

# NEM MEZOCIKLONÁLIS TUBÁK ÉS TORNÁDÓK MAGYARORSZÁGON

**SZAKDOLGOZAT**

**FÖLDTUDOMÁNY ALAPSZAK  
METEOROLÓGIA SZAKIRÁNY**



**Készítette: Tordai János**

**Témavezető: Polyánszky Zoltán,  
Országos Meteorológiai Szolgálat**

**Konzulens: Dr. Pongrácz Rita,  
ELTE Meteorológiai Tanszék**

**Eötvös Loránd Tudományegyetem  
Meteorológiai Tanszék**

**Budapest, 2010**

# Tartalomjegyzék

<b>1. Bevezetés .....</b>	<b>3</b>
<b>2. A téma múltja és jelene .....</b>	<b>5</b>
2.1 A téma múltja és jelene az Egyesült Államokban .....	5
2.2 A téma múltja és jelene Magyarországon.....	8
<b>3. Nem mezociklonális tornádók kialakulása és megfigyelése .....</b>	<b>12</b>
3.1 Radaros és vizuális megfigyelés.....	12
3.2 A kialakulásuk és az ahhoz szükséges környezeti feltételek .....	13
<b>4. Nem mezociklonális tornádótípusok .....</b>	<b>17</b>
4.1 Landspout .....	17
4.2 Cold pool vortex .....	18
4.2 Gustnado.....	18
4.4 Fair weather vortex .....	19
<b>5. A vizsgálat módszere .....</b>	<b>21</b>
<b>6. Esettanulmányok .....</b>	<b>23</b>
6.1 Esettanulmány: 2007.05.15-i gustnado .....	23
6.2 Esettanulmány: 2007.05.28-i nem mezociklonális tuba.....	27
6.3 Esettanulmány: 2007.05.30-i nem mezociklonális tuba.....	32
6.4 Esettanulmány: 2007.08.11-i nem mezociklonális tuba.....	36
6.5 Esettanulmány: 2007.08.20-i nem mezociklonális felhő- és víztölcsér .....	41
6.6 Esettanulmány: 2007.09.11-i nem mezociklonális tuba.....	44
<b>7. Összefoglalás.....</b>	<b>47</b>
<b>Köszönetnyilvánítás .....</b>	<b>49</b>
<b>Irodalomjegyzék.....</b>	<b>50</b>
<b>1. függelék: A Fujita skála .....</b>	<b>54</b>
<b>2. függelék: A TORRO skála .....</b>	<b>55</b>

# 1. Bevezetés

Az utóbbi évek híradásaiból egyre többen szembesülnek azzal a ténnyel, hogy Magyarországon igenis előfordulnak tornádók, sőt, évente több tíz eset is feljegyezhető. Az elmúlt években a médiában egyre nagyobb figyelmet kapnak a heves időjárási események, viharvadászokkal készítenek interjút, egész oldalas cikkek jelennek meg időjárás témában egy-egy eseménydúsabb nap után. Az ezredforduló után indult, mára már több tízezer vizuális amatőr megfigyelőt tömörítő időjárási weboldalak észlelései, az Internet, illetve a digitális technika használatának elterjedése együttesen segítik az olyan kisskálájú jelenségek kutatását, mint amilyenek a tornádók.

A legintenzívebb tornádók ugyan gyakran szupercellás zivatarok mezociklonjával hozhatók összefüggésbe (*Fujita, 1981*), azonban térségünkben is kialakulnak pusztítást okozó tornádók szupercella kialakulásához kedvezőtlen környezetben (*Polyánszky és Molnár, 2007; Caruso és Davies, 2005*). Előzetes vizsgálatok alapján ezek aránya térségünkben a mezociklonális típuséhoz képest akár nagyobb is lehet (*Polyánszky és Molnár, 2007*). A nem mezociklonális folyamatok (*Brady és Szőke, 1989*) révén kialakuló tornádókat időnként "nem szupercellás" (*Wakimoto és Wilson, 1989*) vagy "landspout" (*Bluestein, 1985*) kifejezéssel illetik.

Vizsgálataink során a 2007. évben feljegyzett 6 esetből 4 felhőtölcséres, 1 tornádós és 1 ún. gustnado-s eset került feldolgozásra. Minden esetet sikerült fotón vagy videofelvételen is megörökíteni, valamint minden alkalomról részletes beszámolót is kaptunk az észlelőtől. Többek között feldolgoztuk a 2007.05.15-én, Domoszlón észlelt esetet, ahol a vizsgálatok szerint egy downburst, illetve annak peremén feltételezhetően kialakult gustnado okozott jelentős kárt, egy házról teljesen letépte a tetőszerkezetet, többet súlyosan megrongált és fákat csavart ki. A rákövetkező év 2008.08.24-én Ipolytarnócon F1-es erősségű (*Fujita, 1973*) nem mezociklonális tornádó pusztított, útja során 15 ház tetejét rongálta meg, személyi sérülés szerencsére nem történt.

A feldolgozáshoz radar- és műholdképek, szinoptikus talaj- és magassági térképek állnak rendelkezésre, illetve olyan speciális nagy felbontású konvektív paraméter analízis térképeket számítottunk ki a 10 km-es felbontású WRF modell (*Skamarock et al., 2008*), illetve a magyarországi automata mérőhálózat adatainak asszimilálásával, amelyek a konvektív folyamatokhoz köthető jelenségek kialakulásának környezeti feltételeit jól közelítik.

Vizsgálataink célja, hogy a térségünkben is pusztítást okozó tornádótípus előrejelzési módszereit fejlesszük, az ezeket kialakító környezeti feltételeket jobban megismerjük. Ezáltal lehetőség nyílik a hatékonyabb felkészülésre és kármegelőzésre, melynek elsősorban az élet- és vagyonvédelem szempontjából van nagy jelentősége.

A szakdolgozatban az amerikai és a hazai szakirodalom áttekintése után a nem mezociklonális tornádók kialakulását és ennek szükséges környezeti feltételeit részletezem a 3. fejezetben. Az ilyen tornádókat négy osztályba sorolhatjuk, amelyek alapvető tulajdonságait a 4. fejezetben foglalom össze. Az 5. és 6. fejezetben vizsgálataim módszerét, majd 2007-ből konkrét esettanulmányokat mutatok be. Végül a 7. fejezetben összegzem eredményeimet, szakdolgozati munkám legfontosabb következtetéseit.

## 2. A téma múltja és jelene

### 2.1 A téma múltja és jelene az Egyesült Államokban

*Alfred Wegener* 1917-ben így definiálta a tornádót:

„Nagy vertikális tengelyű örvény, amely a Cumulonimbus felhő alapjától a földfelszínig ér, amely a kondenzálódó vízgőz következtében teljesen vagy részben látható. Az alsó részét tölcsér vagy oszlop alakban por is megfestheti. Haladási útvonalának szélessége jellemzően 100 méteres nagyságrendű, az örvény felé irányuló erőteljes konvergencia - melyet az örvényben jelentősen lecsökkent légnyomás okoz - eredményezi általában a károkozást, melyhez fogható erősségűt még a legnagyobb és legerősebb viharok során sem tapasztalni.”

A sokáig leggyakrabban idézett, tornádóra vonatkozó definíciót 1959-ben *Huschke* alkotta meg: „Cumulonimbus felhőből lenyúló, hevesen örvénylő légoszlop, amely szinte mindig észlelhető tuba vagy felhőtölcsér formájában.” *Huschke* definícióját *Glickmann* pontosította 2000-ben a *Glossary of Meteorology* második kiadásában: „A talajjal kapcsolatban álló, hevesen örvénylő légoszlop, amely gomolyos szerkezetű felhőből nyúlik le vagy az alatt található. Gyakran, de nem mindig látható felhőtölcsér formájában.”

Az Amerikai Egyesült Államokban kezdetektől fogva nagy hangsúlyt fektettek a heves időjárási események kutatására. A tornádók által okozott közvetlen és közvetett károk *Brooks* és *Doswell* (2000) kimutatása alapján 1950 és 1995 között évente átlagosan 420 millió dollár körül alakultak. Az évente keletkező jégkárok átlagosan 1,2 milliárd dollárra becsülhetők (*Changnon*, 1999). Az eddigi legnagyobb anyagi kárt egy F5-ös (1. függelék) (*Fujita* és *Pearson*, 1973) tornádó okozta, amely 1999-ben Oklahoma City Moore nevű külvárosát rombolta porig, a becslések alapján 1 milliárd dollár feletti pusztítást végzett (*Branick*, 1994). A legnagyobb jégesős pusztításra 1990 júliusában, Denverben került sor 625 millió dollárnyi értékben.

Néha olyan esetek is előfordultak, melyeket a meteorológusok akkori tudásukkal nem tudtak megmagyarázni. *Davis-Jones* és *Kessler* (1974) munkájában két tornádótípust határozott meg, egyik az ún. „flanking-line típus”, melyet *Bates* (1968) írt le, másik pedig a hagyományos, szupercellához köthető tornádó. Szupercellának nevezzük az olyan zivatarokat, amely tartós középszintű mezociklonnal rendelkezik, és amelynek örvényessége eléri a  $10^{-2}$  1/s értéket (*Doswell*, 1996). Flanking-line-nak, a szupercella hátoldali leáramlási

területének peremén, a felszínre leáramló levegő okozta konvergenciát értjük, amely mentén gomolyfelhők törnek a magasba (*Browning és Donaldson, 1963*).

*Burgess és Donaldson (1979)* szintén elválasztotta egymástól a mezociklonális és a nem mezociklonból kialakuló tornádókat:

- a) Tornádók, melyek a zivatar életének korai stádiumában nem mezociklonból fejlődnek ki. Ezek általában kisebbek, gyengébbek és rövidebb élettartamúak.
- b) Doppler radar által is azonosítható, mezociklonból kifejlődő tornádó, mely a zivatar fejlett állapotában jelenik meg, nagyobb és erősebb, mint az előző típus.

1983-ban *Forbes és Wakimoto* egy olyan F2-es és F3-as tornádót vizsgált, melyek nem elégítették ki *Huschke* 1959-es definíciójában megfogalmazottakat. Továbbá számos olyan tornádót figyeltek meg, amelyek nem produkáltak tölcsérfelhőt, és nem is mind Cumulonimbus felhőből nyúltak le. Így új definíciót javasoltak:

*„Egy örvényt akkor nevezünk tornádónak, ha 1) legalább F0-ás mértékű kárt okoz, vagy hasonló károkozásra képes szélsébség jellemzi és 2) keletkezése a zivatar szélmezejével áll kapcsolatban vagy annak mezoskálájú sajátosságaival, mint például a gust front vagy a flanking-line.”* (*Forbes és Wakimoto, 1983*)

1985-ben *Bluestein* vezette be a landspout kifejezést, amelyet a gomolyfelhők alatt gyorsan fejlődő tornádókra használt, melyek a víztölcséreknek szárazföldi megfelelői. *Wilson (1985)* további esettanulmányokat készített „gyanús” esetekről. Doppler radaros mérésekhez kifejlesztették az ún. „tornado vortex signature” (tornádó örvényességi jel) nevű algoritmust, mellyel meghatározható az erős mezociklon jelenléte. Meghatározásához a radar pozíciójához viszonyított szélmezőben egyfajta iránybeli és erősségbeli változás szükséges. Számos vizsgált forgósél azonban e módszer alapján nem volt szignifikáns, mert az örvény közép szinten nem volt detektálható és a legalább 3 km-es vertikális kiterjedést sem érte el (*JDOP Staff, 1979*).

*Wilson* 1985-ös tanulmányában olyan tornádókeletkezésre mutatott rá, mely nem a lehulló csapadék által generált szélnyírási környezetben alakult ki. *Müller* 1987-es munkájában, a zivataros kifutósél dinamikáját igyekezett feltárni. A tudomány eljutott odáig, hogy új terminológiát alkotott.

*Wakimoto és Wilson (1988)* a „nem szupercellás tornádó”-kat, *Brady és Szőke (1989)* a „nem mezociklonális tornádó”-kat igen részletesen elemezték tanulmányukban. Azóta az

elmúlt 20 év alatt rengeteg esettanulmány született, ezáltal egyre jobban megismerjük a jelenségkörét. A numerikus modellezés fejlődése újabb áttörést hozott, megemlítendő *Lee* és *Wilhelmson* írása, mely „Nem szupercellás tornádóképződés numerikus szimulációja” címmel jelent meg 1995-ben.

*Doswell* és *Burgess* foglalták össze 1993-ban megjelent tanulmányukban az addigi eredményeket s megkísérelték korrektül osztályozni a nem mezociklonális tornádókat. Ezen tornádó típusok ugyan nem mezociklonhoz kapcsolódnak, de ez nem feltételen jelenti azt, hogy adott esetben kevesebb emberéletet, vagy kárt okoznának, vagy rövidebb lenne az élettartamuk. Példa erre a *Caruso* és *Davies* (2005) által vizsgált 2004-es eset, amikor is augusztus 27-én a Kansas állambeli Wellingtonban 20 percig érintette az F2-es erősségű tölcsér a talajt.

2006-os cikkében *Szőke et al.* a Denver környéki radarhálózat bővítését szorgalmazta, miután felülvizsgálta 1984-ben írt tanulmányát, amely a Denver környéki konvergencia, örvényes területről (Denver Convergence and Vorticity Zone - DCVZ) szól. Speciálisan délkeleti áramlás esetén ezen a területen a domborzat miatt kialakul egy alacsony szintű konvergencia és örvényességi terület. Ez pedig kiváló táptalajként szolgál a nem szupercellás tornádók keletkezésének. (*Szőke et al.*, 1984)

## 2.2 A téma múltja és jelene Magyarországon

A magyarországi szakirodalom áttekintésénél már nem tudunk olyan régre visszanyúlni, mint ahogyan azt az Egyesült Államok esetében tettük. A legerősebb hazai tornádó, melyet megfigyeltek és dokumentáltak, 1924-ben Biatorbágy és Vác között rombolt, erősege alapján valószínűleg az F4-as kategóriába sorolható. Korabeli híradások szerint Bia településen 450-ből 400 ház esett áldozatául az eseménynek. (1. ábra)



1. ábra - Utcakép Bián a pusztítás után. Forrás: Vörösvári Újság, IV. évf., 7. szám

Hazánkban tornádókkal első ízben Kecskés László biatorbágyi tanár foglalkozott, akinek 1988-ban a *Léggör* folyóiratban jelent meg a *Tornádók és előfordulásuk Magyarországon* című cikke. Ebben még a következő definíciót használja a tornádóra: „A tornádó nagy intenzitású, kis horizontális kiterjedésű ciklonális örvény, amely a zivatarfelhőből a talaj irányába terjed.” Itthon jóval szerényebb adatbázis állt rendelkezésre kutatásaihoz, hiszen 1889 és 1972 között Magyarországon mindössze 17 esetet jegyeztek fel. Megvizsgálta ezen esetek során a tornádók haladási sebességét, vonulási irányát és pályaszélességét. Arra a következtetésre jutott, hogy a magyarországi esetek átlagosan gyengébbek amerikai társaiknál.

1997-ben, egyesült államokbeli útjáról hazatérve Dr. Horváth Ákosnak jelent meg cikke a témában. Három eseményt vizsgált írásában, az 1996. június 21-i somogyi, az 1995. június 1-i jászági és az 1997. november 11-i kunszentmártoni tornádókat. Az utóbbi a legelső olyan eset, amelyről videofelvétel is készült. A somogyi egy lassan mozgó északnyugati



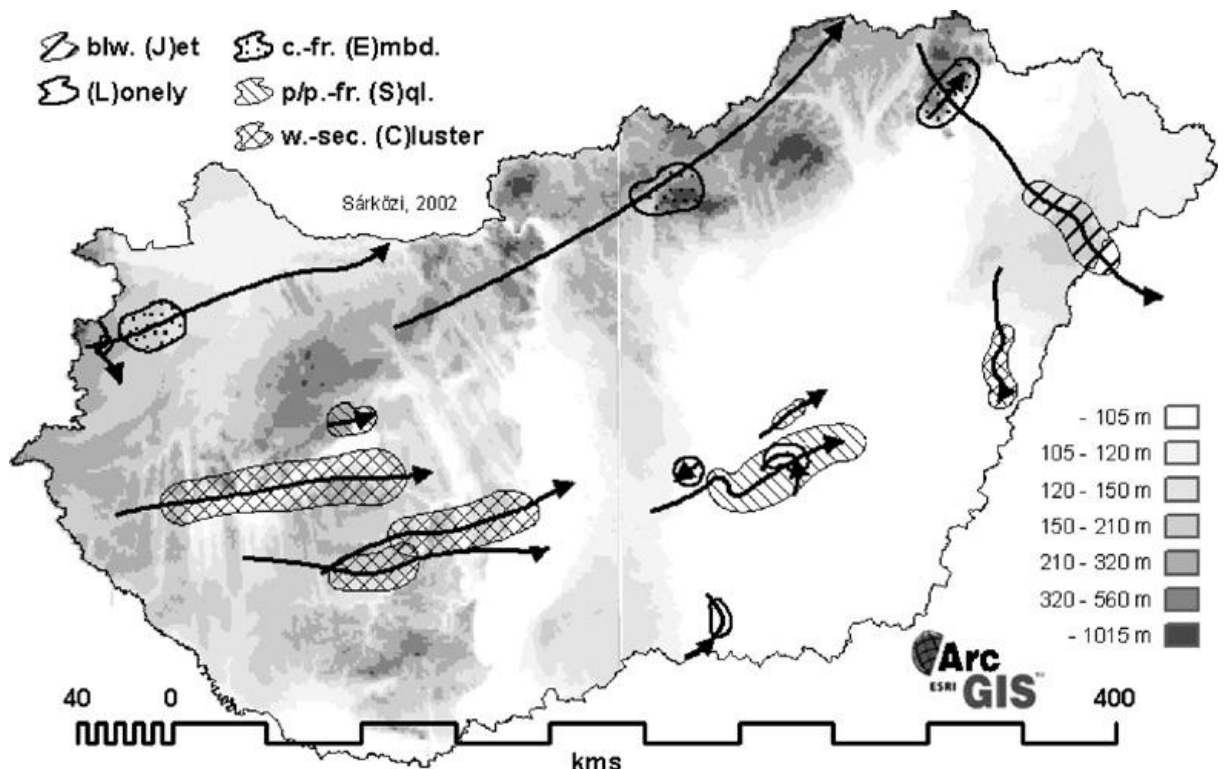
hidegfrontoz, a jászági egy délnyugati instabilitási vonalhoz, a kunszentmártoni pedig egy délnyugat-északkelet irányban húzódo konvergenciavonalhoz kapcsolódott. Megállapította, hogy mindhárom esetben a dinamikus és a nedves instabilitás megfelelő aránya játszott szerepet a tornádó kialakulásában. A három esetből a legnagyobb pusztítást a harmadik végezte: mintegy 50-150 méter széles sávban 10 percen át tevékenykedett.

Diplomamunkájában *Bötkös Tamás* (1998) szintén említést tesz arról, hogy tornádók mezociklon jelenléte nélkül is kialakulhatnak. Kialakulásukat kétfelé típusba sorolja, az első lehetőség, hogy Cumulus felhő alatt a konvekció és a planetáris határrétegben kialakult örvényességi maximum metszésbe kerülnek egymással. Másik esetben pedig a felhőben lévő rotáció és valamilyen felszíni kényszer (kifutószél) lép egymással kölcsönhatásba.

Az első Kárpát-medencében jól dokumentált eset, mely feltételezhetően nem mezociklonális eredetű, 2002. június 10-én, Nagyszalontán történt. Egy a zárt felhőtakaró alatt kialakuló Cumulus congestusból a felhőalaptól 400 méter mélyre lenyúló tubát figyelt meg *Kósa-Kiss Attila*, mely esetre *Horváth Ákos* adott magyarázatot. Azaz a dinamikus és nedves instabilitás mellett az alacsonyszintű konvergencia is legalább olyan fontos szerepet játszik mezociklonális és nem mezociklonális tornádók keletkezésékor. Ezek viszont általában jóval gyengébbek szupercellás társaiknál (*Kósa-Kiss és Horváth*, 2002).

Csaknem másfél évtizeddel ezelőtt, 1995-ben *Molnár Károly* saját erejéből adatgyűjtésbe kezdett. Az 1889-től 1993-ig tartó periódusban a történelmi Magyarország területén feljegyzett mindössze 18 darab tornádót sikerült jócskán felülmúlnia, hiszen 1995 és 1998 között 23 tornádós napot jegyzett fel, összesen 34 darab tornádóval. Ez alapján elmondható, hogy a vizsgált 4 évben durván 50-100-szor nagyobb volt a dokumentált éves tornádógyakorosság, mint korábban. *Tuba Zoltán* (2003) diplomamunkájában öt különböző napon hat különböző esetet vizsgált. Általában elmondható, hogy mindegyik esetekben rendelkezésre állt a megfelelő erősségű légköri labilitás és szélnyírás szupercella kialakulásához, ezek közül négy alkalommal egy-egy határozott konvergenciavonal is segíthette a tornádó kialakulását.

*Sárközi Szilárd* 2005-ben összesen 18 esetet vizsgált meg, melyek 1996 és 2001 fordultak elő. A tornádók által okozott károk ebben az időszakban növekedtek, amely a polgári védelem helyreállítási munkálataiból származó kiadások és a köztulajdonban esett károokra vonatkozó követelések alapján volt látható. Vizsgálatai szerint leggyakrabban májustól júniusig, általában késő délután fordulnak elő hazánkban tornádók, melyek fő vonulási iránya délnyugat-északkeleti tengelyű (2. ábra).



2. ábra – 1996 és 2001 közötti olyan zivatarok útvonala, melyek tornádót is produkáltak.

(Sárközi, 2002)

Sárközi 5 szinoptikus helyzetbe sorolta az eseteket: (1) A jet-típus, (2) a magányos típus, (3) a melegszeletorban képződő zivatarláncok, (4) a hidegfrontba beágyazottak és (5) a squall-line-típusúak. A jet-típusú helyzetben hazánk felett húzódik egy erős poláris jet, miközben meleg és nedves levegő tölti ki az alacsonyabb szinteket. A leggyakoribbnak bizonyuló magányos-típus (18-ból 7 eset) esetben mizoskálájú izolált cellák figyelhetők meg az instabil légkörben. Erre a típusra jellemző, hogy a zivatarok útjuk során egy éles kanyart tesznek meg. Az esetek negyedét az úgynevezett melegszeletorban képződő zivatarláncok adják, amely esetében az északnyugati irányból érkező hidegfront az Alpok hatására lelassul. A megnövekvő instabilitás hatására heves és jól szervezett zivatarrendszerek alakulnak ki. A hidegfrontba beágyazódó típusban, az Északi-Kárpátok hátráltatja vagy akadályozza meg a front hazánkon történő áthaladását, ekkor mezo- $\alpha$  skálájú instabilitási vonalak lépnek be az országba. Squall-line-típusú helyzetben a tornádó hidegfront előtti squall-line-on vagy front utáni instabilitási vonalon alakult ki. Erősségüket a TORRO skála (2. függelék) alapján becsülte.

Polyánszky Zoltán diplomamunkájában (2004) - mely a Kárpát-medencében előforduló szupercellákkal foglalkozik - röviden kitér a nem szupercellákból kialakuló tornádók kialakulásának fizikai feltételeire is. Ha egy konvergenciavonal mentén, a horizontális szélnyírás hatására létrejött vertikális tengelyű örvényességi maximum egybeesik

a konvergenciavonalon kialakult feláramlási maximummal, akkor a képződő örvény akár tornádóvá is fejlődhet.

*Polyánszky és Molnár (2007)* 6 olyan magyarországi esetet vizsgált, mely során tuba, vagy tornádó fordult elő. Ezekről egyértelműen bizonyítható, hogy nem mezociklonhoz kapcsolódtak. Minden esetben jelen volt egy konvergenciavonal, vagy egy konvergencia zónát kialakító okklúziós front. Ezek az összeáramlási zónák stacionáriusak voltak, általában már órákkal a megfigyelt eset előtt a térségben húzódtak. A nem mezociklonális esetek másik feltétele az alacsonyszinten realizálódó labilitás, a vertikális hőmérsékleti gradiens értékei 0,8-1,3 °C/100 m között szóródtak.

*Polyánszky (2009)* a 2005, 2006, 2008 és 2009-es nem mezociklonális tubás, tornádós esetek környezeti feltételeit vizsgálta az ECSS<sup>1</sup> konferenciára készített poszterén. Ezek közül kizárta a potenciálisan gustnádós eseteket. Következtetéseiben leírja, hogy a kiszámolt konvektív paraméterek (0-3 km-es CAPE<sup>2</sup>, 10 m-es nedvességkonvergencia, stb.) bár alkalmasak lehetnek e jelenségek potenciáljának megállapítására, nagyságukból nem lehet egyértelműen következtetni a tubák, tornádók erősségére, illetve adott esetben kialakulási helyére sem. Ennek oka feltételezhetően nagyjából a kisebb skálájú folyamatokban rejlik (10 km-es vagy azt meghaladó nagyságrendű folyamatokat vizsgált), így további vizsgálatokat tartott szükségesnek. A környezeti feltételek erőssége alapján feltételezte, hogy hazánkban e típusú tornádók a mezociklonális társaiknál akár nagyobb arányban is előfordulhatnak.

---

<sup>1</sup> ECSS: European Conference on Severe Storms (Európai konferencia a heves zivatarok témakörében)

<sup>2</sup> CAPE: Convective Available Potential Energy (hozzáférhető konvektív potenciális energia)

### 3. Nem mezociklonális tornádók kialakulása és megfigyelése

A 2002-es európai heves zivatarok témakörében rendezett konferencia (ECSS) szervezői a 28 országból érkező résztvevőket kérték meg, hogy nyilatkozzanak az országukban előforduló tornádók számáról. Az összesített dokumentált esetek alapján Európában hétszer kevesebb tornádót figyelnek meg, mint az Egyesült Államokban (169/1170). A résztvevők által megadott becsléseket is figyelembe véve viszont már csak négyszer kevesebb tornádó fordul elő Európában (304/1170). Fontos azonban megjegyezni, hogy míg Európában a víztölcséreket is beleszámolják a statisztikákba, addig az Egyesült Államokban ezeket nem veszik számításba. Magyarország esetében a szárazföld felett kialakuló tornádók átlagos éves számát 8-9-re, míg éves maximális számát 10-13-ra becsülték. Vízfelszín felett ugyanezen kérdésekre egyet, illetve kettőt válaszoltak (*Dotzek, 2003*).

#### 3.1. Radaros és vizuális megfigyelés

A mezociklonális és nem mezociklonális tornádók elkülönítéséhez egyrészt a vizuális megfigyeléseket, másrészt pedig a radarméréseket hívhatjuk segítségül. Mivel a nem szupercellás tornádóhoz nem tartozik tartós és mély mezociklon, ezért a radaron csak a legerősebb eseteket lehet detektálni, a többinél túl gyenge a cirkuláció. Így előrejelzésükhöz és a róluk szóló riasztás kiadásához a kedvező környezeti feltételek ismerete elengedhetetlen (*Lane és Moore, 2006*).

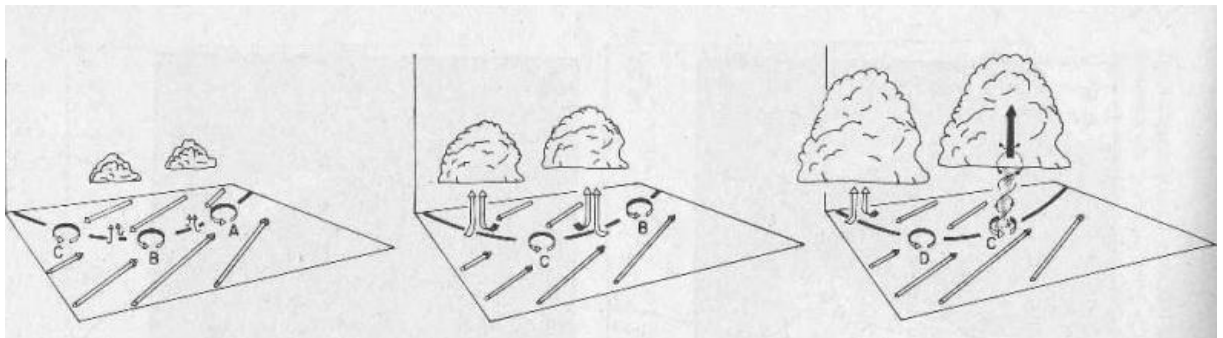
A *Brady és Szőke (1988)* által vizsgált esetben a tornádó egy gyorsan fejlődő, de majdnem egyhelyben álló multicellás zivatarból alakult ki. Az örvénylés átmérője a legerősebb állapotában körülbelül 470 méter volt, ez alapján mezociklonnak nevezhető (*Fujita, 1981*). Ekkor jelent meg a tuba, az átlagos örvényesség szintén a legmagasabb értékét, 0,067 1/s-ot vette fel. Negyedóra elteltével, a leáramlás dominánssá válásakor jelentősen megnőtt az örvény átmérője, ezzel együtt csökkent az átlagos örvényessége.

*Wakimoto és Wilson (1988)* a Denver környéki konvergens, örvényes terület mentén 47 napon keresztül végzett radaros, vizuális és műszeres méréseket, megfigyeléseket. 27 látható örvényt figyeltek meg, melyek közül csak 4 esetben ért le az örvény a talajra. Mindegyik esetben ciklonális forgásirányt észleltek és egy kivételével ezek az örvények alacsony szinten, 2 km magasság alatt alakultak ki és onnan fejlődtek tovább felfelé. A 27-ből csak 17 esetben észlelték radarral is a látható örvényeket, melyek átmérője 130 és 1000 méter között volt,

továbbá jóval sekélyebbek is voltak, mint a mezociklonális tornádók. A nem szupercellás tornádóhoz kapcsolódó gomolyfelhők gyakran zivatarfelhővé fejlődtek.

### 3.2. A kialakulásuk és az ahhoz szükséges környezeti feltételek

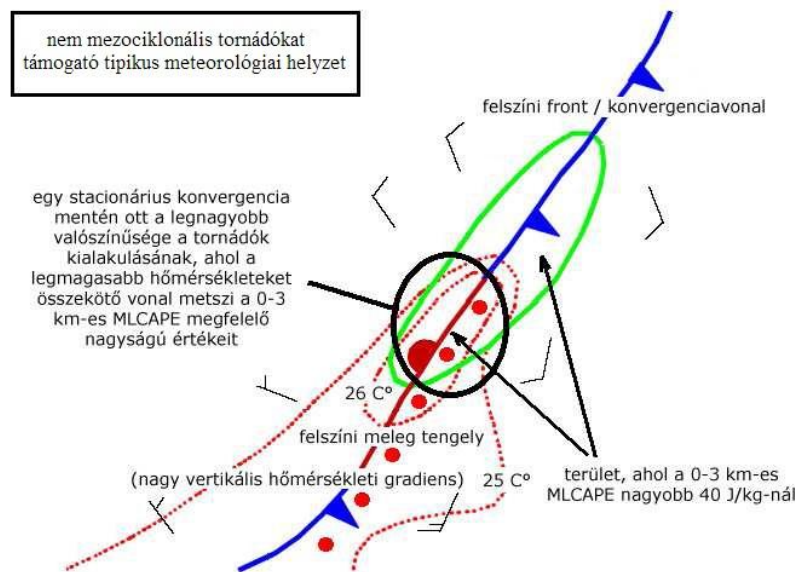
A nem mezociklonális tornádók kialakulásához lassan mozgó, vagy stacionárius talajközeli konvergencia szükséges, amelyek mentén a tömegmegmaradás törvénye miatt feláramlások alakulnak ki. (3. ábra) A horizontális szélnyírás következtében a konvergenciavonal mentén vertikális tengelyű örvények jöhetnek létre. Erőteljes feláramlással párosulva az ilyen örvény függőlegesen megnyúlik, az örvény sugara csökken, és az impulzusmomentum megmaradása értelmében tornádó erejű forgás fejlődhet ki (*Polyánszky és Molnár, 2007*). Az örvény a talajról indul, s csökkenő nyomás miatt a felhőalap közelében kondenzálódik a vízgőz.



3. ábra – Nem mezociklonális tornádó életciklusának sematikus modellje. (*Wakimoto és Wilson, 1989*)

Számos amerikai statisztikai elemzésben, amelyekben nagy számban vizsgálták a szupercellás zivatarok mért, illetve modellezett környezeti feltételeit, minimálisan 15 m/s körüli 0-6 km-es átlagos vertikális szélnyírás adódott határértéknek az egyéb szükséges környezeti feltételek fennállása mellett (*Rasmussen és Blanchard, 1998*). Ehhez képest nem mezociklonális tornádók előfordulásakor a mérések szerint jóval kisebb volt ebben a tartományban a szélnyírás. *Brady és Szőke* 1988-ban egy a Colorado állam északkeleti részében kialakult mezociklonális tornádót tanulmányozott. Ennek a környezetében a 0-6 km-s szélnyírás még 5 m/s-nál is kisebb volt. *Polyánszky és Molnár (2006)* munkájában a vizsgált hat esetből egyszer sem haladta meg a 0-6 km-es szélnyírás a 10 m/s-ot.

*Davies* 2006-ban három nem mezociklonális eset megvizsgálása után arra a következtetésre jutott, hogy a 4. ábrán látható meteorológiai helyzet kedvez a nem szupercellás tornádók kialakulásának.



4. ábra – Nem mezociklonális tornádóképződésnek kedvező helyzet: Ott a legnagyobb az esély a kialakulásukra, ahol a nagy hőmérsékleti gradiens értékeket összekötő vonalak metszik a megfelelő 0-3 km-es MLCAPE<sup>3</sup> értékeket. (Davies, 2006) (A kép magyar verziója: Polyánszky és Molnár, 2007)

A Denver környéki konvergencia, örvényes területen tartós délkeleti áramlás esetén nagytérségű konvergencia alakul ki. Wakimoto és Wilson (1988), valamint Brady és Szőke (1988) is végzett megfigyeléseket, méréseket a térségben. Kivétel nélkül minden esetben felismerhető volt a térségben húzódó lassan mozgó vagy veszteglő konvergenciavonal.

Davies 2006-os tanulmányában az alábbi két tényezőt tartja alapvető fontosságúnak a nem mezociklonális tornádóképződést tekintve:

- Egy lassan mozgó vagy veszteglő konvergenciavonal és itt kialakuló vertikális tengelyű örvényesség.
- A konvergenciavonal és a feláramlás egymással metszésbe való kerülése. Ilyen esetben az alacsony szintű vertikális örvény függőleges irányban kiterjed.

Mivel elsősorban alacsonyszinten kell rendelkezésre állnia elegendő instabilitásnak, ezért a hőmérsékleti gradiens értékét is itt, az alsó 2 vagy 3 km vastag légrétegben célszerű vizsgálni. A CAPE - mely a légoszlop nedvességi és a hőmérsékleti viszonyai alapján meghatározott érték - segítségével megkapjuk az emelkedő légelem útja során felszabaduló potenciális energiát. Az MLCAPE esetében pedig ugyanezt az alsó 3 km-es réteg kevert

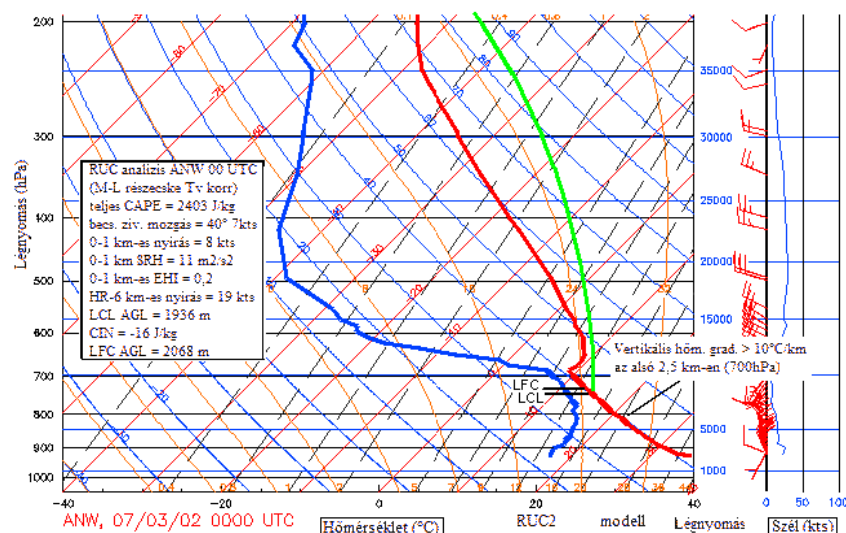
<sup>3</sup> MLCAPE: (Mixed-Layer Convective Available Potential Energy (kevert rétegre vonatkozó hozzáférhető konvektív potenciális energia)

nedvességi és hőmérsékleti értékeire kapjuk meg. Minél alacsonyabb az MLCIN<sup>4</sup> értéke, annál kisebb ellenállásba ütközik a vertikálisan megnyúló alacsonyszintű örvény. *Wakimoto* és *Wilson* (1988) kutatása esetében átlagosan 450 J/kg, *Polyánszky* és *Molnár* (2007) esetében átlagosan körülbelül 200 J/kg CAPE érték adódik, de elmondható, hogy nem mezociklonális tornádók előfordulásuk idejében általában gyenge vagy mérsékelt CAPE jellemző.

Számszerűsítve az eddig elmondottakat feltételezhetően az alábbi értékek kedveznek a nem mezociklonális tornádók keletkezésének:

- Nagy vertikális hőmérsékleti gradiens az alsó 2-3 km-en - durván 8-9 °C/km vagy nagyobb, mely megközelíti a száraz adiabatikus vertikális hőmérsékleti gradiens (10 °C/km) értékét.
- MLCIN értéke kevesebb, mint 25 J/kg.
- Az MLLCL<sup>5</sup> jóval magasabb is lehet, mint szupercellás tornádóknál. (gyakran 1500-2000 méter a felszín felett).

Ahogy azt az 5. ábrán is látni, az erős délutáni besugárzás hatására nagy vertikális hőmérsékleti gradiens alakul ki az alsó 2,5 km-en, mely a száraz adiabatikus profilt is meghaladja, emellett a CIN jelentéktelen nagyságú. Ilyen környezeti profil esetén a bekeveredés hatása elhanyagolható az alsó 2-3 km-en.



5. ábra - Kedvező feltételek nem mezociklonális tornádó kialakulásához. (Davies, 2006)

<sup>4</sup> MLCIN: Mixed-Layer Convective Inhibition (a 0-3 km-es réteg konvektív gátlása)

<sup>5</sup> MLLCL: Mixed-Layer Lifted Condensation Level (emelési kondenzációs szint, mely az alsó 100 hPa-os réteg összekeveréséből adódik)

Szupercellák esetében középszinten mezociklon detektálható, melyből ha tornádó alakul ki, akkor az a mezociklon felszín felé való erősödését jelzi. Nem mezociklonális tornádók esetében alacsonyszinten észlelhető a legerősebb örvénylés, mely a fejlődés folyamatában folyamatosan mélyül és egyre intenzívebbé válik. Szupercellás tornádók a zivatar érett szakaszában alakulnak ki, amikor is a leáramlás és a gust front jól szervezeté válik (*Wakimoto és Wilson, 1988*). *Lemon és Doswell (1979)* felvetette, hogy a középszintű mezociklon kialakulása alacsonyabb szintről eredhet. De kapcsolat a mezociklon által okozott alacsonyszintű örvénylés a tornádó kialakulása között máig megoldatlan problémának számít. A legerősebb (F3-F5) tornádók létrejöttéhez valószínűleg szükséges, hogy a határrétegben kialakuló örvényesség és a középszintű mezociklon átfedésbe kerüljenek egymással. Így egyik folyamat a másikat kölcsönösen erősítené. Nem szupercellás tornádók esetében valószínűleg ez a kedvező együttállás hiányozhat. (*Wakimoto és Wilson, 1988*)

*Brady és Szőke (1988)* a víztölcsérekkel hasonlította össze a szárazföld felett kialakuló nem szupercellás tornádókat. A gyenge örvények víztölcsérré való erősödésében fontos tényező más zivatarcellák leáramlásának találkozása, de a vizsgált tornádó esetében ilyen helyzet nem állt fenn. Ez feltehetően nem is kritériuma a nem mezociklonális tornádók kialakulásának, mert a konvergenciavonallal átfedésbe kerülő vertikális tengelyű örvényesség hasonló folyamatot vált ki és jelen esetben ez a feltétel rendelkezésre is állt. *Golden (1974)* megfigyelte, hogy a vízfelszínen „sötét foltok” jelennek meg víztölcsér kialakulása előtt. Radar segítségével a DCVZ mentén számos örvényt figyeltek meg, de ezekből csak kettő fejlődött tubává vagy tornádóvá. Ezek az örvények kissé gyengébbek és nagyobb átmérőjűek, mint az úgynevezett „sötét foltok”. A Colorado-i tornádó fejlődési szakasza szintén sok elemében hasonlított a víztölcsérek esetében megfigyelt folyamatra.



## 4. Nem mezociklonális tornádótípusok

### 4.1 Landspout

A kifejezést *Howard. B. Bluestein* alkotta meg 1983-ban. A *Glossary of Meteorology* a következő definíciót tartalmazza:

*„Olyan tornádók, melyek keletkezésében a határréteg örvényessége fontos szerepet játszik. A felhő, melyhez kapcsolódik, nem tartalmaz középszintű mezociklont. Hasonlít a Florida Keys-i víztölcsérhez.”*

Gyenge szélnyírás és gyenge szinoptikus kényszerfeltételek mellett fejlődnek ki. A talaj közelében kialakuló örvényességi mező függőleges irányban megnyúlik a komoly instabilitás hatására (*Sills és King, 2000*). Az ilyen örvény átmérője (6. ábra) 2 kilométernél kisebb, ezt mezociklonnak nevezte *Fujita* (1981). Vízfelszín felett kialakuló változata a víztölcsér, ám az ezt létrehozó fizikai folyamatok teljesen megegyeznek a landspoutot kialakítókkal (*Brady és Szőke, 1988*). Akár az F3-as erősséget is elérhetik (*Wakimoto és Wilson, 1988*).



6. ábra - Nem szupercellás tornádó. Fotó: C. Doswell

## 4.2 Cold pool vortex

Egyedül *Cooley* (1978) foglalkozott velük behatóbban. Ebben a tanulmányában csak michigani eseteket vizsgált, a Michigan-tó pedig egyik fontos alkotóeleme az itt fejlődött tubáknak és tornádóknak. Munkájának összefoglalása:

- Úgy találta, hogy a cold pool vortex-ek szezonja késő tavasztól kora őszig tart, leggyakrabban a dél körüli órákban jelennek meg.
- Alacsonynyomású teknő hátoldalán képződnek, 18-24 órával a hidegfront áthaladása után. Az erős besugárzás és a tó nedvességpótló hatására erősen labilissá válik a légkör.
- Ezen képződmények élettartama csupán néhány perc. Ritka esetben viszont akár fél órán át is észlelhetőek. Sokkal kisebbek, mint a tornádók, ritkán érik el a talajt, akkor is csupán rövid időre, a károkozás pedig akkor is csak csekély mértékű.

## 4.3 Gustnado

A gustnado kifejezés három szó összekapcsolásából jött létre, a teljes elnevezésük gust front tornado. Kisméretű sekély örvény, mely hidegfront mentén vagy kifutófront mentén jön létre a talaj felett, mély konvekcióval vagy anélkül (*Idso*, 1974). Legtöbbször nincsenek látható kapcsolatban az őket létrehozó zivatarral vagy záporral, hiszen azok előtt, a gust front mentén képződnek. 10-100 méter magasak legfeljebb, s legtöbbször az általuk felkavart por és törmelék festi meg őket, kondenzációs tölcser nem alakul ki (7. ábra). Forgási sebességük elérheti a 100-130 km/h-át is és F0-ás vagy F1-es tornádóhoz hasonló mértékű pusztítást is tudnak végezni (National Weather Service, Weather Forecast Office). Előrejelzésük igen bonyolult feladat, hiszen különböző környezeti feltételek mellett és különböző típusú zivatarok, sőt záporok mentén is kialakulhatnak. De közülük a legerősebbek squall line-ok mentén és különösképpen bow echo-s zivatarok mentén keletkeznek (*Smith*, 1996). A feláramlás megerősödésével akár landspout-tá is fejlődhetnek (*Doswell és Burgess*, 1993).



7. ábra - Gust front menti örvény, olykor gustnadoxnak is nevezik. Fotó: C. Doswell

#### 4.4 Fair weather vortex (szép-idő örvény)

Fontos elkülöníteni a porfogatagoktól, hiszen kialakulásuk fizikai folyamatai alapvető eltérést mutatnak. Míg a porfogatagok erős kapcsolatban állnak a talaj felmelegedésével, addig a szép idő forgószelek Cumulus felhőből nyúlnak alá (8. ábra), de a talajt csak a legritkább esetben érik el. Az elnevezést Doswell alkotta, jelenleg nincs rá teljesen elfogadott terminológia. Kicsit eltérő képződmények az ún. „horseshoe-vortex”-ek (patkó alakú örvények) (9. ábra), de jelentőségük elhanyagolható. Ezek létrejöttét orográfikus kényszerhez vagy egy kisméretű feláramláshoz kötik, amikor is a horizontális tengelyű örvényesség megdől és vertikálisan kiterjeszkedik (*Bergen, 1976*).



8. ábra - Fair weather vortex közönséges gomolyfelhővel. Fotó: C. Doswell



9. ábra - Gomolyfelhő feloszlásával kapcsolatban álló örvény, néha horseshoe-vortex-ként hivatkoznak rá. Fotó: C. Doswell

## 5. A vizsgálat módszere

Az internet adta lehetőségeket felhasználva felkutattam a 2007-ben hazánkban előfordult tubás és tornádós eseteket, amelyek tipikusan nem szupercellás zivatarhoz kapcsolódtak. 2007-ben már jelentős létszámmal bírt a hazai amatőr meteorológus társadalom, sok vizuális észlelés, megfigyelés volt nekik köszönhető. A feldolgozott hat esetből ötöt ezen észlelők dokumentálták, egy eset volt, amelyet hivatalos meteorológiai állomáson észleltek. Az ESWD<sup>6</sup> szintén segítségemre volt, bár ekkor még kevés bejelentést rögzítettek Magyarországról.

A vizsgálathoz az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ), az Egyesült Királyság Meteorológiai Szolgálatának (UKMO), illetve a Német Meteorológiai Szolgálat (DWD) európai kivágatú szinoptikus analízis térképei, valamint az OMSZ háromóránként analizált mezotérképei lettek felhasználva. Az OMSZ radarhálózatának országos kompozit képei és nagyfelbontású mérései, illetve az infravörös és látható tartományban készült műholdképek alapján a tubát vagy tornádót okozó anyacellát lehetett azonosítani, illetve annak fontosabb tulajdonságairól képet kapni.

A hidrosztatikus, 10 km-es horizontális felbontású WRF ARW 3.1-es modell<sup>7</sup> futtatásához szükséges 1 fokos GFS<sup>8</sup> peremfeltételeket a NOAA<sup>9</sup> archívumából töltöttem le. Így egy előzetes képet kaptunk az események időpontjában fennálló környezeti feltételekről. Első körben a nagytérségi helyzet elemzése következett, amelyhez elsősorban az 500, 700 és 850 hPa-os magassági, illetve az 500 és 700 hPa-os örvényességi térképeket, stabilitási mezőket, valamint a 850 hPa-os szint ekvipotenciális hőmérsékletének térképeit használtam fel. Ezt követően a talajszinti nyomástérképeken kirajzolódó szinoptikus képződményeket, konvergenciavonalakat és áramlási mezőket tekintettük át. Külön figyelmet fordítottunk a különböző magassági szintek nedvességi viszonyaira, valamint a 0-6 km-es és a 0-1 km-es szélnyírásra. A különböző magassági szintek szél-, hőmérsékleti, magassági, örvényességi és nedvességi mezőin, a szélnyíráson és különböző, a konvekciót jellemző értékeken kívül két további paraméterrel bővítettem a programot, így készülhetett el a 10 méterre számított relatív

---

<sup>6</sup> ESWD: European Severe Weather Database (Európai heves időjárási események adatbázisa)

<sup>7</sup> WRF ARW modell: Weather Research and Forecasting Advanced Research WRF (az időjárás kutatására és előrejelzésére alkalmas modell)

<sup>8</sup> GFS: Global Forecast System (globális előrejelző rendszer)

<sup>9</sup> NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration (Amerikai Egyesült Államok Óceánográfiai és Meteorológiai Hivatala)

örvényesség és a 0-1 km-es rétegre számított konvergencia, melyek később igen hasznosnak bizonyultak. E fázis után a GFS modell 6 óránkénti analízis és 3 órás előrejelzési mezője szolgált peremfeltételül a WRF 3.1-es modell nem hidrosztatikus közelítéssel számolt 10 km-es horizontális felbontású futásaihoz. A számítás eredményeként kapott grib formátumú fájlokból szintén képeket generáltam, hogy lehetővé váljon a vizsgált jelenség környezeti feltételeinek nagyobb felbontású vizsgálata. Hangsúlyozni kell, hogy a dolgozat célja a nem mezociklonális tubákat, tornádókat kialakító cellák modellel történő közvetlen kiszámítása volt, hanem sokkal inkább a jelenség kialakulásához szükséges környezeti feltételeinek minél pontosabb előállítására, ezért esett a választás a 10 km-es horizontális felbontás mellett a hidrosztatikus közelítésre. Ennek fő oka az volt, hogy így könnyebben lehet következtetni a jelenséget kialakító alapvető fizikai folyamatokra, mint egy modell által közvetlenül számolt, adott esetben annak hibás, zajosabb mezőjéből. Az OMSZ biztosította az események időpontja körüli időszakokra a magyarországi automata állomások adatait (kevésbé 100 feletti megfigyelési adatot), amely a WRF modell nagyfelbontású horizontális mezőjébe lett asszimilálva. Így jó minőségű analízis térképek álltak elő olyan speciális paraméterekre, mint a 0-1 km-es nedvességkonvergencia,  $\Delta\Theta_{e,max}^{10}$ , 0-3 km-es rétegre számított CAPE, 0-2 km-es rétegre vonatkozó vertikális hőmérsékleti gradiens és a 10 méterre számított örvényesség, amelyek várakozásaink, illetve a szakirodalom szerint jól használhatóak a tárgyalt jelenségkör környezeti feltételeinek részletes vizsgálatára. Összesen 6 esetet vizsgáltunk meg, amelyek között akad tipikus konvergenciavonalhoz köthető nem mezociklonális felhőtölcsér, valamint kisebb skálájú folyamatok által kialakított gustnado is.

---

<sup>10</sup> $\Delta\Theta_{e,max}$ : Az a hőmérsékletkülönbség, ami úgy áll elő, hogy egy adott légoszlopban a leginkább száraz és hideg szint ekvipotenciális hőmérsékletéből kivonjuk a felszín ekvipotenciális hőmérsékletét. Nagysága arányos a nedves adiabatán ereszkedő leáramlás erősségével, azaz a felszíni kifutószéllel.

## 6. Esettanulmányok

### 6.1 Esettanulmány: 2007.05.15-i gustnado

#### 1. Beszámoló (Leviczky Gergely, MetNet.hu)

„(...) F0-F1-es lehetett (*Fujita*, 1971) (...) 1 háztetőt teljesen levitt, több tetőt megrongált, fákat csavart ki, és a falu melletti tanyán is pusztított. Itt a juhász részletesen el is mondta, hogy milyen magas és széles lehetett a tölcsér. (10. ábra) (...) Mivel a vihar eleje pont keresztbe kapott el, nagyokat lökött a kocsin, de szerencsére nem tett ki a rétre. Viszont szerencsém volt, mert pár másodpercen múlt, hogy nem ért utol, pont azon a területen voltak a legnagyobb károk, többek között egy leszakított háztető (11.ábra). (...)”

#### 2. Beszámoló (Molnár Ákos, szupercella.hu)

„(...) A terepszemlén szimpla heves kifutószélre jellemző és forgásra utaló nyomok egyaránt fellelhetőek voltak, a helyszín meglehetősen vegyes képet mutatott. (...)”



10. ábra – Fotó: Leviczky Gergely, MetNet.hu



## Meteorológiai jellemzők



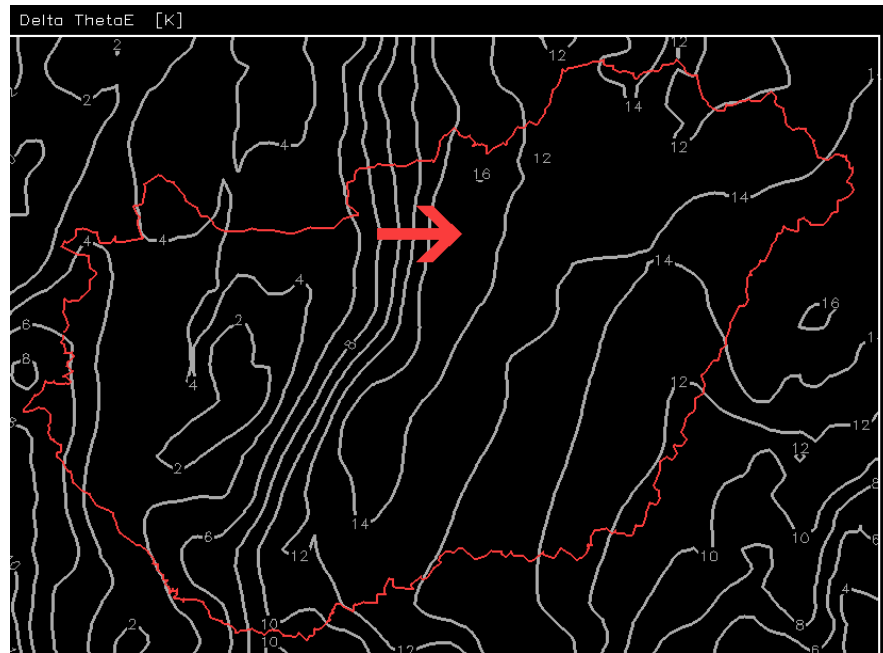
11. ábra – Fotó: Leviczky Gergely, MetNet.hu

Egy a Nyugat-Európa időjárását már napok óta meghatározó hosszúhullámú teknő helyeződött kelet felé, amelyhez kapcsolódva többfelé fordult elő heves időjárási esemény. A hozzá tartozó középszintű jet stream több ágra tagolódva, jet streak formájában helyeződött hazánk fölé a kérdéses napon. Ennek hatására a 0-6 km-es szélnyírás is erősödött, körülbelül 15 m/s-ról 20-22 m/s-ra. Eközben a talajon egy a középpontjával a Skandináv-félsziget felett örvénylő poláris ciklon hidegfrontja érte el 2007.05.15-én a Kárpát-medencét, melynek déli ága a Balkán-félsziget felett lelassult és hullámot vetett. Míg az esemény időpontjában 500 hPa-on hidegadvекció zajlott, addig a délnyugat-északkeleti irányú meleg nedves szállítószalag mentén 700 és 850 hPa-on gyenge melegadvекció történt. Ezek hatására tovább labilizálódott a légkör és középszinteken érkező erős örvényességi maximumok révén jelentőssé volt a differenciált örvényességi advекció. Így az erős háttéremelés is hozzájárult az erős konvektív folyamatok kialakulásához.

A hidegfront már a hajnali órákban is a nyugati határ mentén hullámozott. Dél előtt a besugárzás erősödésével beindult a konvekción. Először a Dunántúl délnyugati részén, majd a Duna-Tisza közén is heves zivatarok alakultak ki, melyek egy délnyugat-északkelet tengely mentén haladtak a front előterében. A front előtt jellemző volt a rendkívül erős kiszáradás, amelyet a  $\Delta\Theta_{e,max}$  paraméter (Wakimoto, 1985) 14 fokos értéke jól jellemzett (12. ábra). Így az intenzív konvektív csapadék, a még át nem nedvesedett, több szinten erőteljes kiszáradást



mutató környezetbe hullva, a csapadék erőteljes párolgása révén légzuhatok (ún. downburst-ök) (Fujita, 1985) alakultak ki (13. ábra). A WRF ARW előrejelzési modell állomásadatokkal való asszimilációja után kapott 0-3 km-es talajalapú CAPE értéke körülbelül 175-200 J/kg volt, jelentős alacsonyszintű nedvességkonvergencia és 20 m/s körüli 0-6 km-es szélnyírás került fedésbe egymással a Duna-Tisza közén. Délután 14:15 UTC környékén pattant ki az a zivatar, mely később szupercellává fejlődött és Domoszló térségében gustnadot produkált.

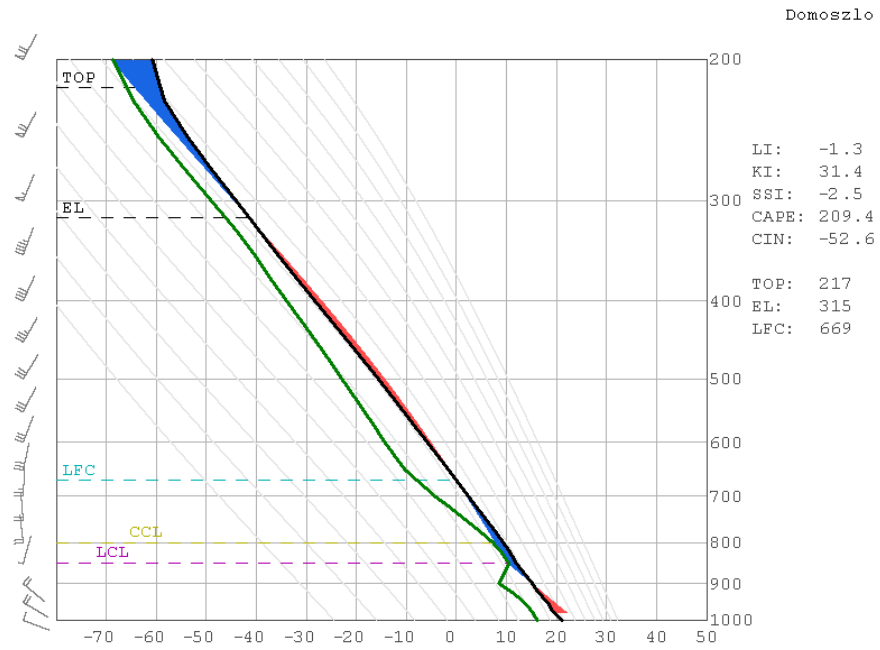


12. ábra - A nyíllal jelölt területen a  $\Delta\Theta_{e,max}$  igen magas értéket, körülbelül 14 K-t vett fel. (A WRF ARW modell 2007.05.15. 15 UTC-re vonatkozó  $\Delta\Theta_{e,max}$  előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)

Körülbelül 17 UTC-kor érte el a települést a szupercella, mely a pusztítás időpontjában 55-60 dBz reflektivitású volt. Tetőket rongált meg, fákat csavart ki a gustnado, melynek a talajon való örvénylését egyértelműen meg lehetett állapítani a dokumentált, alapos kárfelmérés során.

Ennek az esetnek a tanulsága, hogy nem csak a mezociklonális tornádók okozhatnak jelentős kárt környezetükben, hanem olyan kisskálájú jelenségek is, mint a nem mezociklonális tornádók közé sorolandó gustnado, amely most ebben a speciális esetben a felmért károk alapján egy downburst mentén jelenhetett meg, ugyanis erős talajszintű divergenciára és örvénylésre utaló nyomok is vegyesen léptek fel. Ezek előrejelzéséhez más paraméterek vizsgálatára van szükség, mint a konvergencia mentén képződő örvényekhez. Gustnado-k

kifutófront vagy downburst mentén alakulnak ki leggyakrabban, így célszerű a környezeti nedvességprofilra is nagy figyelmet fordítani.



13. ábra - Megfigyelhető az alacsonyszinten kialakuló erős kiszáradás.  
(A WRF ARW modell 2007.05.15. 17 UTC-re vonatkozó emagram-előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)

## 6.2 Esettanulmány: 2007.05.28-i nem mezociklonális tuba

### 1. Beszámoló (Lőrincz Norbert, viharvadaszok.hu)

„A tölcsér pontosan a Medves-fennsík (szerk: 520-570 méter magas fennsík, Nógrád megye) felett volt megfigyelhető egy elvonuló multicellás-zivatarrendszer hátoldalán, ami délkelet felől érkezett a megyébe. A jelenség nem percekben, hanem másodpercekben volt csak megfigyelhető. (...) A rendszerre jellemző volt egy viszonylag látványos peremfelhő valamint az igen heves kifutószél (...) az idő rövidsége, a távolság és a gyenge látási viszonyok miatt nem jelenthetem ki egyértelműen, hogy tornádót láttunk-e, de az biztos, hogy egy tuba volt a fennsík felett (14. ábra).”

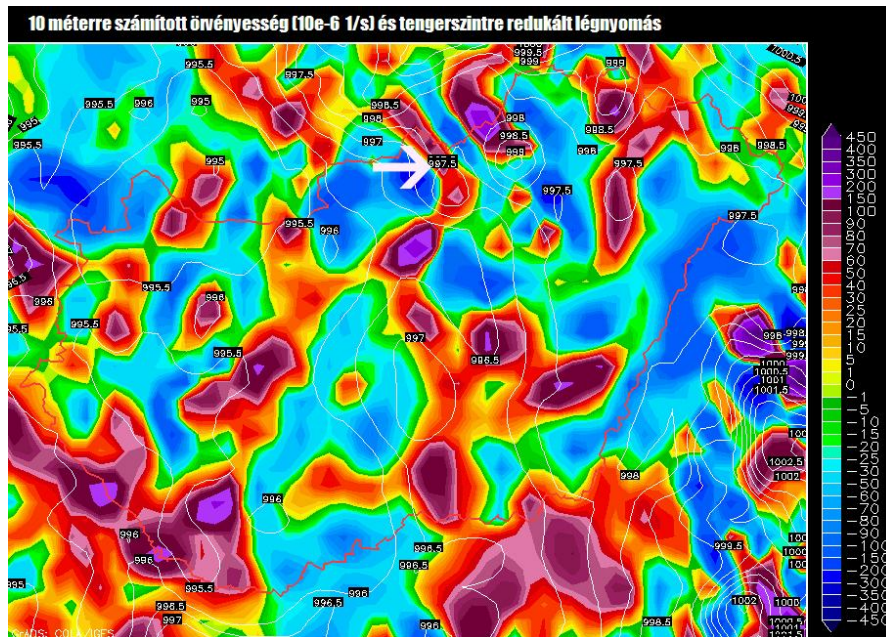


14. ábra – Fotó: Lőrincz Norbert, viharvadaszok.hu

## Meteorológiai jellemzők

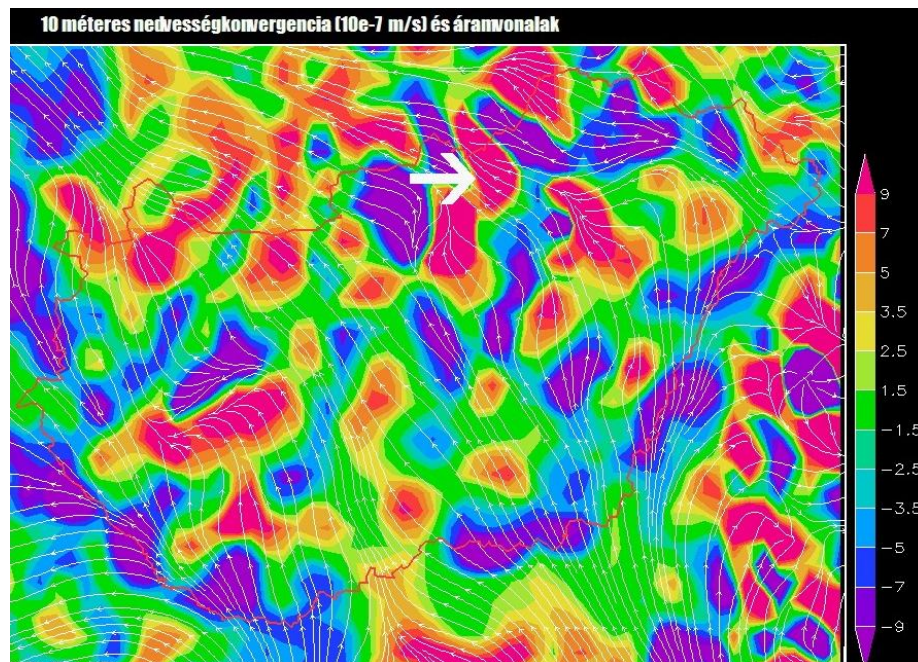
Közép-Európa felett egy mély, többközpontú ciklon örvénylett. A Skandináv-félsziget déli peremétől egészen Észak-Afrikáig húzódó frontrendszer stacionárius szakasza volt hazánktól kissé keletre. Jelentősnek mondható hőmérsékleti advekciónak egyik szinten sem zajlott le, ám a délutáni órákra egy gyenge nyomási teknő helyeződött az északi országrész fölé, mely több szinten is említésre méltó pozitív örvényességi advekciónal járt (15. ábra). Az alacsonyabb szintek a több órája élő nedvességkonvergencia (16. ábra) miatt kellően nedvesek voltak, mely kedvezett a felhőtölsér kondenzálódásához. A két méteren jellemző 23 fokos hőmérsékletből és a 15 fokos harmatpontból indított felszállás alapján körülbelül 150 J/kg-nyi felszínalapú CAPE állt rendelkezésre az alsó 3 km-es rétegben, a 0-2 km-re számított vertikális hőmérsékleti gradiens értéke pedig 0,9 fok/100 m-nek adódott (17. ábra). A 0-6 km-es szélnyírás értéke a délután folyamán állandónak volt tekinthető (18. ábra), körülbelül 10 m/s-os értéket vett fel, míg 0-1 km-en nem volt jelentős szélnyírás (19. ábra). Így a szupercella kialakulásához szükséges a szakirodalomban (*Rasmussen és Blanchard, 1998*) valószínűsített szélnyírás érték tehát nem álltak rendelkezésre s a készített fotókon, radarképeken sem figyelhető meg szupercellára utaló struktúra. A Medves-fennsíktól délre, az esemény előtt körülbelül fél órával pattant ki egy zápor, mely a konvergencia mentén észak felé vonulva a tuba észlelésének időpontjára, 14:30 UTC-re érte el legerősebb állapotát, a körülbelül 50 dBz-s reflektivitást. A radarképeket tovább követve körülbelül 15:15 UTC-re teljesen el is halt az eseményt okozó cella. Az ország más részein is az egycellás, multicellás jelleg volt a jellemző. Eleinte csak a Dunántúlon, később más országrészekben is a meleg nedves szállítószalag jelenlétére utaló csapadéktömbök vonultak délről északnak. Ezek a radarképen (20. ábra) is látható egycellás zivataroknál nagyobb kiterjedésűek, kevésbé magas reflektivitásúak, ám előfordulnak bennük intenzívebb gócok is.





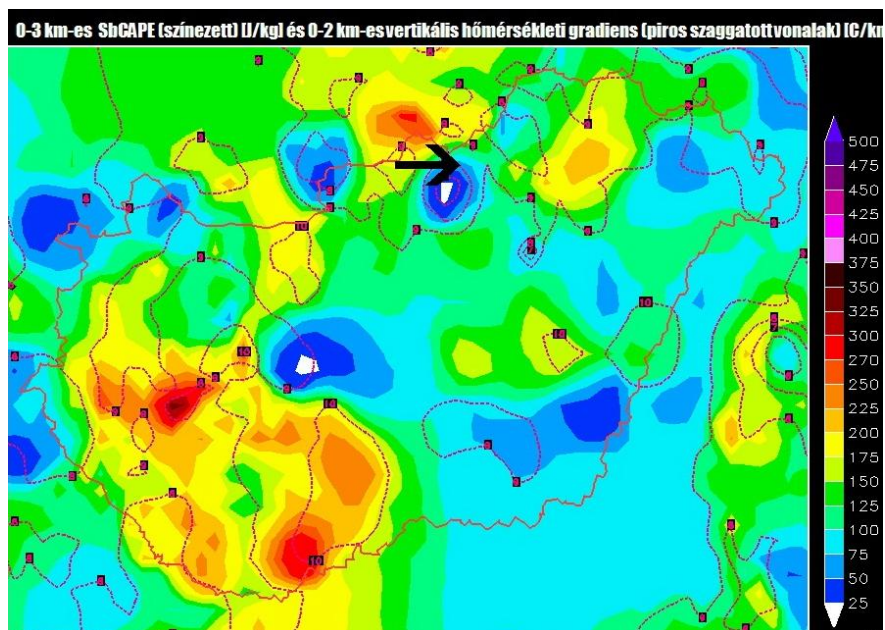
15. ábra - A nyíllal jelölt területen jelentős 10 méteres örvényesség támogatta a felhőtölcsér kialakulását.

(A WRF ARW modell 2007.05.28. 14 UTC-re vonatkozó 10 méteres örvényesség és a tengerszintre redukált légnyomás előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)



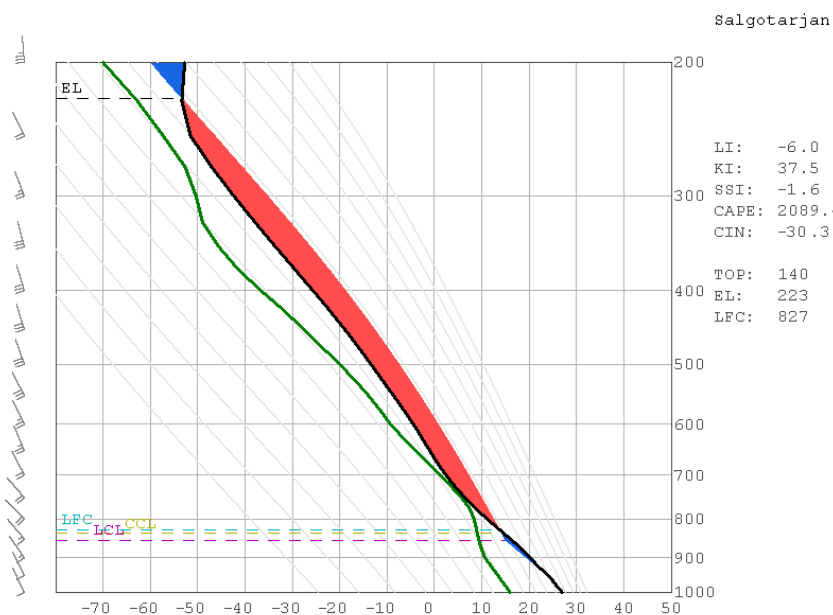
16. ábra - Jelentős 10 méteres nedvességkonvergencia a nyíllal jelölt térségben.

(A WRF ARW modell 2007.05.28. 14 UTC-re vonatkozó 10 méteres nedvességkonvergencia előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)



17. ábra - Az előrejelzés alapján a 0-3 km-es SbCAPE értéke a Mátra közeli rácspont, illetve az alkalmazott interpolációs eljárás miatt ebben az esetben inkább csak közelítőleg olvasható le, körülbelül 100- 150 J/kg-nak adódott.

(A WRF ARW modell 2007.05.28. 14 UTC-re vonatkozó 0-3 km-es SbCAPE és 0-2 km-es vertikális hőmérsékleti gradiens előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)

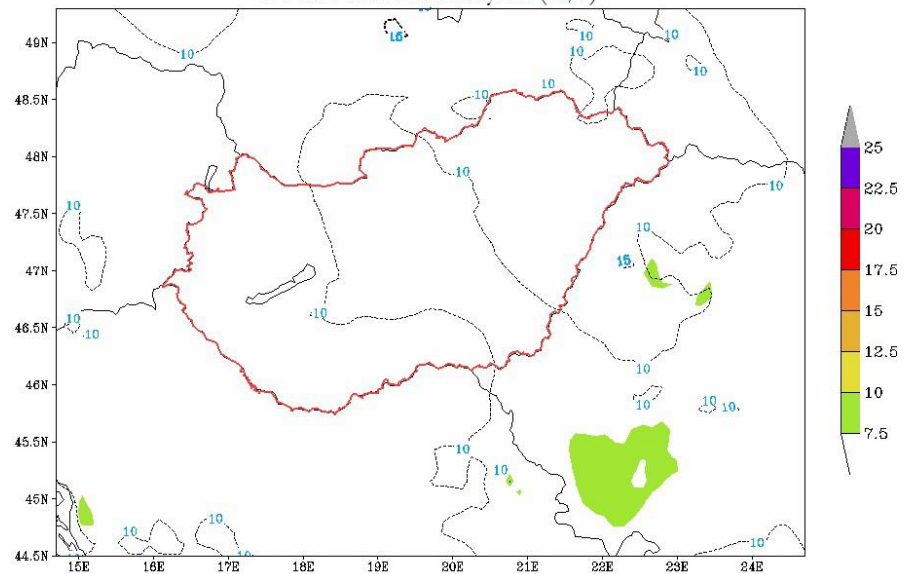


18. ábra - Elégséges szélnyírás hiányában nem tudtak szupercellává fejlődni a kialakult zivatarok.

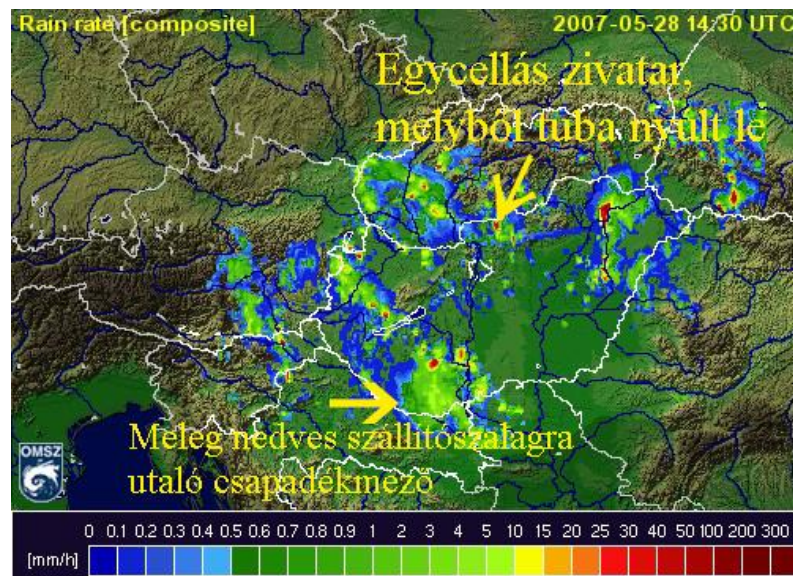
(A WRF ARW modell 2007.05.28. 14 UTC-re vonatkozó emagram-előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)



WRF3/ARW 10km Valid:12Z28MAY2007 Mon (Init:12Z28MAY2007 + 02h)  
 0-1 és 0-6 km-es szélnyírás (m/s)



19. ábra - Országszerte körülbelül 10 m/s volt a 0-6 km-es szélnyírás értéke.  
 (A WRF ARW modell 2007.05.28. 14 UTC-re vonatkozó 0-1 km-es és  
 0-6 km-es szélnyírás előrejelzése.)



20. ábra - MNSZ-hez, valamint egycellás, multicellás konvekcióhoz köthető csapadéktömbök  
 (forrás: OMSZ)

### 6.3 Esettanulmány: 2007.05.30-i nem mezociklonális tuba

#### 1. Beszámoló (Lőrincz Norbert, viharvadaszok.hu)

„(...) emlékeim szerint ez egy K-NY mozgású zivatarcella volt. A képek egyébként Pásztó és Tar közötti útról készültek és kb. Mátraverebély települése felett alakulhatott ki a tuba. (...) arra lettem figyelmes, hogy a beáramlási zóna viszonylag látványosan rotál. (...) Összességében 15 perc lehetett az, amíg a jelenséget figyelemmel kísérhettük. A cella egyébként viszonylag lassú mozgású volt (...) és igen sűrűn lecsapó villámokat is produkált. (...)”

#### 2. Beszámoló (Balázs Dávid, MetNet.hu)

„(...) az észlelés pontosan Mátraverebély-Kányásról történt, onnan észak-északnyugati irányban volt látható. (...) hirtelen feltámadt a szél, kinéztem és akkor láttam észak felé a tubát (...) az első fényképezéstől már gyengülőben, szétesőben volt. Tehát kb. a fejünk felett kezdhetett el kialakulni és észak-északnyugat felé haladt, már amennyit megtett. (...) még a szelét is lehetett érezni, talán még egy kicsit különös hangja is volt (...) és tényleg nagyon közel volt, sötét ég, erős szél és ott szinte néhány száz méterre ez. 1 km-en belül volt, az biztos. Talajt nem fogott, de nem sok kellett volna hozzá (21. és 22. ábra).”



21. ábra – A felhőtölcsér. Fotó: Balázs Dávid, MetNet.hu



## Meteorológiai jellemzők

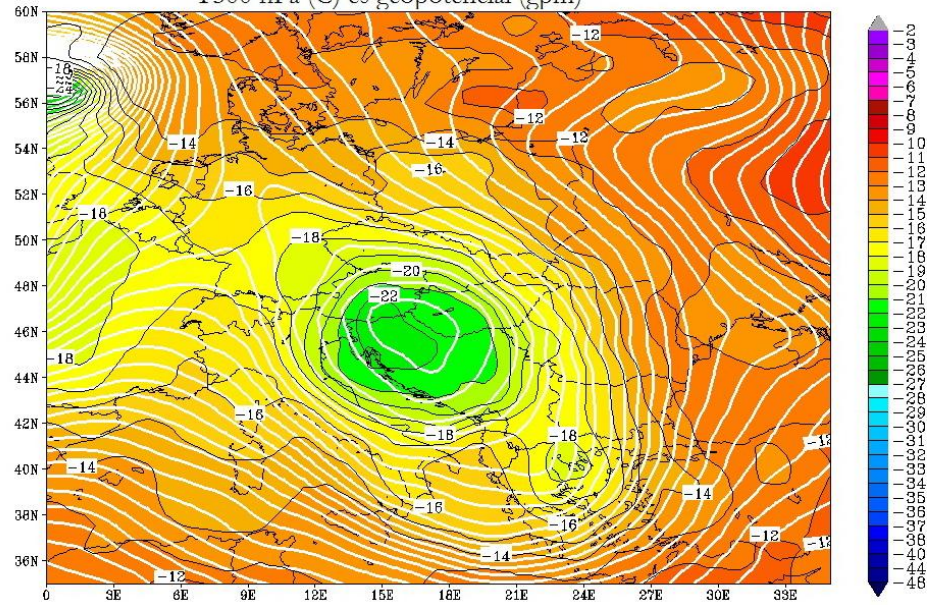


22. ábra – Így festett távolról a tuba. Fotó: Lőrincz Norbert, viharvadaszok.hu

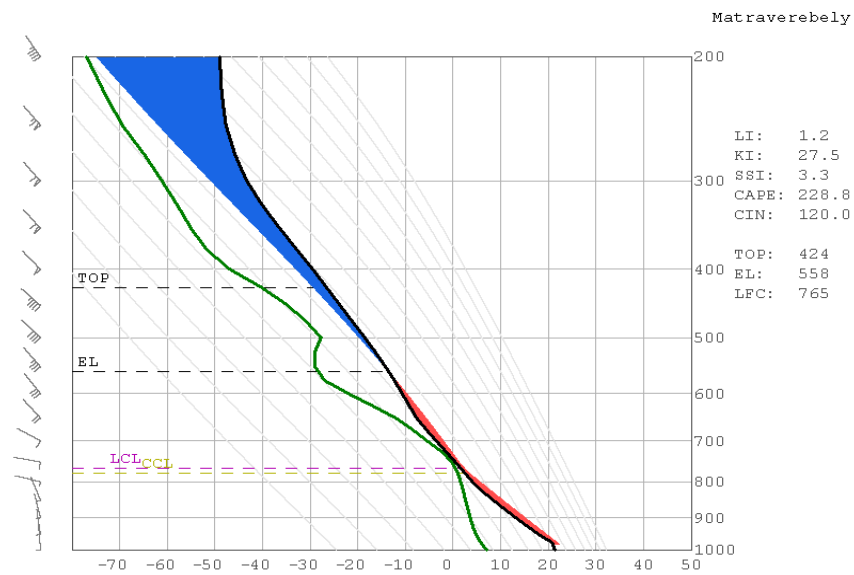
A két nappal korábbi esethez hasonlóan továbbra is egy többközéppontú ciklon határozta Közép-Európa időjárását. Az alacsonynyomású teknő tovább közeledett keleti irányba. A Kárpát-medence időjárását közvetlenül egy az 500 és 700 hPa-os magassági térképeken zárt izohipszákkal rendelkező magassági hidegörvény határozta meg (23. ábra). Jelentős hőmérsékleti advekción sem zajlott le. A tuba észlelésének időpontjában középszintig elegendően nedves volt a levegő, a 0-3 km-es átlagos relatív páratartalom 70-75% közötti volt. Körülbelül 850 hPa-tól a felszínig gyenge változó irányú légmozgás volt tapasztalható, míg e szint felett határozott délkeleti áramlás mutatkozott, így tehát a tubát a hidegörvény előoldalán észlelték. Továbbá erős örvényességi advekción volt középszinten.

A 0-1 km-es rétegben és 10 méteren is jelentős konvergencia volt jellemző, valamint az esemény időpontjára folyamatosan erősödött az 10 méteres és a 0-6 km-es réteg átlagos örvényessége. A talajalapú, 0-3 km-es réteg konvektív felhasználható konvektív potenciális energiájának értéke 100-200 J/kg között volt, így minden szükséges paraméter adott volt a felhőtölcsér kialakulásához (24. ábra). A 0-6 km-es szélnyírás értéke 15-20 m/s volt, mely elégséges lett volna elegendően nagy labilitás mellett szupercella és ezzel együtt mezociklonális tornádó kialakulásához. Ám a 25. ábrán bekarikázott, körülbelül 45 dBz intenzitású konvektív cella, mely a tubát produkálta, mindössze két radarfelvételen, azaz körülbelül 30 percen át élt. A tuba kialakulásával egy időben szelerősödést jelentett az észlelő, ez a konvektív cellából történő leáramlás okozta kifutószél következménye, mely további alacsonyszintű örvényességgel járulhatott hozzá az örvény fejlődéséhez. A fotón nem látható szupercellára utaló struktúra. Maga a felhőtölcsér az észlelők elmondása alapján körülbelül 5 percig élt, ezt követően feloszlott (26. ábra).

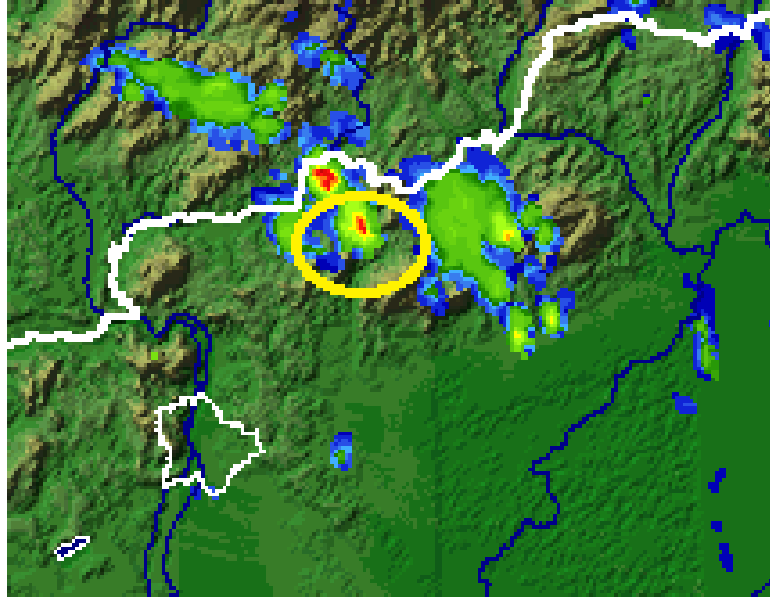
GFS\_0.5fok Valid:12Z30MAY2007 Wed (Init:12Z30MAY2007 + 00h)  
T500 hPa (C) és geopotenciál (gpm)



23. ábra - A GFS 500 hPa-os szint magasságának előrejelzési térképe. Hidegörvények felismeréséhez ilyen magassági térképeket használnak a talajtérképek helyett.



24. ábra - Az OMSZ adatokkal történt asszimiláció után kapott felszállásból jól kivehető a 800 hPa környékén történő, körülbelül 90 fokos szélfordulás, valamint a vékony, elnyújtott CAPE vertikális tagolódása, amely csak az alsó 3,5-4 km-es szintre korlátozódott.



25. ábra - A térség második legerősebb cellája, amely a tubát produkálta. (forrás: OMSZ)



26. ábra - A gyengülő félben lévő tuba. (Fotó: Balázs Dávid, MetNet.hu)

## 6.4 Esettanulmány: 2007.08.11-i nem mezociklonális tuba

Az esetről a következő két szemtanú beszámolójából értesültünk:

### 1. Beszámoló (Horváth Zoltán, MetNet.hu)

„(...) délután kb. 14:50 UTC körül (...) amikor Balatonfőkajárnál járt a vonat (...) már nagyon borult délkelet felől. Hirtelen, ahogy ment a vonat egy tubát figyeltem meg (...) nem ért talajt természetesen, de szépen lenyúlt az égből és egy kicsit más színe is volt, mint a felhőzetnek tehát még jobban kivehető volt (27. kép). (...) az északnyugati pályát figyelembe véve, ez a tuba Balatonfőkajárról Papkeszi felé ment (...) Többen láttuk a vonatról és csodáltuk pár percig majd eltűnt és jött a zivatar. (...)”

### 2. Beszámoló (Szeless Péter, Idokep.hu)

„A kép 2007. augusztus 11-én 15 óra 11 UTC-kor készült (28. ábra) (...) Sárszentmihály határában (Sárszentmihály és Szabadbattyán között), és délnyugati irányba néz. A távolságot csak megbecsülni tudom, de szerintem hozzávetőlegesen 10-15 kilométerre lehetett tőlem. (...) Éppen Veszprémből utaztunk hazafelé autóval, amikor felfigyeltem egy felhőből lejövő nyúlványra. (...) A jelenség körülbelül 4-5 percen keresztül tarthatott, majd visszahúzódott.”



27. ábra – Nem zárható ki, hogy földet ért. Fotó: Szeless Péter, Idokep.hu

## Meteorológiai jellemzők

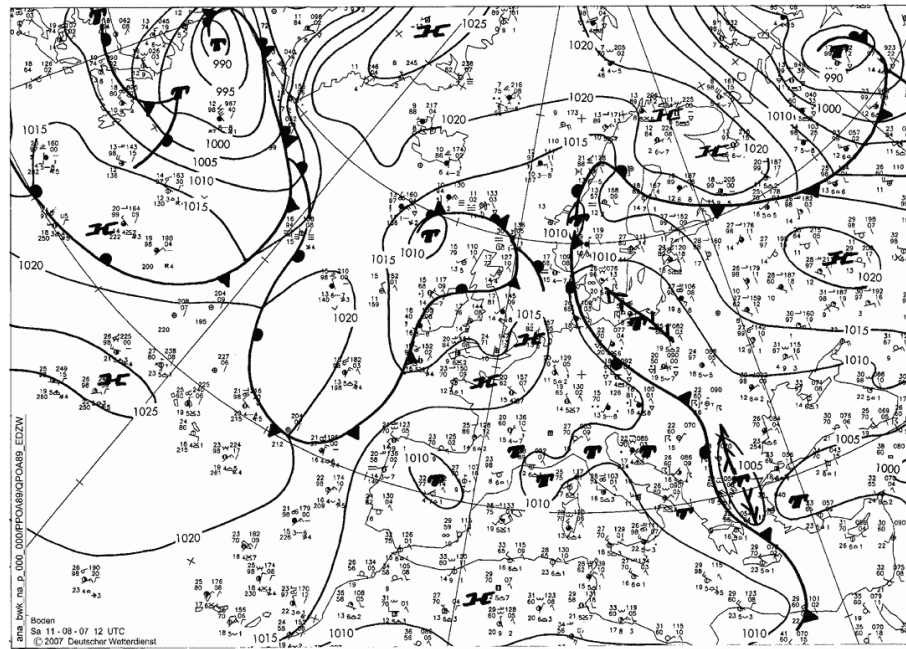


28. ábra – Tuba Sárszentmihály határában. Fotó: Szeless Péter, Idokep.hu

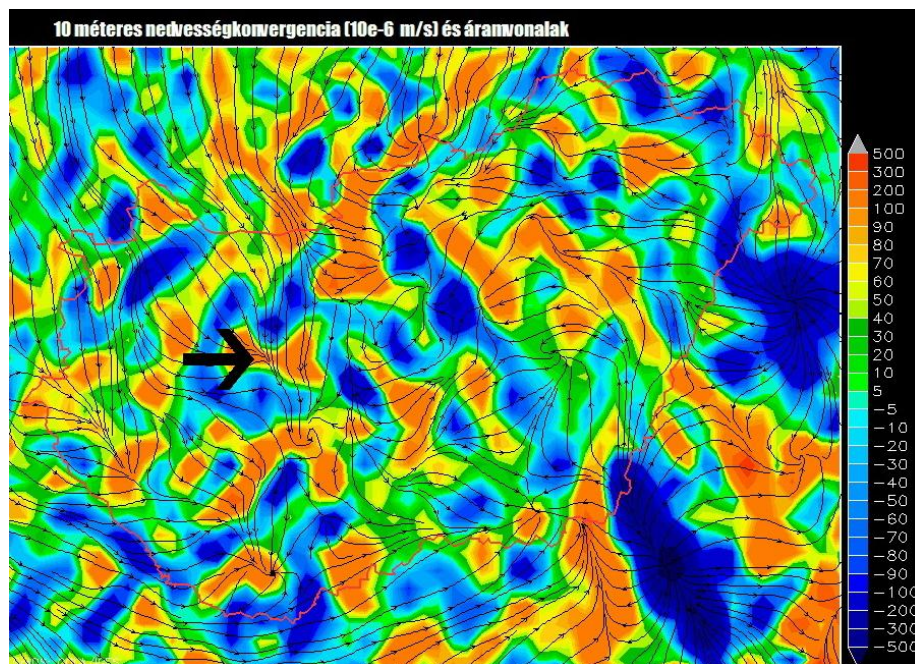
Középpontjával Északnyugat-Oroszország felett egy ciklon örvénylett, melyhez kapcsolódó lassú mozgású, kvázi-stacionárius front a Skandináv-félszigeten keresztül Lengyelországon és Görögországon át egészen Líbia tengerparti határáig felismerhető volt (29. ábra). Hazánktól délnyugatra található középponttal egy magassági hidegörvény helyezkedett el. A Kárpát-medencén belül nagyjából a Budapest-Szeged tengely mentén hullámzott a front 11 órakor. A WRF ARW előrejelzési modell térképeinek segítségével sikeresen analizálni lehetett az esemény előtt körülbelül 1-2 órával a Szentgotthárdtól Siófokot át Budapestig húzódó konvergencia zónát (30. ábra). A relatív nedvesség minden szinten elég magas volt, a Balaton északkeleti területein 16 °C körüli harmatpont mérték. A 24 °C-os 2 méteres hőmérsékletből és 16 °C-os harmatpontból számított 0-3 km-es SbCAPE értéke körülbelül 100-125 J/kg értéket vett fel (31. ábra). A reggeli órákban még 15 m/s körüli 0-6 km-es szélnyírás volt tapasztalható, de ez az esemény időpontjára 8-9 m/s-ig csökkent (32. ábra). Az ország egyik területén sem volt szupercellához megfelelő mértékű szélnyírás és a fényképeken sem látható szupercellára utaló struktúra. Magasabb szinteken gyenge melegadvékción zajlott, valamint 10 méteren erős örvényesség volt jellemző (33. ábra).

14:15 UTC körül Várpalota környékén kipattant egy záporgóc, s a konvergencia mentén további cellák alakultak ki a térségben északnyugat-délkeleti tengelyen. 15 UTC körül - a tuba megfigyelésének időpontjában - egy 45-50 dBz-s záporcella tartózkodott abban a térségben. A cella legerősebb állapotát épp a tuba kialakulásának időpontban érte el, jelezve ezzel a környéken itt előforduló legnagyobb mértékű alacsonyszintű instabilitást.

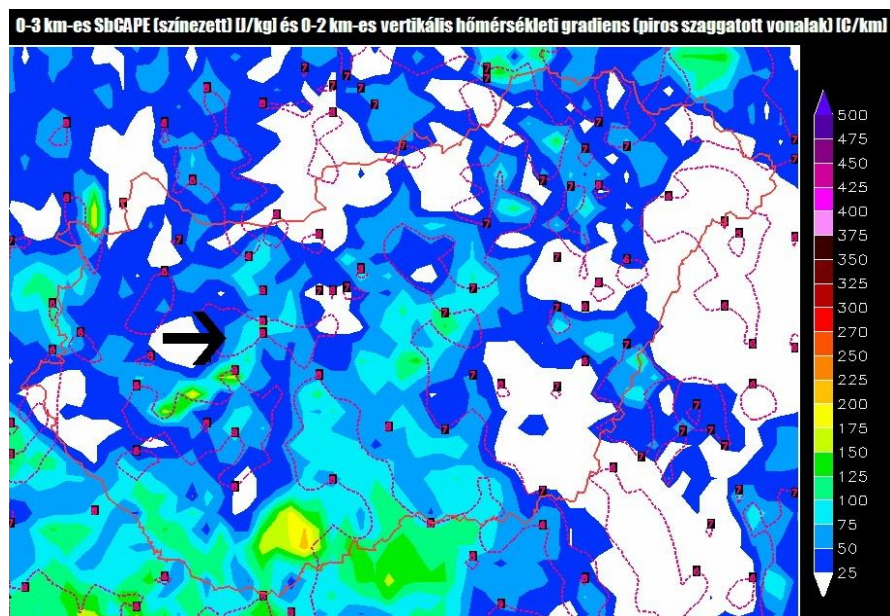




29. ábra - A DWD 2007.08.11. 12 UTC-re vonatkozó szinoptikus talajtérképe. Megfigyelhető rajta a kontinenst átszelő hullámzó frontrendszer. (forrás: www.wetter3.de)

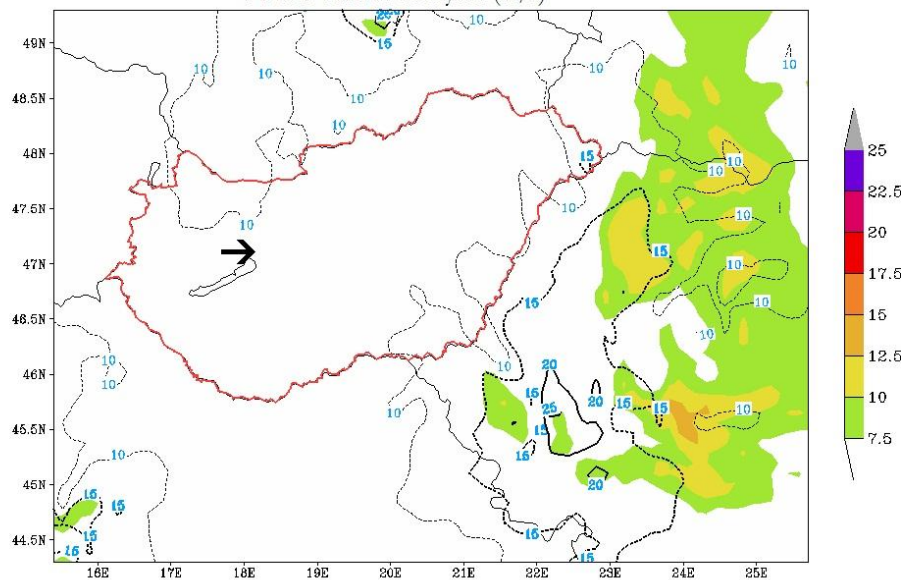


30. ábra - A nyíllal jelölt térségben - ahol a tubát észlelték - markáns konvergenciazóna húzódik. (A WRF ARW modell 2007.08.11. 15 UTC-re vonatkozó nedvesség konvergencia és áramlási mező előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)



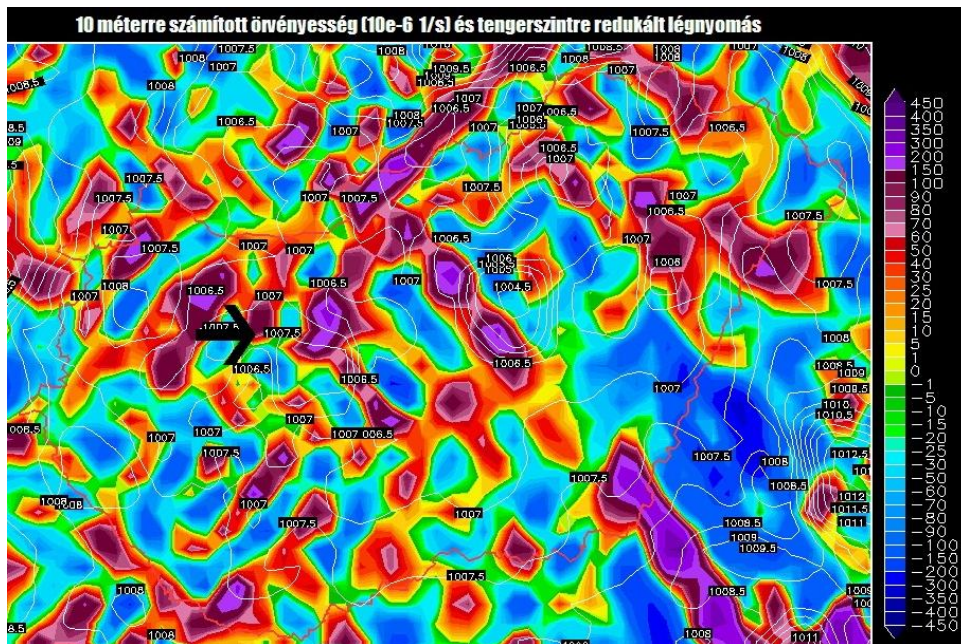
31. ábra - Az előrejelzés alapján a 0-3 km-es SbCAPE értéke 100-125 J/kg körül volt, valamint a 0-2 km-es vertikális hőmérsékleti gradiens értéke elérte a  $0,8^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ -t.  
 (A WRF ARW modell 2007.08.11. 15 UTC-re vonatkozó 0-3 km-es SbCAPE és 0-2 km-es vertikális hőmérsékleti gradiens előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)

WRF3/ARW 10km Valid:00Z11AUG2007 Sat (Init:00Z11AUG2007 + 15h)  
 0-1 és 0-6 km-es szélnyírás (m/s)



32. ábra - Látható, hogy a 0-6 km-es szélnyírás még a  $10\text{ m/s}$ -ot sem érte el.  
 (A WRF ARW modell 2007.08.11 15 UTC-re vonatkozó 0-1 km-es és 0-6 km-es szélnyírás előrejelzése.)





33. ábra - A nyíllal jelölt területen jelentős 10 méteres örvényesség támogatta a felhőtölesér kialakulását.

(A WRF ARW modell 2007.08.11. 15 UTC-re vonatkozó 10 méteres örvényesség és a tengerszintre redukált légnyomás előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)



## 6.5 Esettanulmány: 2007.08.20-i nem mezociklonális felhő- és víztölcsér

### 1. Beszámoló (Csirmaz Kálmán, OMSZ)

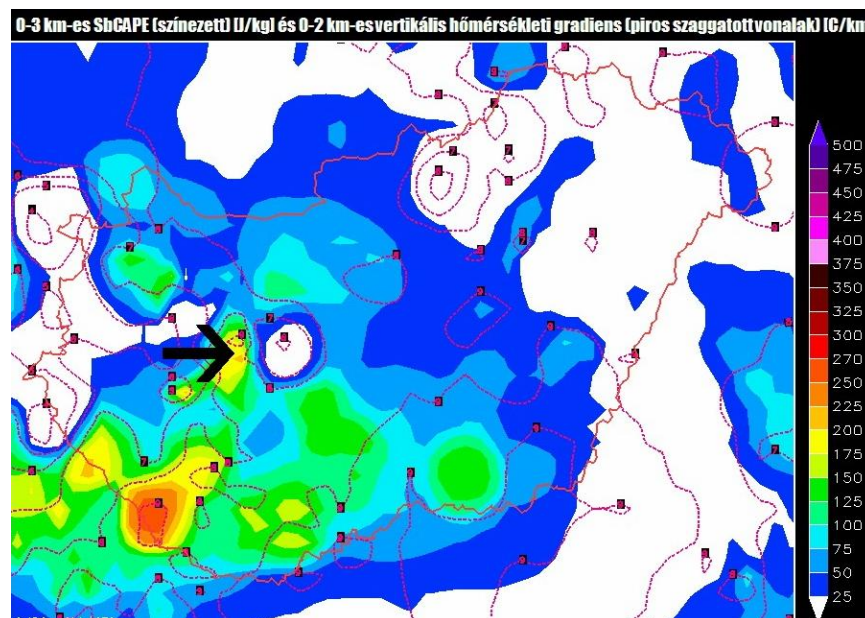
„Aznap erős kifutószéllel vonult át rajtunk egy zivatarlánc még a front előtt. (...) Aztán ahogy áthaladt rajtunk északkeleti irányba, lelassult, és a csapadékmentes felhőalap elkezdett veszettül kavarogni, miközben folyamatosan szívta fel a fractusokat magába. (...) A nagy kavargásban egy egészen apró, de határozott kontúrú felhőtölcsért sikerült megörökíteni, aztán viszont egy határozott bugyor keletkezett, ami egyre lejjebb nyúlt, fokozatosan ormányt eresztett, majd egy pár pillanatra láthatóvá vált a teljes légoszlop forgása a felszín illetve a felhő között. A földet érés kb. 15 másodpercig tarthatott, annál tovább nem, aztán visszahúzódott (34. ábra). (...)”



34. ábra – A tuba kialakulása. Fotó: Csirmaz Kálmán, OMSZ

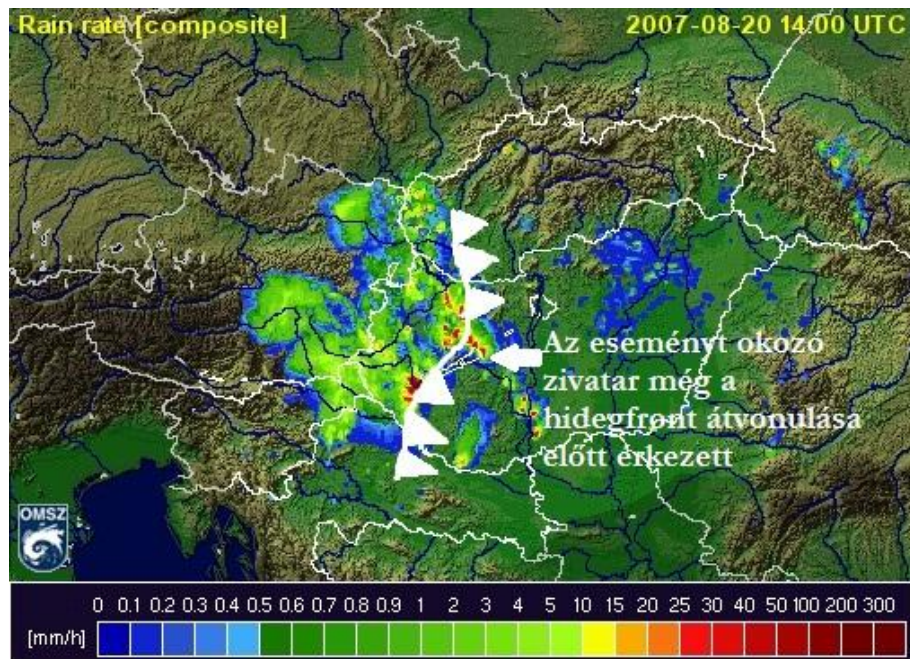
## Meteorológiai jellemzők

Augusztus 20-án Európa jelentős területei egy sekély, többközéppontú ciklon befolyása alatt álltak. Körülbelül Hollandiától Észak-Olaszországig húzódott egy lassan mozgó front, mely csak augusztus 21-re érte el a Kárpát-medencét. Az alacsonynyomású teknő közeledtével a Dunántúlon magasabb szinteken gyenge hidegadvекció, míg 850 hPa-on gyenge melegadvекció zajlott. A teknő másnapra elszakadt a hidegbázistól és hidegcseppként folytatta útját. Siófokot az esemény előtt néhány órával már konvergencia területként jellemezhetjük, mely kiterjedt a teljes alsó 1 km-re. 10 méteren és középszinten erős pozitív örvényesség volt jellemző. A 850 hPa-os ekvipotenciális hőmérséklet 60 fok körül volt, ami igen magasnak mondható. Egy délkelet-északnyugat irányultságú meleg nedves szállítószalag húzódott hazánk felett, a légkör alacsonyabb szintjei elegendően kedvesek voltak. Körülbelül 15 m/s-os 0-6 km-es szélnyírás volt jelen az esemény időpontjában. 13 UTC-re 200 J/kg-nyi talajtól számított CAPE halmozódott fel 0-3 km-en, a 0-2 km-es vertikális hőmérsékleti gradiens értéke is igen magas volt, 0,8 fok/100 méter (35. ábra). 14 UTC-kor délnyugati irányból elérte Siófokot egy zivatarlánc, a legerősebb radarjel körülbelül 50-55 dBz-s reflektivitási értékről tanúskodik. Még a hidegfront előtt alakult ki a kérdéses zivatarlánc, ez a radarképekből egyértelműen megállapítható. Maga a front csak 15:30 UTC-kor érte el a siófoki meteorológiai állomást (36. és 37. ábra).



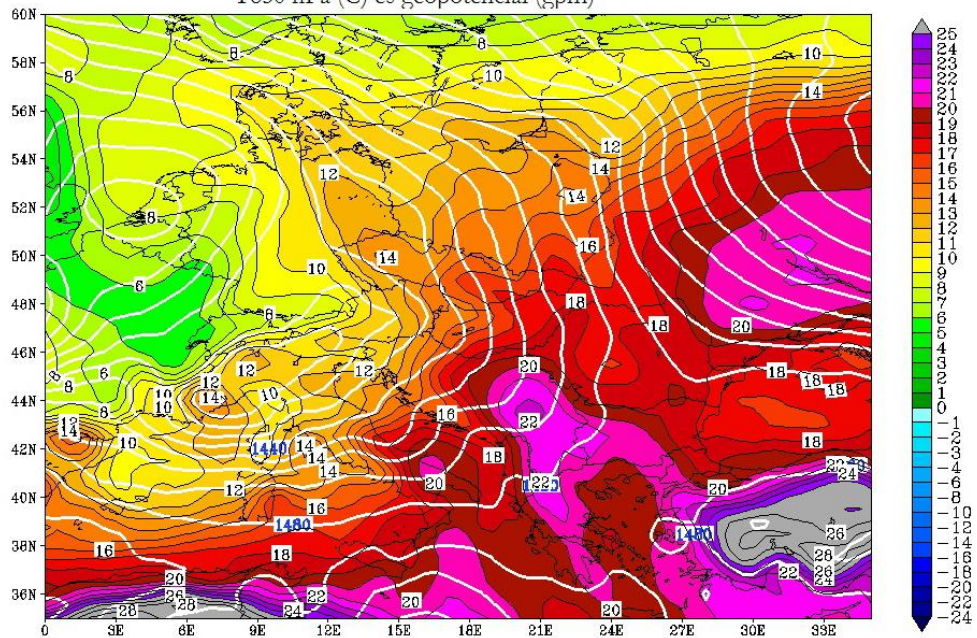
35. ábra - Az előrejelzés alapján a 0-3 km-es SBCAPE értéke 200 J/kg körül volt, valamint a 0-2 km-es vertikális hőmérsékleti gradiens értéke elérte a 0,8 °C/100 m-t.

(A WRF ARW modell 2007.08.20. 13 UTC-re vonatkozó 0-3 km-es SBCAPE és 0-2 km-es vertikális hőmérsékleti gradiens előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)



36. ábra - A hidegfront helyzete az esemény időpontjában. (forrás: OMSZ)

GFS\_0.5fok Valid:15Z20AUG2007 Mon (Init:06Z20AUG2007 + 03h)  
T850 hPa (C) és geopotenciál (gpm)



37. ábra - A GFS modell 850 hPa-os szint magasságának és hőmérsékletének előrejelzési térképe. Jól kivehető rajta a hullámzó hidegfront.



## 6.6 Esettanulmány: 2007.09.11-i nem mezociklonális tuba

### 1. Beszámoló (Kovács Attila, MetNet.hu)

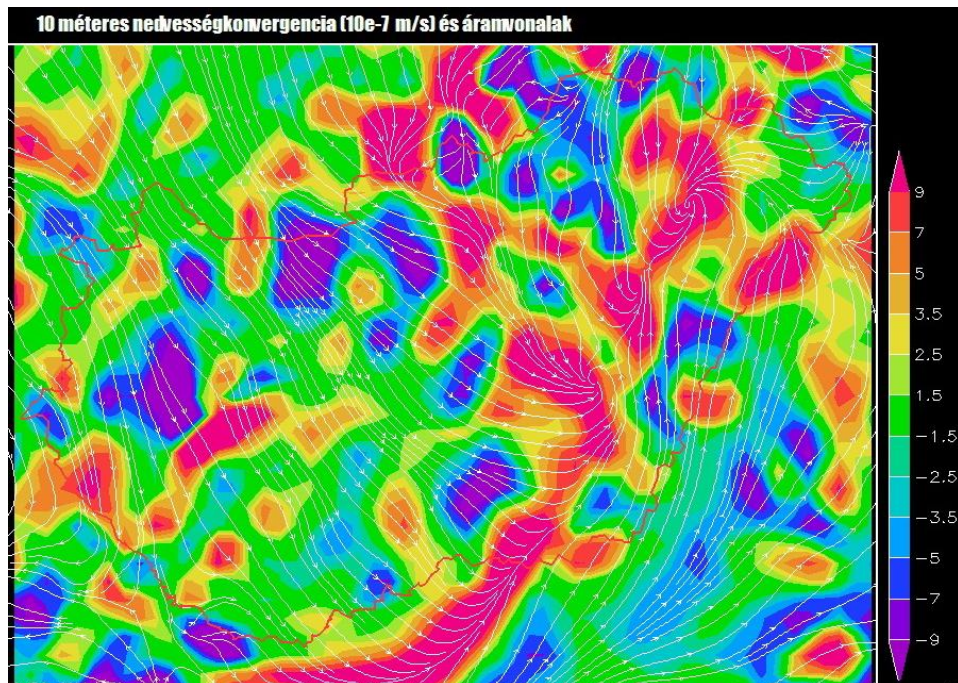
„(...) A délután folyamán erősen növekedtek a gomolyfelhők. 14 UTC környékén már látszott, komoly góccok érkeznek Jász-Nagykun-Szolnok megye felől a térségbe. (...) 14:45 UTC és 15 UTC között folyamatossá váltak a dörgések. Ezt követően, a zivatarvékenység gyengülése után jelent meg a tuba/tornádó (állítólag nagyon közel volt a tölcsér a földhöz a "csúcsidőben", így lehetséges, hogy a talajon is okozott örvénylést) a várostól északkeleti irányban. A jelenség kb. 10 percig tartott, a vége lett megörökítve. (...) Feltűnő volt még, hogy a felhőalap igen alacsonyan helyezkedett el, illetve, hogy már a zivatarcella kialakulása előtt is jól megfigyelhető volt a felhőzet forgó mozgása. (38. ábra)”



38. ábra – Felhőtölcsér Orosháza felett. Felvétel: Kovács Attila, MetNet.hu

## Meteorológiai jellemzők

Az Atlanti-óceán felett kialakuló anticiklon peremén hideg légtömegek érték el Közép-Európát, majd e magasnyomású légköri képződmény keletebbre való áthelyeződésével hazánk fölé helyeződött egy magassági hidegörvény, mely jelentős negatív hőmérsékleti és erős pozitív örvényességi advekciónal járt. Még a nap első felében elhagyta az országot egy lassan mozgó frontrendszer, mely mögött északi-északnyugati irányból hidegebb és szárazabb levegő áramlott a Kárpát-medencébe. A talajtérképek elemzését követően feltételezhető, hogy a középpontjával tőlünk délkeletre található sekély ciklon okklúziós frontja nyúlt vissza a keleti országrészbe. Ezzel pedig néhány órán át egy tartós konvergenciavonal (39. ábra) húzódott a térségre, melyhez jelentős 10 méteres pozitív örvényesség is társult (40. ábra)

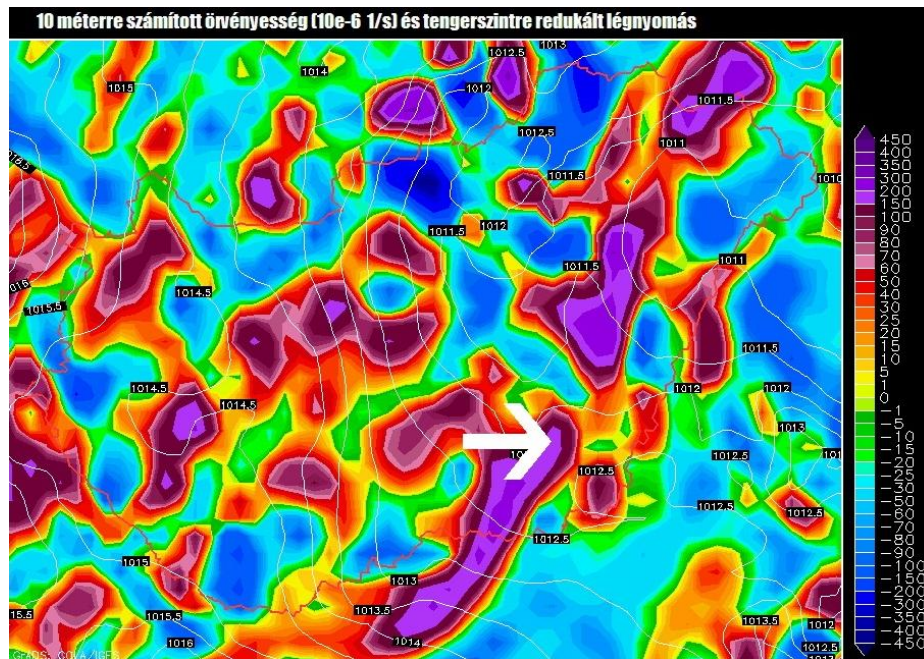


39. ábra - Jelentős 10 méteres nedvességkonvergencia Orosháza térségében is.

(A WRF ARW modell 2007.09.11. 15 UTC-re vonatkozó 10 méteres nedvességkonvergencia előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)

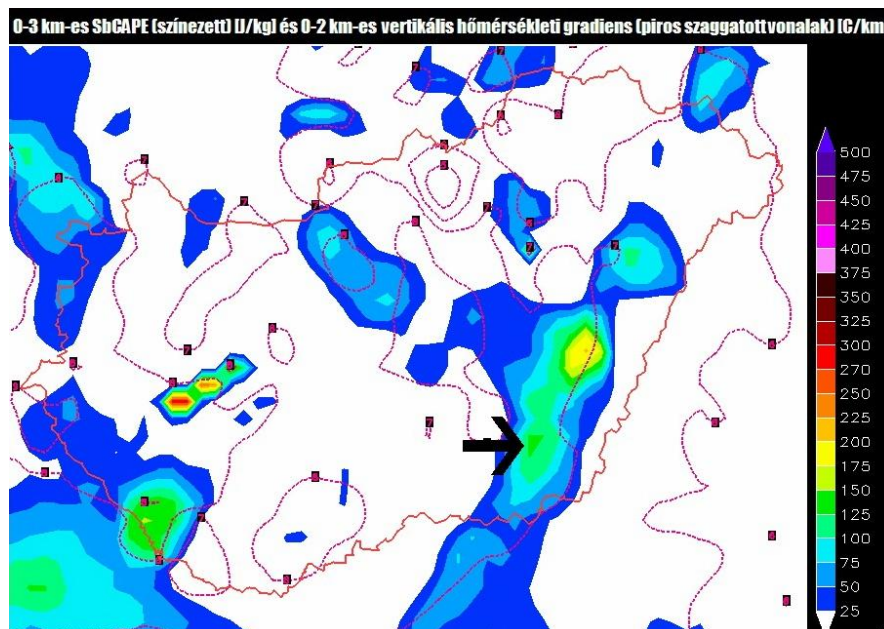
Az összeáramlásnak köszönhetően jelentős nedvesség halmozódott fel alacsonyszinten, a 15 fokos hőmérsékletből és 11 fokos harmatpontból számított CAPE 0-3 km-re vonatkozó értéke körülbelül 150 J/kg-nak adódott (41. ábra). A 0-6 km-es szélnyírás folyamatosan csökkent a délután folyamán, az esemény időpontjában 15 m/s körüli volt, ezzel ellentétben a 0-1 km-es szélnyírás értéke emelkedett és elérte a 8 m/s-ot. A radarképeket megvizsgálva körülbelül 30 perccel a tuba kialakulása előtt, 14:30 UTC-kor keletkezett egy zivatarcella Orosházától északnyugatra, mely az uralkodó áramlással 15 UTC-re érkezett meg a város térségébe. Az 50 dBz reflektivitású cella ezután még körülbelül még 45 percig élt, majd elgyengült. A

radarképek és a készített videofelvétel sem multicellás, sem szupercellás zivatarra nem enged következtetni.



40. ábra - Jelentős 10 méteres örvényesség támogatta a felhőtölcsér kialakulását.

(A WRF ARW modell 2007.09.11. 15 UTC-re vonatkozó 10 méteres örvényesség és a tengerszintre redukált légnyomás előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)



41. ábra - Az előrejelzés alapján a 0-3 km-es SbCAPE értéke 150 J/kg körül volt, valamint a 0-2 km-es vertikális hőmérsékleti gradiens értéke elérte a 0,75 °C/100 m-t.

(A WRF ARW modell 2007.09.11. 15 UTC-re vonatkozó 0-3 km-es SbCAPE és 0-2 km-es vertikális hőmérsékleti gradiens előrejelzése az OMSZ mérőhálózat adatainak asszimilációja után.)



## 7. Összefoglalás

A hazánkban előforduló nem mezociklonális tornádós és tubás esetek vizsgálatát azért tűztük ki célunknak, mert az utóbbi években elszaporodott a megfigyelésük és rendkívül nagy károkozásra is képesek. Az esetek nagyobb részében hazánkban nem érnek el olyan erősséget, amely valóban pusztítást komoly okozna, de néhány eset minden évben előfordul, amikor egy-egy nem mezociklonális tornádó épületekben vagy a környezetben okoz jelentős kárt (Polyánszky és Molnár, 2007; Polyánszky, 2009).

Célunk az volt, hogy megvizsgáljuk az ilyen típusú tornádók keletkezési körülményeit. Úgy a nagytérségű folyamatokat, mint a helyi hatásokat, s ezekből következtetéseket vonjunk le.

A témában való elmélyedéshez először a nem mezociklonális tornádókról szóló nemzetközi és hazai szakirodalmat tekintettem át. Ezt követően előrejelzési és analízis térképeket gyártottunk, melyeket elemezve képet kaptunk az ilyen típusú időjárási jelenségek kialakulásnak környezeti feltételeiről. A környezeti feltételekre fektettük a legnagyobb hangsúlyt a kiértékelésnél, mert ebben a dolgozatban nem tartottuk fontosnak, hogy a modell kiszámolja nekünk a tubát vagy a tornádót okozó zápor- vagy zivatarcellát, ezért nem is használtunk finomabb rácsfelbontást az esetekhez. Így a GFS modell segítségével megvizsgáltuk a legfontosabb főizobárszintek magassági, hőmérsékleti, nedvességi, örvényességi és szélmezőit, valamint a szélnyírást és az alapvető konvektív paramétereket. A finomabb felbontású WRF ARW modellel ezt még részletesebben megtettük, majd a WRF horizontális mezőjébe asszimilált OMSZ állomáshálózati adatokból újabb, sokkal pontosabb térképeket gyártottunk. Ezek között szerepel a 10 méteres szint nedvességkonvergenciája, a 0-3 km-es SbCAPE, a 0-2 km-es vertikális hőmérsékleti gradiens, a 10 méteres örvényesség és a  $\Delta\Theta_{e,max}$  is.

Elmondható, hogy a klasszikus, konvergenciavonal mentén kialakuló nem mezociklonális esetek mindegyikében ki tudunk zárni a tartós középszintű mezociklon jelenlétét. Bizonyos esetekben ennek bizonyításához elegendő lett volna csak a környezeti feltételek áttekintése, ám előfordult olyan is, ahol nélkülözhetetlennek bizonyult az eseményről készült fénykép, illetve radarfelvétel.

Az 500 hPa-os magassági térképeket és a talajtérképeket áttekintve elmondható, hogy vagy egy magassági hidegörvény, vagy egy hullámzó front befolyása alatt alakultak ki a nem mezociklonális esetek. 700 hPa-on az esetek nagyobb részében zárt izohipszák és alacsonynyomás volt jellemző, a többi esetben pedig egy alacsonynyomású teknő tengelye

volt hazánk közelében. A tipikus konvergencia menti örvények kialakulásakor nem volt magassági futóáramlat felettünk, melynek egyenes következménye, hogy ezekben az esetekben nem is volt jelentős a 0-6 km-es szélnyírás értéke. A kisebb skálájú folyamatokat tekintve egyértelműen látszik, hogy kivétel nélkül jelen volt a markáns nedvességkonvergencia, legtöbbször nem csak 10 méteren, hanem a teljes 0-1 km-es rétegben. E konvergenciavonalak mentén mindig jelen volt több-kevesebb 10 méteres pozitív örvényesség is, mely az átlagosan 150-200 J/kg-nyi 0-3 km-es SbCAPE-pel párosulva vertikális tengelyű örvényeket hozott létre. Ezek a talajról induló örvények a meglévő nedvességi viszonyoktól függően tölcsérfelhő formájában kikondenzálódtak és elérték vagy megközelítették a talajt. A domoszlói esetet kivéve jelentős károkozásról nem értesültünk a 2007. évből, ám több ízben is csak kevésen múlt, hogy az örvény elérje a felszínt. Mátraverebélyen és Orosházán is lakott terület felett alakult ki a felhőtölcsér, mely képes lett volna kárt tenni a háztetőkben vagy a környezetben. 2008. 08. 24-én Ipolytarnócon bizonyítottan egy F1-es erősségű nem mezociklonális tornádó okozott 15 házban komoly károkat, személyi sérülés szerencsére nem történt. Tehát a veszély minden olyan alkalommal megvan, amikor ilyen típusú örvények fel tudnak épülni. S mivel keletkezési körülményeit tekintve előfordulhat, hogy gyakrabban fordulnak elő, mint mezociklonális társaik (*Polyánszky és Molnár, 2007*), ezért kiemelt figyelmet érdemelnek a jövőben is.

Tanulságos volt a paraméterek vizsgálata az események környezetében, segítségükkel a jelenséget kialakító fizikai folyamatokról vonhattunk le pontosabb következtetéseket. Vizsgálataink hasznosak lehetnek az ilyen típusú, eddig kevésbé ismert, potenciálisan károkozó időjárási jelenségek kialakulási feltételeinek megismeréséhez. Így munkánk segítheti a veszélyes időjárási jelenségekkel foglalkozó előrejelzők munkáját, de további vizsgálatok szükségesek még a tudomány e területén.



## **Köszönetnyilvánítás**

Köszönöm témavezetőmnek, Polyánszky Zoltánnak, hogy elvállalta a témavezetésemet s türelmével, tanácsaival és szaktudásával az első alkalomtól kezdve a dolgozat leadásáig segítette munkámat.

Köszönöm belső konzulensemnek dr. Pongrácz Ritának, hogy segített a dolgozatom formai követelményeinek elsajátításában és véglegesítésében.

Köszönetet mondok a hazai amatőr meteorológus társadalomnak, hogy rendelkezésemre bocsátották az esetekről készült felvételeket és megosztották velem esetleírásaikat.

Köszönetet mondok a MetNet.hu-nak, Magyarország legnagyobb nonprofit amatőr meteorológiai internetes oldalának és a szupercella.hu-nak, az A-MET viharvadászattal, viharkutatással és ismeretterjesztéssel foglalkozó oldalának, hiszen a témakörben való ismeretem alapjait e két oldalon sajátítottam el.

Köszönöm az Országos Meteorológiai Szolgálat munkatársainak, hogy a modellfuttatáshoz szükséges hazai állomáshálózat mérési adataival elláttak.

Köszönöm Kern Anikónak, hogy rendelkezésemre bocsátotta az esetek vizsgálatához szükséges nagyfelbontású műholdképeket, melyeket az ELTE műholdvevő állomása készített.

Külön köszönöm Leviczky Gergelynek (A-MET) a WRF modellfuttatáshoz kapcsolódó munkáját, valamint Bondor Gyulának az asszimiláció során nyújtott segítségét.

Köszönöm családomnak a biztatásukat, támogatásukat, mellyel végigkísérték e dolgozat elkészülését.

## Irodalomjegyzék

- Bötkös, T.*, 1998: Magyarországi, tornádót hordozó, konvektív veszélyes folyamatok szinoptikus és dinamikus elemzése. Szakdolgozat. ELTE TTK Meteorológia Tanszék, 38 p.
- Brady, R. H., Szőke, E. J.*, 1988: A Case Study of Nonmesocyclone Tornado Development in Northeast Colorado: Similarities to Waterspout Formation. *Monthly Weather Review*, 117, pp. 843-856.
- Branick, M. L.*, 1994: Tornadoes in the Oklahoma City, Oklahoma Area Since 1890. (<http://www.srh.noaa.gov/oun/>) National Weather Service Forecast Office, Norman, Oklahoma
- Brooks, H. E., Doswell, C. A. III.*, 2000: Normalized Damage from Major Tornadoes in the United States: 1890–1999. *Weather and Forecasting*, 16, pp. 168-176.
- Browning, K. A., Donaldson, R. J. Jr.*, 1963: Airflow and structure of a tornadic storm. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 20, pp. 533-545.
- Caruso, J. M., Davies, J. M.*, 2005: Tornadoes in Nonmesocyclone Environments with Pre-existing Vertical Vorticity along Convergence Boundaries. *Electronic Journal of Operational Meteorology*, 2005-EJ4
- Changnon, S. A.*, 1999: Data and Approaches for Determining Hail Risk in the Contiguous United States. *Journal of Applied Meteorology*, 38, pp. 1730-1739.
- Cooley, J. R.*, 1978: Cold Air Funnel Clouds. *Monthly Weather Review*, 106, pp. 1368-1372.
- Davies, J. M.*, 2006: Brief Case Studies of Non-mesocyclone "Landspout" Tornadoes. ([www.jondavies.net](http://www.jondavies.net))
- Doswell, C. A. III., Burgess, D. W.*, 1993: Tornadoes and Tornadic Storms: A Review of Conceptual Models. *Geophysical Monograph*, 79, pp. 161–172.
- Doswell, C. A. III.*, 1996: What is a supercell? *18<sup>th</sup> AMS Conference on Severe Local Storms*, 1996, San Francisco, pp. 641.
- Dotzek, N.*, 2003: An updated estimate of tornado occurrence in Europe. *Atmospheric Research*, 67–68, pp. 153-161.

- Fujita, T. T., Pearson, A. D., 1973: Results of FPP classification of 1971 and 1972 tornadoes. Preprints 8th Conference on Severe Local Storms, Denver. 1973, pp. 142-145.*
- Fujita, T. T., 1985: The downburst, microburst, and macroburst. SMRP Research Paper, No. 210, 122 p.*
- Fujita, T. T., 1981: Tornadoes and Downbursts in the Context of Generalized Planetary Scales. Journal of the Atmospheric Sciences, 38/8, pp. 1511-1534.*
- Glickman, T. S., ed., 2000: Glossary of Meteorology, Second Edition, American Meteorological Society, Boston, pp. 855.*
- Horváth, Á., 1997: Tornádó! Léggör, 42/4. szám, pp. 2-8.*
- Horváth, I., 2004: Viharforgatag nyolcvan évvel ezelőtt. Vörösvári újság, 4/7. szám*
- Huschke, R. E., ed., 1959: Glossary of Meteorology, First Edition. American Meteorological Society, Boston, pp. 505.*
- JDOP Staff, 1979: Final report on the Joint Doppler Operational Project (JDOP) 1976-1978, NOAA Tech Memo, ERL NSSL-86, Norman, Oklahoma, 84 p.*
- Kecskés, L., 1988: Tornádók és előfordulásuk Magyarországon. Léggör, 33/3. szám, pp. 27-30.*
- Kósa-Kiss, A., Horváth, Á., 2002: Tornádótölcsér Nagyszalonta határában. Léggör, 47/4. szám, pp. 13.*
- Lane, J. D., Moore, P. D., 2006: Observations of a non-supercell tornadic thunderstorm from a Terminal Doppler Weather Radar. 23rd Conference on Severe Local Storms, 2006, St. Louis*
- Meaden G. T., 1976: Tornadoes in Britain: their intensities and distribution in space and time. Journal of Meteorology, 1, pp. 242–251.*
- Polyánszky, Z., 2004: Szupercellák vizsgálata a Kárpát-medencében. Diplomamunka. ELTE TTK Meteorológiai Tanszék, 61 p.*
- Polyánszky, Z., Molnár, Á., 2007: Nem mezociklonális tornádók Magyarországon. Léggör, 52. évf., 1. szám, pp. 35-52.*

*Polyánszky, Z., 2009: Non Mesocyclone Tornadoes in Hungary. Poszter, European Conference on Severe Storms, Landshut, 2009*

*Rasmussen, E. N, Blanchard, D. O., 1998: A Baseline Climatology of Sounding-Derived Supercell and Tornado Forecast Parameters. American Meteorological Society, Volume 13, Issue 4, pp. 1148-1164.*

*Sárközi, Sz., 2002: A homogenous approach in tornado climatology of Hungary for the recent five-year period (1996-2001) based on official damage reports. European Conference on Severe Storms, Prága, 2002*

*Sárközi, Sz., 2005: A systematic approach to synoptic tornado climatology of Hungary for the recent years (1996–2001) based on official damage reports. Atmospheric Research, Vol. 83, pp. 263–271.*

*Sills, D. M. L., King, P. W. S., 2000: Landspouts at lake breeze fronts in southern Ontario. AMS Severe Local Storms Conference, Paper 7.1, 2000, Orlando*

*Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X.-Y., Wang, W., Powers, J. G., 2008: A Description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Technical Note, 125 p.*

*Smith, R., 1996: Non-supercell tornadoes: A Review for forecasters. National Weather Service, Weather Forecast Office, Memphis*

*Szóke, E. J., Barjenbruch, D. B., Glancy, R., Kleyla, R., 2006: The Denver Cyclone and tornadoes 25 years later: the continued challenge of predicting nonsupercell tornadoes. American Meteorological Society, 23rd Conference on Severe Local Storms, 2006, St. Louis*

*Szóke, E. J., Weisman, M. L., Brown, J. M., Caracena, F. Schlatter T. W., 1984: A Subsynoptic Analysis of the Denver Tornadoes of 3 June 1981, American Meteorological Society, 112, pp. 790-808.*

*Tuba, Z., 2003: Magyarországi tornádós időjárási helyzetek részletes elemzése. Szakdolgozat. ELTE TTK, 36 p.*

*Wakimoto, R. M., Wilson, J. W., 1988: Non-supercell Tornadoes. Monthly Weather Review, 117, pp. 1113-1140.*

*Wakimoto, R. M.*, 1985: Forecasting dry microburst activity over the High Plains. *American Meteorological Society*, 113, pp. 1131-1143.

*Wegener, A.*, 1917: Wind- und Wasserhosen in Europa. *Friedrich Vieweg & Sohn*, Braunschweig, pp. 301.

*Wilson, J. W.*, 1985: Tornadogenesis by Nonprecipitation Induced Wind Shear Lines. *Monthly Weather Review*, 117, pp. 270-284.

## 1. függelék:

### A Fujita skála

(Fujita és Pearson, 1973)

Fokozat	Szélesség	Pusztítás mértéke
<b>F0</b>	65-115 km/h	Gyenge: faágakat szakít le, sekély gyökérszerű fákat tép ki a földből, közlekedési táblákat és kéményeket rongál meg.
<b>F1</b>	116-180 km/h	Mérsékelt: tetőszerkezeti anyagokat szórhat szét, lakóautókat dönt fel, autókat sodor le az útról és borít fel.
<b>F2</b>	181-250 km/h	Erős: nagyobb fák gyökerestül kiszakadnak, házak teljes tetőszerkezetét letépi, vasúti szerelvényeket és pótkocsikat borít fel, a sebesen száguldó apró törmelék is veszélyforrássá válik.
<b>F3</b>	251-330 km/h	Heves: teljes erdők pusztulnak el, vonatok sodródhatnak le a sínpályáról, házak falait dönti ki, letépi a teljes háztetőt.
<b>F4</b>	331-420 km/h	Pusztító: házakat és egyéb kis építményeket tesz a föld színével egyenlővé, autókat repít a levegőben.
<b>F5</b>	421-510 km/h	Elképesztő: az autók lövedékként repülnek a levegőben, vasbeton házak komolyabban megsérülnek.

## 2. függelék - A TORRO skála

(Meaden, 1976)

TORRO intenzitás	Szélesség	Tornádó jelzője	Pusztítás mértéke
<b>T0</b>	61 - 86 km/h	Enyhe	Felkapja a talajról a könnyű szemetet, lazább cserepeket elmozdít, felborogatja a kerti bútorokat.
<b>T1</b>	87 - 115 km/h	Gyenge	Könnyebb sérüléseket okoz bokrokban és fákban, fészert kissé megrongálja, cserepeket komolyabban elmozgatja.
<b>T2</b>	116 - 147 km/h	Mérsékelt	Nehéz lakókocsikat helyez arrébb, lerombolja a fészert, kisebb fákat csavar ki, gyenge vagy öreg falakat dönt le.
<b>T3</b>	148 - 184 km/h	Erős	Lakókocsikat fordít fel és rongál meg komolyabban, garázsokat és könnyűszerkezetű építményeket rombol le, nagyobb fákat csavar ki, a sebesen száguldó apró törmelék is veszélyforrássá válik.
<b>T4</b>	185 - 220 km/h	Heves	Gépkocsikat emel a magasba, lakókocsikat tör rommá, néhány ház tetejét teljesen leszakítja, néhány nagyobb fát kitép és magával viszi a szél.
<b>T5</b>	221 - 259 km/h	Intenzív	Nehezebb gépkocsikat emel a magasba, bútorokat szippant ki a házakból, gyengébb vagy öregebb épületeket dönt össze.
<b>T6</b>	260 - 299 km/h	Mérsékeltén pusztító	Szilárdabb házakat is elpusztít, a téglák és törmelék veszélyes repülő lövedékké válik, villanyoszlopokat dönt ki.
<b>T7</b>	300 - 342 km/h	Erősen pusztító	Téglaépületeket és faszervezetes házakat tesz a földre egyenlővé, mozdonyokat repít arrébb.
<b>T8</b>	343 - 385 km/h	Hevesen pusztító	Gépkocsikat nagy távolságba repít, vasbeton épületekben tesz jelentős kárt, komoly pusztítás a teljes nyomvonalon.
<b>T9</b>	386 - 432 km/h	Intenzíven pusztító	Sok vasbeton épület pusztul el, a lakosság túlélése a földalatti óvóhely meglététől függ.
<b>T10</b>	433 - 482 km/h	Szuper	Teljes épületek emelkednek a magasba és repülnek hosszú szakaszon keresztül, teljes pusztítás a környezetben.