

Tornádo jako nepředvídatelný jev

Jana Žďárská

Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Tornáda se mimo Arktidu a Antarktidu vyskytují na všech kontinentech. Nejvíce jich vzniká v Severní Americe. Síla tornád je popisována rozšířenou Fujitovou stupnicí, která je založena na klasifikaci podle způsobených škod a dělí je do šesti stupňů – EF0 až EF5. Účinný systém varování před tornády v Evropě zřejmě nikdy nebude, protože tento jev se jen velmi obtížně předpovídá.

Na večer 24. června 2021 mnozí z nás určitě nezapomenou. Moravou se tehdy prohnalo tornádo o síle EF4¹, které silně poškodilo zejména obce Hrušky, Lužice, Mikulčice, Moravskou Novou Ves a město Hodonín. Jeho následky byly skutečně zdrcující – šest lidí zemřelo a desítky osob byly zraněny, nepočítaje obrovské škody na majetku. I zkušení meteorologové byli tehdy touto událostí zaskočeni, protože takto extrémní jev na našem území neočekávali.

Nejvíce tornád se vyskytuje v Severní Americe. Je po nich zde dokonce pojmenováno území rozkládající se v povodí řeky Mississippi mezi Skalistými horami a Apalačským pohořím – Tornádová alej. Dalšími oblastmi výskytu tornád jsou pak především Evropa (včetně České republiky), Japonsko, Bangladěš, východní Indie, jižní Afrika, západní a jihovýchodní Austrálie, Nový Zéland a jihovýchodní Jižní Amerika.

¹ Podle rozšířené Fujitovy stupnice má tornádo EF4 rychlost 75–89 m/s (267–322 km/h) a vyvolává devastaci a velké škody – srovnává se zemí dobře postavené domy, stavby se slabými základy odnáší, auta jsou odmršťována a z těžkých předmětů se stávají létající projektily. Zdroj: *slovník ČMeS* <http://slovník.cmes.cz>



Obr. 1 Tornádo F5 při pohledu z jihovýchodu, když se v pátek 22. června 2007 přiblížilo k Elie v Manitobě. Kredit: Justin Hobson



Obr. 2 Škody způsobené tornádem na předměstí Oklahoma City 20. května 2013. Kredit: TSgt Bradley Church

Ač si tornáda spojujeme převážně s oblastí Severní Ameriky, i v naší republice je každým rokem zaznamenáno několik tornád. Podle dostupných pramenů² není tornádo v České republice ojedinělý jev. Pokud si prohlédneme statistické údaje, zjistíme, že například v roce 2004 bylo v České republice osm tornád, v roce 2022 pět tornád a v roce 2023 sedm tornád.

Jedna z historických zmínek tvrdí, že velmi silné tornádo postihlo české země (tedy tehdejší České knížectví) pravděpodobně v podvečer 30. července 1119. Událost, během níž byl zdevastován i knížecí palác na pražském Vyšehradě, popsal ve své kronice děkan vyšehradské kapituly Kosmas, který byl zřejmě očitým svědkem tohoto neštěstí. Ale bylo to skutečně tak, a jak vlastně lze takovou zprávu ověřit? Petr Zacharov z Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR k tomu dodává: „K této zprávě jsem poměrně skeptický. My sice máme informaci o tom, že silný vítr v podobě víru rozbořil na Vyšehradě zeď paláce, ale už není známo, jak moc ji poničil a jak pevná tato zeď byla.“

Ke vzniku tornáda přispívá mnoho faktorů – ovšem pokud jeden selže, tornádo nevznikne. V zásadě platí, že tornáda vznikají v nestabilních (labilních) vzdušných masách. Asi bychom si představovali, že tornádo snáze vznikne v nějaké obrovské a divoké bouři. Ale

² Budou publikovány v nové knize Dr. Zacharova a kol.

slabé tornádo se může nečekaně vyvinout i z malé bouře či na čele studené fronty. „Podle charakteru vzniku rozlišujeme dva typy tornád. První typ se nazývá mezocyklonální tornádo, které vzniká ve spojitosti s mezocyklonou v supercele³. Supercela je konvektivní oblak tvořený mohutným rotujícím výstupným proudem. V centru rotace tohoto proudu dochází k poklesu tlaku vzduchu – tuhle oblast nazýváme mezocyklonou neboli tlakovou níží v měřítku oblaku. Zajímavostí je, že na rozdíl od tlakové níže, cyklony, může mezocyklona na severní polokouli rotovat proti i po směru hodinových ručiček – přímý vliv Coriolisovy síly je zde tedy zanedbatelný. Supercely jsou zodpovědné za mnohé nebezpečné jevy spojené se silnými bouřemi, ale ne každá supercela musí nutně vytvořit nebezpečné počasí a také ne všechny projevy silných bouří, např. přívalové srážky, jsou nutně spojeny se supercelami. Supercely se nevyskytují jen v USA, ale samozřejmě i v Evropě. Také v ČR jich detekujeme až několik desítek ročně. V supercele kromě výstupného proudu rozeznáváme i dva sestupné proudy. Přední sestupný proud přináší studený vzduch a srážky z jádra supercely, zadní sestupný proud přináší teplejší vítr z vyšších pater oblaku. Po roztečení vzduchu na zemi vzniká na jeho okraji rotace, kterou může bouře využít k vytvoření tornáda. Bouře ovšem musí být dost

3 Vysvětlení vzniku a vývoje supercel by bylo tak rozsáhlé, že mu budeme věnovat samostatný článek v následujícím vydání.



Obr. 3 Meteorologická měření a pozorování probíhají na Milešovce nepřetržitě od roku 1905 (s krátkou přestávkou v roce 1917 a během 2. světové války). Řada meteorologických záznamů patří k nejdelším v ČR. Milešovka je vůbec nejstarší horskou observatoří na území České republiky. Foto: Jana Plavec

silná, aby zdvihla hodně rotace, vzduch s rotací nesmí být příliš studený a těžký, rotace vzduchu musí být dostatečně silná... Těch podmínek pro úspěšné vytvoření tornáda je mnoho a leckteré bouře se nepovede uspět a tornádo vytvořit. Proto je víceméně nemožné tornádo předpovědět i za předpokladu, že jsou námi změřené podmínky příhodné ke vzniku supercel či dokonce přímo tornáda,“ přibližuje vznik tornáda Petr Zacharov a dodává: „Slabší tornáda potřebují mít v atmosféře předpřipravenou rotaci s vertikální osou. Představme si např. rozhraní větru na břehu moře. Nad pevninou vane vítr (horizontálně) opačným směrem než nad vodou a na pobřeží se na tomto rozhraní vytváří slabá tendence vzduchu rotovat s vertikální osou – vertikální vorticity. Pokud se zde vyskytne a dostatečně dlouho zdrží bouře, může nashromáždit dostatečné množství rotace ke vzniku tornáda. Nemusí to být nutně jen na pobřeží moře, ale velký počet tornád v Evropě vzniká právě tam.



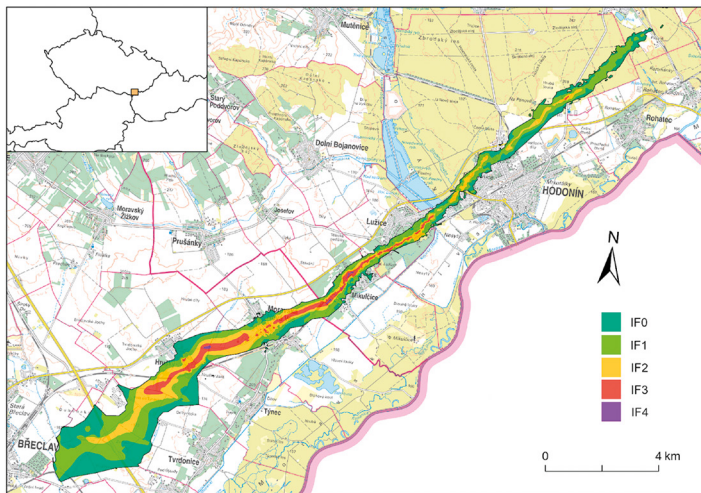
RNDr. Petr Zacharov, Ph.D., (*1980) působí od roku 2004 jako meteorolog na Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR, kde se věnuje výzkumu předpovědi a verifikace srážek a silniční meteorologii. Doktorské (2004–2010) i magisterské studium (1998–2004) absolvoval na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Mezi jeho srdeční záležitosti patří observatoř Milešovka a hlavně silné konvektivní bouře a jejich dramatické i často potenciálně nebezpečné projevy. Na téma fyzika silných bouří a jejich projevů přednáší na Přírodovědecké i Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy. Hodně času také věnuje popularizaci meteorologie, a to právě hlavně silných bouří a tornád, ale i podstatně méně nebezpečných jevů, jako jsou např. duhy. (Foto: Jana Plavec)

Další tornáda mohou vznikat na podobných rozhraních ve vnitrozemí.“

Ke klasifikaci tornád jsou používány různé škály. Tou nejznámější je Fujitova stupnice, založená na hodnocení podle způsobených škod na stromech (odkornění) nebo na domech. Představena byla roku 1971 a používána je od roku 1973. V USA a Kanadě byla počátkem 21. století nahrazena rozšířenou Fujitovou stupnicí, která má konkrétnější klasifikační kritéria a zpřesňuje vztahy mezi silou větru v tornádu a škodami jimi způsobenými. Tato rozšířená stupnice se však používá výhradně v zemích severní Ameriky, hlavně díky tomu, že konstrukce popsané ve stupnici jsou typicky americké. V Evropě se v současné době vyvinula Mezinárodní stupnice síly tornád (IF), která vychází z rozšířené Fujitovy stupnice, ale upravuje ji na obecné druhy konstrukcí budov používaných v Evropě. Další, hlavně ve Spojeném království používanou škálou, je stupnice TORRO, která klasifikuje tornáda od nejslabšího T0 po nejsilnější T11. Stupeň síly tornáda se



Obr. 4 I když jsou tornáda v České republice spíše ojedinělým jevem, přesto vzbuzují v lidech strach a obavy. Proto je tak důležité objasňování těchto jevů, například formou přednášek či diskusí s odborníky. Foto: Jana Plavec



Obr. 5 Mezinárodní hodnotící zpráva dopadů ničivého tornáda na jihovýchodě Moravy 24. 6. 2021 (Report published on the joint damage survey of the tornado in Southeast Czechia on 24 June 2021). Dostupné z: <https://www.essl.org/cms/report-published-on-the-joint-damage-survey-of-the-tornado-in-southeast-czechia-on-24-june-2021/>, zveřejněno 2022

Střih větru je rozdíl v rychlosti a/nebo směru větru s výškou (vertikální střih větru) nebo v ploše (horizontální střih větru). Vorticitata je fyzikální vlastnost pole větru, které má tendenci rotovat. Zde rozlišujeme vorticitatu horizontální, která vzniká díky vertikálnímu střihu rychlosti větru (rychlost větru roste s výškou nad povrchem), a vertikální vorticitatu, která vzniká buď na horizontálním rozhraní směru a rychlosti větru (např. u pobřeží vane vítr jiným směrem než na břehu, viz obrázek 7) nebo transformací (sklápěním) horizontální vorticity.

ve všech stupnicích určuje zpětně, protože ani v USA se nepodaří tornáda vždy monitorovat a změřit pojezdovým radarem.

K detekci tornád je v USA používán především dopplerovský radar, v jehož datech dokážou meteorologové rozpoznat struktury typické pro vznikající či aktivní tornádo. „Srážkový radar ČHMÚ⁴, jehož měření můžeme vidět v relaci počasí ČT, na internetu nebo v mobilních aplikacích, měří pomocí určité vlnové délky množství a vzdálenost srážek od radaru. V České republice má ČHMÚ dva radary – jeden v Brdech a druhý na Dražanské vrchovině –, které pokryjí měřením celou naši republiku. Stejně jako policejní radar umějí tyto radary pomocí Dopplerova jevu určit rychlost pohybu srážkových částic směrem k radaru nebo od radaru. Tyto radary ovšem nevidí, co se děje nízko pod oblakem, pro-

4 Český hydrometeorologický ústav



Obr. 6 RNDr. Petr Zacharov, Ph.D., působí od roku 2004 jako meteorolog na Ústavu fyziky atmosféry Akademie věd ČR, kde se věnuje výzkumu předpovědi a verifikace srážek a silniční meteorologii. Foto: Jana Plavec

<https://ccf.fzu.cz>

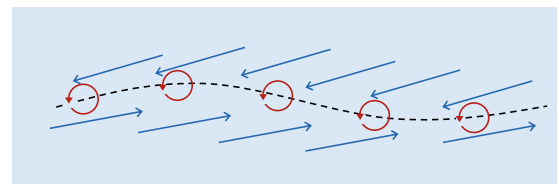
tože jejich paprsky směřují do vyšších vrstev oblačnosti, aby se neodrážely od země. Pak existují oblačné radary, které dokážou rozlišit i menší oblačné částice, ale velké srážkové částice jim působí velký útlum. Tyto radary však mají velmi omezený dosah a v ČR se s nimi můžeme setkat na observatoři Milešovka (ÚFA⁵). Existují ale i mobilní radary – v USA mají oblačné radary naložené na nákladních autech, jezdí do bezpečné blízkosti bouře a měří detailní strukturu supercel a proudění v oblaku, a dokonce umějí zblízka proměřit i tornáda. Jejich omezením je, že bohužel nemohou proměřit rotující vzduch před vznikem tornáda, ale až když tornádo obsahuje dostatečné množství částic (prachu, trosek, kapek), které dokážou elektromagnetické vlnění odrážet zpět k radaru. Nevíme tedy ještě dostatečně přesně, co se děje těsně před vznikem tornáda,“ připomíná Petr Zacharov.

Přestože jsou především v USA k proměření bouří a případně tornád využívány mobilní radary, neexistuje dosud žádné systematické měření tornád. Aby se o něm meteorologové vůbec dozvěděli, je zapotřebí, aby svědci řádění tornáda sdíleli informace o jeho výskytu se zodpovědnou osobou. A to se zásadně projevuje na statistice výskytu tornád nejen v USA, ale hlavně v Evropě.

Statistika⁶ výskytu tornád je v České republice zásadně ovlivněna zájmem občanů a médií, a to jak na přelomu tisíciletí, tak i po tornádu v roce 2021. „Na začátku století bylo díky společným projektům ÚFA

5 Ústav fyziky atmosféry AV ČR

6 Petr Zacharov, Petr Münster, Jan Daňhelka, Radek Tomáš: *Tornádo*. Edice Věda kolem nás, Výzvy a otázky.



Obr. 7 Vznik vertikální vorticity díky horizontálnímu střihu větru. Modrými šipkami je naznačen směr větru, černou přerušovanou čarou je znázorněno rozhraní, na kterém vzniká vertikální vorticitata (červeně).

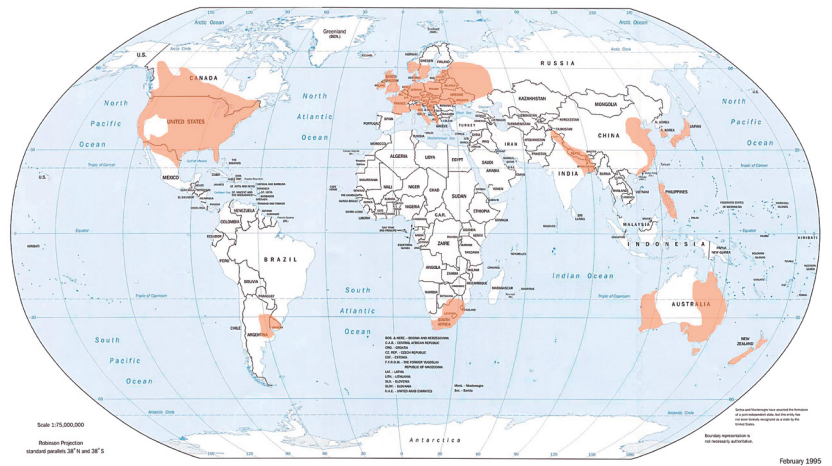
a ČHMÚ pod vedením doc. RNDr. Daniely Řezáčové, CSc., (ÚFA) a RNDr. Martina Setváka, Ph.D., (ČHMÚ) odhaleno i několik tornád ročně, např. osm tornád v letech 2004 a 2006. Po ukončení projektů zájem o tornáda trochu uvařl a výrazně vzrostl až po silném tornádu v roce 2021. V letech 2019 a 2020 nemáme totiž zaznamenané žádné tornádo, v roce 2021 jedno tornádo z jižní Moravy a hned nato pět tornád v roce 2022 a sedm tornád v roce 2023. To samozřejmě neodpovídá nějakému rychlému nástupu klimatické změny, ale spíše hysterii médií po extrémním případě z roku 2021,“ konstatuje Petr Zacharov.

Přesná předpověď tornád se zdá i do budoucna víceméně nemožná. Ani správně lokalizovaná předpověď silných bouří není v současné době realistická, protože detailní struktura bouří je příliš jemná na současná horizontální rozlišení provozních modelů předpovědi počasí. Pro atmosféru je totiž poměrně složité vytvořit silnou bouři a pro bouři je ještě daleko složitější vytvořit tornádo. Pokud tedy nelze přesně předpovědět výskyt silné bouře, například do Hodonína, nelze tedy do Hodonína předpovědět ani tornádo. „Pro detailní popis bouře bychom potřebovali model s krokem

cca 100 m, současné modely mají horizontální rozlišení cca 2 km – tzn. potřebovali bychom pouze v horizontále 400x náročnější výpočet! Zároveň v každém výpočetním bodu modelu bychom potřebovali detailní měření složení oblačnosti, které se měří v ČR pouze na Měšově a s velmi omezeným dosahem, a vertikální sondáž atmosféry se provádí třikrát denně na dvou místech v ČR – což nám poskytuje zoufale málo dat. Takže když si model vytvoří struktury odpovídající silným konvektivním bouřím, je velmi pravděpodobné, že se něco podobného v „okolí“ skutečně vyskytne. Předpově-li model silné bouře na Kladno, je pravděpodobné, že se bouře někde ve Středočeském kraji či Praze vyskytne. Předpověď bouří je tedy plošná záležitost,“ konstatuje Petr Zacharov.

Jiná situace je v USA, kde je výskyt tornád tak častý, že se vyplatí sledovat předpověď možnosti výskytu bouří na další den. V konkrétní den meteorologická služba sleduje radarová a satelitní měření a po vzniku silných bouří k nim posílá amatérské i profesionální hlídky. Po detekci vznikajícího tornáda se vydává varování pro obyvatele oblasti v předpokládaném směru pohybu bouře. Vzhledem k počtu silných tornád v ČR (tři za posledních dvacet let) nemá bohužel takový systém v ČR smysl.

I když jsou tornáda v České republice spíše ojedinělým jevem, přesto vzbuzují v lidech strach a obavy. Nicméně mnohem více lidí zemře při dopravních nehodách, povodních či například úderem blesku – čímž samozřejmě nelze snižovat nebezpečnost tornáda jako takového. Mnoho důležitých informací, jak o torná-



Obr. 8 Mapa ukazující, kde se tornáda s největší pravděpodobností vyskytnou. Z webových stránek National Climatic Data Center, Asheville, Severní Karolína, USA. Kredit: Národní úřad pro oceán a atmosféru (NOAA)

dech obecně, tak i o tom moravském z roku 2021, naleznete v publikaci s názvem *Tornádo*, která je k dispozici na odkazu <http://www.vedakolemmas.cz/vyzvy-a-otazky/20221123-VKN124>.

I my jsme v tomto článku neměli prostor vysvětlit všechny náležitosti, které k takto nebezpečným meteorologickým jevům vedou, a proto se tomuto tématu budeme věnovat i v následujícím vydání Československého časopisu pro fyziku, kde se spolu s Petrem Zacharovem pokusíme osvětlit zajímavý fenomén – a to vznik supercel, které tornádům předcházejí.



www.hvezdarna.cz