebb, míg a tovább távolodó 2-es ciklon lassan elvesztette befolyását. Ez a kedvező helyzet nem állt fenn sokáig, mivel hamarosan az 1-es ciklon mozgása is gyorsabb lett, köszönhetően az északnyugat felől közeledő hidegfront előtt a magasban fellépő erőteljes nyugatias áramlásnak. Ez a helyzet egyre nagyobb mértékű szélnyírást idézett elő Vince környezetében, melynek így éjszaka már megkezdődött a gyengülése.



6. ábra. Magassági áramlások a Vince hurrikán környezetében 2005.10.09. 18:30 UTC
(*www.nrlmry.navy.mil* - (15))

Mivel a trópusi ciklon végig a nyílt tenger felett haladt, távol a szigetektől, így közvetlen mért adatok csak kis mennyiségben voltak elérhetőek róla. Madeira szigetein 9-én a légnyomás egész nap 1008-1010 hPa körül alakult (délutáni minimummal és késő éjszakai maximummal), míg a legerősebb széllokések 60-70 km/h körülnek bizonyultak. 10-én 21 UTC-kor egy mérőhajó az addigra már gyenge trópusi viharra gyengült ciklon központjától körülbelül 100-150 km-re délnyugatra 1009,1 hPa-os légnyomást és 75 km/h-s átlagos szélsébséget jelentett.

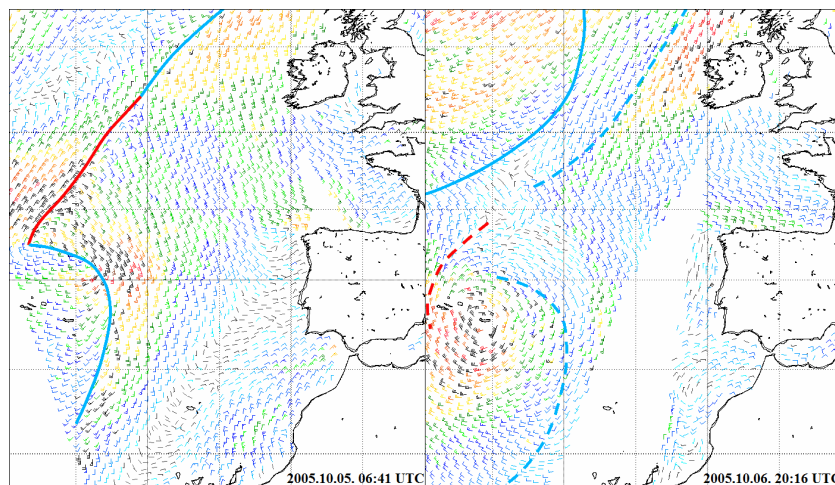
Vince 11-én rópusi depresszióként Faro közelében haladt el, ahol már elérhetőek voltak óránkénti adatok. A légnyomásmérésekből készült grafikon a 7. ábrán látható. A trópusi ciklonokra jellemző erős nyomási gradiens még megfigyelhető volt, ugyanis 01 UTC-kor még 1012,3 hPa volt a légnyomás, majd 07 UTC-re 1003,4 hPa-ig csökkent, 13 UTC-re pedig már 1011,4 hPa-ig emelkedett vissza. A legerősebb 10 perces átlagos szélsébség itt 40 km/h, míg a legerősebb szélleőkés 68 km/h volt. A partot érés közvetlen közeléből, Huelva térségéből nem álltak rendelkezésre adatok, de kissé délkeletebbre, a tengerparton fekvő Rota településen 50 km/h-s legerősebb szélsébséget és 72 km/h-s szélleőkést, míg az innen néhány km-re északkeletre fekvő Jerez de la Frontera településen 52 km/h-s legerősebb szélsébséget és 74 km/h-s szélleőkést mértek. A legalacsonyabb légnyomás mindkét állomáson 1009-1010 hPa körül alakult (*www.infoclimat.fr* - (16)).



7. ábra. A Faróban mért légnyomásadatok 2005.10.10-én és 11-én (*www.infoclimat.fr*)

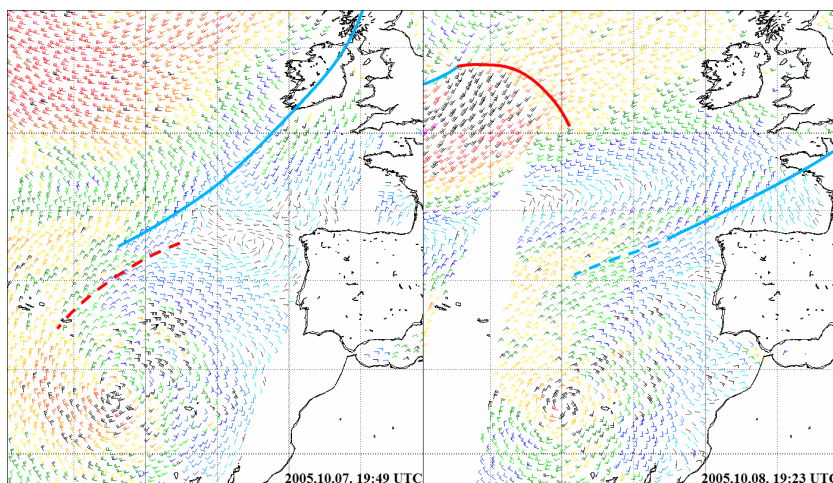
Vince átalakulását legjobban a QuikSCAT műhold szélmérési alapján lehetett végigkövetni (*manati.star.nesdis.noaa.gov* - (17)). Az árbárok folytonos piros és kék vonalak jelölik a meleg- és hidegfrontokat, míg szaggatott vonalak a feloszlóban lévő frontokat. A szélzászlók esetében a kéktől a pirosig terjedően szerepelnek a trópusi depresszióknak megfelelő, 5-65 km/h közötti, míg a barna színtől a liláig a trópusi viharoknak megfelelő, 65-115 km/h-s szélsébségek. Ahol a műholdkép bizonyos okok (például vastag felhőzet) miatt nem tudott megfelelően pontosan mérni, fekete (jelöletlen) szélzászló szerepel.

Az átalakulási folyamat első állomását a 8. ábra szemlélteti. A későbbi hurrikánt kiváltó mérsékelt övi ciklon egy észak-atlanti ciklon hosszan elnyúló hidegfrontján alakult ki peremciklonként az Azori-szigetektől északra október 4-én, majd 5-én már teljesen elkülönült áramlási rendszert alakított ki magában. A következő 24-36 órában a ciklon délebbre helyeződött, és ezzel együtt egyrészt teljesen leszakadt a tőle északra vonuló ciklonok áramlási rendszeréről, másrészt pedig megkezdődött a töltődése. A meleg- és hidegfront ekkor már nem volt olyan jól meghatározható, mint előző nap, ugyanakkor a ciklon környezetében, főleg annak nyugati oldalán még nagy területre kiterjedt az erősebb szelek zónája.



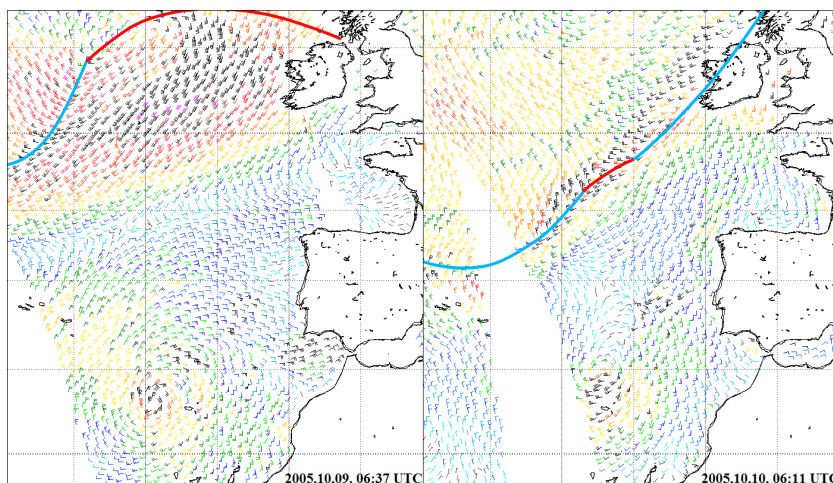
8. ábra. Szélsebességek és -irányok a Kelet-Atlanti-óceánon 2005. október 5-én és 6-án
(*manati.star.nesdis.noaa.gov*)

A 9. ábrán az átalakulási folyamat közbülső szakasza látható. A mérsékelt övi ciklon 7-én délkelet felé helyeződve tovább veszített eredeti struktúrájából, szinte teljesen feloszlottak a frontjai, és a szélmező zsugorodása is megkezdődött. A folyamat másnapra vált határozottá, amikor a jelentősen lelassuló és kelet felé forduló rendszerben a nagyobb szélsebességek már közvetlenül a ciklonközpont közelébe koncentráálódtak, és maga a szélmező is jóval szimmetrikusabb lett. Ennek eredményeként a ciklon ezen a napon 6 UTC-kor szubtrópusi vihar besorolást kapott a Nemzeti Hurrikánközpont utólagos elemzése alapján.



9. ábra. Szélsebességek és -irányok a Kelet-Atlanti-óceánon 2005. október 7-én és 8-án
(*manati.star.nesdis.noaa.gov*)

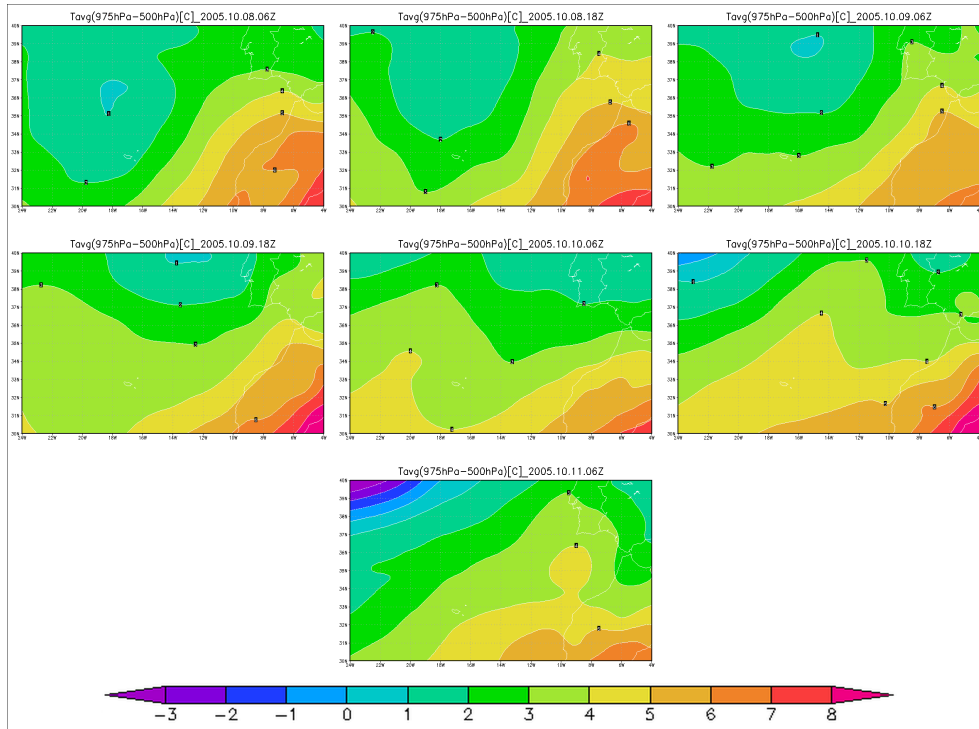
A teljes átalakulás 9-ére történt meg, és innentől kezdve Vince már teljes mértékben trópusi ciklonná válva folytatta útját, ahogy a 10. ábra mutatja. A fokozatosan erősödő ciklon 18 UTC-kor lett hurrikán, 120 km/h-s szélsebességgel és 988 hPa-os légnyomással, Madeira szigetétől északnyugatra (10). Ebből az időszakból nem volt elérhető szélmérés, de a reggeli adatokon már egy kis kiterjedésű, körszimmetrikus szélmező látszik, sok jelöletlen (fekete) szélzászlóval. Ennek oka az volt, hogy a viszonylag rossz felbontással mérő műhold a kis méretű ciklon központi részén már nem tudta megfelelően meghatározni a szélsebességeket. Ezt követően viszont a ciklon egy északnyugatról közeledő hidegfront áramlási rendszerébe kerülve kelet-északkelet felé indult meg, és hamar veszített szervezettségéből, illetve erejéből. A 10-ei képkockán megfigyelhető, hogy kissé aszimmetrikusabbá vált Vince szélmezeje, a legerősebb szelek pedig áttevődtek az akkorra már trópusi viharra gyengült rendszer délkeleti ténegyedébe. A front előtt gyorsabb mozgásúvá váló trópusi ciklon azonban az egyre kedvezőtlenebb légköri feltételek ellenére megőrizte zárt örvénylését, így - ugyan trópusi depresszióvá gyengülve - egészen a partot éréséig, 11-éig fennmaradt.



10. ábra. Szélsebességek és -irányok a Kelet-Atlanti-óceánon 2005. október 9-én és 10-én (*manati.star.nesdis.noaa.gov*)

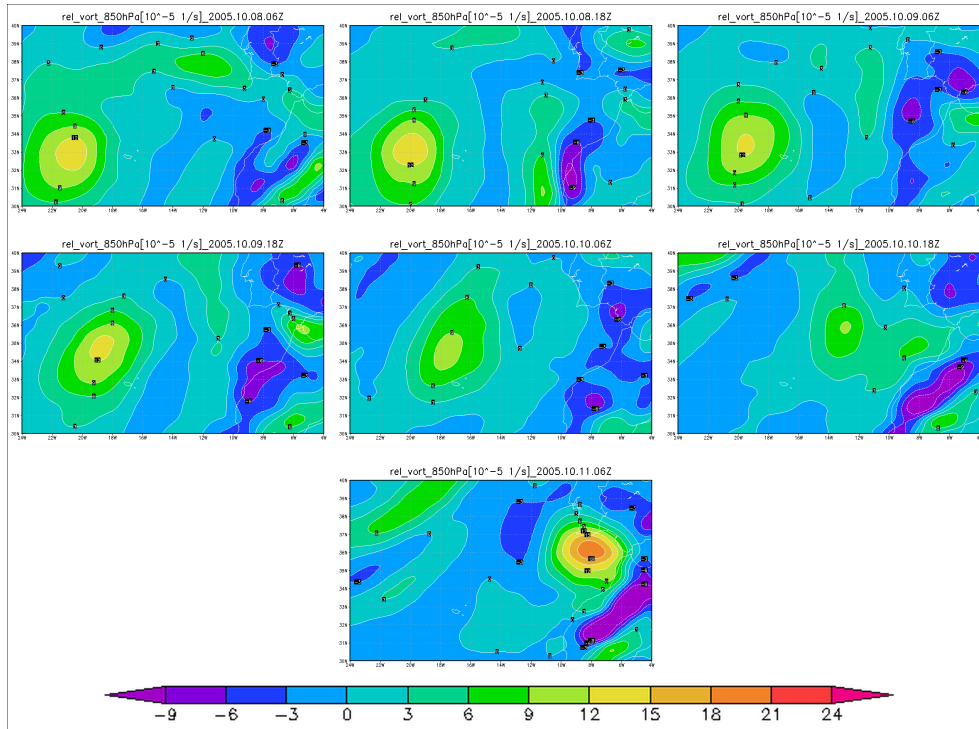
3.2. A Vince hurrikán elemzése az ECMWF reanalízis adatok alapján

Az ECMWF Era-Interim adatbázisából lekért nyomási szintek közül az 5 alsó, 975 hPa, 925 hPa, 850 hPa, 700 hPa és 500 hPa alapján számított vertikális hőmérsékleti átlagot a 11. ábra mutatja, 8-án 06 UTC-től, a ciklon szubtrópusivá válásától egészen 11-én 06 UTC-ig, a partot érés közeléig, 12 órás időlépcsőnként. A 300 hPa-os szint azért nem szerepel, mivel ilyen magasságig általában már nem nyúlik fel a trópusi ciklonok meleg magja. Látható, hogy 8-án a ciklon területén még a környezeténél hidegebb levegő tartózkodott, de frontokat, vagyis a két aznapi képkocka összehasonlítása alapján hideg- és melegadvekcións területeket nem lehetett megfigyelni. Ez egybevág a szubtrópusi ciklonok jellemvonásaival, melyek szimmetrikus (frontmentes) struktúrájúak, de hideg magvúak. 9-én 06 UTC-kor már jellegtelen hőmérsékleti mező volt megfigyelhető az akkor még szubtrópusi ciklon környezetében, és 18 UTC-kor szintén homogén, de kissé melegebb terület vette körül a ciklont. Határozottan megjelenő meleg mag viszont ezután sem jelent meg, de 11-én 06 UTC-kor látható volt egy, a ciklon területéhez kapcsolódó melegebb folt Spanyolországtól délnyugatra.



11. ábra. A 975-500 hPa-os réteg átlaghőmérsékletének alakulása a Vince ciklon környezetében 2005.10.08. 06 UTC és 2005.10.11. 06 UTC között

A 850 hPa-os szint relatív örvénységének alakulását a 12. ábra mutatja. Már a kezdeti képkockától látható, hogy a ciklon környezetében viszonylag magas, $12 - 15 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$ nagyságú maximummal rendelkező, elszigetelt és közelítőleg körszimmetrikus örvénységi mező volt jelen. Ez is alátámasztja azt, hogy a ciklonnak már nem volt frontális struktúrája. Az örvénység értékében 10-én estig nem volt számottevő változás, a 11-ei 06 UTC-s képkockán azonban ugrásszerű növekedés jelent meg, $18 - 21 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$ közötti maximummal, mely egybeesett az előzőleg leírt, a hőmérsékleti térképeken megjelenő kisebb meleg mag feltűnésével. Tekintve, hogy ekkor Vince már csak trópusi depresszió volt, nem valószínű, hogy a valóságban is így alakultak ezen paraméterek. Mivel a ciklon kis méretű volt, ezért a központja közelében már korábban is határozottabb meleg mag és nagyobb örvénység lehetett jelen, melyre Francisco J. et al. tanulmányai is utalnak (2). Feltételezhető, hogy a korabeli szinoptikus analízisekkel együtt az ECMWF is rosszul kezelte a ciklont, és csak akkor adta vissza annak trópusi jellegét, amikor már Európa közelében járt, de jóval gyengébb állapotban.

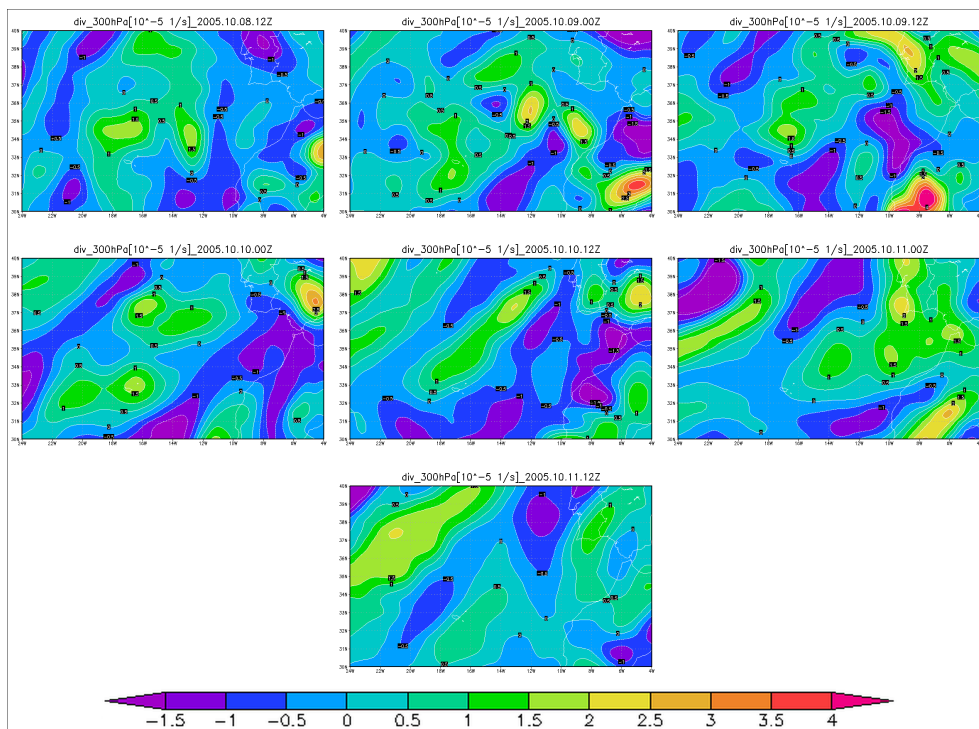


12. ábra. A 850 hPa-os örvényesség alakulása a Vince ciklon környezetében 2005.10.08. 06 UTC és 2005.10.11. 06 UTC között

A 300 hPa-os divergencia lekért adataiban nagy idő- és térbeli változékonyság jelent meg. Elsősorban a 06-18 UTC-s valamint a 00-12 UTC-s időpontok között mutatkozott meg abban, hogy az egyes időpontok között az adott helyen fellépő divergens területek mértékében jelentős változások következtek be, sőt a Vince hurrikán környezetében gyakran teljesen máshol jelentek meg a divergens és konvergens területek. 10-én és 11-én viszont a képek bal felső sarkában megfigyelhető volt egy egységes divergencia mező, mely a korábban leírt, Vincét északnyugatról megközelítő hidegfronthoz kapcsolódott. Ennek kapcsán megtekintettem a GFS reanalízisében (*www.wetter3.de* - (18)) szereplő 300 hPa-os divergencia értékeit is, ahol a szintén csak a mérsékelt övi ciklonok frontjai (a jet stream) környezetében volt állandó a divergencia, a hurrikán környékén ott is nagy eltérések jelentek meg az egyes időpontok között. Ezen ingadozások nem magyarázhatók a légkör dinamikai folyamataival, így a hiba hátterében nagy valószínűséggel adat-asszimilációs hiba állhat. Ez a numerikus modellek egyik gyakori hibája, hiszen az alapul szolgáló légköri rádiószondás mérések általában 00 és 12 UTC-kor történnek, tehát a két köztes modellfutás kevesebb bemenő adatot tartalmaz a magaslégkör állapotáról. Mindezek hatására a vizsgálatot ez esetben a 00 és 12 UTC-s, és nem az előző

két szakaszban használt 06 és 18 UTC-s értékekkel végeztem el. Megjegyzendő, hogy a többi paraméter esetén nem is tapasztaltam efféle ingadozást.

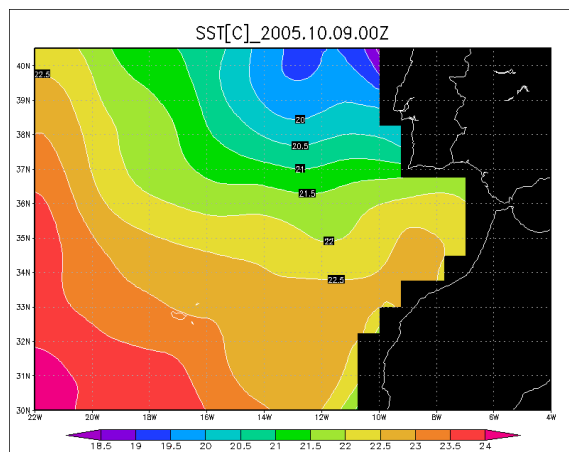
A divergencia adatokat a 13. ábra mutatja. A ciklon környezetében a kezdeti időszakban változatos területi eloszlású divergencia mezők voltak jelen. Ugyanakkor általában mindvégig tőle északra voltak találhatóak jelentősebb divergens területek, mely egybevágott a műholdképeken ekkortájt megfigyelhető sarki irányú szétáramlással. Kisebb részben már 9-én 00 UTC-kor, de különösen 10-én ebben az időpontban azonban a hurrikántól délre is megjelent egy nagyobb divergenciájú terület, mely utóbbi a korábban leírt 2-es ciklonnak volt köszönhető. A legmagasabb divergencia értékek mindvégig $1,5 - 2 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$ körül alakult. 10-én 12 UTC-re, amikor a magasban már erős nyugatias szél érte el a trópusi ciklont, szabálytalanabbá és elnyúlttá vált a divergencia, de 11-én 00 UTC-kor az Ibériai-félsziget délnyugati részének környékén még megfigyelhető volt egy kiterjedtebb divergens zóna kialakulása, és a partot ért ciklonhoz kapcsolódó, már jóval kisebb és gyengébb divergenciazóna még 12 órával később is fennállt.



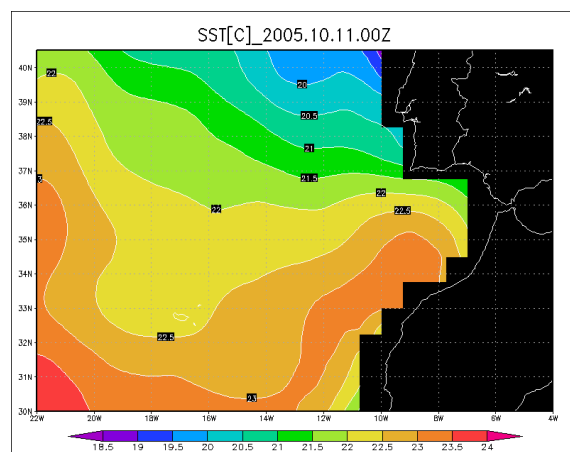
13. ábra. A 300 hPa-os divergencia alakulása a Vince ciklon környezetében 2005.10.08. 12 UTC és 2005.10.11. 12 UTC között

3.3. Tengerfelszín-hőmérséklet adatok az ECMWF reanalízis alapján

Az adatbázisból lekért, 00 UTC-re vonatkozó tengerfelszín-hőmérséklet 09-ei alakulása a 14. ábrán látható. Ezen a napon, illetve 8-án is a ciklon környezetében, Madeirától messze nyugatra még 23-24 °C közötti volt a vízhőmérséklet. Az előző szakaszban bemutatott, ekkor még hideg ciklonmagot tekintve nagy hőmérséklet-különbség jött létre a vízfelszín és a légkör magasabb részei között, mely elősegítette a tartós konvekció fellépését. 9-én nem változott számottevően a vízhőmérséklet, de kelet felé kisebb melegedés volt megfigyelhető, aminek következtében Vince egészen 10-én éjszakáig 23 °C körüli hőmérsékletű vizek felett maradt. A 11-ei vízhőmérsékleteket a 15. ábra mutatja. A ciklon 10-én éjjel már 22,5 °C körüli hőmérsékletű vizek felett haladt, de környezetében még 11-én is 22 °C körüli maradt a vízhőmérséklet. A tenger kis mértékű melegedése ugyanis folytatódott a pályájától délre, Afrika partvidéke mentén. Spanyolországi partot érésekor azonban már csak 21 °C körül alakult a vízhőmérséklet a ciklon alatt. A 11-ei képen megfigyelhető továbbá, hogy a ciklon mögött, Madeira környékén kissé lehűlt a tenger, melyet a ciklon által előidézett hullámozás okozhatott, ahogy ez a hagyományos trópusi ciklonok esetében is történni szokott.



14. ábra. Tengervíz-hőmérséklet a Vince hurrikán környezetében 2005.10.09-én



15. ábra. Tengervíz-hőmérséklet a Vince hurrikán környezetében 2005.10.11-én

4. Trópusi jellegű mediterrán ciklonok

A 2. fejezetben bemutattam, hogy az Atlanti-óceán felett időnként előfordult, hogy mérsékelt övi ciklonok trópusi ciklonokká alakultak át, részben a Földközi-tengernek megfelelő földrajzi szélességű helyen és vízhőmérséklet mellett. A Földközi-tenger földrajzi adottságai azonban alapvetően nem támogatják ezt a fajta trópusi ciklon genezist (sem), illetve ezt gyakran az időjárási körülmények is meggátolják. Ritkán, főként az őszi és a téli hónapokban azonban létrejöhetnek olyan ciklonok, melyek hagyományos, hideg magvú mediterrán ciklonokból alakulnak át, és magukon viselik a trópusi ciklonok több ismertetőjegyét. Ezek egyrészt a felhőzet struktúrájában, másrészt pedig az alapvető meteorológiai paraméterekben mutatkoznak meg (*en.wikipedia.org* - (19)), (*oiswww.eumetsat.org* - (20)). A következőkben elvégeztem azon ciklonok elemzését, melyek az őszi időszakban alakultak ki. A vizsgálat során a következő, a Vince hurrikán elemzésével megegyező szempontokat vettem figyelembe:

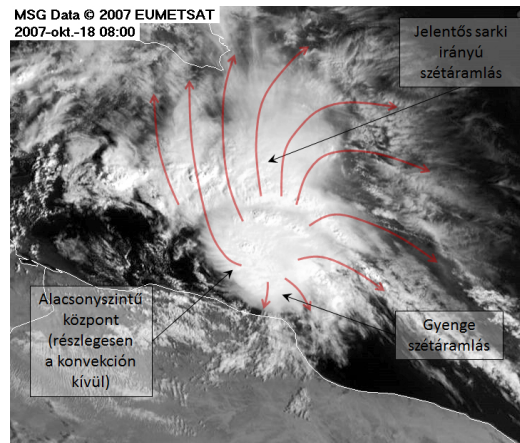
- A trópusi jellegű ciklon fennállási ideje elérte-e a hibrid trópusi ciklonoknál átlagosan jellemző minimális 2-3 napot?
- A műholdképek alapján megfigyelhetők voltak-e a trópusi ciklonokra jellemző ismertetőjelek, különösen a határozott magassági anticiklon, valamint a centrum körüli szervezett és tartós konvekció?
- A magassági anticiklon kialakulását elősegítették-e magassági ciklonok?
- A szárazföldi/tengeri és műholdas szél-, illetve légnyomásmérések igazolták-e a trópusi tulajdonságokat (nagy nyomási gradiens és erős szél a ciklonközpont közelében)?
- Található volt-e a központjukban meleg mag, és ha igen, milyen erősséggel és karakterisztikával volt jelen (szimmetrikus, aszimmetrikus)?
- A ciklonhoz kapcsolódóan mekkora és milyen területi kiterjedésű 850 hPa-os relatív örvényesség, illetve 300 hPa-os divergencia volt jelen?
- A tengervíz hőmérséklete elegendő volt-e az átalakulási folyamat lezajlásához?

Az összesítések során elsődlegesen 6 olyan ciklont sikerült beazonosítani, melyek megfeleltek a legelső kritériumnak: Leucosia (1982.01.25. - 1982.01.28.), Callisto (1983.09.29. - 1983.10.02.), Cornelia (1995.01.14 - 1995.01.16.), Celeno (1996.10.08. - 1996.10.10.), Zsanett (2007.10.17. - 2007.10.19.), Rolf (2011.11.07. - 2011.11.09.). Ezek közül az 1983-as Callisto, a 2007-es Zsanett és a 2011-es Rolf ciklon vizsgálatát végeztem el. Ahogy korábban említettem, a téli ciklonokat jelen dolgozatomban nem vizsgáltam. Az 1996 októberi Celeno ciklon esetében az elemzést megghiúsította a kevés hozzáférhető adat. Így végül három ciklon, az 1983-as Callisto, a 2007-es Zsanett és a 2011-es Rolf elemzését végeztem el. Terjedelmi okok miatt azonban csak két ciklon adatait tudom bemutatni. Így a reanalízis adatok alapján trópusi jegyeket legkevésbé mutató Callisto ciklon részletes bemutatását a dolgozat nem tartalmazza, de az összegzésben ez a ciklon is szerepel.

5. Zsanett (2007.10.17. - 2007.10.19.)

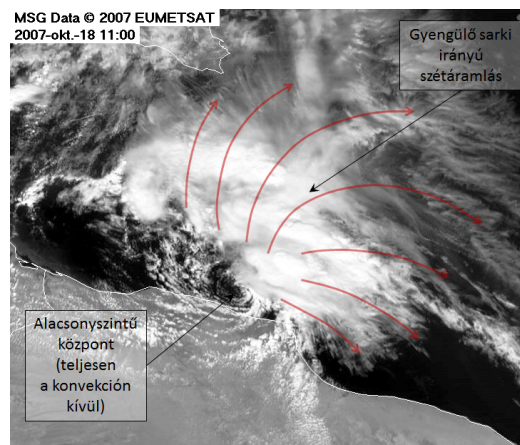
5.1. A Zsanett ciklon elemzése műholdas és felszíni meteorológiai adatok alapján

Október közepén egy sekély mediterrán ciklon alakult ki Tunézia felett, mely 14-én keletebbre helyeződve lelassult, és a következő napokban alig változtatta helyzetét. A ciklon központja 15-én átmenetileg Líbia fölé helyeződött, de később ismét kijutott a nyílt víz fölé. 16-án és 17-én már jelentős zivatarképződés zajlott a ciklonban, miközben felette a magasabb szinteken egy magassági divergencia fejlődött ki. A nagyobb zivatartömbökön így a magassági szétáramlásra jellemző fátyolfelhőzetet is meg lehetett figyelni. A rendszer 18-ára virradó éjszaka a korábbinál szervezettebb és tartósabb zivatarképződést fejlesztett ki, mely kezdetben központi felhőmagot (central dense overcast) alkotott a zivatarfelhőzet alatt elhelyezkedő alacsonyszintű központtal, illetve az északi és keleti oldalon erőteljes sarki irányú szétáramlás is kialakult. Emellett rövid ideig a déli oldalon is megfigyelhető volt egy gyengébb szétáramlási rész. Mindezek továbbra is a kedvező magassági áramlásoknak voltak köszönhetőek, melyek a 16. ábrán látható módon alakították ki a divergenciát a ciklon felett.



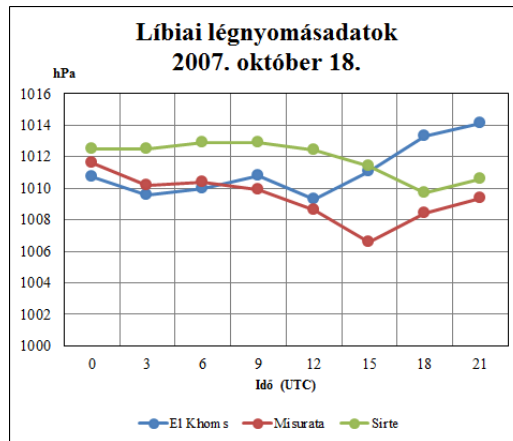
16. ábra. Magassági áramlások a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.18. 08:00
(*oiswww.eumetsat.org - (21)*)

Rövidesen azonban növekedni kezdett a nyugati irányú szélnyírás, így a ciklon struktúrája szervezetlenebbé vált. Ahogy a 17. ábrán látható, 3 óra múlva a zivatarfelhőzet már eltávolodott az alacsonyszintű központtól, és friss zivatarképződés csak annak keleti oldalán volt jellemző. Emellett a minden térszakra kiterjedő magassági szétáramlás is megszűnt, de a gyengülő magassági divergencia hatására az északi és keleti oldalon továbbra is kiterjedt, igaz a korábbinál már szervezetlenebb sarki irányú szétáramlás volt megfigyelhető. A ciklon a következő órákban kelet-délkelet felé mozogva még viszonylag fejlett maradt, dacolva az erősödő szélnyírással. A keleti oldalán időről időre erőteljes zivatartömbök fejlődtek ki, sőt az éjszaka első felében ezek egy-két órára ismét körülölelték az alacsonyszintű központot, újabb központi felhőmagot létrehozva. 19-én reggelre azonban már jelentősen gyengült, majd napközben meg is szűnt a zivatarképződés, és a rendszer maradványa délután Líbiát elérve feloszlott.



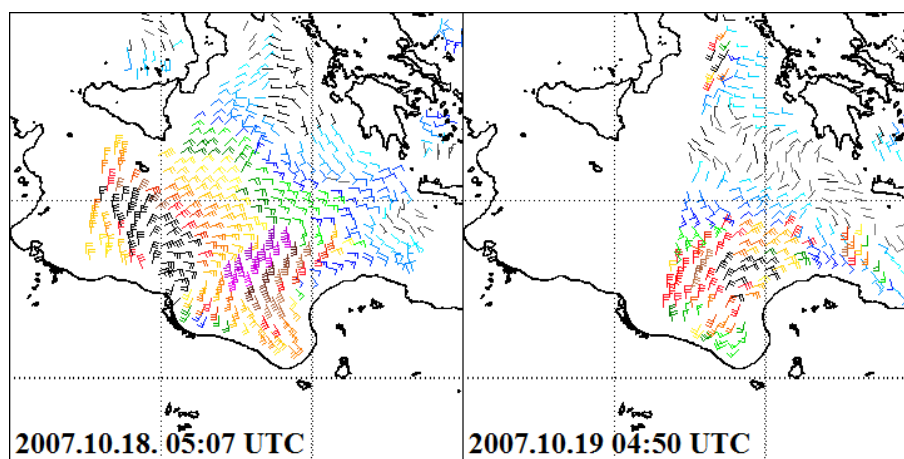
17. ábra. Magassági áramlások a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.18. 11:00
(*oiswww.eumetsat.org - (21)*)

A ciklon központja a késő délutáni órákban érintette Líbia északi csücskét Misurata közelében, így a térségből mért adatok is elérhetőek voltak. A 18. ábrán a környékbeli állomásokon észlelt légnyomásadatok szerepelnek. A legnagyobb mértékű nyomásingadozás Misurata településen volt, de a legalacsonyabb légnyomás csupán 1005 hPa körüli lehetett. A 3 óránkénti Synop adatokban szereplő széladatok szintén nem támasztják alá a ciklon erős voltát, de kissé messzebb, Tripoliban az óránkénti adatok között szerepel egy 76 km/h-s átlagszél, melyet feltehetőleg a ciklon egyik külső zivatarsávja okozott (*(www.infoclimat.fr - (16))*).



18. ábra. Líbiai légnyomásadatok 2007.10.18. (*www.infoclimat.fr*)

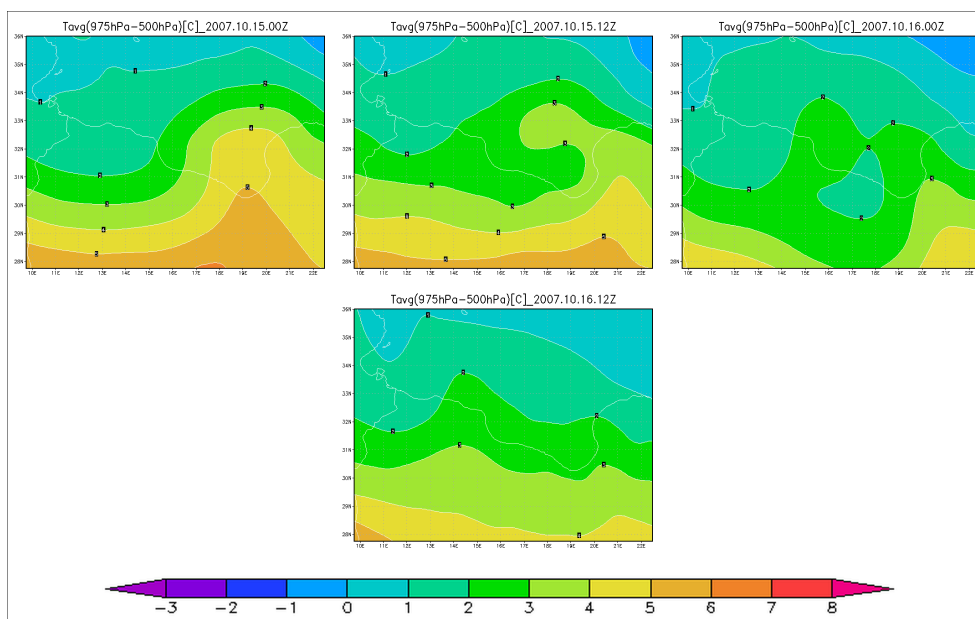
Trópusi viharak megfelelő szélerekségek a rendszer keleti, északkeleti oldalán, az erőteljes zivatarképződés területén fordulhattak elő, melyet a műholdas szélsébségek mérések alá is támasztanak. A 19. ábrán a WindSAT műhold által mért szélsébségek vannak feltüntetve a megadott időpontokban (*manati.star.nesdis.noaa.gov* - (22)). 18-án reggel a rendszer keleti részén 75-80 km/h-s szélsébségek is láthatóak (lila szín), illetve a zivatarfelhőzet alatt, ahol a műhold az erős csapadékhullás miatt nem tudott mérni, sok a jelöletlen (fekete) szélzászló. Trópusi vihar erősségű, 65 km/h-s szélsébségek (barna szín) még a másnap reggeli mérésakor is fennálltak. Mindezek alapján a ciklon a legerősebb időszakában közepes trópusi viharak lehetett megfelelő a Saffir-Simpson hurrikánskálán.



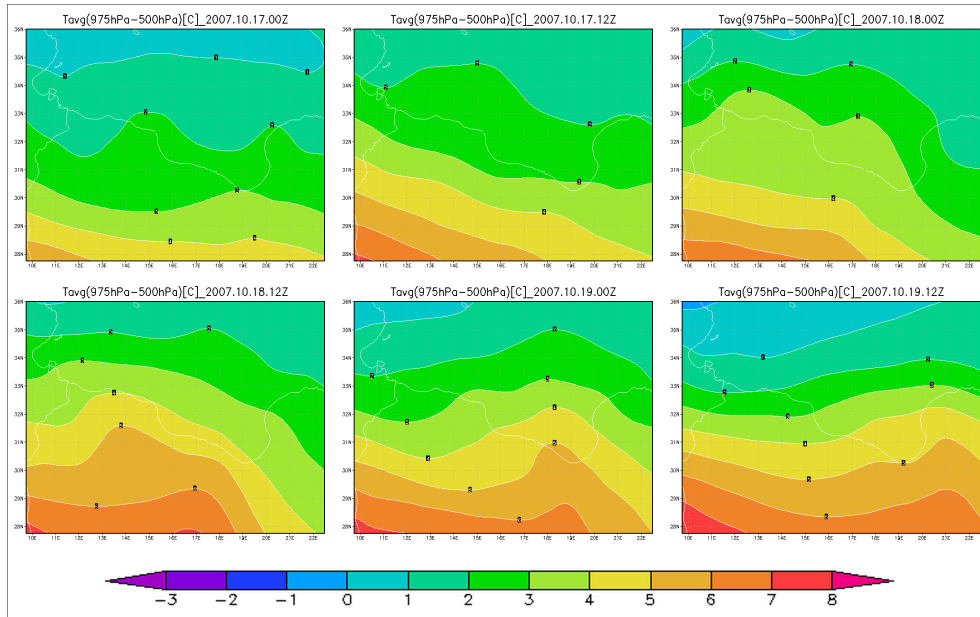
19. ábra. A WindSAT műhold által mért szélsébségek a Zsanett ciklonban 2007.10.18-án és 19-én (*manati.star.nesdis.noaa.gov*)

5.2. A Zsanett ciklon elemzése az ECMWF reanalízis adatok alapján

Az ECMWF Era-Interim adatbázisából lekért adatokat a vizsgálat szempontjából két részre osztattam. Elsőként az október 15. 00 UTC és 16. 12 UTC közötti, majd az október 17. 00 UTC és 19. 12 UTC közötti időszakot vizsgáltam, 12 óránként. Az adatok alapján ugyanis az első időszakban Zsanett még mérsékelt övi, míg az utóbbiban már trópusi ciklon jelleggel rendelkezett. Elsőként, a 20. és a 21. ábrákon a korábban említett 5 nyomási szint adataiból számított átlaghőmérséklet látható. A mérsékelt övi időszakban, különösen 15-én még egyértelműen beazonosítható a hideg- és melegszekektor, illetve az északról történő hidegadvekcio. 16-án azonban már kisebbnek adódott a hőmérséklet-különbség. 17-én és 18-án Líbia partvidékén, a ciklon környezetében már kis mértékű melegedés látható, ez ugyanakkor megfigyelhető Líbia belsőbb területein is. A Vince hurrikánhoz hasonlóan a ciklon aktuális helye felé szinte minden időpontban megfigyelhető volt egy kisebb magasabb hőmérsékletű nyúlvány, határozott, zárt és határozott meleg mag ugyanakkor itt sem jelent meg.

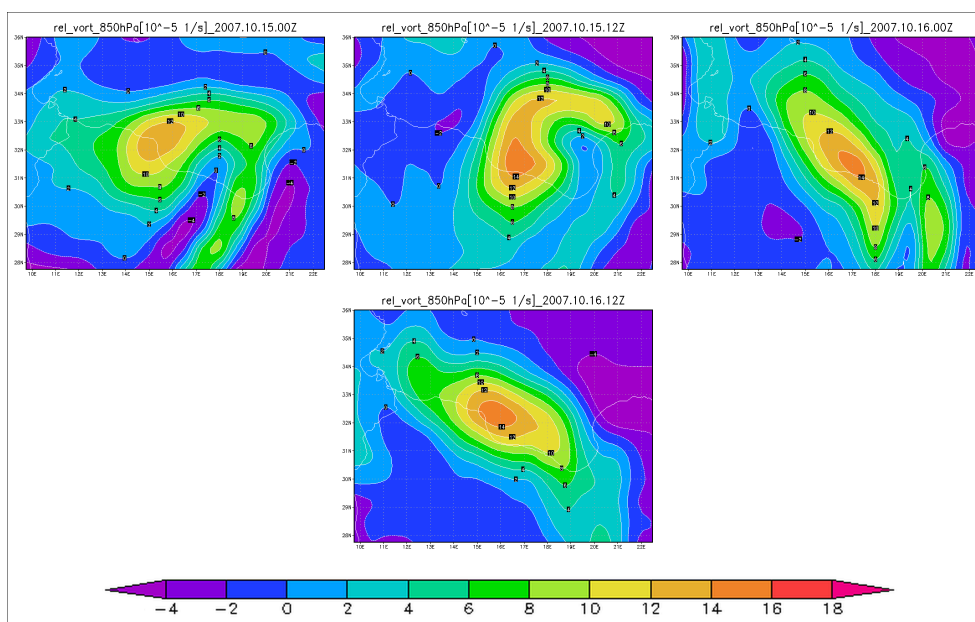


20. ábra. A 975-500 hPa-os réteg átlaghőmérsékletének alakulása a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.15. 00 UTC és 2007.10.16. 12 UTC között

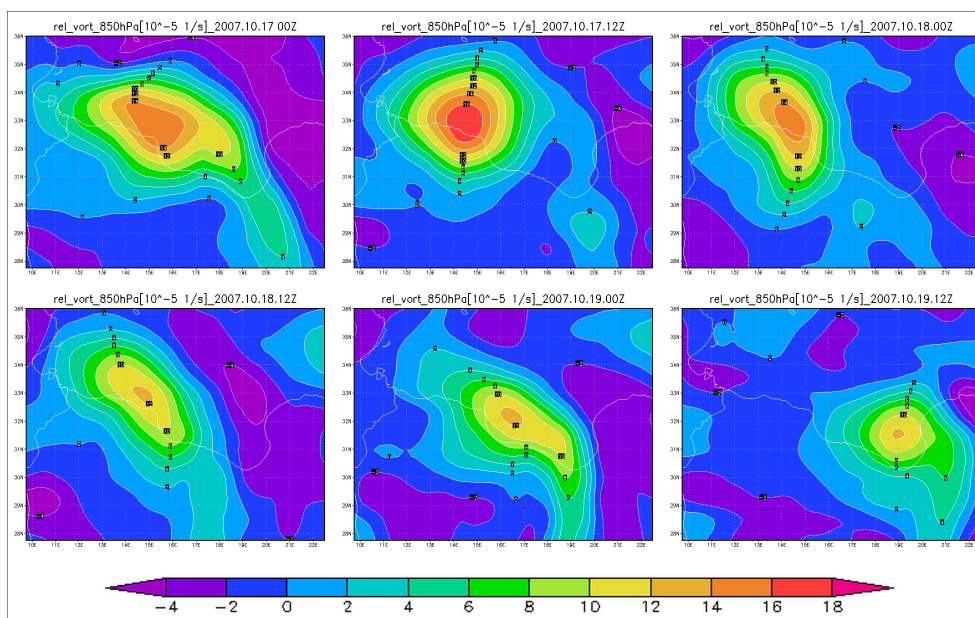


21. ábra. A 975-500 hPa-os réteg átlaghőmérsékletének alakulása a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.17. 00 UTC és 2007.10.19. 12 UTC között

A 850 hPa-os örvényesség alakulása az előzőleg leírt első szakaszban a 22. ábrán, míg a másodikban a 23. ábrán látható. Az első időszakban, mely hozzávetőlegesen 17-ére virradó éjszakáig tartott, az örvényességi mező képe alapján a ciklon még mérsékelt övi, frontális struktúrával rendelkezett. Bár az örvényességi maximum a központban jelentkezett, a hosszan elnyúló, felcsavarodó front menti erős örvényességi mező még jól analizálható volt, ami területileg egybeesett az előzőleg látott hőmérsékleti határvonallal, vagyis ez még a gyenge hidegfronthoz kapcsolódott. 16-án 12 UTC-kor azonban már kissé koncentráltabb lett az örvényességi mező, és 17-én 12 UTC-re már egy közel körszimmetrikus kép alakult ki, $16 - 18 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$ -os maximummal. A továbbiakban kissé csökkent az örvényesség mértéke, de 18-án 06 UTC-kor a központban még megjelent egy kevéssel $16 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$ feletti maximum (az ábrán ez az időpont nem szerepel). Emellett ismét aszimmetrikusabb lett az örvényesség területi kiterjedése is, mely egybeesett a ciklon előzőleg leírt, 18-án napközben kezdődő gyengülésével. Itt viszont frontok már nem voltak analizálhatók, így a déli irányban megfigyelhető örvényességi nyúlvány minden bizonnyal a műholdképeken is megfigyelhető, gomolyos felhőzethez (szállítószalaghoz) kapcsolódott. Az örvényességi mező a ciklon 19-ére virradó gyengülését követően is jól detektálható maradt, egészen ciklon maradványának partot éréséig.

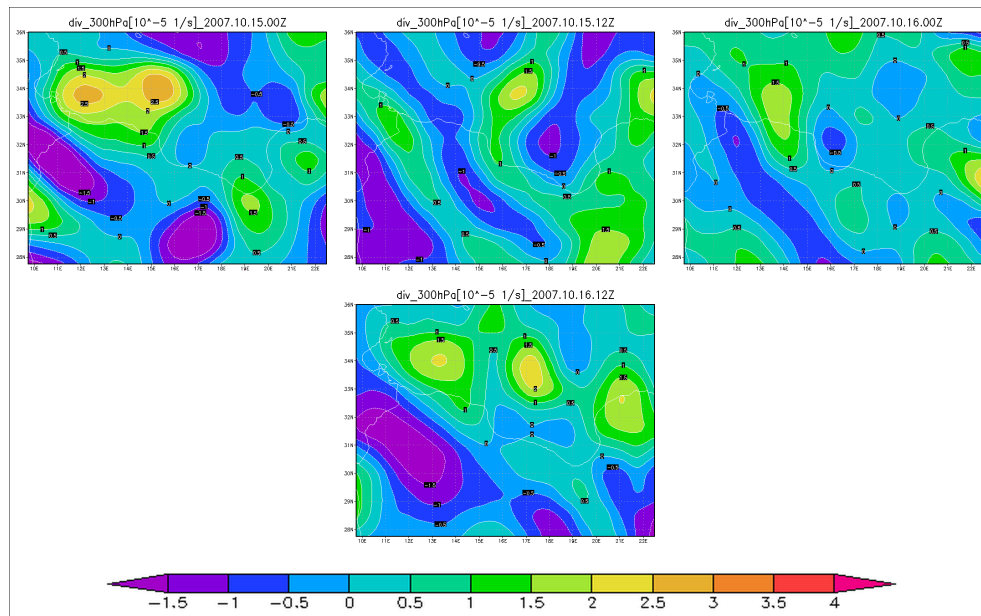


22. ábra. A 850 hPa-os relatív örvényesség a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.15. 00 UTC és 2007.10.16. 12 UTC között

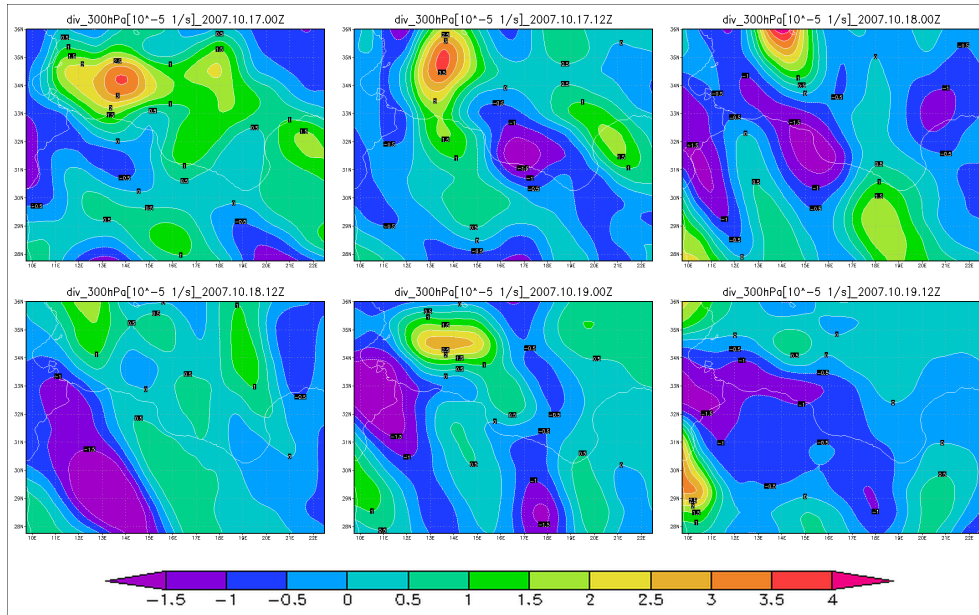


23. ábra. A 850 hPa-os örvényesség alakulása a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.17. 00 UTC és 2007.10.19. 12 UTC között

A 300 hPa-os divergencia az előzőekkel megegyező kettéosztás szerint a 24. és a 25. ábrákon látható. A frontális időszakban a divergens és konvergens területek meglehetősen hektikus térbeli eloszlásúnak bizonyultak. Tartósabb és nagyobb mértékű divergencia egyedül a ciklontól nyugatra, északnyugatra, Líbia északnyugati partvidéknek közelében volt tapasztalható. A divergencia ezen a területen 17-én azonban ugrásszerűen megnövekedett, mely egybeesett az előzőleg leírt 850 hPa-os örvényesség növekedésével. 18-án 00 UTC-kor a ciklon észak-északnyugati részén átmenetileg 4×10^5 1/s feletti értékek is előfordultak, mely a korábban említett poleward outflow kialakulásáért volt felelős. Ez azonban az erősödő magassági szél hatására napközben már jelentősen legyengült, és ezt követően ismét szervezetlenné vált a divergencia. A ciklon központja felett pedig végig jellegtelen, többször inkább konvergens mező helyezkedett el.



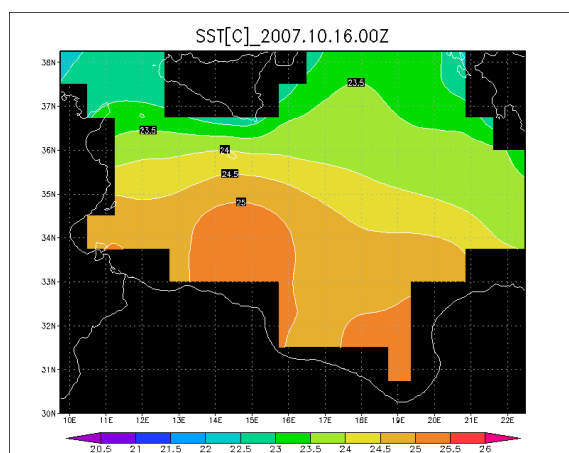
24. ábra. A 300 hPa-os divergencia alakulása a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.15. 00 UTC és 2007.10.16. 12 UTC között



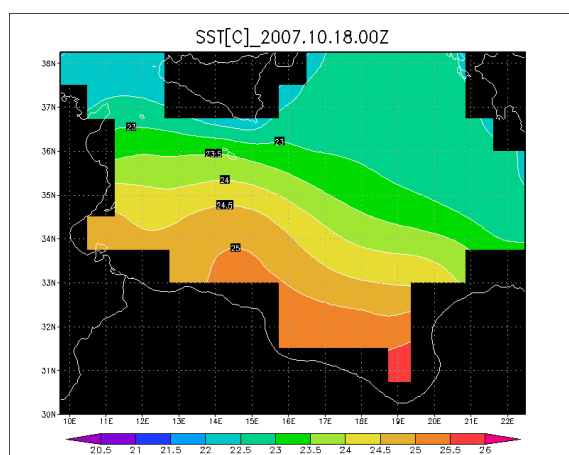
25. ábra. A 300 hPa-os divergencia alakulása a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.17. 00 UTC és 2007.10.19. 12 UTC között

5.3. Tengerszín-hőmérséklet adatok az ECMWF reanalízis alapján

A 00 UTC-s tengerszín-hőmérséklet reanalízis adatok alapján a ciklon kialakulási időszakában, 16-án Líbiától északra nagyobb területen 24-25 °C körüli volt a vízhőmérséklet, ahogy a 26. ábra mutatja, sőt 13-án és 14-én a partvidéken még 25-26 °C között alakult a vízhőmérséklet. A vízhőmérsékletben számottevő változás a következő napokban sem következett be, de a 27. ábra tanúsága alapján 18-án, a ciklon legfejlettebb időszakában kismértékű csökkenés volt megfigyelhető a környezetében, különösen tőle északra. Ez egyrészt a ciklon által előidézett hullámvásznak, másrészt pedig a napokban rendre kialakuló kiterjedt, a besugárzást mérséklő zivatarfelhőzetnek volt köszönhető.



26. ábra. Tengervíz-hőmérséklet a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.16-án



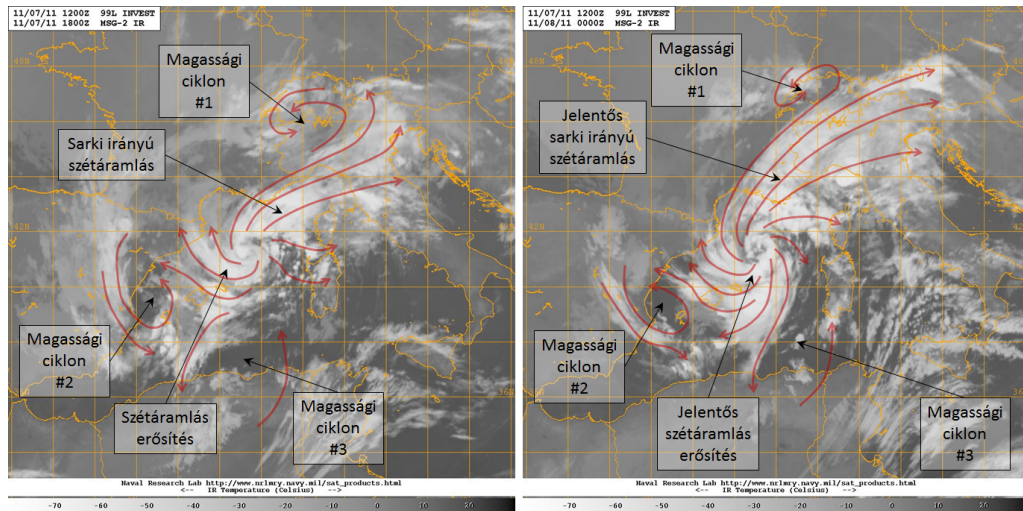
27. ábra. Tengervíz-hőmérséklet a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.18-án

6. Rolf (2011.11.07. - 2011.11.09.)

6.1. A Rolf ciklon elemzése műholdas és felszíni meteorológiai adatok alapján

A Vince hurrikánhoz hasonló magaslégköri áramlásokkal rendelkezett az a trópusi jellegű mediterrán ciklon is, mely egy korábbi, hagyományos mediterrán ciklon átalakulásával jött létre a Földközi-tenger nyugati medencéjében 2011. november 7-én. A mediterrán ciklont előzőleg a berlini Freie Universität Rolf névre keresztelte (*www.met.fu-berlin.de* - (23)). A ciklon átalakulásában kezdetben két magassági ciklon játszott a legnagyobb szerepet, melyek a 28. ábra bal oldalán 1-es és 2-es számmal szerepelnek. Előbbi elősegítette, hogy a ciklon északi oldalán egyre erőteljesebbé váljon a sarki irányú szétáramlás, míg a másik a déli oldalán lévő szétáramlást támogatta. Rolf a késő délutáni órákban jól fejlett központi felhőmagot alakított ki -50, -60 °C-os felhőtetőkkel (*www.storm2k.org* - (24)), de ez 18 UTC-re szervezetlenebbé vált. A NOAA műholdas becslése alapján, melyben egy 1,0-tól 7,0-ig terjedő skálát használnak, Rolf erőssége ekkor 2,5-ös volt (*www.ssd.noaa.gov* - (25)), ami a Saffir-Simpson hurrikán-skálán gyenge trópusi viharnek megfelelő 65 km/h-s szélsősebességet és 1005 hPa körüli központi légnyomást jelent. Ezeket az értékeket a központ közeléből 21 UTC előtt egy mérőhajó is megerősítette.

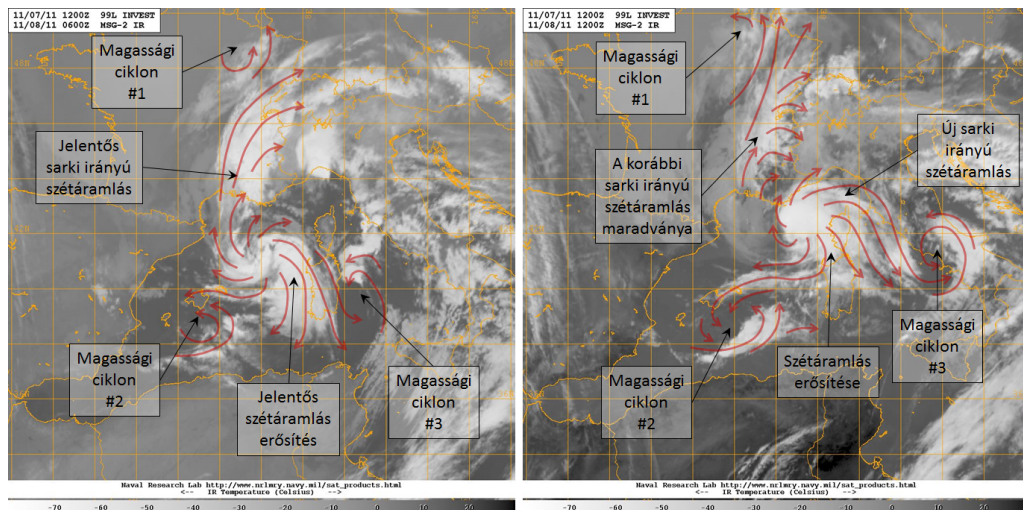
Rolf éjszaka tovább erősödött és szerveződött, köszönhetően a kedvező magaslégköri helyzetnek. A magassági szétáramlási mezők éjjel körül voltak a legerősebbek, ahogy ez a 28. ábra jobb oldalán is látható. Az északi ág felhőzónája egészen Ausztriáig felnyúlt, míg a déli szektorban a 2-es magassági ciklon mellett egyre inkább meghatározóvá vált az erősödőben lévő 3-as magassági ciklon hatása is. A műholdas becslések alapján ekkorra 3,0-ra nőtt a ciklon erőssége (*www.ssd.noaa.gov* - (25)), mely a Saffir-Simpson skálán közepes trópusi viharnek felel meg 83 km/h-s szélsősebességgel és 1000 hPa körüli központi légnyomással.



28. ábra. Magassági áramlások a Rolf ciklon környezetében 2011.11.07. 18 UTC-kor és 2011.11.08. 00 UTC-kor (www.nrlmry.navy.mil - (15))

Az 1-es magaslégköri ciklon azonban fokozatosan eltávolodott északnyugat felé, így annak hatása a későbbiekben egyre kevésbé volt érezhető. Emiatt reggelre az északi oldal sarki irányú szétáramlása már jelentősen legyengült, ugyanakkor a déli ág továbbra is erős maradt, ahogy ezek a 29. ábra bal oldalán megfigyelhetők. A ciklon műholdas becslése ekkor nem változott (www.ssd.noaa.gov - (25)).

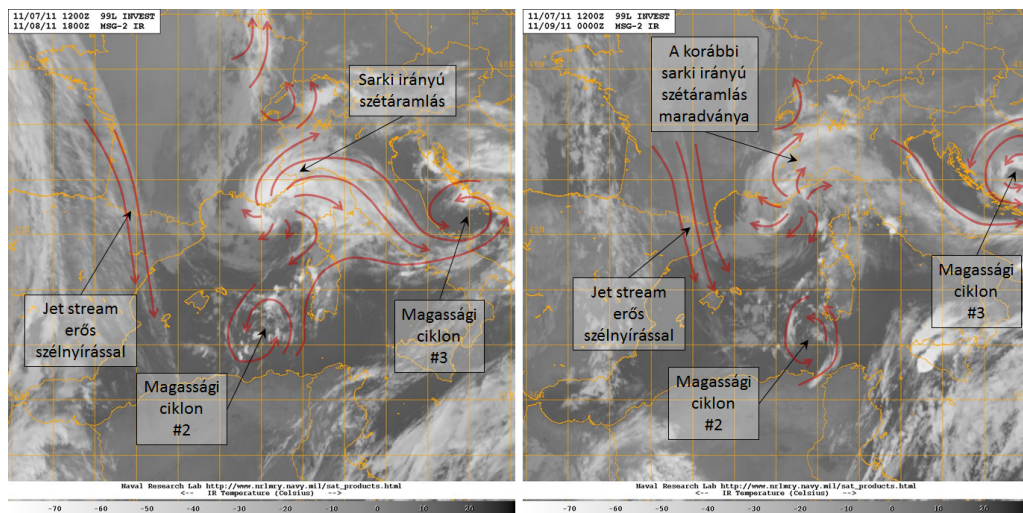
A déli órákra a korábbi sarki irányú szétáramlás fátyolfelhőzete elszakadt a ciklontól, helyét azonban egy újonnan képződő vette át, melyet az időközben a ciklon keleti oldalára kerülő 3-as magassági ciklon váltott ki. Emellett ez és a 2-es magaslégköri ciklon hatására a déli oldal jelentős magassági szétáramlása továbbra is fennmaradt, de keletebbre helyeződött, köszönhetően annak, hogy az utóbbi magassági ciklon egyre kevésbé volt hatással Rolf áramlási mezejére. Mindezek a 29. ábra jobb oldalán láthatóak. A műholdas becslés alapján a ciklon ereje ekkor visszacsökkent 2,5-ös értékre (65 km/h - 1005 hPa) (www.ssd.noaa.gov - (25)), azonban az UKMet (Bracknell) analízis szerint a ciklon központjában a korábbiaknál alacsonyabb, 998 hPa volt a légnyomás (www.wetter3.de - (26)), így valószínűleg ekkor sem változott számottevően Rolf ereje.



29. ábra. Magassági áramlások a Rolf ciklon környezetében 2011.11.08. 06 UTC-kor és 2011.11.08. 12 UTC-kor (*www.nrlmry.navy.mil* - (15))

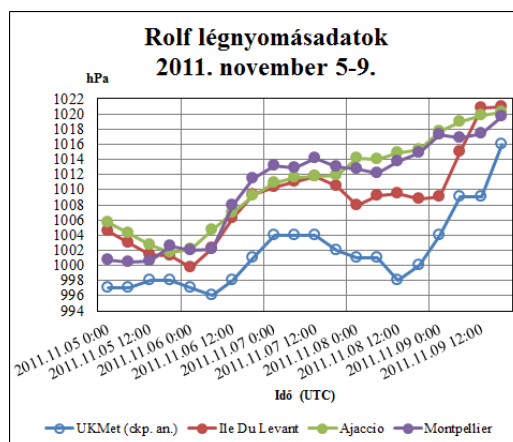
Az északkeleti oldal új sarki irányú szétáramlása az esti órákban érte el legnagyobb kiterjedését, ahogy ezt a 30. ábra bal oldala mutatja. A nyugat felől közeledő jet stream előtt fellépő délnyugati irányú szélnyírás miatt azonban a szervezettségéből már vesztett a ciklon, ami abban nyilvánult meg, hogy az alacsonyszintű és a közép-szintű örvényközpont vertikálisan kissé eltávolodott egymástól. Emellett a déli oldalon megszűnt a szétáramlás támogatása, mivel a 2-es magassági ciklon teljesen elszakadt Rolf magaslégköri áramlási mezejétől, illetve a 3-as magassági ciklon is egyre távolabb került tőle. Mindezek ellenére Rolf átmenetileg erősebb lett, és nagy valószínűséggel ekkor érte el legnagyobb intenzitását. A műholdas becslések ismét 3,0-s erősséget számoltak neki (*www.ssd.noaa.gov* - (25)). 21 UTC-kor a Franciaországhoz tartozó Ile du Levant sziget meteorológiai állomása 148 km/h-s széllökést regisztrált, míg a 10 perces átlagszél az előző két órában 95 km/h körül alakult. Emellett Franciaország délkeleti csücskében, a tenger mellett fekvő Cap Camarat meteorológiai állomás 18 UTC-kor 104 km/h-s, 20 UTC-kor pedig 100 km/h-s 10 perces átlagszelet mért, a legerősebb széllökés pedig 135 km/h volt ott (*www.infoclimat.fr* - (16)). Ezen adatok alapján Rolf ekkor erős trópusi viharnek lehetett megfelelő a Saffir-Simpson hurrikán-skálán, de nem zárható ki, hogy néhol 1-es kategóriájú hurrikánnak megfelelő, 120 km/h feletti 1 perces átlagszél is előfordult.

A ciklonban az éjszeli órákra jelentősen legyengült a zivatarképződés, és teljesen önállóvá vált a magaslégtörési áramlási rendszere, ahogy a 30. ábra jobb oldalán látható. Emellett nyugat felől szárazabb levegő érte el a ciklon környezetét, illetve még jobban megközelítette a jet stream is, így lassan tovább növekedett a szélnyírás. 00 UTC-kor a műholdas becslések alapján már csak 2,0-s (56 km/h), míg 06 UTC-kor 1,0-s (46 km/h) volt az erőssége (*www.ssd.noaa.gov* - (25)), mely a Saffir-Simpson skálán trópusi depresszióknak felel meg. A ciklonban a következő 12 órában már csak átmeneti, rövid életű zivatarképződés fordult elő, miközben kora délután elérte Franciaország partjait. Ekkor, 12 UTC-kor az egyetlen, még megmaradt zivatartömb közelében lévő Martignes - Cap Couronne meteorológiai állomáson 91 km/h-s széllökést és 63 km/h-s 10 perces átlagszelet regisztráltak (*www.infoclimat.fr* - (16)). Néhány óra múlva teljesen megszűnt a zivatarképződés a ciklonban, és éjszaka végül fel is oszlott.



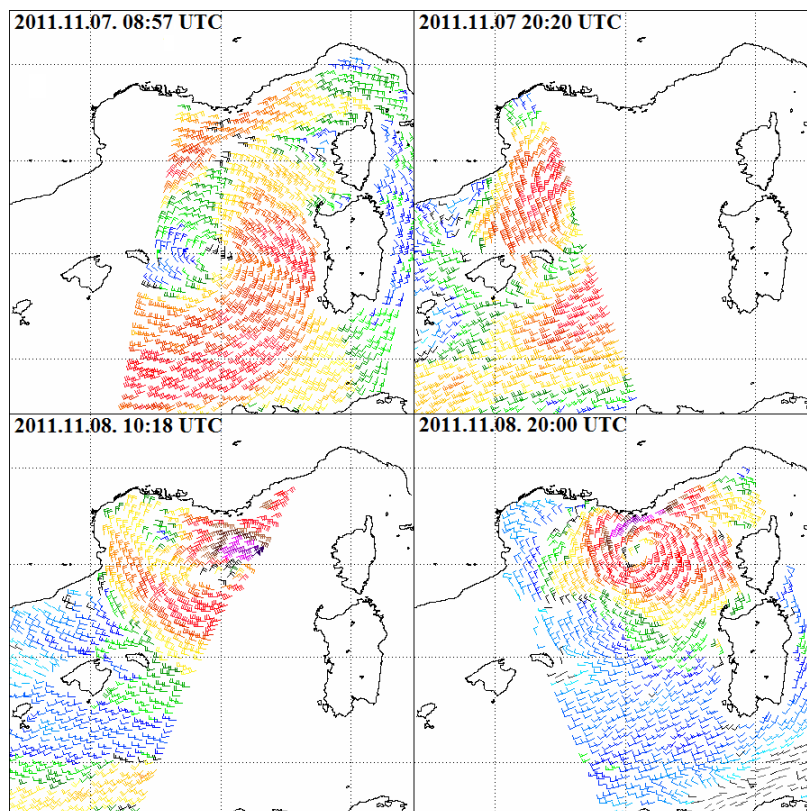
30. ábra. Magassági áramlások a Rolf ciklon környezetében 2011.11.08. 18 UTC-kor és 2011.11.09. 00 UTC-kor (*www.nrlmry.navy.mil* - (15))

A légnyomás-adatokat vizsgálva szintén jól végigkövethető a ciklon átalakulási folyamata. A 31. ábrán az UKMet (Bracknell) analízis által megállapított központi légnyomás, valamint a ciklonközpont 8-ai helyzetétől kb. 40-50 km-re fekvő Ile du Levant sziget, illetve a 200-230 km-re lévő Ajaccio és Montpellier 6 óránkénti, főterminusi légnyomás adatai szerepelnek. A ciklon kezdeti időszakában, 5-én és 6-án kezdetben mindenütt alacsony volt a légnyomás, a központi értékek viszonyítva viszonylag kicsi volt a nyomási gradiens. Emellett 6-án a ciklon okkludálódásával mindenütt légnyomás-emelkedés következett be. Ez viszont 7-én a legtöbb helyen megállt, majd csökkenésbe fordult. 8-án, amikor a ciklon már teljesen trópusi jellegűvé alakult, Az UKMet analízis alapján a központi légnyomás 12 UTC-kor a már korábban említett 998 hPa-os értékig süllyedt. Ugyanekkor viszont Ile du Levant-on már közel 10 hPa-lal, a másik két helyen pedig kb. 15 hPa-lal magasabb volt a légnyomás, vagyis a korábbival ellentétben a trópusi ciklonokra jellemző erőteljes nyomási gradiens épült ki a ciklonközpont közelében. A ciklon ezt követően viszont gyorsan gyengült, így 9-ére virradó éjszakától a légnyomás is jelentősen megemelkedett. A nyomásgradiens ugyanakkor kis mértékben még fennmaradt, mivel a partot érő ciklon közelében lévő Montpellier állomáson a 12 UTC-s 1017,4 hPa-os és a 18 UTC-s 1019,6 hPa-os értékek között 15 UTC-kor 1014,4 hPa-ra csökkent a légnyomás. A kissé délkeletebbre, a tengerparton fekvő Le Grau-du-Roi településen pedig 15:30 UTC-kor 1012,7 hPa-os légnyomást mértek, míg 3-4 órával előtte ott is 1017 hPa, ugyanennyivel utána pedig 1019 hPa körüli értékek voltak jellemzőek (*www.infoclimat.fr* - (16)), (*www.wetter3.de* - (26)).



31. ábra. Lényomás adatok a Rolf ciklon környezetében 2011.11.05. - 2011.11.09. (*www.infoclimat.fr*), (*www.wetter3.de*)

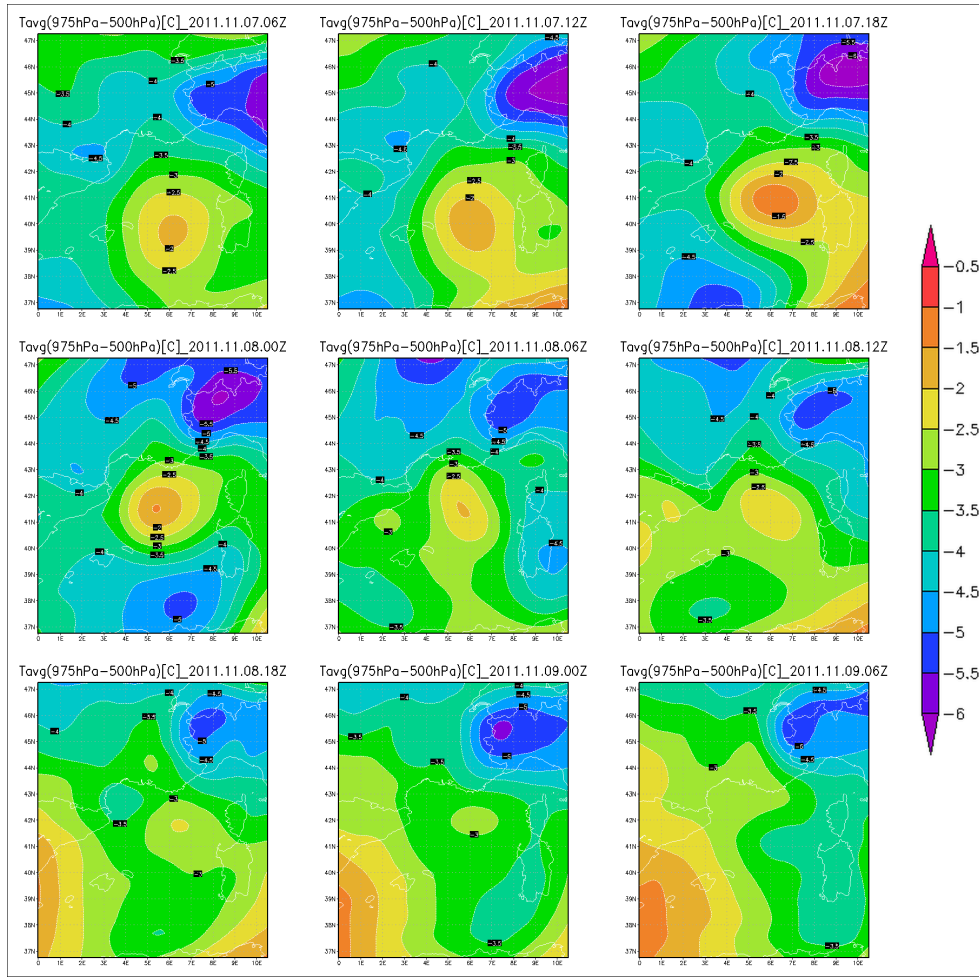
A talaj közeli szélességet mérő ASCAT műhold 25 km-es felbontású felvételein, a 32. ábrán szintén nagyszerűen megfigyelhető a ciklon átalakuló, egyre inkább trópusi jellegű struktúrája (*manati.star.nesdis.noaa.gov* - (27)). A 7-ei 08:56 UTC-s képkockán a trópusi vihar erősségű, 65 km/h-t elérő vagy meghaladó szélmező (piros vagy sötétebb szín) még meglehetősen kiterjedt volt. Emellett Korzikától a Baleár-szigeteken át a ciklon központjáig kirajzolódik egy határozott szélesség- és szélirány-változás, ami még a feloszlóban lévő hideg-okklúziós fronthoz kapcsolható. Az esti, 20:20 UTC-kor készült műholdfelvételen csak a ciklon nyugati részének szélmezeje látszik, de ez alapján is elmondható, hogy abban a térségben már jóval erősebb lett a szél a központ közelében is, ami a frontális struktúra feloszlására utal, és tipikusan a szubtrópusi ciklonokra jellemző. Másnap 10:18 UTC-re már jóval szűkebbé vált az erősebb szelek területe, ugyanakkor erősödött a szélesség, ami tipikusan a mérsékelt övi ciklonokból átalakuló trópusi ciklonok egyik jellegzetessége. Ekkor 95 km/h-s szélesség-vektor is megfigyelhető a felvételen, ami egybeesett azzal az időponttal, amikor Rolf keleti részén erőteljes zivatarképződés indult meg, így minden bizonnyal ez okozta a szélerősödést. A hirtelen megerősödő zivatarok hatására viszont átmenetileg kissé aszimmetrikussá vált a szélmező. A rendszer azonban hamar stabilizálta magát, ahogy a 20:00 UTC-s képkockán látható. A ciklon közepén található szélcsendesebb területet ekkor már egy körszimmetrikus szélmező ölelte körül, és a szárazföld torlasztó hatása miatt a ciklon északi oldalán nagyobb területen előfordult 85-90 km/h körüli szélesség is, ami közelítőleg megegyezik az előző szakaszban leírt szélességekkel. A szélmező pedig erre az időre tovább zsugorodott, ami még inkább trópusi jellegre utalt.



32. ábra. Az ASCAT műhold által mért szélességek a Rolf ciklonban 2011.11.07-én és 08-án (*manati.star.nesdis.noaa.gov*)

6.2. A Rolf ciklon elemzése az ECMWF reanaízis adatok alapján

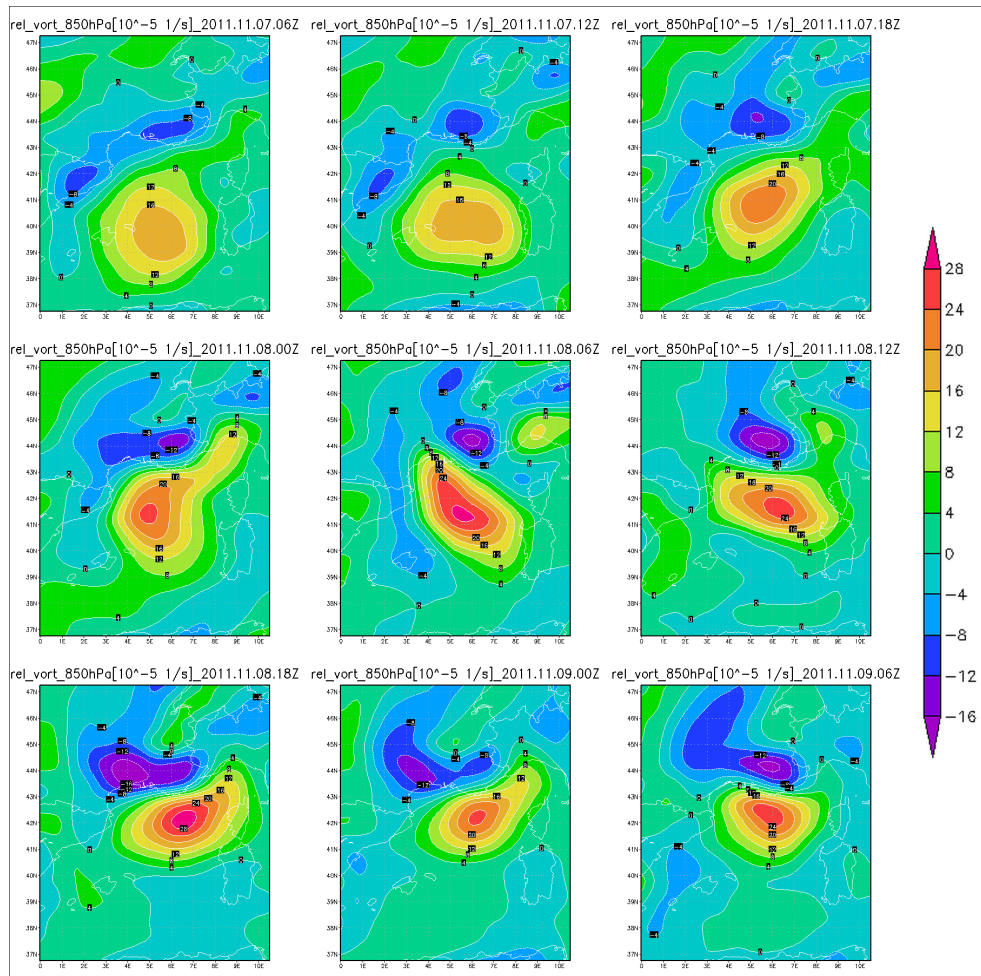
Az ECMWF Era-Interim adatbázisból lekért, a korábbiakkal megegyező 5 nyomási szinten vett hőmérsékleti értékek vertikális átlagai a 33. ábrán láthatók, 2011. november 7. 06 UTC és november 9. 06 UTC között. Az ábrák alapján elmondható, hogy a ciklon szinte mindvégig határozott meleg maggal rendelkezett. A legfejlettebb időszakában, 7-én 18 UTC-kor és 8-án 00 UTC-kor a ciklon központjában $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál is magasabbnak bizonyult az átlaghőmérséklet, ami a környező területeknél körülbelül $3\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal magasabb érték. A meleg mag gyengülése 8-án kezdődött el, de ez részben annak is volt köszönhető, hogy a ciklontól délnyugatra melegadvekcio indult meg. Így bár 8-án estére a még mindig analizálható meleg magban csak $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal csökkent az átlaghőmérséklet, ez már alacsonyabb volt, mint a délnyugatra lévő átlag. A meleg mag teljes felszámolódása 9-én 06 UTC-re következett be, mely az előzőleg leírtak alapján egybeesett a ciklon jelentős gyengülésével.



33. ábra. A 975-500 hPa-os réteg átlaghőmérsékletének alakulása a Rolf ciklon környezetében 2011.11.07. 06 UTC és 2011.11.09. 06 UTC között

A 850 hPa-os szint relatív örvényességének változását az előzővel megegyező időszakban a 34. ábra mutatja. Az egyes időpontokat vizsgálva látható, hogy az örvényesség mindig egy kis területre koncentrálódott, és közelítőleg körszimmetrikus volt. Vagyis rajta nagyobb méretű nyúlványok, melyek a mérsékelt övi ciklonok frontjai mentén jelentkeznek, nem voltak megfigyelhetők. A 8-án és 9-én megjelenő oválisabb, kifliszerű alak, illetve a pozitív örvényességi centrumtól északra lévő negatív örvényességi terület feltehetőleg az Alpok orografikus hatásának volt köszönhető, ami még ezen a nyomási szinten is befolyásolta a szélmezőt. Az örvényesség a korábban leírt átalakulási folyamat kezdeti időpontjában, 7-én este kezdett el határozottan növekedni az addig jellemző $16 - 20 \times 10^{-5}$ 1/s közötti értékről, és 8-án 06 UTC-kor, valamint 18 UTC-kor a már a 28×10^{-5} 1/s értéket is meghaladta, mely értékek már az erősebb trópusi vi-

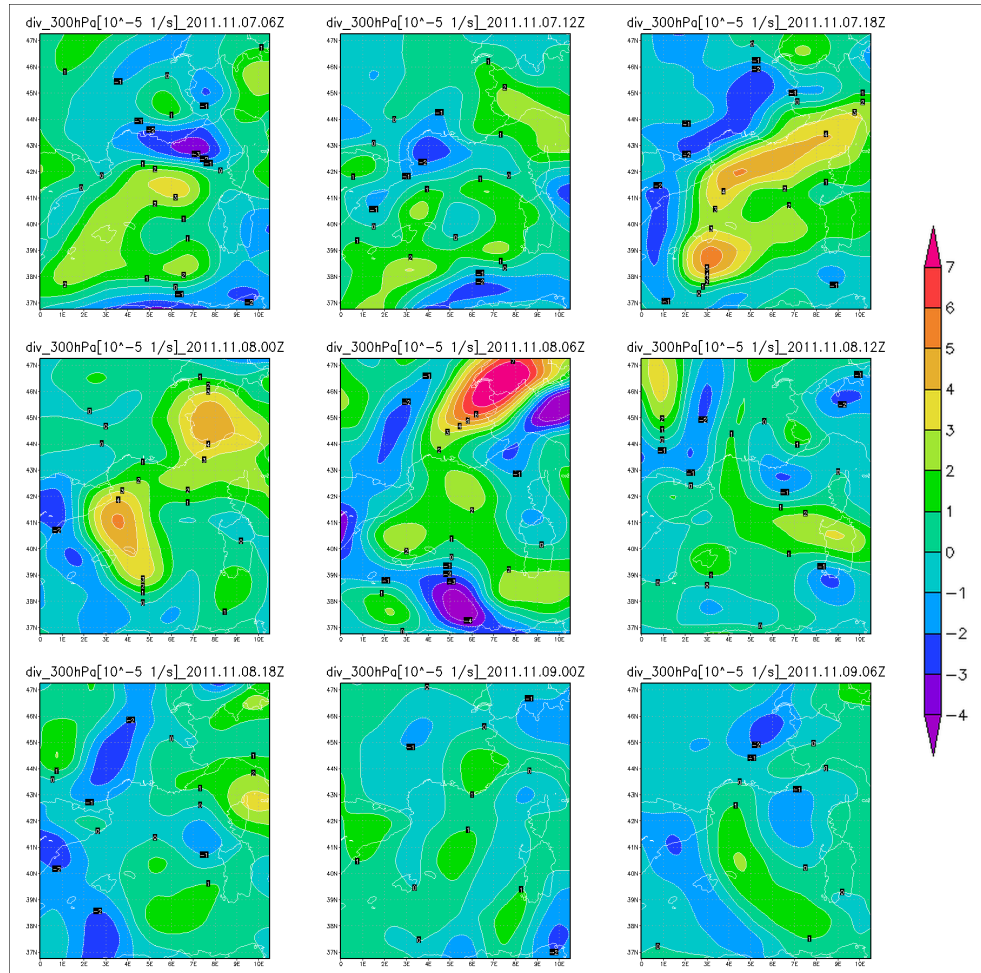
harokban vagy gyengébb hurrikánokban jellemzőek. Az örvényesség a maximális érték beállta után is csak lassan csökkent, még 9-én 06 UTC-kor is $24 - 28 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$ közötti maximummal rendelkezett.



34. ábra. A 850 hPa-os örvényesség alakulása a Rolf ciklon környezetében 2011.11.07. 06 UTC és 2011.11.09. 06 UTC között

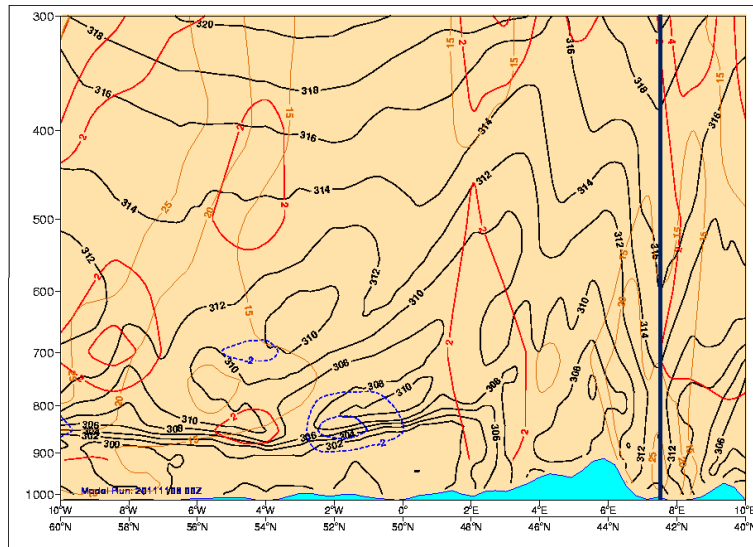
A 300 hPa-os divergencia alakulása a 35. ábrán látható. A divergencia kezdetben viszonylag jellegtelen képet mutatott, majd szintén 7-én estére erősödött meg a ciklon felett. Különösen jelentős volt az északra elhelyezkedő magassági ciklon keleti oldalán kialakult sarki irányú szétáramlási mező, melyben 8-án 06 UTC-kor $7 \times 10^{-5} \text{ 1/s}$ feletti érték is előfordult. Emellett az esti, éjszakai órákban a délen elhelyezkedő két másik magassági ciklon által előidézett divergencia is határozottabban láthatóvá vált Rolf délnyugati, nyugati oldalán. 8-án napközben már jelentősen gyengült a divergencia, de a ciklon keleti oldalán még megfigyelhető volt a korábban említett 3-as magassági

ciklon által kialakított új szétáramlási terület. Végül 9-ére virradóan ismét teljesen szabálytalanná váltak a konvergens és divergens területek, és a 06 UTC-s képkockán található divergens sáv feltehetőleg már a jet stream-hez kapcsolódott.

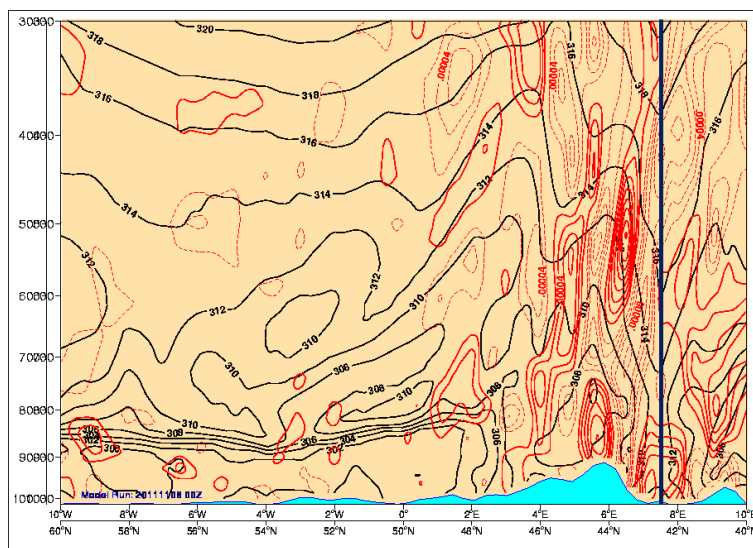


35. ábra. A 300 hPa-os divergencia alakulása a Rolf ciklon környezetében 2011.11.07. 18 UTC és 2011.11.09. 00 UTC között

A www.eumetrain.org oldalon elérhető, az ECMWF modellből számított vertikális metszetek közül a 8-án 12 UTC-re szóló, egyik ÉNy-DK irányú metszet a ciklon központjához nagyon közel húzódott. A 36. ábrán az izentrópok mellett a szélsébség és a hőmérsékleti advekcio, míg a 37. ábrán az izentróp vonalak mellett a konvergencia és divergens tartományok szerepelnek (*www.eumetrain.org* - (28)). A képeket együttesen vizsgálva alátámasztják az előzőekben leírt trópusi jelleget a ciklon teljes vertikális környezetében. A ciklon tengelye mentén látható, a környezetnél magasabb izentrópok jól fejlett meleg magra utalnak, amit a vertikális átlagokon is jól kimutatható volt. A szélmező szintén a trópusi ciklonok tipikus jellegzetességét mutatja, ugyanis a legerősebb szélsébségek a mérsékelt övi ciklonokkal szemben az alacsonyabb, 900-1000 hPa közötti régióban találhatók, nem pedig a magasabb szinteken. A hőmérsékleti advekcio szinte teljes hiánya a frontok hiányára utal. A látható, kis mértékű melegedést a magasabb szinteken feltehetőleg a ciklon magjának melegedése, vagy a ciklon tengelyének elmozdulása okozta. A konvergencia és divergens területek vertikális eloszlása és mértéke pedig szintén megegyezik a korábban tapasztaltakkal.



36. ábra. Vertikális metszet (szélsébség és hőmérséklet-advekcio) a Rolf ciklon környezetében 2011.11.08. 12 UTC-kor - fekete vonalak: izentrópok, vékony narancssárga vonalak: szélsébség, piros és kék vonalak: pozitív és negatív hőmérsékleti advekcio

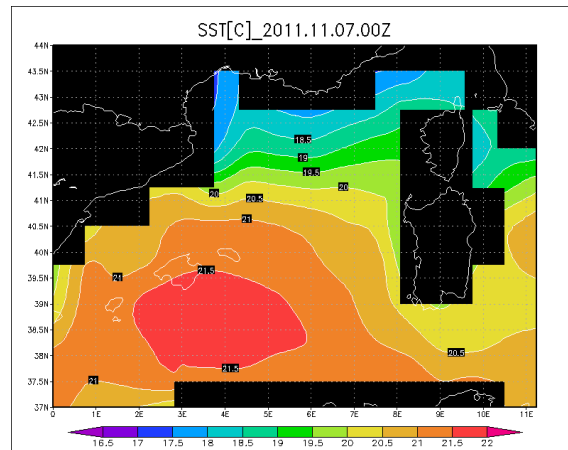


37. ábra. Vertikális metszet (konvergencia és divergencia) a Rolf ciklon környezetében 2011.11.08. 12 UTC-kor - fekete vonalak: izentrópok, vastag és folytonos piros vonalak: konvergencia, vékony és szaggatott piros vonalak: divergencia

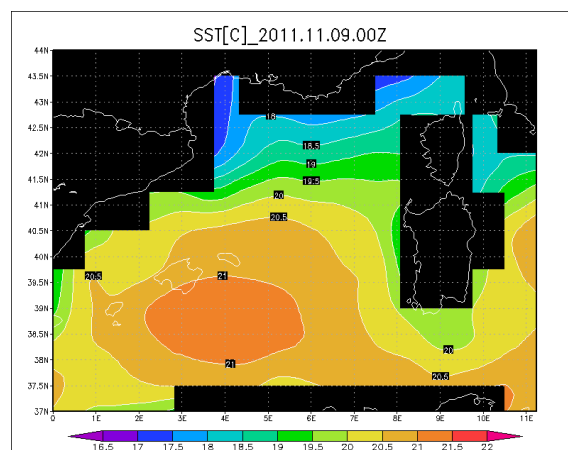
6.3. Tengervíz-hőmérséklet adatok az ECMWF reanalízis alapján

A 00 UTC-s időpontokban vett reanalízisek alapján 5-én, a mediterrán ciklon kialakulásakor a Földközi-tenger szinte teljes nyugati medencéjében 19-22 °C között alakult a tengerfelszín hőmérséklete. A következő napokban ugyanakkor a ciklonhoz tartozó, nagy területre kiterjedő és viszonylag erős szél által előidézett hullámszás, illetve a kiterjedt felhőzet és csapadék miatt kis mértékben csökkent a tengervíz hőmérséklete. 7-én, a ciklon átalakulásának kezdetekor mért értékeket a 38. ábra mutatja. Ekkor a ciklon környezetében, a Baleár-szigetektől keletre még nagy területen 20-21,5 °C-os tengervíz állt rendelkezésre, mely az atlanti-óceáni tapasztalatok alapján elegendőnek bizonyulhatott a ciklon trópusi jellegűvé alakulásához. Ezt követően tovább hűlt a tenger, és 9-én már a 39. ábrán láthatóan alakult a hőmérséklete. Rolf viszont nagyrészt végig 18,5-19 °C körüli hőmérsékletű vizek felett haladt, mely még elegendő lehetett ahhoz, hogy megtartsa a trópusi jegyeit (2009-ben a Grace ciklon hasonló vízhőmérsékletek mellett legalább fél napon keresztül trópusi vihar maradt az Atlanti-óceánon (www.nhc.noaa.gov - (29))). Az erős szél által északról bekevert hűvösebb víz azonban már hatással lehetett a ciklonra, elősegítve a 8-án este kezdődő gyengülését. 9-én pe-

dig nyugat felé elmozdulva, Franciaországot megközelítve már számottevően hűvösebb vizek felett haladt át a ciklon, ami teljesen ellehetetlenítette a szervezett konvekció fennmaradását/újraképződését.



38. ábra. Tengervíz-hőmérséklet a Rolf ciklon környezetében 2011.11.07-én



39. ábra. Tengervíz-hőmérséklet a Rolf ciklon környezetében 2011.11.09-én

7. Összegzés

7.1. Az adatok összehasonlítása

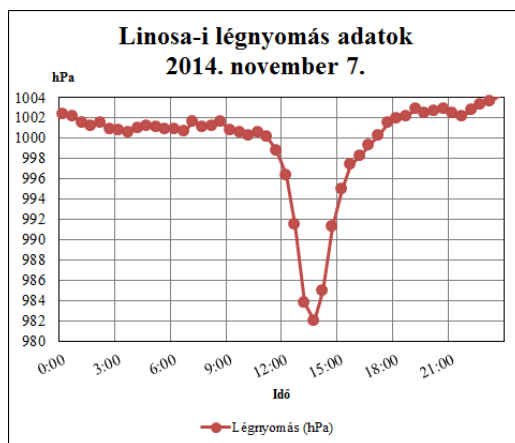
A dolgozat készítése során elvégeztem három, a Földközi-tengeren az őszi hónapokban kialakult trópusi jellegű mediterrán ciklon vizsgálatát. Ezt több lépésben tettem, elsőként a műholdképek alapján megfigyelhető vizuális jegyeket, illetve a szárazföldön és a tengeren mért adatokat, majd az ECMWF ERA-Interim adatbázisából több szintre lekért hőmérséklet, a 850 hPa-on vett relatív örvényesség és a 300 hPa-on vett divergencia, majd a szintén innen lekért tengervíz hőmérséklet adatokat használtam fel. Referenciaként az Atlanti-óceánon 2005 októberében kialakult Vince hurrikánt használtam fel, melyre szintén elvégeztem ezt a vizsgálati metódust. Bár a Callisto ciklon eredményeit nem tudtam bemutatni, a következőkben röviden kitérek majd erre a ciklonra is. A kapott adatok alapján elmondható, hogy a ciklonok mindegyik esetben legalább 20,5-21 °C-os tengervíz felett alakultak át mérsékelt öviből trópusi jellegűvé. Ez megegyezik az Atlanti-óceánon tapasztalt esetekkel, ahol a 2009 októberében az Azori-szigetek környékén létrejött Grace trópusi vihar volt az egyik leghidegebb, ehhez hasonló hőmérsékletű víz mellett kifejlődött trópusi ciklon. Ez ráadásul méretében és struktúrájában is hasonlított a Földközi-tengeren megfigyelt esetekre, és északkelet felé haladva Nagy-Britannia déli részének földrajzi szélességéig trópusi ciklon maradt, a már jócskán 20 °C alatti vízhőmérséklet ellenére. Hasonló jelenség pedig már az Atlanti-óceán nyugati felén is többször előfordult, amikor azok még trópusi ciklonként érték el a Labrador-áramlás hideg vizeit.

A műholdas adatok alapján a Vince hurrikán egyértelműen trópusi karakterisztikával rendelkezett. Frontokat már nem lehetett beazonosítani a környezetében, és 9-én jól fejlett szem is kialakult, teljesen zárt és viszonylag erős szemfallal. Műholdkép-animáció által a magasszintű felhőzet mozgását vizsgálva egyértelműen beazonosítható volt két kisebb magassági ciklon a hurrikán környezetében, melyek kedvező hatást fejtek ki a ciklonhoz kapcsolódó magassági szétáramlásra. A legerősebb időszakban, 9-én délután és este ugyan csak kis mértékben, de minden oldalon megfigyelhető volt a jellegzetes "szálkás" Cirrus felhőzet a szemfal külső peremén, mely a trópusi ciklonoknál a határozott magassági szétáramlásra utal. Később pedig, amikor a szélnyírás

már jelentős hatást gyakorolt a ciklonra, és rendszerint csak a keleti felén történt újabb zivatarképződés, jól megfigyelhető volt a zárt, körszimmetrikus alacsonyszintű felhőzet is. Bár strukturálisan kissé szervezetlenebb volt, a magassági áramlások tekintetében Rolf állt a legközelebb Vincéhez. Itt 3, különálló magassági ciklon volt detektálható, melyek eleinte páronként a ciklon északi és déli oldalán, majd az utóbbi egyedül a ciklon keleti oldalán jelentős magassági szétáramlást idézett elő. A ciklon struktúrája 8-ára virradóan volt a legfejlettebb, ekkor a kiterjedt zivatarfelhőzet minden oldalról körülölelte a központot, de szemszerű képződmény itt nem fejlődött ki. Strukturálisan Zsanett bizonyult a legkevésbé fejlettnak, ugyanis hiába rendelkezett jól meghatározott, körszimmetrikus alacsonyszintű örvénnyel, a jelentősebb magassági szél rendre megakadályozta, hogy a zivatarfelhőzet szervezeten jelenjen meg ekörül. A zivatarképződés azonban itt is tartósnak és viszonylag erőteljesnek bizonyult a gátló körülmények ellenére is. Callisto esetében 30-án, a korzikai partot érése előtt kialakult egy szemszerű képződmény is, bár ez nem volt olyan határozott, mint Vince esetében. 29-én, valamint a két partot érés között, október 1-jén és 2-án pedig látható volt a határozott és szintén körszimmetrikus alacsonyszintű örvénylés is, időnként jelentősebb zivatar-képződéssel (*www.youtube.com - (30)*).

A szárazföldi, valamint a műholdas tengeri mérések minden esetben igazolták azt, hogy a ciklonokhoz jól szervezett, trópusi karakterisztikájú szélmező tartozott, körszimmetrikusan futó szélirányokkal, és a központhoz közeledve növekedő szélesebségekkel. A Vince hurrikán legerősebb időszakából közvetlen mérés nem volt elérhető, de a strukturális felépítése alapján valószínűsíthető, hogy - a hivatalosan megadott szél- és nyomásmérési adatoknak megfelelően - ez volt a legerősebb rendszer. Erősségben ezt a Rolf ciklon követte, mely környezetében mind a műholdképes, mind a szárazföldi mérések alapján 95-100 km/h körüli maximális szélesebségek álltak fenn. A műholdas mérések pedig igazolták a szélmező gyors átalakulását, mely 8-án este már teljesen trópusi jelleget öltött, egy szélcsendesebb központi maggal és az azt szimmetrikusan körülölelő erős szélzónával. Műholdas mérések a Zsanett ciklonról voltak még elérhetőek, ahol szintén megfigyelhető volt a szabályos szélmező. Mivel azonban ennek a ciklonnak az áramlási rendszere sokkal kisebb volt Rolfénál és maga a ciklon is gyengébb volt, továbbá még egy régebbi technológiájú, kevésbé pontos műhold által voltak elérhető adatok,

a szélsőségeket nem lehetett kielégítő pontossággal megbecsülni. Calliso esetében egyáltalán nem álltak rendelkezésre műholdas mérések, így a ciklon erejét csupán a kevés, Korzikán mért adattal lehetett megbecsülni, melyek csak korlátozott mennyiségben voltak elérhetőek. A 3 óránkénti légnyomás adatok alapján Ajaccióban 1002 hPa-os nyomásminimumot mértek, míg Cap Pertusatoban, közvetlenül egy tengerparti sziklán, 166 m magasan fekvő helyen a legerősebb átlagszél elérte a 89 km/h-t, a legerősebb széllökés pedig a 155 km/h-t (*www.infoclimat.fr* - (16)). Összehasonlításképpen, a 2014. november 7-én a Földközi-tenger déli része felett kialakult és szubtrópusi jellegű mediterrán ciklon központjában (mely szintén szemszerű struktúrát produkált) Linosa szigetén 3 óra leforgása alatt több, mint 10 hPa-t csökkent, majd emelkedett a légnyomás, ahogy ez a 40. ábrán látható. A 982 hPa-os minimális légnyomás előtt 12 UTC-kor még 996,4 hPa, 15 UTC-kor viszont már 995,0 hPa volt a légnyomás (16). Ennek megfelelően könnyen előfordulhat, hogy Calliso esetében is előfordult a megadott értékeknél akár jóval alacsonyabb légnyomás is, de erre vonatkozóan nem állnak rendelkezésre adatok.



40. ábra. Linosa-i légnyomásadatok 2014.11.07. (*www.infoclimat.fr*)

Rolf esetében mind az UKMet (Bracknell) analízis, mind a NOAA műholdas becslései alapján helytállónak tekinthető központi légnyomás adatok álltak rendelkezésre. A környező állomások adatai pedig igazolták a kis területre kiterjedő, de nagy mértékű nyomási gradienst a ciklonban. Ezt kisebb mértékben még a ciklon franciaországi partot érésekor is sikerült kimutatni, amikor az már jelentősen gyengült a korábbiakhoz képest. Zsanett esetében szintén csak part menti adatok álltak rendelkezésre, de még ezek is megegyezők, vagy kissé alacsonyabbak voltak az UKMet és a GFS reanalízis

központi légnyomás becsléseinél. Mivel a ciklon nem érte el a partot, így a központjában még alacsonyabb lehetett a légnyomás, bár a korábbiaknál jóval kisebb gradiens mellett. Összességében azonban mindhárom ciklonnál - illetve a Vince hurrikán esetében is - elmondható, hogy ha eltérő mértékben is, de a szél- és légnyomás adatok egyértelműen igazolták a trópusi jelleget.

Az ERA-Interim adatoknál a leghatározottabban trópusi jellegre utaló paraméter a 850 hPa-os relatív örvényesség volt. Ez mindegyik ciklonnál egy határozott, közel kör-szimmetrikus mezőként jelent meg, a környezetéhez képest kimagasló maximummal. Callisto és Zsanett esetében ez a maximum közelítőleg megegyezett a Vince esetében tapasztalttal, noha a Vince hurrikán elemzésekor utaltam rá, hogy ott közvetlenül a központban a reanalízis által adott értékekhez képest jóval magasabb lehetett az örvényesség. Mindezek alapján nem zárható ki hogy a két trópusi jellegű mediterrán ciklon esetében is magasabbnak bizonyult az örvényességi maximum. Rolf esetében igen erős örvényesség jelent meg, mely már jobban fedhette a valóságot. A 300 hPa-os divergencia szintén a Rolf ciklon estében mutatott határozott képet, illetve itt volt a legerősebb is. A többi ciklon esetén általában csak időlegesen jelelt meg divergens mezők, gyakran az északi oldalukon. A Vince hurrikán esetében tapasztalt, korábban leírt nagy időbeli eltéréseket azonban a mediterrán ciklonoknál egyik esetben sem lehetett tapasztalni. A vertikális átlaghőmérsékletben már nagyobb eltérések adódtak. Mind Vince, mind Zsanett esetében bár határozott meleg mag nem jelent meg, a környezetéhez képest némileg melegebb foltokat meg lehetett figyelni hozzájuk kapcsolódva. Callisto-nál még ez sem volt analizálható, a ciklonhoz kapcsolódóan általában a környezetéhez képest hidegebb volt a levegő. Mindezekkel szemben Rolf esetében határozott meleg mag jelent meg, mely a ciklon szinte teljes élettartamában fennmaradt. A reanalízisből kinyert adatok alapján egyértelműen Rolf mutatott leginkább trópusi jegyeket. Ugyanakkor felmerülhet a kérdés, hogy maguk az adatok mennyire tudják jól kezelni az ilyen kis méretű, de viszonylag összetett meteorológiai paraméterrendszerrel rendelkező ciklonokat. Valószínűsíthető, hogy a korábbi ciklonok esetében, főleg az 1983-as Callisto-nál nagyobb mértékű pontatlanságok is felmerülhetnek. Ezeket Vince esetében részlegesen igazolták is. Ennek egyik ága volt a korábban említett örvényességi vizsgálat. Kimutatták továbbá, hogy ha az úgynevezett ciklonfázis vizsgálatkor

alkalmazott 500 km-es átmérőjű kör helyett 350 km-eset alkalmaznak, mely jobban közelíti a ciklon valós méretét, a módszer határozottabban kimutatta, hogy a ciklon meleg maggal rendelkezett (*Robert E. Hart, 2003*), (*Francisco J. et. al., 2007*). Ezen vizsgálat arra is utal, hogy a kis méretű ciklonokat már olyan kis skálájú értékek jellemezhetik, melyeket még a $0,75 \times 0,75$ fokos felbontású reanalízis adatok sem képesek hűen visszaadni.

Mindezek alapján, az elsődleges és alapvető paraméterekre vonatkozó vizsgálataim szerint mindhárom ciklon trópusi tulajdonságokkal rendelkezett. A legnagyobb mértékben Rolf volt trópusi jellegű, noha ez alakult ki a leghidegebb víz felett.

7.2. További tervek

A dolgozatban elvégzett vizsgálatok mellett, nagyrészt a reanalízis adatokkal kapcsolatban tapasztalt bizonytalanságoknak, felmerülő kérdéseknek megfelelően a jövőben további elemzéseket is tervezek. A vizsgálatokat a három ciklon, illetve a Vince hurrikán esetében mindenképpen szeretném modellezésekkel kiegészíteni. Ez egyrészt az eredeti mezőkkel történne, megvizsgálva, hogy az utólagos modellezések mennyire tudják pontosan leírni a ciklonokat. Másrészt a modellezést szeretném egyes, előre meghatározott mezők (például az itt vizsgált 850 hPa-os relatív örvényesség vagy 300 hPa-os divergencia) kisebb változtatásával elvégezni, annak céljából, hogy a változásokra hogyan reagálnak a ciklonok. Céljaim között szerepel még, hogy a már említett, Hart által kidolgozott ciklonfázis számításokat minden ciklon esetében elvégezzem, egyrészt a módszerben eredetileg szereplő 500 km-es sugárral, másrészt pedig által a Vince hurrikánnál használt 350 km-es sugárral. Ezen vizsgálatok alapján együttesen lehetne beazonosítani, hogy a ciklonok frontális (aszimmetrikus) vagy frontmentes (szimmetrikus) struktúrával, illetve hideg vagy meleg maggal rendelkeztek-e. Továbbá szeretném még vizsgálni a jelen dolgozatban csak megemlített téli ciklonokat, melyek jóval hidegebb tengervíz felett fejlődtek ki. Ezek esetében feltehetőleg már nem teljes mértékben használható az itt leírt hibrid trópusi ciklon keletkezési elmélet, így szükséges lesz vizsgálni a légkörfizikai folyamatokat is.

Ábrák jegyzéke

1.	A hibrid trópusi ciklon kialakulásának első fázisa (saját készítésű ábra, John R. Gyakm munkája alapján)	7
2.	A hibrid trópusi ciklon kialakulásának második fázisa (saját készítésű ábra, John R. Gyakm munkája alapján)	7
3.	A hibrid trópusi ciklon kialakulásának harmadik fázisa (saját készítésű ábra, John R. Gyakm munkája alapján)	8
4.	Magassági áramlások a Vince szubtrópusi vihar környezetében 2005.10.09. 06:30 UTC (<i>www.nrlmry.navy.mil - (15)</i>)	11
5.	Magassági áramlások a Vince trópusi vihar környezetében 2005.10.09. 12:30 UTC (<i>www.nrlmry.navy.mil - (15)</i>)	11
6.	Magassági áramlások a Vince hurrikán környezetében 2005.10.09. 18:30 UTC (<i>www.nrlmry.navy.mil - (15)</i>)	12
7.	A Faroban mért légnyomásadatok 2005.10.10-én és 11-én (<i>www.infoclimat.fr</i>)	13
8.	Szélsébségek és -irányok a Kelet-Atlanti-óceánon 2005. október 5-én és 6-án (<i>manati.star.nesdis.noaa.gov</i>)	14
9.	Szélsébségek és -irányok a Kelet-Atlanti-óceánon 2005. október 7-én és 8-án (<i>manati.star.nesdis.noaa.gov</i>)	15
10.	Szélsébségek és -irányok a Kelet-Atlanti-óceánon 2005. október 9-én és 10-én (<i>manati.star.nesdis.noaa.gov</i>)	16
11.	A 975-500 hPa-os réteg átlaghőmérsékletének alakulása a Vince ciklon környezetében 2005.10.08. 06 UTC és 2005.10.11. 06 UTC között . . .	17
12.	A 850 hPa-os örvényesség alakulása a Vince ciklon környezetében 2005.10.08. 06 UTC és 2005.10.11. 06 UTC között	18
13.	A 300 hPa-os divergencia alakulása a Vince ciklon környezetében 2005.10.08. 12 UTC és 2005.10.11. 12 UTC között	19
14.	Tengervíz-hőmérséklet a Vince hurrikán környezetében 2005.10.09-én .	20
15.	Tengervíz-hőmérséklet a Vince hurrikán környezetében 2005.10.11-én .	21

16.	Magassági áramlások a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.18. 08:00 (<i>oiswww.eumetsat.org - (21)</i>)	24
17.	Magassági áramlások a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.18. 11:00 (<i>oiswww.eumetsat.org - (21)</i>)	25
18.	Líbiai légnyomásadatok 2007.10.18. (<i>www.infoclimat.fr</i>)	26
19.	A WindSAT műhold által mért szélességek a Zsanett ciklonban 2007.10.18- án és 19-én (<i>manati.star.nesdis.noaa.gov</i>)	26
20.	A 975-500 hPa-os réteg átlaghőmérsékletének alakulása a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.15. 00 UTC és 2007.10.16. 12 UTC között . . .	27
21.	A 975-500 hPa-os réteg átlaghőmérsékletének alakulása a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.17. 00 UTC és 2007.10.19. 12 UTC között . . .	28
22.	A 850 hPa-os relatív örvényesség a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.15. 00 UTC és 2007.10.16. 12 UTC között	29
23.	A 850 hPa-os örvényesség alakulása a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.17. 00 UTC és 2007.10.19. 12 UTC között	29
24.	A 300 hPa-os divergencia alakulása a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.15. 00 UTC és 2007.10.16. 12 UTC között	30
25.	A 300 hPa-os divergencia alakulása a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.17. 00 UTC és 2007.10.19. 12 UTC között	31
26.	Tengervíz-hőmérséklet a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.16-án . .	32
27.	Tengervíz-hőmérséklet a Zsanett ciklon környezetében 2007.10.18-án . .	32
28.	Magassági áramlások a Rolf ciklon környezetében 2011.11.07. 18 UTC- kor és 2011.11.08. 00 UTC-kor (<i>www.nrlmry.navy.mil - (15)</i>)	34
29.	Magassági áramlások a Rolf ciklon környezetében 2011.11.08. 06 UTC- kor és 2011.11.08. 12 UTC-kor (<i>www.nrlmry.navy.mil - (15)</i>)	35
30.	Magassági áramlások a Rolf ciklon környezetében 2011.11.08. 18 UTC- kor és 2011.11.09. 00 UTC-kor (<i>www.nrlmry.navy.mil - (15)</i>)	36
31.	Lényomás adatok a Rolf ciklon környezetében 2011.11.05. - 2011.11.09. (<i>www.infoclimat.fr</i>), (<i>www.wetter3.de</i>)	37

32.	Az ASCAT műhold által mért szélsőségek a Rolf ciklonban 2011.11.07-én és 08-án (<i>manati.star.nesdis.noaa.gov</i>)	39
33.	A 975-500 hPa-os réteg átlaghőmérsékletének alakulása a Rolf ciklon környezetében 2011.11.07. 06 UTC és 2011.11.09. 06 UTC között . . .	40
34.	A 850 hPa-os örvényesség alakulása a Rolf ciklon környezetében 2011.11.07. 06 UTC és 2011.11.09. 06 UTC között	41
35.	A 300 hPa-os divergencia alakulása a Rolf ciklon környezetében 2011.11.07. 18 UTC és 2011.11.09. 00 UTC között	42
36.	Vertikális metszet (szélsőség és hőmérséklet-advekció) a Rolf ciklon környezetében 2011.11.08. 12 UTC-kor - fekete vonalak: izentrópok, vékony narancssárgás vonalak: szélsőség, piros és kék vonalak: pozitív és negatív hőmérsékleti advekció	43
37.	Vertikális metszet (konvergencia és divergencia) a Rolf ciklon környezetében 2011.11.08. 12 UTC-kor - fekete vonalak: izentrópok, vastag és folytonos piros vonalak: konvergencia, vékony és szaggatott piros vonalak: divergencia	44
38.	Tengervíz-hőmérséklet a Rolf ciklon környezetében 2011.11.07-én	45
39.	Tengervíz-hőmérséklet a Rolf ciklon környezetében 2011.11.09-én	45
40.	Linosa-i légnyomásadatok 2014.11.07.	48

Hivatkozások

- [1] Erik Rasmussen (1987): *A subsynoptic vortex over the Mediterranean with some resemblance to polar lows*, Tellus 39A, 408-425. oldal
- [2] Francisco J. Tapiador, Miguel A. Gaertner, Raquel Romera, Manuel Castro (2007): *A Multisource Analysis of Hurricane Vince*, American Meteorological Society July 2007, 1027-1032. oldal
- [3] Gibson J. K., Kallberg P., Uppala S., Nomura A., Hernandez A., Serrano A. (1997): *ERA Description*, ECMWF Reanalysis Project Report Series No. 1; 77.
- [4] John R. Gyakm (2010): *Subtropical and Hybrid Systems* (előadás)
http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/tmr/otherfileformats/documents/1_6JRGyakum.pdf
- [5] K. Emanuel (2005): *Genesis and maintenance of Mediterranean hurricanes*, Advances in Geosciences 2, 217-220. oldal
- [6] Vaquero J. M., García-Herrera R., Wweeler D., Chenoweth M., MOock C. J. (2008): *A Historical Analog of 2005 Hurricane Vince*, Bulletin of the American Meteorological Society 89 (2) 191201. oldal
- [7] Robert E. Hart (2003): *A Cyclone Phase Space Derived from Thermal Wind and Thermal Asymmetry*, Monthly Weather Review 131, 581-613. oldal
- [8] William M. Frank (1977): *The Structure and Energetics of the Tropical Cyclone I. Storm Structure*, Monthly Weather Review 105, 1119-1135. oldal

Internetes hivatkozások:

- [9] *NHC Hurricane Vince Discussion Number 2* [2014.10.04.]
<http://www.nhc.noaa.gov/archive/2005/dis/al232005.discus.002.shtml?>
- [10] *NHC Tropical Cyclone Report Hurricane Vince* [2014.10.04.]
http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL242005_Vince.pdf

- [11] *NHC Tropical Cyclone Report Hurricane Epsilon* [2014.10.04.]
http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL302005_Epsilon.pdf
- [12] *NHC Tropical Cyclone Report Database* [2014.01.20.]
<http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/index.php?>
- [13] *Wetterzentrale.de - NWS-Nordatlantik-Bodenanalysen* [2014.01.20.]
<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/tkfaxnwsar.htm>
- [14] *Wikipedia - Atlantic Hurricane Seasons Database* [2014.01.20.]
http://en.wikipedia.org/wiki/Atlantic_hurricane_season
- [15] *Naval Research Laboratory Satellite Imagery* [2011.11.15.] (Rolf), [2013.12.07.] (Vince)
<http://199.9.2.143/tcdat/>
- [16] *Infoclimat.fr Climatologie mensuelle* [2014.01.10.]
<http://www.infoclimat.fr/stations-meteo/analyses-mensuelles.php>
- [17] *QuikSCAT/SeaWinds Scatterometer Data* [2014.01.10.]
<http://manati.star.nesdis.noaa.gov/datasets/QuikSCATData.php>
- [18] *Wetter3.de - Archiv-Version des Animationstools* [2014.11.25.]
<http://www.wetter3.de/Archiv/>
- [19] *Wikipedia - Mediterranean Tropical Cyclone Database* [2013.12.20.]
http://en.wikipedia.org/wiki/User:Atomic7732/Mediterranean_tropical_cyclone
- [20] *EUMETSAT - Development of a tropical storm in the Mediterranean Sea (6-9 November 2011)* [2014.01.13.]
http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/iotm/iotm/20111108_tropstorm/20111108_tropstorm.html
- [21] *EUMETSAT - Development of a tropical storm in the Mediterranean Sea (6-9 November 2011) - az esettanulmány végén található videóválogatásból* [2014.01.13.]
oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/iotm/iotm/20111108_tropstorm/2007_10_18_0730-1545_m9_ch12_loop.avi

- [22] *WindSat/Coriolis Measurements* [2014.01.10.]
<http://manati.star.nesdis.noaa.gov/datasets/WindSATData.php>
- [23] *Freie Universität Berlin - Wetterpate* [2014.01.20.]
http://www.met.fu-berlin.de/wetterpate/Lebensgeschichten/Tief_ROLF_04_11_11.htm
- [24] *Storm2k.org Forum - Mediterranean Sea: 01M NONAME* [2014.01.20.]
<http://www.storm2k.org/phpbb2/viewtopic.php?p=2204778#p2204778>
- [25] *2011 Tropical Bulletin Archive - Mediterranean Sea szakasz* [2014.01.20.]
<http://www.ssd.noaa.gov/PS/TR0P/2011/bulletins/archive.html>
- [26] *Wetter3.de - Ukmet Analyse Archiv* [2014.01.20.]
http://www.wetter3.de/Archiv/archiv_ukmet.html
- [27] *Advanced Scatterometer (ASCAT METOP-A)* [2014.01.20.]
<http://manati.star.nesdis.noaa.gov/datasets/ASCATData.php>
- [28] *Eumetrain.org* [2014.11.15.]
<http://www.eumetrain.org/eport/view.php?width=1366&height=768&date=2011110812®ion=euro>
- [29] *NHC Tropical Cyclone Report Tropical Storm Grace* [2014.11.22.]
http://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL092009_Grace.pdf
- [30] *YouTube video - Mediterranean Warm Core Cyclone* [2014.01.03.]
<https://www.youtube.com/watch?v=Y0B0Jhu35DE>

8. 1. Függelék

Jelen dolgozatot saját indíttatásom alapján önállóan kezdtem el készíteni 2013-ban, még mielőtt felvételt nyertem volna az Eötvös Lóránd Tudományegyetemre. A téma-választás személyes érdeklődésem alapján történt, mivel a trópusi jellegű mediterrán ciklonok iránt már több éve érdeklődök, és a 2011-es Rolf ciklont végig is követtem "élőben" az akkori műholdképek, adatok segítségével. A témát azért tartom fontosnak, mivel eddig viszonylag kevés elemzés készült ezekről a ciklonokról, noha gyakran a hagyományos trópusi ciklonokhoz hasonló károkkal járnak a Földközi-tenger menti településeken. Ezért szükséges a megtörtént esetek minél teljesebb vizsgálata, melyek alapján a jövőben akár az előrejelzéseket is pontosítani lehet. A dolgozat első vizsgálati lépését, a műholdképek, valamint a szárazföldi és műholdas meteorológiai adatok felkutatását és elemzését többnyire a 2013-as év végén és a 2014-es év elején végeztem el, illetve folyamatosan bővítettem az írásomat újabb adatokkal egészen 2014 nyaráig. Ez alapján 2014 szeptemberére, mire megkezdtem az ELTÉ-n Meteorológus MSc. tanulmányaimat, már kialakult a dolgozat alapvető váza. Ekkor kerestem meg a leendő témavezetőmet, aki támogatta a dolgozatot, és közösen kialakítottuk a további terveket. Ez alapján a továbbiakban szintén önállóan végeztem el az ECMWF reanalízisből az általam meghatározott meteorológiai adatok letöltését és feldolgozását 2014 októberének végén, miután a GrADS szoftver kezeléséhez elegendő alapvető programozási ismereteket szereztem az e tárgyú tanórán. A dolgozatot 2014. november 30-án fejeztem be. Az eredmények igazolták az előzetes várakozásomat, vagyis mindhárom megvizsgált trópusi jellegű mediterrán ciklon rendelkezett trópusi tulajdonságokkal, legalább akkora mértékben, mint a Vince hurrikán.