



Polyánszky Zoltán & Molnár Ákos

Nem mezociklonális tornádók Magyarországon

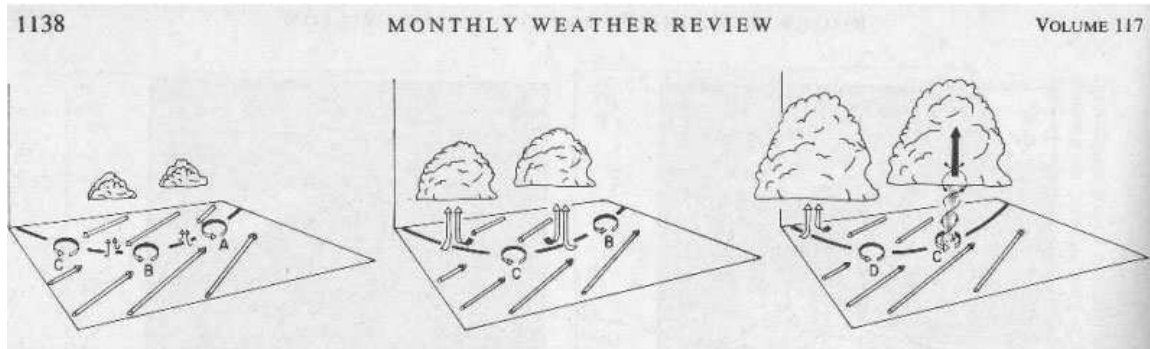
BEVEZETÉS

A szupercella potenciálisan a legveszélyesebb zivatartípus. Az ilyen zivatarok az esetek jelentős részében 90 km/ó feletti szélökéseket, 2 centiméteres jégméretet meghaladó jégesőt, felhőszakadást okozhatnak, és tornádót is hordozhatnak. Szupercella az erőteljes feláramlások és a szélnyírás kölcsönhatásaként alakul ki, melynek következtében egy függőleges tengely mentén forgó zivatarfelhő jön létre. A szupercellás zivatar legfőbb jellemzője a mezociklon, mely e forgást és a hozzá kapcsolódó frontális jellegű struktúrát jelenti. A mezociklon okklúziós frontjának végén megjelenhet a tornádó. Kb. 50-100 magyarországi szupercellás eset vizsgálata után elmondható, hogy a középszintű (kb. 3-6 km) mezociklon kialakulásához legalább 15 m/sec 0-6 km-es szélnyírás szükséges, elegendően nagy labilitási feltételek mellett. A tornádókat kialakító környezeti viszonyok között - a mezociklon megléte mellett - a jelentős, legalább 10-12 m/sec 0-1 km-es szélnyírás és az alacsony emelési kondenzációs szint a kiemelendő. Mindez jól egyezik a külföldi (jórészt amerikai) szakirodalomban, esettanulmányokban, feldolgozásokban szereplő értékekkel.

Tornádók azonban nem csak mezociklonhoz kapcsolódhatnak, attól függetlenül, az előbbiektől jelentősen eltérő környezeti feltételek mellett is kialakulhatnak. Ezen cikkünkben 3 (bizonyítottan) tornádós és 3 felhőtölcséres eset tárgyalunk, melyek egyike sem mezociklonális eredetű. Mindegyik alkalomról fényképes dokumentáció és eseménybeszámoló áll rendelkezésre. A megfigyelések, fotók, videók nagy része a metnet.hu meteorológiai internetes oldal vizuális észlelőhálózatának tagjaitól származik.

NEM MEZOCIKLONÁLIS TORNÁDÓ KÖRNYEZETE, JELLEMZŐI

Kialakulásukhoz egy lassan mozgó, vagy tartósan egy helyben álló talajközeli konvergencia szükséges, amely fölött a tömegmegmaradás törvénye miatt feláramlások alakulnak ki. A horizontális szélnyírás következtében a konvergenciavonal mentén, vertikális tengelyű örvények alakulhatnak ki. Erőteljes feláramlással párosulva egy ilyen örvény függőlegesen megnyúlik, az örvény sugara lecsökken és az impulzusmomentum megmaradása értelmében tornádó erejű forgás alakulhat ki. Fontos hangsúlyozni, hogy az örvény a talajról terjed felfelé, és a tornádót nem előzi meg magasabb szinteken mezociklon létrejötte. A tölcserfelhő viszont a mezociklonális tornádóhoz hasonlóan először a felhő alapja közelében jelenik meg, mivel az örvényben a lecsökkenő nyomás először ezen a szinten okozza a vízgőz kondenzálódását.

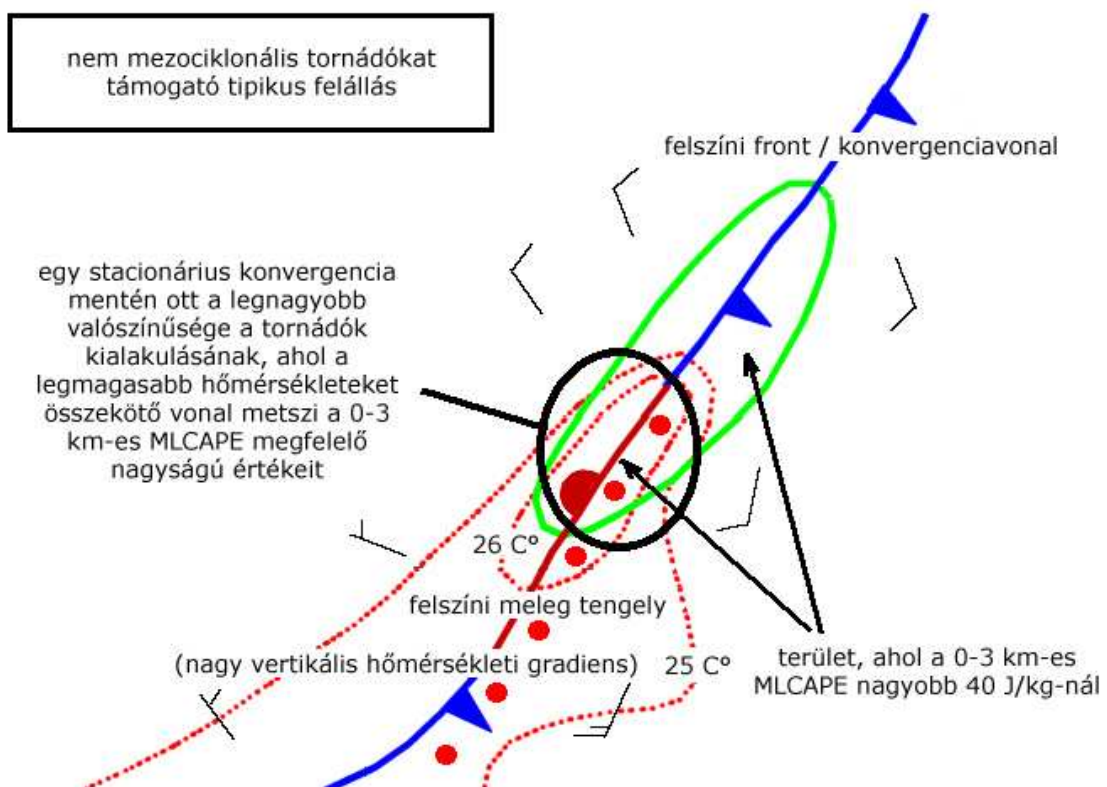


1.ábra - Nem mezociklonális tornádó életciklusa. Ott, ahol a nagy alacsony szintű labilitás okozta erős feláramlás egybeesik a markáns konvergencia által kialakított vertikális tengelyű örvényességgel, tornádó is kialakulhat (forrás: Wakimoto and Wilson, 1989)

Ahhoz, hogy tornádóról beszélhessünk, nem szükséges, hogy a kondenzációs tölcser elérje a talajt, elég, ha a sebesen örvénylő légoszlop látható nyomot hagy a felszínen felkavarodó törmelék formájában. Ezután a károkozás nagysága alapján következtetünk a tornádóban kialakult szélsőségre, és jellemezzük a Fujita-skála vagy a TORRO-skála szerint.

A nem mezociklonális tornádókról elmondható, hogy általában gyengébbek mezociklonális társaiknál, de extrém labilitás esetében akár az F3-as kategóriát is elérhetik. A 2005. július 17-i tyukodi tornádó pl. F2-es erősségű volt. További jellemzőként említhető, hogy az ilyen helyzetek stacionárius jellege miatt a kialakuló tornádó tartósabban pusztíthat egy adott területen. Bár supercellák között is előfordulhat olyan, amelyik szinte egy helyben áll (pl. 2005. július 1-én Dombóvárnál és Kalocsánál), a szélvektorok ehhez szükséges vertikális elrendeződése elég ritkán valósul meg. A mezociklonális tornádók gyakran jelentősebb sebességgel haladnak, együtt a mozgó supercellával.

NEM MEZOCIKLONÁLIS TORNÁDÓK KONCEPTUÁLIS MODELLJE





2. ábra - Egy stacionárius konvergencia mentén ott a legnagyobb valószínűsége a tornádók kialakulásának, ahol a legmagasabb hőmérsékleteket összekötő vonal metszi a 0-3 km-es CAPE megfelelő nagyságú értékeit (*forrás: Jonathan Davies, 2003*)

A 2. ábrán látható összetevők közül alapvető a tartós, markáns konvergenciavonal jelenléte, ill. az alsó 3 km labilis légrétegződése. A labilitást többféleképpen is megközelíthetjük. A legegyszerűbb esetben vizsgálhatjuk pl. a 2 m-es hőmérsékletet, megpróbálhatjuk felderíteni annak maximumát. Tovább lépve elemezhetjük a 2 m-es és az 1, 2, vagy 3 km-es légrétegek közti hőmérsékleti gradienst. Ez már többet elárul a labilitási viszonyokról, de a nedvességről még nem tartalmaz információt. A leginkább árulkodó paraméter ezért a CAPE, melyet a termodinamikai diagramon ábrázolva a talajról indított légréteg termodinamikai útja és a környezeti hőmérséklet vonala által bezárt terület alapján kapunk meg. Mivel a légréteg útját a harmatpontja is befolyásolja, a CAPE teljesebb képet nyújt a labilitásról. Végző soron a nem mezociklonális tornádók szempontjából kritikus légréteg az alacsonyabb szinteken helyezkedik el, mivel a konvergencia örvényei is itt találhatóak, így a 0-3 km-es CAPE (a CAPE alsó 3 km-es szakasza) jelenti a leginkább használható mutatót. Nem mellékesen a kicsi vagy nem kimutatható CIN is hozzájárul, hogy ne fogja vissza záróréteg a konvekciót, és ily módon jelentős felhajtóerővel rendelkező, akadálytalanul fejlődő erős feláramlások jöjjenek létre.

A kialakult konvektív felhőzetnek, a radaron megfigyelt csapadéknak egyfelől indikátor szerepe van - közvetve az erős feláramlásra engednek következtetni, kellően nedves környezetben - másfelől viszont a csapadék keltette kiáramló hideg levegő kifutófrontja az eredeti konvergenciavonalat metszve növelheti a feláramlás erősségét, valamint fokozhatja az örvényességet, kiemelten alkalmassá téve az adott területet nem mezociklonális tornádók keletkezésére.

A következő fejezetben hat olyan felhőtölcséres vagy tornádós esetet mutatunk be, ahol bizonyíthatóan nincsenek meg a feltételek mezociklon kialakulásához és a tornádók attól függetlenül alakultak ki.

ESETEK

Mind a hat esetről a beszámolók mellett fényképes dokumentációk is készültek, amik egyértelműen bizonyítják a tölcsérfelhő, vagy tornádó jelenlétét. A fényképeknek a felhőzet struktúrájának feltérképezése miatt is nagy jelentősége volt. A vizsgálathoz az európai szinoptikus, mezo- és cq-térképeken, ill. radarméréseken túl rádiószondás felszállásokat és GFS, ECMWF modell mezőket is figyelembe vettünk. Mivel modell temp előrejelzés nem állt rendelkezésünkre, így az eseményre reprezentatívnak tekinthető mért rádiószondás felszállást módosítottuk a főizobárszintek előrejelzett modell eredményeivel a bekövetkezett esemény helyére és idejére vonatkozóan, figyelembe véve az eseményhez legközelebbi óránkénti 2 méteres hőmérséklet és harmatpont méréseket.



2006. augusztus 7.

Beszámoló (forrás: metnet.hu)

Helyi idő szerint nem sokkal 13 óra után tornádót figyeltek meg a Velencei-tó környékén

„ (...) arra lettem figyelmes, mintha füst lenne, csak éppen a felhő felől képződött. Eleinte széles rendezetlen volt, és pillanat alatt elkezdett forogni. Majd egészen leért a földre, de ekkor már elkeskenyedett. Ekkor hirtelen eltűnt az alja, majd K-i irányba próbált törni srégen a föld felé. Ekkor hirtelen feloszlott, és még egyszer volt egy gyenge próbálkozás. Aztán hipp-hopp mintha ott se lett volna, minden eltűnt, semmi örvénylés. Az egész max. 5 másodpercig tartott (...) meglepő volt, hogy dörgést csak a tornádó után fél óra múltán hallottam és nem is sokat (...) ”



3. ábra – Forrás: metnet.hu

Meteorológiai jellemzők

Középpontjával (Moszka-Minszk között félúton) a Kelet-európai síkság nyugati része felett elhelyezkedő öregedő ciklon visszahajló okklúziós frontja Lengyelországon, Magyarországon át egészen az Adria északi részéig húzódott. A mezo-térképeket és az óránkénti c_q-térképeket megnézve az okklúziós front könnyen analizálható nyomási teknője már az esemény előtt 2-3 órával, ill. azt követően is közel ugyanott volt, tehát kb. Vác-Székesfehérvár-Nagykanizsa vonalában. A légkör nagy magasságig meglehetősen nedves volt, az országtól északra minden szinten a zárt izohipszákkal rendelkező alacsonynyomású terület volt megfigyelhető a magassági térképeken. A felszállást 20 °C-ról és 15 °C-os harmatpontról indítva, meglehetősen labilis légállapotot



lehetett kapni. A teljes CAPE kb. 350-400 J/kg-ig emelkedett, a legnagyobb hőmérsékleti gradiens pedig 0-1 km-en volt (0.8 fok C°/100m). A szélnyírás a modell analízisek alapján ugyan nyugat felé növekedett, de Székesfehérvár környékén még csak kb. 7 m/s 0-1 km-es és 10 m/s-os 0-6 km-es szélnyírás lehetett. A fényképeken szupercellára utaló struktúra nem látszik, csak záport adó gomolyok láthatóak, hosszan a konvergencia vonalát követve, viszonylag vékony sávban elnyúlva. Ezen szélnyírási értékek a labilitási mutatókkal összevetve még hazai tapasztalatok alapján sem elegendőek szupercella kialakulásához, összességében nincsenek meg a feltételek mezociklonális tornádóhoz.

Az okklúziós front mentén 11:00-tól 11:30-ig a radarképeken a Velencei-tó déli partján egy kis méretű 25-30 dBz-s jel tűnik fel, mutatván a legerősebb cella helyét a konvergencia mentén, majd két órával később pontosan ugyanott 13:00 és 14:15 között szintén megjelent az előbbinél már erősebb 30-35 dBz-s cella, amely 13:15-kor volt a legnagyobb intenzitású. A tubát, tornádót ekkortájt figyelték meg ezen a helyen. A helyzet érdekessége, hogy az alacsonyabb szintek feltételei az említett két órán belül gyakorlatilag változatlanok voltak, 850 és 700 hPa-os szinten kis mértékű melegadvekciónak ment végbe a délelőtti órákban a Dunántúlon. Az okklúzió mentén a reggeli órákban Siófoktól délre egy erősebb cella megjelent, de ezt leszámítva csak itt alakultak ki záporok.

2006. július 3.

Beszámoló (forrás: metnet.hu)

Tubákat figyeltek meg Szolnoktól D-re, Mezőtúrtól NY-ra

„ (...) 3 db felhőtölcsérünk volt tőlünk kb. 12-15 km-re. (...) Az első elég kicsi volt, kb. 3-4 percig tartott, nem is voltam biztos benne, hogy egyáltalán felhőtölcsér-e. A második 15-20 percig tekergett, úgy 2/3-ig nyúlt le a felhőből (a felhőalap 1000-1100 m körül lehetett, úgyhogy a ferdesége miatt kb. 6-700 m hosszú volt, mindenhol ugyanolyan vastagságú), a harmadik viszonylag gyorsan vékonyodó 5 perces szépség volt (...) az erős Cu2, Cb3 felhő alján.”

14:49-kor az OMSZ központjába speci távirat érkezett: Szolnokon felhőtölcsért látnak

SPHU85 HASN 031249

SPECI LHSN 031249Z 32003MPS 9999 **VCFC** FEW035CB BKN035TCU 23/16 Q1020 RMK
BLU=



4.ábra – Forrás: metnet.hu

Meteorológiai jellemzők

Anticiklon déli peremén több napon keresztül Európa térképen is jól analizálható módon egy határozott konvergencia vonal húzódott Törökországtól kezdve Görögországon, Albánián és Magyarországon át. A magassági térképeken a szélnyírás 0-6 km-en és 0-1 km-en teljesen hiányzik, a talajról induló légréteg labilitás értékek Szolnok környékén a legnagyobbak az országban. Már az eseményt megelőzően is itt volt mérhető a környezetéhez képest legmagasabb 2 méteres hőmérséklet és 2 méteres harmatpont, továbbá a konvergencia vonal több órára visszamenőleg egy helyben állva Szolnok közelében húzódott. Hasonlóan magas harmatpontok fordultak elő Szolnoktól délnyugatra más állomásokon is, a konvergenciától északkeletre éles harmatpont csökkenés figyelhető meg. A mintegy 2.5-5 m/s-os átlagszél a vonal két oldalán egymással szembe fúj az esemény órájában. 0-2 km-en a hőmérsékleti gradiens 0.95 fok/100m, a CAPE főként az alsó 2-2.5 km-en nagy, a teljes CAPE 300-400 J/kg körüli.

A reggeli óráktól kb. Békéscsaba-Szolnok-Eger vonalon elhelyezkedő konvergencián 14:00-kor egy 35 dBz-s zápor jelenik meg, amely 13:45-kor Szolnoktól délre 35-40 dBz-vel a legerősebb. Ezen a napon a konvergenciazónán Magyarországon máshol nem jelenik meg konvektív csapadék. Ez is jelzi, hogy itt volt a legnagyobb labilitás az ország többi részéhez képest.

2006. június 3.

Beszámoló

17:40 körül tubákat lehetett megfigyelni Hevestől délnyugatra



„Du. 17 óra után Hevestől nyugatra ÉNY-DK irányú vonal mentén sorban alakultak ki zivatarok, melyek É-D irányba vonultak. 17:40-kor DNY irányba egy fejlődő zivatarfelhő alatt, kb. 10km távolságra (Kb. Jászapáti térségében) kialakult egy vékony, enyhén dőlt, viszonylag hosszú felhőtölcsér, amely a felhőalaptól kb. 1/3 részben közelítette meg a talajt. A tölcsér kb. 4-5 perc után eltűnt, majd kb. 5 perccel később helyén két rövidebb tölcsér jelent meg egymás mellett. Ezek kb. 3-4 perc után megszűntek, majd a felhőből látszó csapadéksáv eltakarta a felhőalapot ill. horizontot. A szomszédos cellák alján is megfigyelhető volt egy határozott örvénylő mozgás: az alacsony szintű, kb. azonos magasságú felhők a cella NY-i oldalán D-i irányba, míg K-i oldalán alig mozogtak a talajhoz képest.”

Meteorológiai jellemzők

A 2006. augusztus 7-i esethez hasonlóan, az okklúziós pontjával azonban pár 100 km-re délebbre lévő ciklon visszahajló okklúziós frontja kb. Békéscsaba-Szécsény vonalában a nap nagy részében analizálható volt, a szélfordulás azonban a délutáni óráktól lett egyre számottevőbb. 17 órakor a vonal két oldalán egymással szembe fújó szeleket mértek szinte mindegyik állomáson, a szélsébség átlagosan 2.5 m/s volt az összeáramlás mindkét felén. A felszállást a poroszói adatokkal indítva a teljes CAPE 300-400 J/kg-nak adódik, ahol egyébként már az eseményt megelőző órákban is a legmagasabb volt a hőmérséklet és a harmatpont a konvergencia mentén, ill. országos szinten is. Az alsó 1-1.5 km-en volt a legnagyobb a labilitás, 0-1000 m között 1.2-1.3 C°/100m hőmérsékleti gradiens jelentkezett.

Heves környékén 45-50 dBz-s zivatarok is kialakultak a konvergencián. A radarkép alapján az egyes zivatarcellák rövid életűek, inkább az egycellás, gyenge multicellás jelleg valószínűsíthető. Ugyan a 0-6 km-es szélnyírás 10-12 m/s, 0-1 km-en 7 m/s alatti, a radar alapján egyértelműen kizárható a szupercella megjelenése, ill. ezek az értékek egyébként sem lennének elegendőek mezociklon kialakulásához.

2006. május 11.

Beszámoló

Tornádó pusztított Medgyesegyháza, Nagybánhegyes környékén

A híradások szerint a legnagyobb kár Nagybánhegyesen egy temetőben történt, a kár 1-2 millió forint. A sírkertben sírok törtek össze, és két 60-70 centiméter átmérőjű, 10 méter magas, védett egészséges fenyőfát csavart ki a szél, valamint faluszéli házaknál keletkeztek károk. A híradások máshonnan nem jelentettek pusztítást. A MetNet észlelői egymástól függetlenül több képet küldtek magáról a tölcsérről.



5. ábra – Forrás: metnet.hu

Meteorológiai háttér

A korábbi esetekhez hasonlóan a Fekete-tenger nyugati partja fölötti okklúziós ponttal elhelyezkedő ciklon okklúziós frontja húzódott Románia déli részén át egészen az ország délkeleti részéig. A konvergencia kb. Debrecen-Békéscsaba-Szeged vonalában helyezkedett el tartósan. 11 órától volt még inkább megfigyelhető környezetében a szélirányfordulás, amely mentén egészen a késő esti órákig megmaradt a közel 180 fokos irányfordulás. A teljes CAPE 300 J/kg körüli, az alsó 2 km-en a legnagyobb hőmérsékleti gradiens 0.95 C°/100m. A konvergencia vonalától néhány 10 km-re északra tartósan 20 C° körül maradt a hőmérséklet, 4 C°-os harmatpontok mellett, míg a konvergencia környékén, ill. attól délre mintegy 5 C°-kal hűvösebb, ugyanakkor a harmatpontok is körülbelül ennyivel voltak magasabban. A vonaltól északra egy éles harmatpont csökkenés volt látható. 0-6 km-en 10 m/s, 0-1 km-en pedig jelentéktelen volt a szélnyírás.

Radaron 15:45-kor Nagybánhegyes környékén kipattant egy 50-55 dBz-s cella, amely 16 óra után legyengült, majd utána a 2 km-es felbontású radarképen alig látható 40-45 dBz közötti, igen kis méretű radarechó jelent meg Nagybánhegyes fölött, amely 17 óra után legyengült és eltűnt.

2005. június 10.



Beszámoló (forrás: metnet.hu)

Ugyanazon konvergenciavonal mentén egymástól függetlenül 3 óras eltéréssel F0-s tornádót figyeltek meg Mezőtúrról és Kunszentmártonról

„ (...) délután 4 körül, ÉÉNY-ra kb. 20 km-es távolságban láttam egy felhőtölcsért. A tölcsér vége a felhőalapról a földfelszín felé 1/4 mélységig nyúlt le és kb. 5 percig tartott. A tölcsér folytatásaként halványan, nem összefüggően, egészen a felszín közeléig látszott egy csík. (...) Miután visszahúzódott a tölcsér, megereszkedett a zápor (...)”

Meteorológiai háttér

Okklúziós pontjával Ukrajna északkeleti részén elhelyezkedő ciklon okklúziós frontja, amely Lengyelország déli részén, ill. Szlovákián át az ország délkeleti részéig húzódott. A vonal mentén, az eseményt megelőzően két órával a Szolnoki állomás környékén volt a legmagasabb hőmérséklet és harmatpont. A konvergencia vonala gyakorlatilag egész nap egy helyben helyezkedett el. A teljes CAPE 100-150 J/kg körüli volt, nagyobb része az alsó 1 km-en helyezkedett el. A 0-3 km-en belüli legnagyobb hőmérsékleti gradiens 0-1 km-en fordult elő, amely 0.95 C°/100m volt. 0-6 km-en a szélnyírás 10 m/s-os, 0-1 km-en pedig minimális értékeket adott. Az elégtelen teljes CAPE által is mutatott kis labilitás ahhoz nem volt elég, hogy a konvektív záporok mellett zivatar is ki tudjon alakulni.

Radaron 25-30 dBz-s záporok jelentek meg Mezőtúrtól ÉNY-ra. Erősebb cellát nem lehet kiemelni 2 km-es radarfelbontás mellett, Kunszentmártonnál a megfigyelés időpontja környékén azonban megjelent egy erősebb 35 dBz-s cella. A helyzet kiemelt érdekessége, hogy Mezőtúrtól 20 km-re ÉNY-ra 16 óra után pár perccel, míg Kunszentmártonon 19:10-kor figyelték meg és fényképezték le a tornádót. A két település egymástól kb. 35-40 km-re fekszik, és mintegy 3 óra időbeli eltérés van az események között. Egyértelmű, hogy teljesen különböző tornádókról van szó.

2005. július 17.

Beszámoló

E napon Tyukodon egy F2-es nem mezociklonális tornádó pusztított, látványosan demonstrálva, hogy nem csak szupercellák és mezociklonális tornádók képesek jelentékeny károkozásra. Egy kb. 90 mázsás terményszárító felemelkedve 5-6 métert sodródott, a fákat, palákat, cserepeket pedig nem a szokványos módon fújta a szél, hanem felfelé szívódtak. A félelmetes hanggal és homokszínű fürgeteggel érkező tornádó a felszín közelében legszélesebb állapotában kb. 30 méter lehetett, és a 200 méter körüli hosszúságú pusztítási zóna környezetében nagyjából 100 méteres távolságban dobálta szét a törmeléket.

Meteorológiai háttér

Skandinávia déli része feletti középponttal egy ciklon hidegfrontja húzódott Észtország, Ukrajna nyugati részén, Magyarországon át északkelet-délnyugati irányba. Ezen gyenge hidegfront csak lassan helyeződött át a nap folyamán. A helyzet érdekessége, hogy az ország nagy részén közel 100 J/kg nagyságú CIN volt az 1500 és 2500 méteres légrétegek között, így az ország nagy részén nem is alakult ki zivatar (tapasztalat szerint általában a néhány km-es magasságban előforduló 100-125 J/kg fölötti CIN esetén kevés esély van a mély konvekcióra). Kivételt csak a Balaton nyugati részén áthaladt szupercella képezett, amely 15 m/sec 0-6 km-es szélnyírásban fejlődött ki, és egy konvergencia mentén képes volt áttörni az inverziót. A szupercella igen nagy



pusztítást, helyenként 5-6 cm átmérőjű jégesőt is okozott, 25-30 épületnél a teljes tetőszerkezetet ki kell cserélni. Az ország keleti, északkeleti részén azonban a 0-6 km-es szélnyírás nemigen haladta meg 10 m/s-ot, a CAPE értékek pedig kb. 300-400 J/kg között alakultak, jóval alatta maradtak a balatoni szupercellára jellemző értékeknek. A CAPE vertikális elrendeződése azonban az alsó 0-3 km-es részen mutatta a labilitás jelentős részét.

A tornádó 18 óra körül alakult ki, ekkortájt a radarképek multicellás zivatarokat mutatnak, az 1 km-es térbeli felbontású napkori radarmérés alapján Tyukod környékén egy 45-50 dBz-s cella látszik.

Összefoglalás

A részletes esetelemzésekből látható, hogy a kialakult tubák vagy tornádók nem mezociklonhoz kapcsolódtak. A lényegi különbség tehát abban áll, hogy a tornádót megelőzi-e közép magas szinten mezociklon kialakulása (amelyhez megfelelő labilitás és elegendően nagy szélnyírás szükséges).

A nem mezociklonális tornádók kialakulásához minden esetben megvolt egy nagy kiterjedésű konvergencia, amely több országon át húzódott, és bármely kivágatú térképen könnyen analizálható volt, nagy kiterjedése és erőssége folytán. Ezen konvergenciavonalak stacionáriusak voltak, az összes esetben már több órával azelőtt abban a térségben húzódtak, ahol később a tubák vagy tornádók kialakultak (sokszor napokig tartózkodtak egy-egy országrész fölött). 6-ból 4 esetben ezen konvergencia vonalak visszahajló okklúziós frontok voltak, noha a helyzetek kiválasztása teljesen esetleges volt. Ez nem lehet véletlen, hiszen az ilyen visszahajló okklúziós frontokra mind a lassú mozgás, mind az erős konvergencia gyakran jellemző lehet.

A másik feltétel, ami szintén minden esetben teljesült, a főként alacsonyabb szinteken (alsó néhány km-en) jelentkező viszonylag nagy labilitás. Az alsó 3 km-en belül a legnagyobb hőmérsékleti gradiens ezekben az esetekben főként az alsó 1-2 km-es légrétegekben fordult elő, és 0,8, 0,95, 1,3 C°/100m-es értékek adódtak. Az év melegebb szakaszában e mutatók nem ritkák (a száraz adiabatikus hőmérsékleti gradiens 0,97 fok/100m), valamint a konvergencia könnyen megfogható a modellek és analízisek segítségével. Emellett a nem mezociklonális tornádók előrejelzéséhez kevesebb paramétert kell figyelembe venni, és egyszerűbbek az azokat kialakító fizikai folyamatok. A nem mezociklonális tornádók, kis skálájú mikro alfa léptékű örvények a nagyobb skálájú makro béta, makro alfa léptékű folyamatokból származnak, a már említett két feltétel együttes fennállása esetén.

Tehát a mezociklonális tornádók környezeti feltételei közül a tartós erős konvergencia mellett az alacsonyszintű labilitás nem számít extrémnek, sokkal inkább egy viszonylag gyakran előforduló nyári értéknek egy nagy besugárzásos napon. Ezek alapján azt mondhatjuk, hogy ezen tornádók sokkal gyakoribbak, mint a mezociklonális tornádók, hiszen az őket kiváltó feltételek sokkal gyengébbek és számuk is kisebb. Továbbá fontos felhívni a figyelmet a 2005. június 10-i esetre, amikor egy konvergenciavonalon 2 tornádót is megfigyeltek egymástól függetlenül, ill. több tuba is előfordult. Ezen és a többi megfigyelést alapul véve feltételezhetjük, hogy a Kárpát-medencében a nem mezociklonális tornádók révén jóval több tornádó, akár az eddig becsült tornádók többszöröse is előfordulhat egy-egy évben. Hiszen egy például 50-100 km-es összeáramlási vonal mentén, ahol elég nagyok az alacsonyszintű labilitás értékek, egyszerre több helyen, több tornádó is kialakulhat. Továbbá a tyukodi eset, illetve a külföldi esettanulmányok is bizonyítják, hogy ezen tornádók is képesek főként itt térségünkben a szupercellás tornádókhoz hasonló pusztítást végezni. Ezért a szupercellás zivatarokhoz hasonlóan kiemelt fontosságú ezek vizsgálatával, előrejelzésével foglalkozni, itt Magyarországon is.

Mint láttuk, volt olyan eset, amikor egyáltalán nem volt szélnyírás a légkörben, és a labilitás a zivatar keletkezéséhez sem volt elég, mégis kialakult tuba. Ebből kitűnik, hogy ezen tornádók kialakulásához nincs szükség vertikális szélnyírásra, és labilitásnak



is csak az alsó néhány kilométeres szinten elég jelen lennie. Emiatt azok a szokásos paraméterek (úgy mint szélnyírás, zivatarhoz képesti helikalitás, emelési kondenzációs szint magassága, stb), melyek a szupercellák, mezociklonok előrejelzésével kapcsolatosak, szinte semmit sem mondanak a nem mezociklonális tornádók valószínűségéről (ez azonban nem jelenti azt, hogy olyan helyzetekben ne jöhetnének létre nem mezociklonális tornádók, amikor a feltételek szupercellákra, mezociklonális tornádók kifejlődésére szintén alkalmasak).

Ezen vizsgálatok kimutatták, hogy ezen tornádók előrejelzése más, bizonyos szempontból könnyebb lehet a mezociklonális tornádókhoz képest. A magyarországi tornádóvadászatokhoz is hasznos támpontot nyújthatnak ezen vizsgálatok. Hiszen egy tartósan fennálló, pl. egy szinoptikus skálájú konvergencia vonal helyét, amelyet a numerikus előrejelző modellek jól előre tudnak jelezni, összevetve az előrejelzett labilitás értékekkel kijelölhető a konvergenciának az a szakasza, ahol nagy eséllyel tornádók fordulhatnak elő. A tornádóvadászok ezen a szakaszon a maximum hőmérséklet idején, vagy záporok, zivatarok környezetében vélhetően könnyen figyelhetnek majd meg tornádótölcserűt. Ezen megfigyelések birtokában, további, még részletesebb vizsgálatokra van lehetőség.

Feltételezhető, hogy egy ukrán ciklon visszahajló okklúziós frontja „jó táptalaja lehet” ezen jelenségek kialakulásához, mivel a visszapörgő okklúziót pár nappal megelőzve a ciklon hidegfrontjának átvonulása az erős besugárzásos időszakban biztosíthatja az alacsonyszintű labilitást, a visszahajló okklúzió pedig a tartós konvergenciát.

Feltételezhető, hogy a Kárpát-medence geometriai jellege – az alacsonyszintű labilitás feltételén keresztül - kedvez a nem mezociklonális tornádók kialakulásának. Egy medencében, főként például homokos kis hőkapacitású talaj fölött, nagyobb területen, nagy hőmérsékletű gradiensű légrétegződés alakulhat ki. Ezen feltétel egybeesve a tartós konvergencia feltételével, akár több helyen alakíthat ki nem mezociklonális tornádót.

Irodalom:

Davies, J. M., J. M. Caruso, 2005: Tornadoes in Nonmesocyclone Environments with Pre-existing Vertical Vorticity along Convergence Boundaries. *Electronic Journal of Operational Meteorology*

Honlapunk: www.szupercella.hu