



A 2024. június 9-ei nyugat-magyarországi tornádós helyzet elemzése

Hérincs Dávid, Komjáti Kornél, Kun Sándor

HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt., herincs.d@met.hu

DOI:10.56474/legkor.2025.1.2

2024. június 9-én késő délután két, részben összeolvadt szupercella érte el a nyugati határvidéket Ausztria felől, melyek közül az első, a keletebbi góc egy viszonylag hosszabb életű tornádót okozott. Ez a tornádó mind az osztrák, mind a magyar területeket érintette, és főként lakatlan területeken okozott jelentősebb károkat. Jelen tanulmányban elemezzük a szupercellák és a tornádó kialakulását elősegítő szinoptikus helyzetet, továbbá vizsgáljuk a két cella összeolvadásának szerepét a tornádógenézis folyamatában. Emellett bemutatjuk a magyar oldalon elvégzett részletes kárfelmérések eredményeit, valamint osztrák viharvadászok és szemtanúk beszámolóit, hogy átfogó képet nyújtsunk a tornádó pusztításáról.

Case study of a tornado event in western Hungary on 9 June 2024

On 9 June 2024, a partially merged pair of supercells reached the western border of Hungary from Austria, from which the leading cell produced a relatively long-lived tornado. The vortex affected both Austrian and Hungarian areas, causing significant damage, predominantly in uninhabited regions. This study analyzes the synoptic processes that facilitated the development of the supercells and the tornado, including the role of the supercell merging in the tornado genesis. Additionally, we present the results of detailed damage surveys conducted in Hungary and incorporate reports from Austrian storm chasers and eyewitnesses to provide a comprehensive overview of the tornado's impacts.

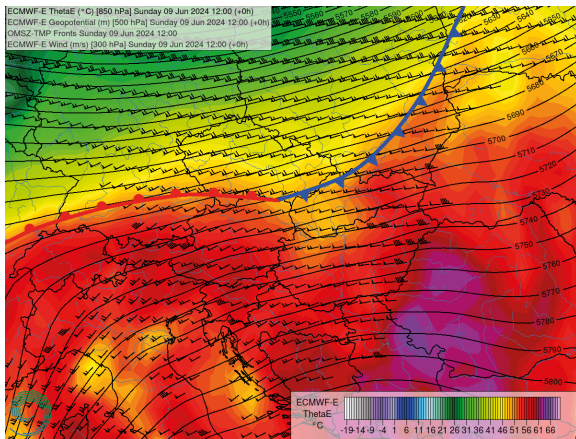
Szinoptikai helyzet

A szövegben dőlten, aláhúzással megjelölt meteorológiai fogalmak, jelenségek magyarázata megtalálható a Viharvadászok Egyesületének [1] és a MetNet [2] weboldalán.

2024. június 9-én a szupercella.hu weboldal és a Viharvadászok Egyesületének története során harmadszor sikerült Magyarországon mezociklonális

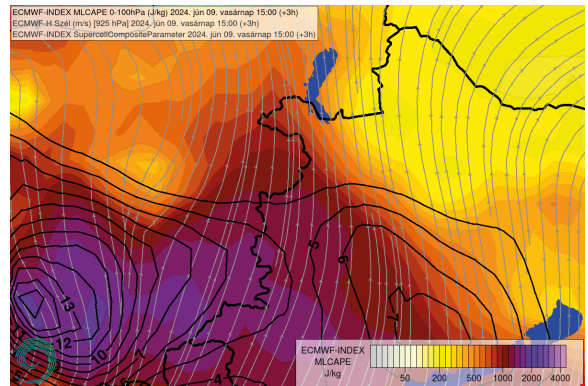
(szupercellához kapcsolódó) tornádót dokumentálni szervezett viharvadászat keretében, a 2008. május 20-ai gátéri és a 2010. augusztus 16-ai mezőkövesdi esetet követően. A légköri feltételek az ország északnyugati szegletén már előzetesen is különösen alkalmasnak látszottak erősebb szupercellák és akár tornádó(k) kialakulásához, amit jól reprezentált, hogy az európai konvencióval előjelezésével foglalkozó European

Storm Forecast Experiment (ESTOFEX) szervezete a legmagasabb, 3-as fokozatot adta ki az osztrák-magyar határvidék térségére, nagyméretű jég, károkozó szellőkések és tornádópotenciál miatt [3]. A Viharvadászok Egyesülete nevében Tiszavölgyi Dávid által készített konvektív előrejelzésben a második legmagasabb, 2-es előrejelzési kategória került kiadásra, a mezociklonális tornádóra vonatkozóan szintén a második legmagasabb, T2-es valószínűségi fokozattal, mely közepes kialakulási esélyt jelent. Ezek a fokozatok ugyanakkor magukban hordozták azt a bizonytalanságot is, hogy a hevesebb zivatarok az országnak csak kis részét érinthetik, esetleg teljesen határainkon kívül maradnak. Idézet az előrejelzésből: „Tornádó: Az esti órákban az északnyugati, északi megyékben a viszonylag alacsony emelési kondenzációs szint, valamint a nagy 0–1 km-es szélnyírás (15 m/s) és az ehhez társuló magas helikalitás (200–250 m²/s², az északnyugati határnál néhol ez feletti értékek is felbukkannak az ECM-en), valamint erős szélfordulás az alsóbb szinteken támogatja mezociklonális tornádó létrejöttét is.” [4].



1. ábra. A közép-európai szintoptikus helyzet 2024. június 9-én 12 UTC-kor az ECMWF modell azonos futtatási idejű analízise alapján. A színezés a 850 hPa-os ekvivalens potenciális hőmérsékletet (°C-ban), a fekete vonalak az 500 hPa-os geopotenciált (m-ben), a fekete nyilak pedig a 300 hPa-os szélmezt (m/s-ban, 25 m/s felett) mutatják. Az ábrán szerepel továbbá a hullámzó frontálzóna aktuális pozíciója is.

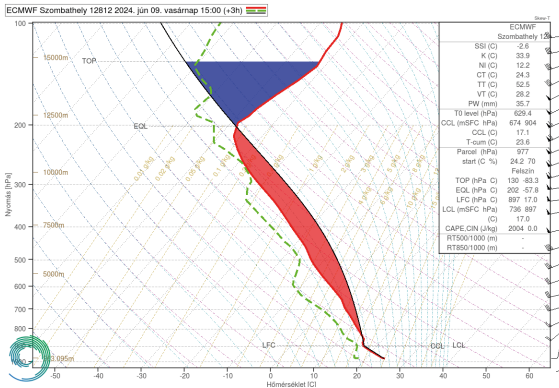
Az időjárási helyzet fő mozgatórugója ekkor egy északnyugat felől közeledő, lassú mozgású, az Alpok északi oldalán már hullámot vetett hidegfront volt (1. ábra). A hullám mentén az Alpok nyugati részén egy magassági teknő fűződött le, ami az 500 hPa-os geopotenciál izovonalai által is kirajzolódott az ábra bal alsó szélén. A teknő előoldalán délnyugat felől egy



2. ábra. Néhány konvektív paraméter az osztrák-magyar határvidék térségében 2024. június 9-én 15 UTC-kor az ECMWF modell 12 UTC-s futtatású, +3 órára vonatkozó előrejelzése alapján. A színezés a kevert rétegű konvektív hasznosítható potenciális energiát (MLCAPE, J/kg-ban), a fekete vonalak és számok a szupercella kompozit paraméter (SCP) értékeit, a szürke vonalak pedig a 925 hPa-os szélmezt mutatják.

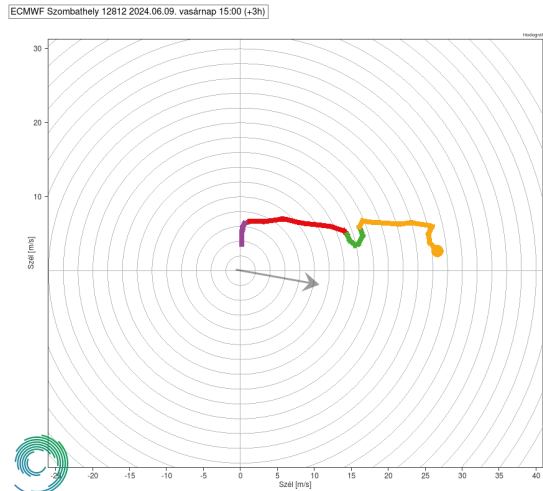
meleg, nedves szállítószalag (MNSZ) húzódott fölénk, kedvező feltételeket biztosítva zivatarok kialakulásához. A 850 hPa-os ekvivalens potenciális hőmérséklet (EPH) értékei térségünkben sokfelé meghaladták az 50 °C-ot, az Alpok déli részén helyenként a 60 °C-ot is megközelítették. A szupercellák kialakulásához szükséges szélnyírást pedig egyrészt az alacsony szinteken tapasztalható erőteljes szélfordulás, másrészt a magasban a teknő előoldalán felettünk húzódó futóáramlás biztosította, mely hatására a 400 hPa-os magassági szint felett már 25-35 m/s között alakult a szélereősség (3.a-b ábra). A front előterében már az előző napokban is képződtek zivatarok, zivatarrendszerek az Alpok felett, melyek többször elérték hazánkat. 9-ére virradó éjszaka például egy kiterjedt, intenzív zivartömb sokfelé okozott 40–50 mm körüli csapadékot a térségben, több helyi vízfolyáson jelentős árhullámot indukálva. A csapadékból eredő többletpárolgás pedig minden bizonnyal további táptalajt biztosított a délutáni szupercellák számára.

A 2. ábra néhány konvektív paraméter alakulását szemlélteti az osztrák-magyar határvidéken a Középtávú Időjárás-előrejelzések Európai Központjának (a továbbiakban ECMWF) 12 UTC-s modellfuttatása alapján, 15 UTC-kor, hozzávetőlegesen az első szupercellák kipattanásának idején. Ekkorra a térségben jelentős mértékű, 1000–2500 J/kg kevert rétegű konvektív hasznosítható potenciális energia (angol rövidítéssel MLCAPE – Mixed Layer Convective Available Potential Energy) halmozódott fel. Szemben az úgynevezett talajalapú labilitási mutatóval (angol rövidítéssel SBCAPE – Surface-Based Convective



3.a ábra. Szombathelyi Skew-T diagram 2024. június 9-én 15 UTC-kor az ECMWF modell 12 UTC-s futtatású, +3 órára vonatkozó előrejelzése alapján. A piros vonal a környezet hőmérsékletét, míg a zöld szaggatott vonal a harmatpontját (a kettő közötti különbség utal a nedvességre, minél nagyobb, annál szárazabb az adott légréteg), míg a vastag fekete vonal a felszínről indított légréteg hőmérsékleti viszonyait mutatja. A piros terület reprezentálja a konvektív hasznosítható potenciális energiát (CAPE), a kék az egyensúlyi szint (EQL) feletti stabil légállapotot jelenti a felhőzet magasságáig (TOP), míg az ábra jobb szélén az egyes légköri szintekre vonatkozó szélzászlók láthatóak.

Available Potential Energy), ez a paraméter a légkör alsó 100 hPa-os rétegének kevert hőmérsékleti és nedvességi viszonyaiból számítja a labilitást, ezáltal jobban figyelembe veszi a nappali órákban az átkeverést a határretegben. Ez a réteg pedig kulcsfontosságú a tornádóképződés szempontjából. A 3.a ábrán látható, 15 UTC-re és Szombathelyre vonatkozó Skew-T diagram alapján a labilis terület viszonylag egységes szélességű volt és nagy magasságig (~200 hPa) felnyúlt, különösebb inverziós (záró)réteg pedig nem volt azonosítható, illetve a nedvességi viszonyok is megfelelőek voltak a teljes labilis rétegben. Vagyis a légköri helyzet kedvezett az erős feláramlások létrejöttének, és a modell magas, 14–15 km-es felhőtetővel számolt, mely a radaros mérések alapján meg is valósult. A konvektív kondenzációs-, vagy más néven gomolykiváltó szint (CCL – Convective Condensation Level), az emelési kondenzációs szint (LCL – Lifted Condensation Level), illetve a szabad konvekció szintje (LFC – Level of Free Convection) pedig egymáshoz nagyon közel, egységesen a 900 hPa-os szint környékén helyezkedett el, mely alacsony felhőalakok megjelenésére utalt, ami szintén kedvezhet a tornádógenesishoz. A nyírási, labilitási és nedvességi viszonyok összhangjaként a szupercella kompozit paraméter (SCP – Supercell Composite Parameter) értéke nagy területen meghaladta az 5-öt, a Grazi-medencében pedig a 10-15 közötti tartományt



3.b ábra. Szombathelyi hodográf 2024. június 9-én 15 UTC-kor az ECMWF modell 12 UTC-s futtatású, +3 órára vonatkozó előrejelzése alapján. A lila szakasz 0-1 km-re, a piros 1-3 km-re, a zöld 3-5 km-re, a sárga 5-9 km-re vonatkozik, míg a szürke nyíl a jobbra térülő (ciklonális forgású) szupercellák mozgásának megfelelő Bunkers mozgásvektor.

is elérte, ami térségünkben ritkán tapasztalható. (Megjegyzendő, hogy az amerikai GFS (Global Forecast System) modell egyes futásaiban Vas vármegye területén is jelentkezett 10 körüli értékű SCP.)

Az erőteljes alacsonyszintű szélfordulás a 3.b ábrán látható, szintén 15 UTC-re és Szombathelyre vonatkozó hodográfon is markánsan megmutatkozott, jellegzetes kampós alakot létrehozva. A szélviszonyoknak megfelelően a helikalitás a 0-3 km-es rétegben helyenként 400–500 m²/s², de még a 0-1 km-es rétegben is 250–300 m²/s² körül alakult. Ezek az értékek, illetve a hodográf alakja alacsonyszinten intenzív örvénylő mozgás, esetleg tornádó létrejöttére utalhat szupercellákban. A térségben egy összeáramlási zóna is létrejött (az ECMWF modell ezt kissé északabbra jelezte előre), és e mentén alakultak ki az első zivatargócok az Alpok keleti-, valamint Vas vármegye középső és északi részén, melyek közül több is szupercellává fejlődött. Az Alpokat kelet felé elhagyva két, szorosan egymást követő góc megerősödött és részbe össze is olvadt, és végül ezek közül az első, keletebbi cella volt az, ami a tornádót produkálta.

A következőkben előbb a szupercellák összeolvadásának lehetséges hatásait, majd az aktuális esetről jelenlévő viharvadászok beszámolóit felhasználva az események lefolyását, végül a tornádó által okozott károkat mutatjuk be.

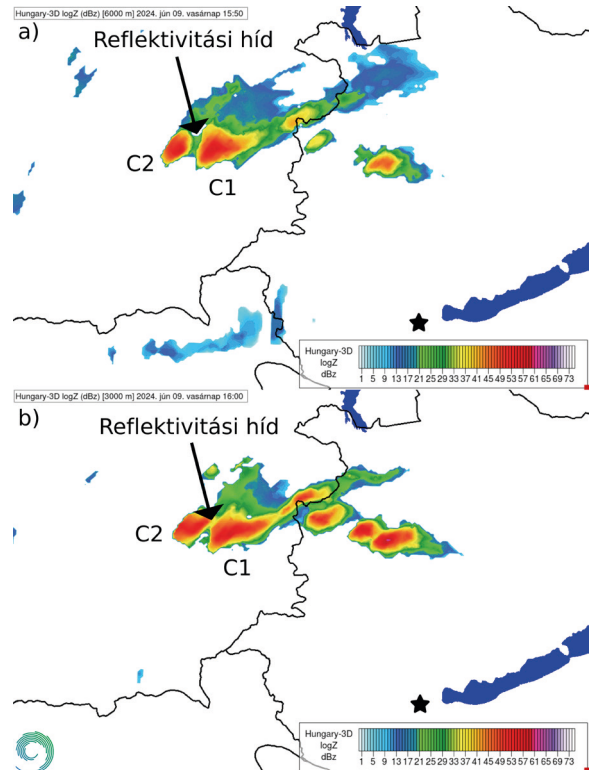
Szupercellák összeolvadása

A természetben nem ritka, hogy a szupercellák életük során interakcióba lépnek egymással. Ilyen jelenséget nemegyszer már a Kárpát-medence területén is megfigyeltek (Kun et al., 2017; Komjáti et al. 2022). Az ilyen interakciók következménye lehet a szupercella méretének növekedése, feláramlásának erősödése, haladási irányának változása, valamint hevesebb kísérőjelenségek megjelenése rövid időn belül (Lemon, 1976; Barnes, 1978; Kogan and Shapiro, 1996; Finley, 2001, 2002; Lee et al. 2006; Rogers and Weiss, 2008; Kun et al. 2017; Komjáti et al., 2022; Nixon et al., 2024). A szupercellák egyik legpusztítóbb kísérőjelensége a tornádó. A tornádók kialakulása dinamikailag rendkívül összetett folyamat, amelyet a szupercellán belüli áramlások – különösen a zivatar forgó feláramlása és leáramlási régiói –, valamint a felszín közeli örvényességi viszonyok határoznak meg (Fischer et al., 2024). Megfigyelések és modellszimulációk igazolják, hogy a tornádók kialakulásához szükséges örvényességi viszonyokat külső tényezők is befolyásolhatják, elősegítve a tornádógenézist (Maddox et al., 1980; Markowski et al., 1998; Atkins et al., 1999; Fischer and Dahl, 2023). Ilyen tényező lehet például a szupercellák összeolvadása. Az összeolvadás során azonban az interakció szöge kulcsfontosságú, mert kedvezőtlen esetben az éppen gyengítheti a szupercellát ahelyett, hogy intenzívebbé tenné (Jaret et al., 2008). Ez leggyakrabban akkor fordul elő, amikor az egyik cella leáramlási régiója elzárja a másik cella beáramlásának meleg, nedves levegő utánpótlását.

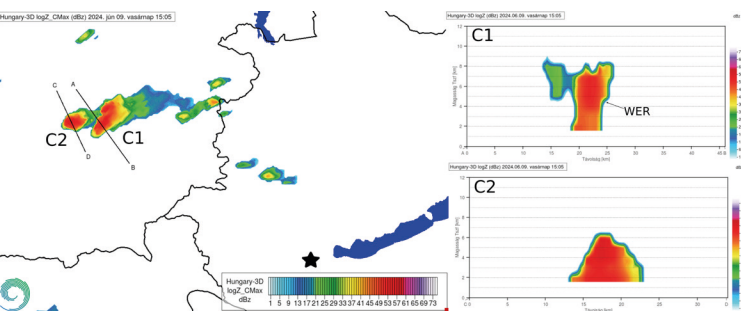
A következőkben megvizsgáljuk, hogyan zajlottak le ezek a folyamatok június 9-én az Ausztria felől érkező szupercella környezetében. A cellák összeolvadását három magassági szinten vizsgáljuk meg: 1000, 3000 és 6000 m-es magasságban, a magyarországi

kompozit radar reflektivitási metszeten. (Megjegyzés: a szövegben szereplő időpontok inntől kezdve helyi időben – UTC+2 óra – értendők.) 17:05-kor Ausztria területén két, egymástól még elkülönülő zivatarcella figyelhető meg. A 4. ábrán a keletebbre található fejlettebb cella (C1) keresztmetszetén már kezdetlegesen megjelenik a szupercellákra jellemző gyenge reflektivitású terület (WER – Weak Echo Region), míg a nyugatabbra elhelyezkedő kisebb cellánál (C2) ekkor még nem láthatók ezen radaros karakterisztikák.

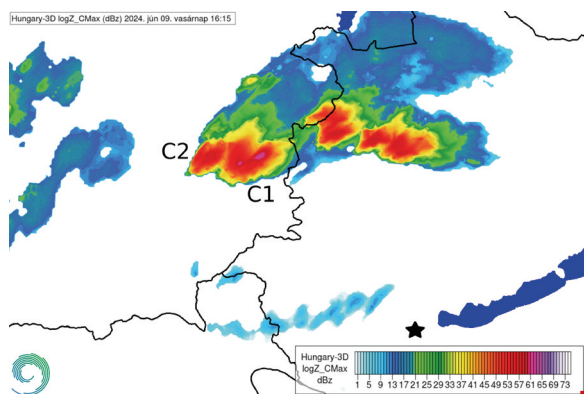
A cellaösszeolvadás 17:50-kor kezdődik. Először a cellák magasabb rétegeiben (6000 m) indul meg a folyamat, majd 18:00-ra fokozatosan a középső (3000 m) szinten is, amit az úgynevezett reflektivitási híd megjelenése jelez (5.a-b ábra). A reflektivitási híd, vagy hídcella a két zivatar kiáramlási területeinek találkozásánál jön létre, ahol összeáramlás alakul ki, jelezve a cellaösszeolvadás kezdetét (Westcott and Kennedy, 1989; Westcott, 1994). A fő reflektivitási magok, vagy feláramlási csatornák összeolvadása azonban hosszú ideig nem figyelhető meg; a folyamat lassan halad előre. 18:15-re, hozzávetőlegesen fél órával a Narda



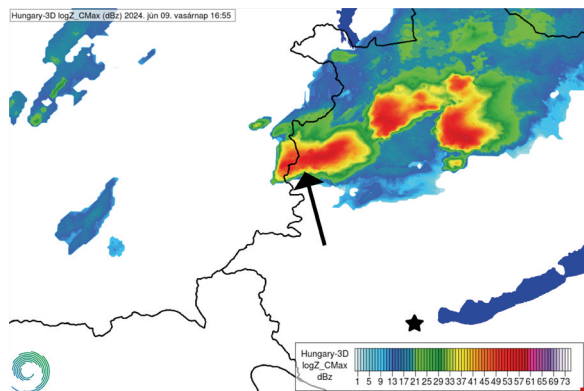
5. ábra. Kezdődő összeolvadási folyamat a C1 és C2-es cella között a magyarországi 3D reflektivitási metszeten. 17:50-kor 6000 m-es magasságban (a), majd 18:00-kor már 3000 m-es magasságban is (b). A fekete csillag a pogányvéri radar elhelyezkedését reprezentálja.



4. ábra. Ausztria felett kialakuló zivatarcellák a magyarországi 3D kompozit reflektivitási radarképen és a róluk készült vertikális keresztmetszetek 17:05-kor. A fekete csillag a pogányvéri radar elhelyezkedését reprezentálja.



6. ábra. Részlegesen összeolvadó cellák 18:15-kor a magyarországi 3D kompozit reflektivitási radarképen. A fekete csillag a pogányvári radar elhelyezkedését reprezentálja.



7. ábra. Zivatarcellák teljes összeolvadása 18:55-kor a magyarországi 3D kompozit reflektivitási radarképen. A fekete csillag a pogányvári radar elhelyezkedését, míg a fekete nyíl a tornádó pozícióját reprezentálja ebben az időpontban.

térségében észlelt tornádó előtt, a két cella még csak részlegesen kapcsolódik egymáshoz (6. ábra). A teljes összeolvadás csak 18:55-re következik be, amikor a C1-es cella eléri Magyarországot, és lelassul. A cellaösszeolvadás után nem sokkal a C1-es cella fokozatosan gyengül, és beolvad a C2 előoldali leáramlási régiójába (7. ábra). Ezt követően, 19:10-től a szupercella gyorsan veszít erejéből. A radarmérések alapján nem dönthető el egyértelműen, hogy a cella gyengülése közvetlenül az összeolvadás következménye volt-e, vagy már eleve olyan életstádiumban járt, amikor természetes módon kezdett volna gyengülni. Az ECMWF modell előrejelzett labilitási térképén (2. ábra) látható, hogy keletebbre haladva a labilitás csökken, ami szintén hozzájárulhatott a cella gyengüléséhez.

Bár az összeolvadás nem a leoptimalisabb szögben történt, a reflektivitási híd vagy hídcella megjelenése arra utal, hogy a cellák kifutófrontjai kapcsol-

latba léptek egymással. Ahogyan a bevezető részben olvasható, a légköri feltételek adottak voltak szupercellák, esetleg tornádók kialakulásához is. A cellainterakció során a C1-es cella *hátoldali kifutófrontja* (RFD – Rear-Flank Downdraft) többlet örvényességet szerezhetett, amely a tornádógenezis felszín közeli folyamatait erősíthette. Továbbá a radarmérések alapján az úgynevezett *Fujiwhara-hatás* is jól azonosítható, hiszen az egymástól nem túl nagy távolságra haladó szupercellák mezociklonjának szélmezője is kölcsönhatásba lépett egymással. Ez utóbbi jelenség leginkább az ezen időszakban készült, egymást követő radarképeken érhető tetten (mely a HungaroMet YouTube csatornáján tekinthető meg, a QR kódot beolvassa), ahol az elülső, C1-es domináns cella fokozatosan lelassul, miközben a mögötte haladó C2-es cella haladási sebessége megnő és iránya egyre inkább délkeletibe fordul. A külföldi megfigyelések és tanulmányok is alátámasztják, hogy ideális esetben a Fujiwhara-hatás akár mindkét interakcióba lépő szupercella esetében is komoly tornádópotenciált hordozhat magában [5]. Figyelemre méltó, hogy csak az az egy cella produkált tornádót, amely kölcsönhatásba lépett egy másik cellával; más szupercellák környezetében nem figyeltek meg tornádót. Ez arra utalhat, hogy az interakció fontos szerepet játszott a tornádó kialakulásában. Megjegyezzük, hogy hasonló Fujiwhara-kölcsönhatást mutató szupercella-páros 2015. május 13-án is előfordult a nyugati országrészben, melyet szervezett viharvadászat keretében dokumentált a Viharvadászok Egyesületének 4 tagja (Kovács Krisztina, Sebestyén Ádám, Bondor Gyula, illetve e cikk szerzői közül Kun Sándor), és az elülső cellán rövid időre akkor is kialakult egy felhőtölcsér-szerű nyúlvány, mely nem érte el a talajt [6].

A hatás tényleges kimutatásához azonban több adatra lenne szükség. Vizsgálni kellene a kifutófrontok helyzetét és esetleges kapcsolatát, valamint, hogy kialakult-e másodlagos, RFD kifutófront. Ezek mind olyan tényezők, amelyek segíthetnének megválaszolni a kérdést, ám ehhez sajnos nem állnak rendelkezésre megfelelő mérések. A legközelebbi radarállomás (Pogányvár) közel 90 km-es távolságra volt, így a legalacsonyabb radarnyalábbal végzett mérések is magasan a felszín felett történtek, nem téve lehetővé a felszín közeli folyamatok mélyebb elemzését.

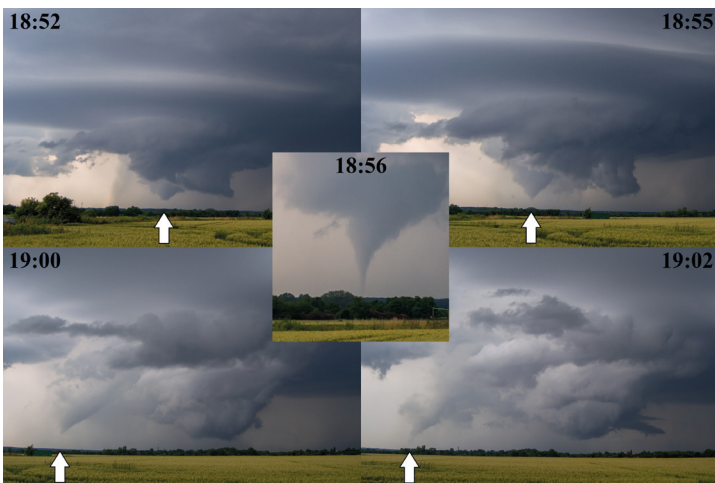
A tornádó életútja és az okozott károk

A Viharvadászok Egyesületéhez kapcsolódóan ketten vettek részt aznap viharvadászaton a térségben (külön-külön), Pintér István Szombathelyi keleti [7],

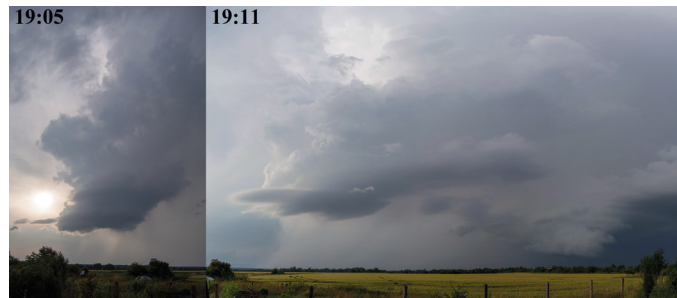


míg Hérincs Dávid a délnyugati határában követte végig a szupercellát és a tornádót. Vizuálisan az elülső, keletebbi cella sokáig kitakarta a másikat, de osztrák viharvadászok beszámolója alapján Stájerország és Burgenland határvidékén még az is erősebb, klasszikus jellegű volt [8]. A Szombathely felé közeledő elülső góc strukturálisan szintén *klasszikus szupercella* volt, nagy, lencseszerű feláramlási alappal, és a mezociklonban már fél 7-től kezdve erős rotáció látszott, erősen forgó, „szipkázó” *falfelhővel*. Osztrák szemtanúk által a különböző közösségi médiafelületeken közzétett fotók és videók alapján utólag kiderült, hogy a szupercella már ebben az időben, hozzávetőlegesen 18:30-tól kezdve is produkált tornádót Nagyszentmihálytól (Großpetersdorf) délre. Ekkor határozottabb kondenzációs tölcser ugyan még nem, vagy csak egy-egy röpké pillanatra alakult ki, de egyértelműen beazonosítható volt a felszínen örvénylő forgatag, mely az előző éjszakai zivatarrendszer nyomán kiáradt Pinka árterén haladt át. A már említett Skywarn-os viharvadász csapat is utólag értesült a tornádóról, és a Nagyszentmihálytól két faluval keletebbre lévő Sámfalva (Hannersdorf) délkeleti, keleti határában kárfelmérést is végeztek, ahol 3 helyszínen találták meg a tornádó nyomait, mely fatörésekben nyilvánult meg. Pintér István 18:45 körül figyelt meg először egy határozottan lenyúló felhőtölcsért a mezociklon központi részéből, és bár a nagyobb távolság miatt nem tudta megállapítani, hogy leért-e, az utólagos kárelemzések alapján kijelenthető, hogy igen, és ekkor érintette a forgószelet Narda térségét. Néhány perc szünet után 18:52-től Hérincs Dávid is megfigyelt egy kezdetben vastagabb felhőtölcsért, ami

18:55-kor elkeskenyedve elérte a felszínt, és mindezt István is dokumentálta a város másik széléről – illetve több városbéli szemtanú szintén. A tornádó 1,5–2 perc múlva gyorsan visszahúzódott, de a mezociklonból lógó tuba ezt követően is megfigyelhető maradt. Végül az utolsó életfázisában, 19:00 után ismét jelentősen lenyúlt a felhőtölcsér, valószínűsítve egy újabb földtetérést. Ekkorra azonban a szupercella hátoldali leáramlásának (RFD) csapadéka teljesen betekeredett már köréje, rontva a láthatóságát és elvágvá a tápláló meleg beáramlás utánpótlását, így a tölcser szerkezete egyre szakadozottabb lett, és 19:04-re végleg fel is oszlott, miközben a mezociklon és a falfelhő is szervezetlenebbé vált. A 8. ábra a tornádó ezen életfázisait mutatja be, és a 18:52-kor készült fotó bal szélén, a bokrok felett a mögötte érkező másik szupercella feláramlási alapjának legszéle is látható. A tornádó feloszlásával egy időben ez utóbbi is elérte az országhatárt, de ekkorra már úgynevezett *kis csapadékú (LP – Low-Precipitation)* karakterisztikát öltött, mely jelezte a gyengülését. Ugyanakkor még látványosan csavarodó feláramlási alappal vonult el Szombathely felett, keletebbre helyeződve viszont gyorsan legyengült. A 9. ábra e második szupercellát, valamint a két gócot együttesen mutatja, már a gyengülésük idején. Ebben az időben az elől haladó szupercella átmenetileg ismét határozottabb mezociklont és falfelhőt fejlesztett, de már nem alakult ki belőle újabb felhőtölcsér.



8. ábra. A szupercella és a belőle lenyúló felhőtölcsér (a nyilakkal jelölve) életfázisai 18:52 és 19:02 között, Szombathely délnyugati határában, délkeleties irányból fotózva.



9. ábra. A második, LP karakterisztikájú szupercella, valamint a két góc együtt már távolodóban és gyengülőben Szombathely délnyugati határában, délkeleties irányból fotózva.

A tornádó távolról is egyértelműen látható földtetérésének Torony melletti helyszíne az Időkép ottani webkamerája alapján [9] jól beazonosítható volt, és a tornádó előtti és utáni képkockákat összehasonlítva kisebb károk is látszottak a falutól északra lévő fás-bokros területeken. Még aznap este kárjelentések érkeztek Nardából is, ahol a falu déli felét keresztezte a forgószelet, illetve néhány régebbi – így statikailag már feltehetőleg gyengébb állapotú – pajta is nagymérték-

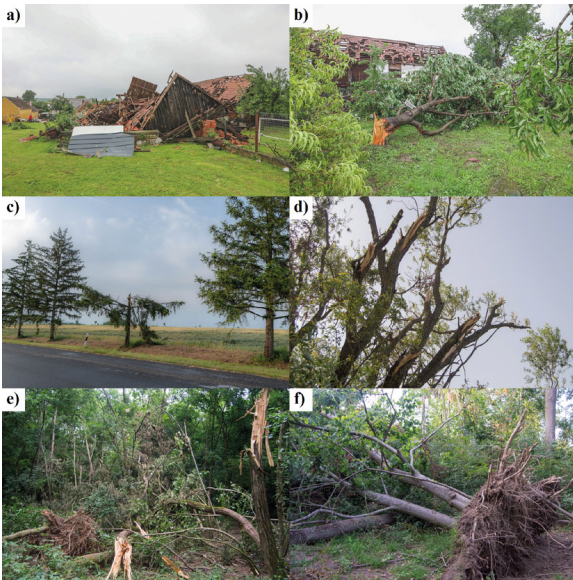
ben károsodott, némelyik teljesen összedőlt. A károkról másnap a helyi vaol.hu hírportál is tudósított, részletes fotódokumentációval [10]. A falutól körülbelül 2 km-rel nyugat-délnyugatra, már az osztrák Csémhez (Schandorf) tartozó erdőkben is okozott károkat a tornádó, melyekről Zag Líviának helyszíni bejárása nyomán a Kőszegi Időjárás Előrejelzés oldal számolt be [11]. Itt több kettétört vagy gyökerestől kicsavart fát is találtak, és nardai jelentések szerint kisebb ágakat egészen odáig elrepített a szél. Mindezen adatok tükrében már előzetesen is viszonylag jól rekonstruálható volt a tornádó útvonala, melyek segítségével a Viharvadászok Egyesülete képviselőjében e cikk szerzői közül Hérincs Dávid az esemény után 2–3 héttel, június 22-én, 29-én és 30-án részletes kárfelmérést végzett a magyar oldalon. Ennek helyszíneit az osztrák káreseményekkel együtt a 10. ábra szemlélteti, melyen jól kirajzolódik a tornádó nyomvonala. Bár sajnálatos módon Nardán lakó- és melléképületekben is jelentős károkat okozott a forgószelel, az ábra alapján belátható, csak a szerencsén múlt, hogy nem történt nagyobb tragédia, ugyanis ha kicsivel délebbre halad végig, Nardát ugyan elkerülte volna, de az osztrák oldalon a Sámfalvához tartozó Pinkaóvár (Burg), a magyar oldalon pedig Dozmat, Torony és Sé nagy részét letarolhatta volna.



10. ábra – A tornádó által okozott beazonosított károk Sámfalvától Szombathely északnyugati határáig (térkép: Google Earth).

A kárfelmérés eredményeit a tornádó haladási irányának megfelelően nyugatról kelet felé haladva ismertetjük, a károk rögzítése azonban nem ilyen sorrendben történt, ezek időpontjai zárójelben szerepelnek a helyszínek mögött. Nardán (június 30-án) a legtöbb háztetőt már helyreállították, de a ledőlt pajták és néhány fatörés még megfigyelhető volt, melyek alapján sikerült meghatározni, hogy a Kossuth utcát keresztléve egy körülbelül 300 m hosszú és 50–100 m széles, nyugatról kelet felé szélesedő sávban volt a legnagyobb a pusztítás, de kisebb károkat ettől északra és délre is

lehetett azonosítani. A következő kárnyom Nardától 2,5–3 km-re kelet-északkeletre, a Dozmatól északnyugatra elterülő erdőfolt déli szélén, valamint az azt keletről határoló Arany-patak mentén lévő fás területen volt megfigyelhető (június 30-án), de a nagyobb távolság részben annak lehetett köszönhető, hogy a köztes területen nagyrészt szántók vannak, és az azokat elválasztó földutak mellett kevés a növény. Az erdőfoltban és a patakparton több helyen előfordultak különböző irányokban történt ág- és fatörések, illetve az erdőtől délre fekvő ligeten három kisebb fát gyökerestől kidöntött a szél. Ettől a helyszíntől 200–300 m-rel északkeletre, a Toronyból Narda felé vezető út mentén Pintér István már rögtön a tornádót követően (június 9-én) azonosított károkat: egy fenyőfát kettétört, egy másiktól ágakat tört le, egy harmadiknak pedig a felső részét tépte le a forgószelel, és utóbbit az északkeletre lévő gabonátáblában – ahol a tornádó nyomvonala is megfigyelhető volt – körülbelül 100 m-re dobta le. A toronytól északnyugatra és északra húzódó, észak-déli irányú mezőgazdasági utak mentén (június 22-én és 30-án) szintén különböző irányokban történt fa- és bokortörések voltak jellemzőek, akárcsak a falutól északkeletre lévő Nyeste-Nyár-patak menti fasorban (június 22-én). Az utóbbi területen azonban a tornádó nyomvonala a pataktól északkeletre fekvő gabonátáblában is követhető volt 150–200 m hosszan, majdnem a Szombathelyt Bucsuval összekötő útig, az út másik oldalán, illetve a keletebbre lévő Szinesei-patak menti fasornál viszont (távolabbról megfigyelve) nem látszottak kárnyomok. Utóbbi pataktól 400–500 m-rel kelet-északkelet felé, a Sétől északra lévő kiterjedtebb erdő délnyugati részén és az azt határoló gabonátáblában azonban ismét egyértelműen azonosítható volt a tornádó károsítása (június 22-én). Az erdő szélén egy 100–120 m széles, de befelé egyre keskenyedő sávban több vastagabb fát kettétört vagy gyökerestől kicsavart a forgószelel, emellett még több helyen előfordultak ágtörések, 130–150 m-t beljebb haladva viszont megszűntek a károk. Az erdőt nem volt módunk teljesen végigjárni a tornádó feltételezett útvonala mentén, ugyanakkor a keleti, Szombathely felőli szélén (június 29-én) hasonló jellegű és mértékű károkat találtunk, és a károk kiterjedtsége is nagyjából megegyezett a másik helyszínével. Néhány káresemény fotója a 11. ábrán látható. A teljes kárjelentés az egyes helyszínek részletesebb leírásával és fotódokumentációjával, valamint külön térképes szemléltetésével a Viharvadászok Egyesületének weboldalán tekinthető meg [12]. Az észlelt károk alapján valószínűsíthető, hogy az első és utolsó megfigyelési időpont közötti,



11. ábra – A tornádó által okozott károk néhány fotón. a-b) Összedőlt pajta, károsodott tető és kitört gyümölcsfák Nardán. c) A tornádó által kettétört fenyőfa a Torony#1 kárhelyszínén, melynek felső részét körülbelül 100 m-rel arébb dobta le a forgószelel. d) Ágkárosodás a Torony#2 helyszínén lévő fán. e-f) Kettétört, kidöntött fák a Sé és Szombathely határán lévő erdő délnyugati és keleti oldalán. Fotók: a-b) Unger Tamás, VAOL (Vas Vármegyei Hírportál) [10 - vaol], c) Pintér István [7 - szupercella], d-f) Hérics Dávid.

kissé több, mint fél óras időszakban nagyrészt leért a felszínre a tornádó, noha határozott kondenzációs tölcser csak az élettartama végén jelent meg. Átmeneti visszahúzódások azonban feltehetőleg előfordultak, illetve a több helyen észlelt elkülönülő kárnyomok arra utaltak, hogy a fő örvény körül kisebb szívótölcserrek is kialakulhattak. Ugyanakkor az sem zárható ki, hogy egyes kisebb ágtöréseket a hátoldali leáramlás kifutószele okozott. A károk alapján a tornádó erőssége az Amerikai Egyesült Államokban használt módosított Fujita-skálán többnyire az EF0-s és az EF1-es fokozat között ingadozhatott, mely 100–150 km/h körüli maximális szélességnek felel meg, de időnként megközelíthette, esetleg elérhette az EF2-es erősséget is (180–200 km/h-s maximális szélesség). Az Európában jellemző építkezési módok alapján kifejlesztett nemzetközi Fujita-skálán (Groenemeijer et al., 2023) pedig IF0.5 és IF1.5-ös fokozat közötti lehetett a tornádó.

Összefoglalás

Cikkünkben a 2024. június 9-én az osztrák-magyar határvidéken bekövetkezett tornádós helyzetet elemeztük. A szinoptikai felételek kifejezetten kedvezőnek mutatkoztak szupercellák kialakulásához, illetve a szokásosnál nagyobb esély mutatkozott tornádó létrejöttére is, melyet a Viharvadászok Egyesülete által üzemeltetett szupercella.hu weboldal aznapra szóló konvektív előrejelzésében is jelzett az aktuális előrejelző. Délután az Alpok délkeleti lábánál két, szorosan egymást követő szupercella fejlődött ki, melyek ezt követően részlegesen össze is olvadtak. Észlelői beszámolók alapján ez éppen egybeesett az elülső cellából lenyúló tornádó első megjelenésével, és korábbi esetek, illetve szakirodalmi példák alapján valószínűsíthető, hogy az összeolvadásnak ezúttal is lehetett szerepe a kialakulásában – bár több szupercella is kialakult aznap a térségben, azokból nem érkezett tornádóészlelés. A tornádó kelet-északkelet felé haladva Narda közelében lépte át az osztrák-magyar határt, majd a falu déli részét érintve Toronytól és Sétől északra haladt tovább, végül Szombathely északnyugati határában oszlott fel. Élettartama jelentős részében inkább csak az alul felkavarodó törmelékfelhő „festette meg” az örvényt, de Toronytól és Sétől északra határozott kondenzációs tölcser is kifejlődött. A forgószelel jelentős károkat okozott Nardán, több lakóház tetejét megromgálta, illetve melléképületeket is összedöntött, de emberéletben szerencsére nem esett veszteség. Emellett útja során több helyen voltak megfigyelhetőek fatörések és -dölések, melyeket szervezett kárfelmérés során is sikerült azonosítani a magyar oldalon, pontosan feltérképezve ezáltal a tornádó útvonalát. A kárinformációk alapján a tornádó erőssége a módosított Fujita-skála szerint többnyire az EF0 és EF1 fokozat között váltakozhatott, de időnként elérhette az EF2-es fokozatot is. Az eset megmutatta, hogy a napjainkban az interneten már nagy számban elérhető információk (pl. webkamerák, szemtanúk fotói és videói), illetve a viharvadászok és meteorológusok helyszíni megfigyelései és kárfelmérései együttesen fontos szerepet játszhatnak a szupercellák és tornádók tudományos vizsgálatában.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a HungaroMet Nonprofit Zrt-nek az ECMWF modelladatok és a radaradatok, valamint a megjelenítésükhöz használt HAWK rendszer rendelkezésre bocsátásáért! A tanulmány elkészítésében nagy segítséget jelentettek továbbá az eseményről és a károkról publikált fotók, szakmai leírások, melyekért köszönettel tartozunk Pintér Istvánnak, Unger Tamásnak és a VAOL Vas Vármegyei Hírportálnak, Zag Líviának és a Kőszegi Időjárás Előrejelzés Facebook oldalnak, továbbá az osztrák Skywarn meteorológiai közösség viharvadász csoportjainak!

Irodalomjegyzék

- Atkins, N. T., Weisman, M. L. and Wicker, L. J., 1999: The influence of preexisting boundaries on supercell evolution. *Mon. Wea. Rev.*, 127, 2910–2927. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1999\)127%3C2910:TIOPO%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1999)127%3C2910:TIOPO%3E2.0.CO;2)
- Barnes, S. L., 1978a: Oklahoma thunderstorms on 29–30 April, 1970. Part II: Radar-observed merger of twin hook echoes. *Mon. Wea. Rev.*, 106, 685–696.
- Finley, C. A., Cotton, W. R. and Sr. Pielke, R. A., 2001: Numerical simulation of tornadogenesis in a high precipitation supercell. Part I: Storm evolution and transition into a bow echo. *J. Atmos. Sci.*, 58 (13), 1597–1629. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(2001\)058<1597:NSO-TIA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(2001)058<1597:NSO-TIA>2.0.CO;2)
- Finley, C. A., Cotton, W. R. and Sr. Pielke, R. A., 2002: Tornadogenesis in a simulated HP supercell. Preprints, 21st Conf. on Severe Local Storms, San Antonio, TX, *Amer. Meteor. Soc.*, 531–534.
- Fischer, J., and Dahl, J. M. L., 2023: Supercell-External Storms and Boundaries Acting as Catalysts for Tornadogenesis. *Mon. Wea. Rev.*, 151 (1), 23–38. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-22-0026.1>
- Fischer, J., Dahl, J. M. L., Coffey, B., Houser, J. L., Markowski, P. M., Parker, M. D., Weiss, C. C. and Schueth, A., 2024: Supercell Tornadogenesis: Recent Progress in Our State of Understanding. *B. Am. Meteorol. Soc.*, 105 (7), E1084–E1097. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0031.1>
- Groenemeijer, P., Bock, L., Soriano, J. D., Dutkiewicz, M., Gutiérrez-Rubio, D., Holzer, A. M., Hubrig, M., Kaltenberger, R., Kühne, T., Müller, M., van der Ploeg, B., Púčik, T., Schreiner, T., Šinger, M., Strommer, G. and Xhelaj, A., 2023: "The International Fujita (IF) Scale" (PDF). European Severe Storms Laboratory. Letöltve 2023. 07.30-án. https://www.essl.org/cms/wp-content/uploads/IF-scale_v1.0c.pdf
- Kogan, Y. L., and Shapiro, A., 1996: The simulation of a convective cloud in a 3D model with explicit microphysics. Part II: Dynamical and microphysical aspects of cloud merger. *J. Atmos. Sci.*, 53, 2525–2545. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1996\)053<2525:T-SOACC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1996)053<2525:T-SOACC>2.0.CO;2)
- Komjáti, K., Varga, Á. J., Méri, L., Breuer, H., Csirmaz, K. and Kun, S., 2022: Investigation of a supercell merger leading to the Czech Republic EF4 2 tornado (24 June 2021) using radar data and numerical model output. *Időjárás*, 126 (4), 457–480. <https://doi.org/10.28974/idojaras.2022.4.2>
- Kun, S., Bondor, Gy. és Csirmaz, K., 2017: A 2015. május 6-i heves konvekció és egy szupercella összeolvadás vizsgálata. *Léggör*, 62 (1), 5–16. <https://www.met.hu/ismetret-tar/kiadvanyok/legkor/index.php?id=549>
- Lee, B. D., Jewett, B. F. and Wilhelmson, R. B., 2006: The 19 April 1996 Illinois tornado outbreak. Part II: Cell Mergers and associated tornado incidence, *Wea. Forecasting*, 21 (4), 449–446. <https://doi.org/10.1175/WAF943.1>
- Lemon, L. R., 1976: The flanking line, a severe thunderstorm intensification source. *J. Atmos. Sci.*, 33 (4), 686–694. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1976\)033<0686:T-FLAST>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1976)033<0686:T-FLAST>2.0.CO;2)
- Maddox, R. A., Hoxit, L. R. and Chappell, C. F., 1980: A study of tornadic thunderstorm interactions with thermal boundaries. *Mon. Wea. Rev.*, 108 (3), 322–336. [https://dx.doi.org/doi:10.1175/1520-0493\(1980\)108%3C0322:ASOTTI%3E2.0.CO;2](https://dx.doi.org/doi:10.1175/1520-0493(1980)108%3C0322:ASOTTI%3E2.0.CO;2)
- Markowski, P. M., Rasmussen, E. N. and Straka, J. M., 1998: The occurrence of tornadoes in supercells interacting with boundaries during VORTEX-95. *Wea. Forecasting*, 13 (3), 852–859. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1998\)013%3C0852:TOOTIS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1998)013%3C0852:TOOTIS%3E2.0.CO;2)
- Nixon, J. C., Allen, J. T., Wilson, M. B., Bunkers, M. J. and Taszarek, M., 2004: Cell Mergers, Boundary Interactions, and Convective Systems in Cases of Significant Tornadoes and Hail. *Wea. Forecasting*, 39 (10), 1435–1458. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-23-0117.1>
- Rogers, J. W. and Weiss, C. C., 2008: The association of cell mergers with tornado occurrence. Poster Presentation. 24th Conference on Severe Local Storms. Savannah, Georgia.

Internetes hivatkozások:

- [1] <https://szupercella.hu/kislexikon>
- [2] <https://www.metnet.hu/kislexikon>
- [3] https://www.estofex.org/cgi-bin/polygon/showforecast.cgi?text=yes&fcstfile=2024061006_202406082314_3_stormforecast.xml
- [4] <https://szupercella.hu/konvektiv/hullamzo-front-mnsz-heves-esemenyek-lehetosegevel>
- [5] <https://cameronjnxon.wordpress.com/research/storm-interactions/>
- [6] https://szupercella.hu/viharvadaszat_20150513
- [7] <https://szupercella.hu/blog/eredmenyes-vadaszat-3-szupercella-1-tornado>
- [8] <https://www.skywarn.at/forum/viewtopic.php?f=6&p=443026#p443026>
- [9] <https://www.idokep.hu/webkamera/isiscom3>
- [10] <https://www.vaol.hu/helyi-kozelet/2024/06/tornado-okozott-iszonyu-pusztitast-nardan>
- [11] <https://www.facebook.com/idojaraskoszeg.hu/posts/782176233897416>
- [12] <https://szupercella.hu/blog/2024-junius-9-ei-osztrak-magyar-tornado-karfelmerese>