

# Tornádo



Akademie věd  
České republiky

Český  
hydrometeorologický  
ústav



ÚFA

**věda**

kolem

nás

výzvy

a otázky

124

**Ústav fyziky atmosféry A V ČR, v. v. i., (ÚFA)** je veřejná výzkumná instituce, která je jedním z pracovišť Akademie věd České republiky. Hlavním vědeckým zaměřením ústavu je výzkum procesů v zemské atmosféře a blízkém vesmíru. Jedná se o širokou vědní oblast od výzkumu a předpovědi jevů ve spodních partiích atmosféry, kterému se věnují pracovníci oddělení meteorologie, přes příčiny a projevy změn klimatu a jejich vliv na společnost, kterými se zabývají vědci z oddělení klimatologie, až po jevy ve vrchních partiích atmosféry a ionosféry, které studují v oddělení ionosféry a aeronomie. Navazujícímu výzkumu fyzikálních procesů v blízkém i vzdáleném prostoru Sluneční soustavy se věnují pracovníci oddělení kosmické fyziky a skupiny numerických simulací heliosférického plazmatu. Vedle základního výzkumu se zaměstnanci Ústavu podílejí na návrhu a vývoji vědeckých přístrojů a metod nebo monitorování a speciálních pozorování jak na povrchu Země, tak vysoko v atmosféře a v meziplanetárním prostoru. Získaná vědecká data jsou dále sdílána napříč vědeckou komunitou v rámci bohaté mezinárodní spolupráce a výsledky výzkumu jsou také publikovány v uznávaných vědeckých časopisech.

Ústav byl založen 1. ledna 1964 a jeho hlavní část od počátku sídlí v areálu Geofyzikálního ústavu AV ČR, v. v. i., v Praze na Spořilově. Mimo hlavní budovu v Praze ústav spravuje meteorologické observatoře Milešovka a Kopisty, observatoř a telemetrickou stanici Panská Ves, ionosférickou observatoř Průhonice a společnou observatoř Dlouhá Louka v Krušných horách.

Výzkumná činnost ÚFA probíhá v úzké spolupráci se zahraničními i tuzemskými vědeckými a odbornými pracovišti včetně vysokých škol. Ústav je také úspěšným navrhovatelem mnoha tuzemských a mezinárodních grantových projektů. Pracovníci ústavu se v neposlední řadě podílejí na výuce studentů na vysokých školách formou přednášek a vedením bakalářských, magisterských a doktorských prací. Pro mladší studenty a veřejnost ústav pořádá četné popularizační akce, jako jsou exkurze, přednášky a ukázky činnosti pracovníků, a aktivně se zúčastňuje různých vědeckých festivalů. Prezentace výzkumu a vědeckých výsledků probíhá také ve spolupráci s veřejnoprávními médii a je pravidelně zveřejňována v on-line prostoru.

ÚFA dlouhodobě spolupracuje s Českým hydrometeorologickým ústavem na různých projektech základního i aplikovaného výzkumu, aktuálně v roce 2022 např. na projektu PERUN, který je zaměřen na výzkum klimatických extrémů, sucha a důsledků jeho prohlubování v České republice, nebo na projektu FROST, který vytváří výstražný systém na tvorbu předpovědi teploty a stavu povrchu vozovek české dálniční sítě.

## Úvod

Na večer 24. června 2021 mnozí z nás nezapomenou. Několik obcí na jižní Moravě tehdy přepadlo tornádo, které nemělo v české historii obdoby. Mnoho lidí přišlo o své domovy a majetky, šest lidí tornádo bohužel připravilo o život. I zkušení meteorologové byli zaskočeni, protože s tak extrémním jevem nemají zkušenosti a rozhodně jej na našem území neočekávali. Jak to, že ve 21. století nás příroda ještě stále může takhle překvapit?

Tornáda se vyskytují na všech kontinentech, samozřejmě s výjimkou Antarktidy. I když to třeba není obecně známo, vyskytují se i v České republice s průměrnou četností 1 až 3 případy za rok. První písemně doložené tornádo se datuje už do roku 1119 – v Kosmově kronice se dočteme o ďáblu v podobě větrného víru, který pobořil zeď knížecího paláce na Vyšehradě (Kosmas: *Kronika Čechů*). Porovnávat sílu tak starého tornáda se současnými lze ale pouze stěží. O dalších historických případech se dozvídáme pouze sporadicky, i když možná ještě někde v kronikách můžeme najít zmínku o jevech, které by tornádo připomínaly. Až koncem dvacátého století se pod vedením nestora studia českých tornád, Dr. Martina Setváka (ČHMÚ), začíná o tornádech mluvit a díky terénnímu průzkumu začaly přibývat první záznamy do databáze tornád v ČR. Ale i přesto, že se nám v současnosti málokteré tornádo schová – díky lidem s chytrými telefony a sociálním sítím – evidujeme roky, např. 2019 a 2020, kdy o žádném výskytu tornáda v ČR nevíme. Možná že v těchto letech tornáda byla – ale nikdo je nezaznamenal. Slabá tornáda s malými škodami mohou snadno uniknout zájmu veřejnosti, a proto neproběhne ani nutný terénní průzkum. Ten je mnohdy jedinou možností, jak prokázat existenci tornáda, lépe řečeno snahou rozlišit stopy po tornádu od stop po přímočarém větru.

Teprve v roce 2021 jsme si do české databáze přidali tornádo síly IF4, ze kterého ještě teď řadu lidí mrazí.

## Jak vzniká tornádo

Naše pouť za tornádem není vůbec jednoduchá. Ani pro moudrou přírodu není snadné silné tornádo vytvořit, o to těžší je tornádo správně pochopit, změřit, nebo dokonce předpovědět. Začneme tedy naši cestu od oblaku, původce vzniku mnoha nebezpečných meteorologických jevů, nechme jej vytvořit tornádo a podívejme se, které části jejich vývoje můžeme změřit nebo předpovědět. Připoutejte se prosím, větrná pouť právě začíná.

Stejně jako bývá klid před bouří, začneme pomalu a zvolna – definicí. Tornádo je rotující sloupec vzduchu s přibližně vertikální osou, který je nahoře spojený s kupovitým oblakem druhu cumulonimbus a dole se dotýká zemského povrchu. Ten dotyk povrchu je důležitý, bez něj se jedná o „obyčejnou“ trombu, jejíž rotace nemá na povrch země vliv a nemůže napáchat žádné škody. **Cumulonimbus** je oblak, který fascinuje řadu obyvatel naší planety. Je to, jak název latinikům napovídá, kupovitý oblak (cumulus) ve tvaru věží či květáků spojený s vypadáváním srážek (nimbus), a to nejen dešťových. Takový oblak je schopen potrápít nás krupkami a kroupami, v zimě vánicí, ale i prudkými nárazy větru, bouřkou s blesky a v neposlední řadě tornádem. Na druhou stranu je velmi fotografický a řada nadšených

**Obrázek 1** Cumulonimbus (uprostřed) s plochou horní částí oblaku – kovadlinou – a přestřelujícím vrcholkem nad kovadlinou (foto Jan Drahokoupil, Amatérská meteorologická společnost, z. s.)







„amatérských“ meteorologů vyráží pravidelně do terénu ulovit pěknou fotku bouřky nebo jednotlivých zvláštních částí oblaku. Ze své pozorovací praxe pak mají tolik zkušeností, že překvapí leckterého „profesionála“, který se tak často do terénu nedostane. Meteorologa v předpovědní praxi nepřestává udivovat, kde a kdy se oblak může vytvořit, vědeckou komunitu zase rozmanité možnosti jeho projevů, které ještě zdaleka nejsou všechny zdůvodněny.

**Cumulonimbus** (zkratka Cb) je mohutný a hustý oblak velkého vertikálního rozsahu v podobě hor nebo obrovských věží, který produkuje přeháňky, přívalové deště či případně krupobití.

I kdybyste doted' o cumulonimbu neslyšeli, není třeba se bát. Je sice zodpovědný za každou přeháňku, každou bouřku a každé krupobití, zdaleka ovšem neplatí, že každý cumulonimbus nás musí ohrožovat na zdraví či majetku. Potkali jsme se s ním už dozajista všichni, ale málokdo zažil opravdu děsivé nebo nebezpečné počasí v terénu na vlastní kůži. Při pohledu na takový oblak (viz obrázek 1) nás okamžitě napadne, že je výsledkem překotného vývoje, přímo vybublání oblaku do atmosféry. Pojďme tedy takovou bublinu stopovat.

**Konvektivní bouře** je souhrnné obecné označení pro meteorologické jevy, které se vyskytují při vývoji konvektivních oblaků druhu cumulonimbus nebo jejich soustav. Zahrnuje např. výskyt bouřky, tornáda, krup, prudkého nárazovitého větru nebo přívalového deště. Bouřka, tj. soubor elektrických, optických a akustických jevů, které doprovázejí výskyt blesků, je tedy jedním z projevů konvektivní bouře, i když se v hovorové češtině pojmy bouřka a bouře bohužel často nepřesně zaměňují.

Představme si krásný letní den, na obloze už vidíme první náznaky vzniku kupovitých oblaků. Na poli se přehřívá bublina vzduchu a začíná stoupat jako lehký balonek. Abychom si nekomplikovali situaci, atmosféra budiž připravena ke tvorbě mohutné oblačnosti – je takzvaně instabilní. Podaří-li se bublině odpoutat od zemského povrchu (což nemusí být snadný proces a někdy tak celý vývoj oblaku skončí dříve, než začal), dostane se do volného prostoru atmosféry. Bublina při výstupu ztrácí svoji původní teplotu, protože se s klesajícím tlakem vzduchu rozpíná, a tedy i ochlazuje. Už není stejně teplá, jako byla při povrchu, ale pořád je lehčí než okolní vzduch. A tak bublina stoupá stále vzhůru. S poklesem teploty vzduch ztrácí schopnost udržet vodní páru. Platí totiž takové zajímavé pravidlo, že do teplejšího vzduchu se vejde více vodní páry než do studeného. Když tedy v naší bublině klesne schopnost udržet vodní páru na hodnotu odpovídající právě množství vodní páry, kterou si bublina v sobě nese, říkáme, že se vzduch nasytí vodní parou. Při dalším ochlazení už vodní páru vzduch nepojme a ta musí zkondenzovat a vytvořit malé, tzv. oblačné kapičky. Při dalším vzestupu se vzduch v bublině stále ochlazuje a vytváří další kapičky, které vidíme jako růst oblaku směrem vzhůru. Samozřejmě to tak nejde pořád, nakonec se bublina dostane k hranici troposféry (většinou u Cb),

kde se pokles okolní teploty zastaví a teplota začne pomalu stoupat. Naše bublina už není teplejší, ale studenější než okolí, které ji začne v jejím vzestupu výrazně brzdit (výstup bubliny má jistou setrvačnost díky rychlosti, kterou dosud získávala). V těchto částech oblaku bublina vytváří tzv. přestřelující vrchol (viz obrázek 1). Pak se ale bublina zastaví a začne klesat zpět ke hranici troposféry, kde vytváří kovadlinu cumulonimbu (viz obrázek 1). Pokud naši bublinu nenásledují hned další, rozpadne se přestřelující vrchol do kovadliny a jeho život končí. V případě kontinuálního přísunu dalšího teplého vzduchu může vrchol vydržet déle.

V nejjednodušším případě tak bublina vytvoří jeden oblak, v němž se vytvoří dešťové kapičky, vyprší se a život oblaku končí. Případně mohou další a další bubliny vytvářet další a další oblaky a obnovovat tak život celého systému oblaků. Nebo mohou proudit další bubliny za sebou a vytvářet tak výstupný proud, který udrží původní oblak při životě delší dobu.

Protože se s oblakem při jeho výstupu dostáváme do výšek, kde je teplota hluboko pod bodem mrazu, vznikají v něm ledové částice: krystalky, ale také krupky a kroupy. Tyto částice pak vypadávají jako srážky a vytvářejí v oblaku sestupný proud. Při pádu ledových částic atmosférou dochází k jejich tání a dopadu na zem ve formě deště – alespoň tedy v letních měsících. Některé krupky nebo kroupy nestihnou kvůli své velikosti roztát a následuje krupobití. V oblasti pod oblakem, kde je vzduch relativně sušší než v samotném oblaku, dochází naopak k vypařování nebo tání srážkových částic, případně oboje. To je běžný jev. Při velmi suchých dnech se může slabá přeháňka cestou z oblaku (často až 2 km dlouhou) celá vypařit. Na obloze pak pozorujeme pod cumulonimby šmouhy deště (odborně se nazývají virga), které však nedosahují až na zem.

Při všem tom tání a vypařování musí vzduch sestupující se srážkami odevzdávat svoje teplo na změnu skupenství a díky tomu chladne. Po dopadu na zemský povrch se studený vzduch roztéká ve formě jakési louže nebo bazénu studeného vzduchu. I když to vypadá divoce a složitě, studené rozfoukání větru před příchodem letní přeháňky zná pravděpodobně každý. Meteorologové označují kraj bazénu studeného vzduchu pojmem gust fronta (gust – náraz větru, fronta – rozhraní mezi teplým vzduchem v okolí a studeným vzduchem vyteklým z bouře). Teplý vzduch, který se na zemi vyskytoval před příchodem bouře, musí stoupat nad bazén studeného vzduchu. Tam může být gust fronta zviditelněna převážně válcovitým oblakem, který nazýváme shelf cloud (viz obrázek 2). Při příchodu gust fronty k místu našeho pozorování můžeme tedy sledovat shelf cloud a v okamžiku jejího přechodu přes nás se studeně rozfouká. Gust fronta je důležitá jak pro další pokračování života oblaku, kdy může pomáhat stoupajícímu vzduchu vytvářet další cumulonimby, tak i pro vznik tornáda.

Představili jsme si vznik oblaku, ale jistě vnitřně cítíme, že tornádo je vítr a o větru zatím nebylo psáno takřka nic. Podívejme se tedy na proudění, které pomáhá oblaku stát se silnějším, a oblak tak může pokračovat na své cestě za vytvořením tornáda. Asi vás nepřekvapí, že rychlost větru obecně roste s výškou. S výškou se dokonce mění i směr větru – občas můžeme pozorovat dvě vrstvy oblačnosti nad sebou pohybující se různým směrem. Změně rychlosti větru říkáme **stříh větru**, změně rychlosti a směru větru s výškou říkáme **vertikální stříh rychlosti a směru větru**. Doplňme tedy náš slunečný den o stříh větru, ideálně o rozdíl  $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



**Obrázek 2** Čelo výtoku studeného vzduchu z bouře – gust fronta zvýrazněná oblakem ve tvaru horizontálního válce (shelf cloud). V pravé části oblaku se nachází bazén studeného vzduchu vyteklý z bouře, v levé části původní teplý vzduch  
(foto Dagmar Drahokoupilová, Amatérská meteorologická společnost, z. s.)

mezi povrchem a výškou šest kilometrů. Vzduch proudící ve výšce rychleji než vzduch u povrchu má tendenci vytvářet horizontálně rotující válce. Ve skutečnosti takto rotující válce nevytvoří, ale vzduch má tendenci rotovat – tomu říkáme odborně **vorticita** – válec má horizontální osu a vzniká tedy horizontální vorticita. Představme si potok, ve kterém uprostřed teče voda rychleji než na břehu – tady vzniká vertikální vorticita, která vytváří víry s vertikální osou, které můžeme ve vodě často pozorovat.

**Střih větru** je rozdíl v rychlosti a/nebo směru větru s výškou (vertikální střih větru) nebo v ploše (horizontální střih větru).

**Vorticita** je fyzikální vlastnost pole větru, které má tendenci rotovat. Zde rozlišujeme **vorticitu horizontální**, která vzniká díky vertikálnímu střihu rychlosti větru (rychlost větru roste s výškou nad povrchem), a **vertikální vorticitu**, která vzniká buď na horizontálním rozhraní směru a rychlosti větru (např. u pobřeží vane vítr jiným směrem než na břehu, viz obrázek 5) nebo transformací (sklápěním) horizontální vorticity (viz obrázek 3).

V okamžiku, kdy začne bublina prudce stoupat z prohřátého pole, strhává s sebou horizontální vorticitu a sklápí ji, transformuje na vertikální (viz obrázek 3).

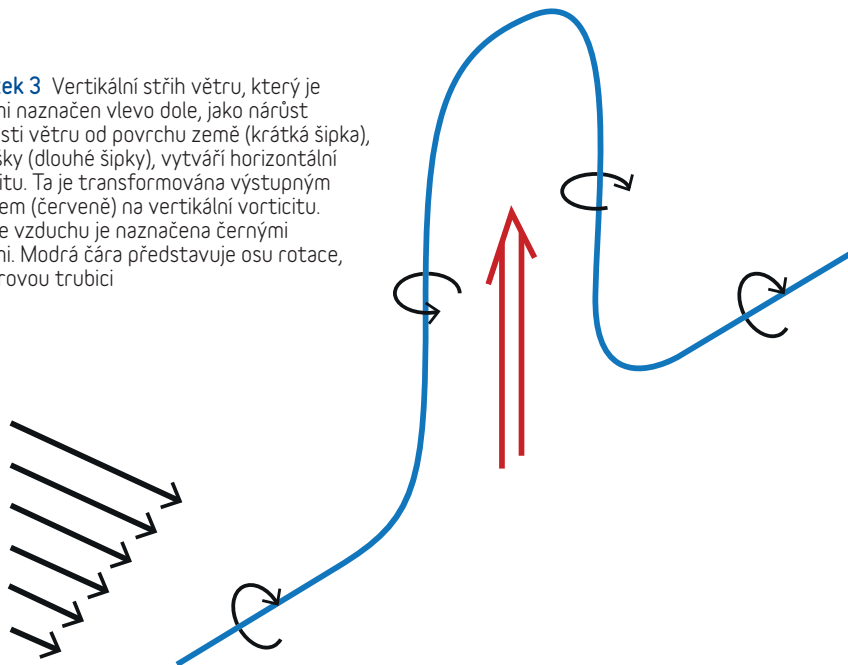


Můžeme si to představit i jako prohnutí horizontálního válce nebo trubice vorticity vzhůru. Ve vzpřímených částech začíná stoupající vzduch rotovat. Nejedná se o prudkou rotaci, kterou bychom snadno odhalili pohledem. Rotace je pomalá, projevit se může pro pozorovatele buď zakulacenými tvary bouře nebo viditelnou rotací na timelapsech (zrychlených videích). V místech rotace dochází k poklesu tlaku, a to nezávisle na směru rotace. Prohnutím trubice vorticity vznikají dvě centra rotace (viz obrázek 3). Ve výjimečných případech pozorujeme dvě bouře s opačně rotujícími vzestupnými proudy, většinou dominuje bouře s rotací proti směru hodinových ručiček, ale byly pozorované i bouře rotující po směru hodinových ručiček.

Bouři, jejíž výstupný proud vzduchu rotuje podle vertikální osy, nazýváme **supercela**. Díky zmiňovanému poklesu tlaku vzduchu uprostřed rotujícího výstupu nasává supercela další vlhký a teplý vzduch potřebný pro další vývoj oblaku. Takový výstupný proud je pak takřka spojitý, můžeme si ho představit jako neustálý proud vzduchu proudící bouří do přestřelujícího vrcholu, cestou vytvářející další a další oblačné kapičky a nahoře v oblaku se roztékající do kovádkliny. Takový oblak žije i mnoho hodin a díky silnému výstupnému proudu (desítky  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) může produkovat např. velké množství krup.

Rotace vzestupného proudu supercely ale neodpovídá rotaci tornáda. Rotující jádro supercely, které nazýváme **mezocyklona** (tlaková níže, cyklona mezoměřítká), se nachází ve výšce několika kilometrů nad povrchem a jeho průměr bývá v rozmezí 3 až 8 km. Rotaci mnohem menšího tornáda musí bouře posbírat na zemském povrchu. A proto jsme v předchozím textu mluvili o gust frontě. Na kraji roztékajícího

**Obrázek 3** Vertikální stříh větru, který je šipkami naznačen vlevo dole, jako nárůst rychlosti větru od povrchu země (krátká šipka), do výšky (dlouhá šipka), vytváří horizontální vorticitu. Ta je transformována výstupným proudem (červeně) na vertikální vorticitu. Rotace vzduchu je naznačena černými šipkami. Modrá čára představuje osu rotace, tzv. vírovou trubici



**Supercela** je oblak druhu cumulonimbus s mohutným rotujícím výstupným proudem a existencí mezocyklony. Rotace v oblaku vzniká sklápěním horizontální vorticity do výstupného proudu a její změnou na vertikální. V centru rotace dochází k poklesu tlaku a vzniku rotujícího víru – **mezocyklony**, tlakové níže mezoměřítka. Na rozdíl od klasické tlakové níže může mezocyklona na severní polokouli rotovat nejen proti, ale i po směru hodinových ručiček.

**Wall cloud** je lokální snížení základny cumulonimbu, které vzniká díky tomu, že supercela nasává studenější, a hlavně vlhčí vzduch z bazénu studeného vzduchu u země pod bouří nahoru do supercely. Při výstupu tohoto vzduchu dochází ke dřívějšímu nasycení, kondenzaci vodní páry, a tedy i lokálnímu snížení základny oblaku (viz obrázek 4).

se bazénu studeného vzduchu totiž také vzniká horizontální vorticity, právě na gust frontě, kde se teplý vzduch přelévá přes studený. Pokud si supercela k natahovanému teplému vzduchu přisaje i trochu studeného vlhkého vzduchu ze zmíněného bazénu, mohou se začít dít pozoruhodné věci. Supercela si tedy umí vyrobit dostatečné množství rotace, vorticity, aby mohla vytvořit tornádo.

Prvním zřetelným projevem natahování studeného vlhkého vzduchu do supercely je lokální snížení základny oblaku, kterému říkáme wall cloud (viz obrázek 4). Snížení vzniká díky tomu, že ve stoupajícím studeném a vlhkém vzduchu

**Obrázek 4** Lokální snížení základny oblaku cumulonimbus – wall cloud –, které vzniká natažením studenějšího a vlhčího vzduchu zpoza gust fronty do bouře (foto Jan Drahoukoupil, Amatérská meteorologická společnost, z. s.)



kondenzuje vodní pára dříve, než je tomu v případě naší původní teplé bubliny, která oblak začala tvořit.

Vznik wall cloudu ale stále ještě neznamená vznik tornáda. Lovci bouří považují wall cloud za varování, že bouře je dostatečně silná, aby dokázala zdvihnout i chladnější (a těžký) vzduch do bouře a že by případně mohla začít tvořit tornádo. Natahovaný vzduch totiž může obsahovat horizontální vorticitu, která by byla opět přeměněna na vorticitu vertikální – obdobně, jako je tomu u vzniku mezocyklony (viz obrázek 3). A tady nastává nejcitlivější místo celého vzniku tornáda.

V ideálním případě si bouře z bazénu studeného vzduchu nasaje dostatečné množství vorticity, aby mohlo vzniknout tornádo. Vzduch stoupající do bouře se začíná točit. Rychlým výstupem vzduchu do bouře se protahuje a zužuje sloupec rotujícího vzduchu a díky zachování momentu hybnosti se zvýší rotace sloupce – vznikne tornádo. Zjednodušeně řečeno představte si krasobruslařku, která se začne pomalu točit s rozpaženýma rukama. V okamžiku zúžení, tj. připažení, se začne točit znatelně rychleji. Stejná fyzika funguje i v bouřích a tornádech.

Pokud bude ovšem pokles tlaku uprostřed supercely nízký (malá rotace mezocyklony), nebo bude naopak vzduch v bazénu pod bouří příliš studený a těžký, nedokáže bouře zdvihnout dostatečné množství rotace a tornádo nevznikne. V případě, že se bude gust fronta na zemi pohybovat moc rychle, což opět souvisí s teplotou vzduchu za frontou, dostane se zdroj horizontální rotace mimo oblast, ze které supercela dokáže nasát vzduch. Žádná rotace pro tvorbu víru tornáda se tak do oblaku nedostane. V takovém případě se často bazén studeného vzduchu dostane pod bouří a ukončí její život, protože ji doslova odstříhne od zdroje teplého vzduchu.

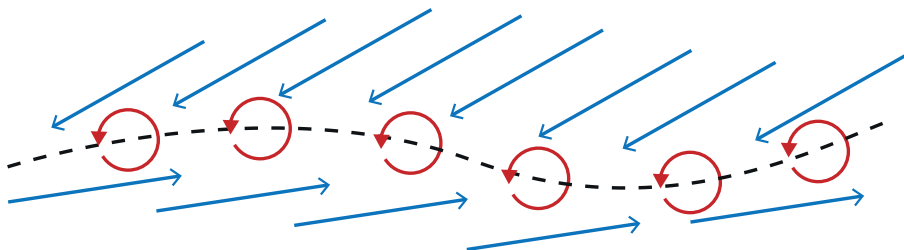
V případě velké hodnoty vertikálního střihu větru, zmiňovali jsme rozdíl v rychlosti větru alespoň  $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ve spodních šesti kilometrech atmosféry, bude vysoká i hodnota horizontální vorticity sklopené do oblaku, a tedy i vertikální vorticity vytvářející mezocyklonu v oblaku. Silná mezocyklona pak může natahovat dostatečné množství studeného vzduchu z gust fronty, pokud není příliš studený a těžký. Na teplotu tohoto vzduchu má vliv množství vypařených vodních kapiček pod bouří, které je ovlivněno vlhkostí vzduchu pod bouří. Pro vznik tornáda v konkrétní bouři je tedy důležitá i relativní vlhkost vzduchu nebo s ní související výška základny oblaku.

Takto vzniklé tornádo označujeme jako mezocyklonální, protože vzniklo natažením horizontální vorticity do mezocyklony. Opačným druhem jsou tornáda nemezocyklonální. Při jejich vzniku bouře, bez nutného výskytu mezocyklony, využije předpřipravenou vertikální vorticitu. Mezi mezocyklonální tornáda patří všechna silná tornáda, kdežto mezi nemezocyklonální tornáda patří pouze ta slabá, jejichž vznik je popsán v následující kapitole.

## Vznik slabých tornád

V předchozím textu jsme si představili, jak vzniká opravdu silné tornádo. Daleko častější jsou ovšem slabá tornáda, která nemusí nutně vznikat popsáním způsobem, tedy natahováním horizontální vorticity a její transformací na vertikální. Pokud je bouře slabší, může využít nějaké vertikální vorticity, která je v atmosféře „předpřipravená“. Nejčastější se taková tornáda vyskytují na břehu moře, kde vznikají tzv.

vodní smršť – tornáda nad vodní hladinou. U břehu moře totiž často fouká vítr jiným směrem než na pevnině a vytváří tak horizontální stříh větru, a tedy i vertikální vorticitu (viz obrázek 5). Na horizontálním rozhraní různě rychlého větru nebo větru s opačným směrem dochází ke vzniku vírů. Tyto víry bouře pod sebou „nashromáždí“ a natažením vzhůru opět zúží a zrychlí rotaci a může vzniknout slabé tornádo. Podobné podmínky mohou nastat i ve vnitrozemí vlivem terénu nebo díky větru z předcházejících bouří.



**Obrázek 5** Vznik vertikální vorticity díky horizontálnímu stříhu větru. Modrými šipkami je naznačen směr větru, černou přerušovanou čarou je znázorněno rozhraní, na kterém vzniká vertikální vorticitu (červeně)

## Tromby

Tornáda obecně zahrnujeme do nadřazené kategorie, které říkáme **tromby**. To jsou víry s přibližně vertikální osou rotace bez ohledu na mechanismus jejich vzniku a bez ohledu na to, zda se dotýkají zemského povrchu, či nikoliv. Mezi tromby tedy patří i jevy, které jsou podobné tornádům, ale nemohou být jako tornáda označeny, protože nejsou v kontaktu se základnou oblačnosti. Tyto jevy jsou většinou tvořeny (teplou) bublinou vzduchu, která rychle vystoupá okolím a stejně jako u mezocyklony a tornáda s sebou strhne horizontální vorticitu, kterou přetvoří na vertikální. Vzhledem k tomu, že se jedná o velmi slabé víry, není zapotřebí ani silného stříhu větru. Mezi takové jevy patří:

- **Gustnádo**, vír vzniklý na gust frontě bez kontaktu se základnou oblačnosti, který využívá horizontální stříh větru podél gust fronty.
- **Mlžný vír** vznikající zřídka nad nezamrzlou vodní hladinou, od níž se ohřívá přízemní vrstva podstatně chladnějšího vzduchu. Bublina ohřátého vzduchu nad vodní hladinou může rychle vystoupat několik metrů a vytvořit tak slabé rotující vír.
- **Požárový vír** vznikající v souvislosti s extrémním přehřátím zemského povrchu při požáru nebo při sopečné erupci.
- **Vír prachový nebo písečný**, kterému říkáme **rarášek** a který vzniká nad přehřátým zemským povrchem. Teplá bublina opět rychle vystoupá a buď využije předpřipravené vertikální vorticity na povrchu, např. u hran objektů, překážek apod., nebo strhne horizontální vorticitu. Tito rarášci se vyskytují velice často, někdy bývají zviditelněni prachem, pískem, slámou nebo listím, a mohou být ze zde vyjmenovaných vírů nejmohutnější, mohou dosahovat i několika metrů



v průměru a desítek až několika málo stovek metrů ve výšce. Běžnější samozřejmě bývají víry o výšce několika metrů a šířce okolo jednoho metru.

## Další nebezpečné jevy

Musíme zde ovšem zmínit, že tornádo je pouze jedním z nebezpečných jevů, které může bouře vytvořit. I když jsou silná tornáda devastující, může bouře vytvořit i jiné počasí, které slabá tornáda v nebezpečnosti hravě předčí. Může se jednat např. o **kroupy** – v mohutných výstupných proudech se kroupa udrží dostatečně dlouho, aby na ni namrzlo tolik kapek, že výsledná kroupa může mít velikost např. golfového i tenisového míčku. Takové kroupy byly zaznamenány i u nás, v zahraničí jsou známy výskyty i daleko větších krup. Nebezpečí představují i **přívalové povodně**, kdy bouře může za krátký čas vyprodukovat vysoké úhrny srážek, které mohou rozvodnit i do té doby velmi klidný potok. Studený vzduch dopadající z bouře se srážkami, který byl v předchozím textu popisován a který na zemi vytvoří bazén studeného vzduchu a gust frontu, může být tak těžký, že při prudkém roztečení po zemi může způsobit velké škody přímočarým větrem – mluvíme o tzv. **downburstu**. A rozhodně nesmíme zapomínat na **blesky**, které známe z leckteré bouřky, ale které mohou také způsobit nezanedbatelné škody. Na druhou stranu nepředstavuje cumulonimbus pouze nebezpečí, ale umí potěšit např. svou nespornou fotogeničností, duhou nebo třeba zvláštními oblaky mamma, oblymi výběžky na spodní straně kovadliny.

## Předpověď tornád

Výskyt jednotlivých tornád se nikde nepředpovídá (ani v USA), předpovídají se pouze podmínky v atmosféře, které jsou pro tvorbu tornáda vhodné. Následně se odhaduje pravděpodobnost, s jakou se mohou v očekávaných konvektivních bouřích tornáda vytvořit. V USA se díky častým vhodným podmínkám pro tornadogenezi v tzv. „pásu tornád“ velmi uplatňují pozorovatelé a lovci tornád, kteří vznik tornáda, jakmile jej zpozorují, ohlašují. Protože je zde doba trvání tornád obecně delší nebo se v trase bouří tornáda vytvářejí opakovaně, vydává se okamžité varování před postupem pozorovaného tornáda v předpokládaném směru postupu mateřských konvektivních bouří. V USA existují tedy dva typy varování – **předpovědní výstraha** o možném výskytu jevu a **výstraha před pozorovaným jevem** s předpovědí/odhadem jeho vývoje až poté, co je jev potvrzen pozorováním. Proces varování veřejnosti je stejný jako u ostatních meteorologických služeb, tedy i jako v ČR.

Ve střeoevropských podmínkách jsou běžnější slabší tornáda trvajících vteřiny nebo jednotky minut, před kterými není možné obyvatelstvo efektivně varovat. Nezbyvá tedy než sledovat postup silných bouří pomocí meteorologických radarů a mít se na pozoru. U vzácnějších případů silných a ničivých tornád, která pro svůj vznik vyžadují vhodné parametry atmosféry a silnou mateřskou konvektivní bouři – supercelu, by potenciál varovného systému mohl být využit na místní úrovni zřejmě také jen s pomocí přímých pozorování. Tato pozorování je ovšem u velmi vzácných jevů takřka nemožné provádět systematicky.

Při předpovědi podmínek vhodných pro vývoj silných bouří nejčastěji používáme parametry stavu atmosféry zvané CAPE a CIN a samozřejmě zmiňovaný vertikální

**Obrázek 6** Supercela z 24. 6. 2021, která vytvořila ničivé tornádo na jižní Moravě (foto Miloslav Staněk, Meteopress, s. r. o.)





střih větru. Parametr CAPE je ukazatel dostupné energie pro vznik silných bouří, jde o hodnocení instabilní vrstvy, ve které je stoupající bublina vytvářející oblak lehčí než její okolí. Naopak CIN hodnotí energii v přízemní vrstvě atmosféry, kterou musí na začátku bublina překonat, aby se dostala do instabilní vrstvy, kde bude stoupat již sama. Je to tedy charakteristika vrstvy, kde je naše částice těžší než okolí. Musí dojít buď k výraznějšímu prohřátí bubliny, nebo k mechanickému zdvihu bubliny např. na svazích hor, aby tuto bariéru (CIN) překonala. Pro hodnocení pravděpodobnosti vzniku tornád ještě doplňujeme vertikální střih větru ve spodní vrstvě atmosféry a hodnocení vlhkosti podoblačné vrstvy. Takzvaný nízkohladinový střih větru většinou určujeme jako rozdíl rychlosti větru na povrchu země a ve výšce jeden kilometr. Pro hodnocení vlhkosti se používá teoretická výška spodní základny oblačnosti, která se počítá z přízemní relativní vlhkosti.

Obecně vzato platí, že potřebujeme nízké hodnoty CIN, aby byl vznik bouře pravděpodobný. Vysoké hodnoty CAPE a vysoké hodnoty vertikálního střihu větru pak ukazují na možný vznik supercel. Přidáme-li ještě vysokou hodnotu nízkohladinového střihu větru a vyšší relativní vlhkost vzduchu (a tedy i nižší výšku spodní hladiny oblačnosti), budeme mít vhodné podmínky pro možný vznik tornáda. Všechny tyto parametry můžeme určit ze sondážního (aerologického) měření a hodnotit tedy současnou připravenost atmosféry ke vzniku bouří. Musíme si ale uvědomit, že tato měření jsou v čase i prostoru velmi řídká, vždyť v ČR se sonda vypouští v Praze-Libuši třikrát denně a v Prostějově dvakrát denně. To ale není chyba českých meteorologů, sondážní pozorování jsou řídká všude na světě, nad oceány a Afrikou jich najdeme jen poskrovnu. Obzvláště přízemní podmínky se pak mohou mezi lokalitami značně lišit.

Modely předpovědi počasí umí tyto prvky předpovědět, a to jak v prostoru, tak i v čase. Nicméně zde musíme brát v úvahu nepřesný popis přízemních podmínek, který pramení jednak z nedostatečného proměření přízemní vrstvy před výpočtem modelu a také z velmi složitého matematicko-fyzikálního popisu této vrstvy. Jednoduše řečeno: nepřesnosti ve výsledcích předpovědních modelů počasí by nás měly odradit od bezhlavého spoléhání na jeden zdroj informací.

Meteorolog ve službě má hrubé informace o stavu atmosféry z měření a o jejím budoucím vývoji z modelů. Bohužel neexistují žádné limitní hodnoty uvedených parametrů, při kterých by bylo jisté, že vznikne supercela, nebo dokonce tornádo. U bouří se vždy musí pracovat s pravděpodobností vzniku. Velmi důležitým prvkem v životě silné bouře je totiž její iniciace, impuls k jejímu vzniku. Při nenulových hodnotách CIN (což je běžný stav) musí meteorolog odhadnout, kde by přibližně bouře vůbec mohly vzniknout a kam by se mohly pohybovat. Lokalizace výskytu samotných bouří ve větším předstihu je kvůli nejistotě v místě vzniku a hrubému odhadu stavu atmosféry v podstatě nemožná a má smysl na úrovni větších územních celků, např. krajů. Potvrzení správné předpovědi v lokalizaci a načasování vzniku cumulonimbů a bouří je definitivní až v okamžiku jejich tvorby na základě vizuálního pozorování nebo dálkové detekce (družice, radary).

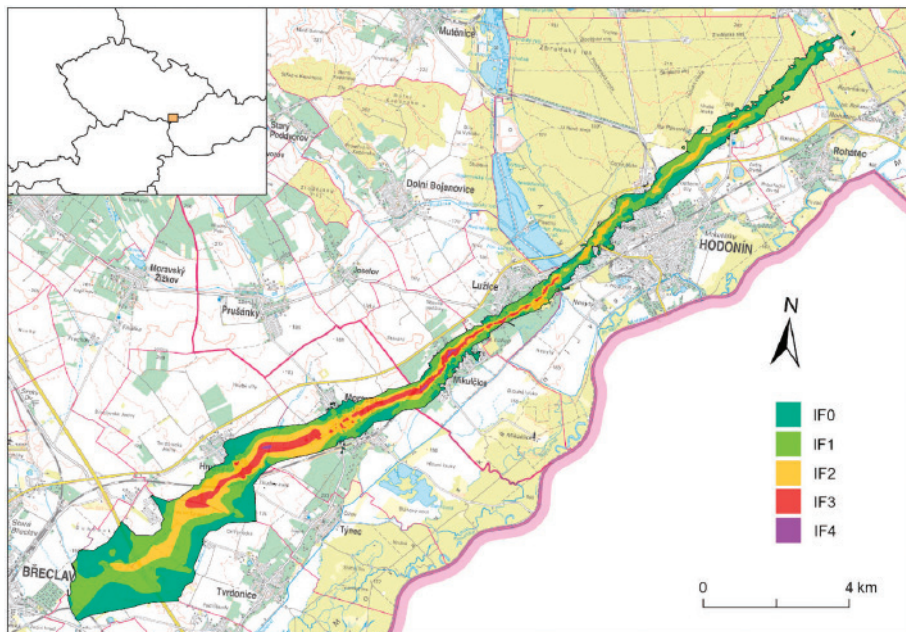
Další otázkou pak je, zda některá ze vzniklých bouří vytvoří nebezpečné počasí, či nikoli. Z USA jsou známy případy, kdy za stejných podmínek určených z měření a předpovědi vzniklo několik supercel, z nichž pouze část vytvořila tornádo, a ostatní ne. Rozdíly mezi těmito bouřemi však současné měřicí technologie neza-



znamenal žádný. Obdobná situace byla i u tornáda na jihovýchodní Moravě – i zde bylo několik podobných bouří, z nichž jedna vytvořila tornádo. Detailní příčiny vzniku tornáda a vliv struktury krajiny na jeho vznik jsou významnými otázkami aktuálního výzkumu ve fyzice silných bouří a jejich projevu. Nicméně tvar krajiny a její využití zřejmě nemá zásadní vliv na vznik a sílu tornáda. Zásadní vliv má mateřská bouře, na kterou jistě využití krajiny mít vliv nebude, kopce a horské hřebeny mohou změnit proudění, a tedy i pohyb bouře. Víme, že se tornáda vyskytují nad různými povrchy, zastavěnými, lesnatými i volnými, zaznamenána byla i v hornatých oblastech.

Lokální předpověď výskytu silných bouří, či dokonce tornád je tedy v současné době nemožná nejen v Evropě, ale i v USA a kdekoli jinde na světě. Předpověď je omezena na výstrahy před silnými bouřkami v určitých větších oblastech nebo územních celcích. Po vzniku konvektivních bouří může být předpověď upřesněna, ale zde se již jedná o velmi krátkodobou předpověď s platností na několik málo desítek minut až hodin v čase dopředu. Detailní předpověď výskytu supercely v určité oblasti (např. města), či dokonce tornáda, je v současné době nemožná a je otázkou, zda vůbec v budoucnu budeme umět v předpovědi lokalizovat vznik a vývoj silných bouří do konkrétních lokalit.

U tornáda není problematická jen předpověď, ale i měření. Přístroj, který dokáže identifikovat tornádo, je mobilní dopplerovský radar, který můžeme dovést blízko k bouři a proměřit rychlosti větru ve spodních partiích bouře. Pevné radary umí



**Obrázek 7** Mapa území zasaženého tornádem 24. 6. 2021 dle podrobného šetření škod (ESSL, 2022)



**Obrázek 8** Odkorněný a odvětvený strom v aleji podél cesty z Hrušek do Moravské Nové Vsi  
(foto Tomáš Púčik, European Severe Storms Laboratory)

**Obrázek 9** Vrak autobusu vymrštěný ze silnice na nedaleký domek v Mikulčicích  
(foto Tomáš Púčik, European Severe Storms Laboratory)



detekovat rotaci ve střední výšce bouře – mezocyklonu –, ale nemohou vidět pod bouři, protože by se jejich paprsky odrážely zpátky od země, což by měření znehodnotilo. Anemometrům (přístrojům pro měření směru a rychlosti větru) na pozemních meteorologických stanicích se tornádo buď vyhne, nebo by je v případě zásahu zničilo působením silného větru, případně zásahem letícími troskami, které vítr unáší. Mobilní radary umí určit rychlost větru v tornádech, ale ani v USA nejsou tyto přístroje u každé bouře a každého tornáda.

Síla tornáda a rychlost větru se tak u všech tornád odhadují podle způsobených škod pomocí tzv. **mezinárodní Fujitovy stupnice**. Tato stupnice rozděluje škody na určitých konstrukcích do šesti kategorií od IF0 do IF5. I když je určení síly tornáda v manuálu velmi detailně popsáno, vznik škod závisí i na charakteru krajiny, kterou tornádo prochází. Příkladem budiž tornádo z roku 2013, které procházelo okolo města El Reno (Oklahoma, USA). Tornádo bylo velmi detailně proměřeno, ale protože našťásti minulo obydlené oblasti, bylo charakterizováno pouze jako EF3, i když v něm byly zaznamenány nejvyšší rychlosti větru na světě ( $486 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) a i šířka tornáda  $4,2 \text{ km}$  naznačovala jeho velkou sílu.

## Tornádo na Hodonínsku a Břeclavsku

Ve čtvrtek 24. 6. 2021 ve večerních hodinách vznikly v Rakousku silné bouře, které putovaly přes Moravu až do Polska a cestou produkovaly různé druhy nebezpečného počasí. Jedna z těchto bouří vytvořila na jižní Moravě tornádo. Z dostupných fotografií byl jeho začátek odhadnut na 19:14 SELČ a v té době se viditelný trychtýř nacházel v okolí dálnice D2 mezi Břeclaví a Tvrdomicemi. Zde se objevily první výrazné škody na větrolamech a sloupech vysokého napětí. Odsud přibližně severovýchodním směrem již viditelná nálevka tornáda postupovala nad obydlené oblasti průměrnou rychlostí přes  $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Celkovou dráhu  $27,1 \text{ km}$  prošlo tornádo za 39 minut, podle fotografií se rozpadlo v 19:53 SELČ, a to nad lesy v jižní části obce Ratíškovice. Podle detailního průzkumu škod, jehož závěry jsou uvedeny například v mezinárodní zprávě z června 2022 (ESSL, 2022), byla celková plocha území poškozeného tornádem vypočtena na  $21,9 \text{ km}^2$ , zatímco dopady silného tornáda (kategorie IF2 a vyšší) se projeví na ploše  $6,1 \text{ km}^2$ .

Nejvyšší zjištěnou kategorií intenzity tornáda na jižní Moravě byla podle metodiky mezinárodní Fujitovy stupnice kategorie IF4 – tedy ničivé tornádo. Tuto intenzitu mělo tornádo mezi obcemi Hrušky a Moravská Nová Ves, dále na mnoha místech v obci Mikulčice, poslední znaky této síly tornáda byly objeveny v obci Lužice. Odhad rychlosti proudění v tornádu kategorie IF4 je v průměru  $376 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Protože škody na budovách způsobené takovou silou větru nelze přesně nasimulovat, obecně se předpokládá, že chyba odhadu rychlosti proudění je v této kategorii až  $\pm 113 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

### Co všechno se při terénním šetření sleduje?

Výše zmíněná mezinárodní Fujitova stupnice popisuje, jakým způsobem v terénu klasifikovat škody způsobené tornádem. Nejedná se pouze o popis škod na budovách, ale i na stromech, dopravních prostředcích, sloupech apod. Podle míry jejich



poškození je odhadována rychlost proudění, která danou škodu mohla způsobit. Při průzkumu je cílem získat co nejvíce dokumentačního materiálu o poškozených objektech a předmětech pro zpětné vyhodnocení účinků proudění a určení kategorie tornáda. Stupnice je přitom upravena pro konstrukční a stavební podmínky běžné ve střední Evropě, jež se liší od staveb v USA.

U budov se hodnotí míra poškození střešní krytiny, celé střechy nebo i zdí, popřípadě zničení celého domu. Na příkladu letecké fotografie ze středu obce Mikulčice je vidět na obytných domech poškození IF2 až IF4 (viz obrázek 10).

Stromy mohou být silou proudění polámaný, vyvráceny, zbaveny větví, nebo dokonce kůry tím, jak do nich v rychlosti narážejí půdní částice. Opět se posuzuje druh, velikost, případně zdravotní stav a „stabilita“ stromů. Podle polohy ležících stromů můžeme dobře určit, kterým směrem vítr působil.

Unášení trosk je jedním z nejnebezpečnějších projevů tornád, protože trosky se pohybují velmi rychle a demolují překážky v cestě. Těžké předměty jsou zvedány do vzduchu a unášeny méně snadno, proto lze podle jejich posunu odhadovat vyšší kategorie intenzity tornáda. U silných tornád už jsou na větší vzdálenosti přemisťovány automobily, tornádo kategorie IF3 a vyšší už dokáže zdvihnout do vzduchu i autobus (viz obrázek 9).

**Obrázek 10** Letecký pohled na zasaženou obec Mikulčice  
(foto Lukáš Ronge, Amatérská meteorologická společnost, z.s.)





## Předpověď počasí a výstrahy 24. 6. 2021

Pro každý den bouřlivého týdne od 19. do 25. 6. 2021 bylo na části nebo na celém území ČR upozorňováno na pravděpodobný výskyt nebezpečných projevů konvekčních bouří. Textové předpovědi počasí pro jednotlivé regiony se v rámci Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) vytvářejí až na pět dní dopředu a zmínka o silných bouřkách v Jihomoravském kraji se pravidelně objevovala již od 20. 6. 2021.

V souladu s principy možností předpovědí bouřek bylo předem varováno vydáváním výstrahy pro ty oblasti, kde se podle výpočtů modelů předpokládala přítomnost příhodných parametrů atmosféry k tvorbě a výskytu výrazných bouří. Vzhledem k nejistému určení konkrétní oblasti s bouřkami (nebo vůbec samotného výskytu bouřek) se výstrahy ČHMÚ vydávají s předstihem nejvýš dvou dnů, tedy na dnes a na zítra. Kromě označení rizikové oblasti je problematické i určení intenzity nebezpečných jevů. Odhad meteorologických modelů, podle nichž se určuje lokalizace a intenzita možných bouřek, se totiž může velmi lišit mezi jednotlivými výpočty prováděnými několikrát denně. Obecně vzato se předpokládá, že novější modelová data budou přesnější a lze jim věřit více než datům předchozím. Po aktualizaci všech výpočtů dne 24. 6. byla výstraha ČHMÚ na silné bouřky změněna na velmi silné bouřky. Potvrzení a vyšší intenzita parametrů stavu atmosféry oproti předchozím modelovým předpovědím tedy vedla ke zvýšení intenzity výstrahy. Pro vydání výstrahy na **velmi silné bouřky** je potřeba předvidat v označené oblasti překročení těchto limitů: velikost krup 2 cm a větší, rychlost větru nad 90 km·h<sup>-1</sup> a hodinový úhrn srážek 50 mm a vyšší. Pro srovnání: u **extrémně silných bouřek**



**Obrázek 11** Supercela produkující srážky  
(foto: Lukáš Ronge, Amatérská meteorologická společnost, z. s.)







by se počítalo s překročením některého z těchto limitů: velikost krup 4 cm a větší, rychlost větru nad  $110 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  a celkový úhrn srážek 90 mm a vyšší.

Těsně před postupem výrazných konvektivních bouří z Rakouska nad jižní Moravu byla ještě vydána výstraha potvrzující postup pozorovaných velmi silných bouřek do tří krajů České republiky (v platnosti do 18:33 SELČ). Frontální pásmo s četnými bouřkami bylo v tu chvíli aktivní v šířce přibližně od Českého Krumlova po Břeclav. Bohužel v té době nebyly k dispozici aktuální informace o konkrétních projevech bouří v zahraničí.

Vyhodnocení úspěšnosti výstrahy z hlediska velikosti krup, jejichž velikost mnozí pozorovatelé potvrdili mezi 4 až 8 cm, ukázalo, že se u některých z bouří ve skutečnosti jednalo o extrémně silnou intenzitu. Naopak srážkovými úhrny byly bouře dokonce pod limitem *velmi silných bouřek*, a to i přesto, že srážky lokálně způsobily problémy. Nejproblematičtější je hodnocení maximální rychlosti větru. Staniční měření jsou pro tyto potřeby velmi řídká, protože prostorová proměnlivost silných nárazů větru bývá v bouřích značná. V některých bouřích se pravděpodobně vyskytly i nárazy nad  $90 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ . Hodnocení rychlosti větru tak zůstává převážně nepřímé, na základě způsobených škod.

Předpověď výskytu tornáda není zahrnuta do parametrů výstražného systému. Hlavně proto, že se jich vyskytuje příliš málo, než abychom jim mohli přisoudit konkrétní podmínky „jistého“ vzniku a předpovědět jejich výskyt. Výše zmíněné předpokládané podmínky atmosféry vhodné pro vznik tornáda se na druhou stranu vyskytují často na velkých plochách. Pokud bychom se řídili pouze těmito znaky, mnozí obyvatelé by pak byli příliš často varováni falešně.

## Ochrana před tornády

Zabránit vzniku tornád samozřejmě nelze, vždy si budou vybírat škody na majetku na území, kde se náhodně vyskytnou. Důležitější je snížit na minimum riziko ohrožení zdraví a ohrožení života, a to nejen při u nás řídkých výskytech tornád, ale i během častých konvektivních bouří. Toho lze docílit obecně dvěma způsoby:

- **Nebezpečné jevy je třeba dobře poznat**, respektovat a **nepodceňovat jejich sílu**. Odtud je jen krůček ke **správnému chování obyvatel** při výskytu konkrétního nebezpečného jevu, třeba právě při tornádu. Zodpovědnost je na každém z nás. Zpozorované tornádo by mělo znamenat okamžité vyhledání vhodného úkrytu, jsme-li v jeho dráze nebo poblíž. Nebo – je-li to možné – únik z dráhy jeho pravděpodobného postupu.
- **Mít se na pozoru a využívat dostupné informace**. Už bylo zmiňováno, že konkrétní výskyt a čas tornáda je nepředvídatelnou událostí, která se ale váže na mnohem lépe sledovatelné atmosférické jevy. Možnost výskytu tornáda by měl mít na paměti každý. Jedná se o silné až extrémně silné bouře, jimž vždy nějakou dobu trvá, než se vyvinou do stadia, kdy silné tornádo mohou vytvořit a udržet při životě. Takové bouře lze při jejich vývoji sledovat na obloze dlouho před jejich příchodem. Využití výsledků měření meteorologických radarů v mobilních aplikacích nebo na webových stránkách může každému pomoci v aktuálním čase odhadnout, jestli se s bouří může potkat. Už tehdy bychom se měli mít na pozoru. Budeme-li mluvit o větším předstihu informací o potenciálně nebezpečných



jevech, je třeba využívat předpověď počasí a všimnout si, zdali v nich není zmínka o silných bouřkách a dalších nebezpečných jevech.

## Závěr

Bouřky vždy oprávněně budily respekt. Představují totiž přímé nebezpečí pro člověka, kterého zastihnou ve volné přírodě. Hrozbou jsou však i pro obydlí, pro které představují nebezpečí požáru. Díky bleskosvodům je tato hrozba v podstatě zažehnána, nemáme se však začít bát právě tornád? Vždyť představují ten nejvýraznější a nejvíce fascinující fenomén spjatý se silnými bouřemi.

Nebezpečných jevů v bouřích však známe celou řadu a mnohé z nich se vyskytují s výrazně vyšší frekvencí než tornáda. Krupobití může působit velké škody v zemědělství, ale větší kroupy, okolo 5 cm, dokáží rozbít i okna automobilů a poškodit další majetek. V srpnu 2010 velmi silné krupobití zasáhlo jižní část Prahy a způsobilo velké škody zejména na automobilech. Jen výše pojistných škod tehdy dosáhla 1,6 mld. Kč.

**Downburst** představuje dopad studeného vzduchu z bouře a jeho prudké roztečení po zemském povrchu. Takový propad vzduchu (*downburst*) představuje nebezpečí pro leteckou dopravu, prudký přímočarý vítr na zemi může působit obdobné škody jako ty způsobené tornádem. Ostatně ve stejný den v červnu 2021, kdy na jihu Moravy řádilo tornádo, se vyskytl ničivý downburst na západ od Prahy v okolí obcí Petrohrad a Kryr.

Tornáda se v Česku vyskytují velmi zřídka a dosahují povětšinou jen nejslabších intenzit. A protože zastavěné území dosahuje jen okolo 2 % území Česka, většinou zasáhnou lesy, louky či pole a nezpůsobí žádné výrazné škody, dokonce často zůstanou beze svědků. I proto je počet lidí, kteří u nás na vlastní oči spatřili tornádo, velmi omezený.

To, že tornádo poničí více budov, není v ČR příliš častým jevem. Známý je případ z roku 2004 v Litovli. O úmrtí v důsledku tornáda, kromě roku 2021, víme pouze z Bohumína, kde v červnu 1925 slabé tornádo poničilo dřevěnou boudu, do které se schovali polní dělníci, z nichž dva bohužel nepřežili. Pro srovnání, za období 2001–2020 u nás bylo bleskem zabito 21 lidí, obětí přívalových povodní se stalo 28 obyvatel a dalších 7 zemřelo v důsledku jiných projevů bouří.

I moravské tornádo v roce 2021 bylo jen jedním z projevů ve dvoutýdenním červnovém období silných konvektivních bouří nad Evropou. Na pojištěném majetku bouře způsobily v tomto období škodu za celkem 4,5 mld. amerických dolarů, z toho pojistné škody způsobené moravským tornádem představovaly asi 3–4 % (3,4 mld. Kč). Zároveň však ani výskyt takto silného tornáda nemusí znamenat velké škody na majetku a lidských životech, pokud nezasáhne obydlené lokality. Obecně platí, že vyskytují-li se v určité oblasti tornáda, je možné očekávat, že jednou za dlouhý čas se zde objeví i velmi silné tornádo – stejně jako je tomu třeba u povodní. Tragické následky jihomoravského tornáda bohužel představují smutnou kombinaci statistiky a nešťastné náhody, kdy se silné tornádo s dlouhou a širokou trasou přehnal nad spojitě obydlenou oblastí.

Tornádu nelze vzdorovat, jeho síla je příliš velká. Jediným smysluplným opatřením je uniknout z dosahu jeho působení, je-li to možné, anebo se skrýt, nelze-li

uniknout. To ostatně platí i o dalších nebezpečných projevech bouří: blescích, kroupách, přívalových povodních, nárazovém větru. Pozor: tornádu může být obtížné utéci či ujet – průměrná rychlost postupu například hodonínského tornáda přesáhla  $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  (urazilo 27,1 km za 39 minut). V budově se snažte včas vyhledat úkryt ve sklepech nebo ve středu budovy v místnosti s pevnými zdmi bez oken.

I když se naše planeta výrazně mění, tornáda zůstávají dle našich znalostí relativně v klidu. Koncem minulého století sice v USA zaznamenali nárůst počtu tornád, ale ukazuje se, že se jedná o slabá tornáda, která před nasazením dopplerovských radarů a rozšířením chytrých telefonů často unikala pozornosti a nedostala se do celkového ročního součtu pozorovaných tornád. Vyčleníme-li ze statistik slabá tornáda, zjistíme, že se celkový počet (silnějších a silných) tornád za posledních třicet let v USA nemění. Co ovšem může souviset s klimatickou změnou je přesun tornád v ploše, kdy tornáda mírně ubývají v klasických oblastech (tzv. *tornado alley*), a naopak se jejich počty zvyšují na východním pobřeží USA. Zároveň přibývá počtu dní s výskytem mnoha tornád a ubývá počtu dní s výskytem jednoho nebo několika málo případů. Jinak řečeno: když už tornáda udeří, tak ve větším počtu na velkém území USA, ale dnů s tornády mírně ubývá. Taková statistika se ovšem týká pouze USA, kde se vyskytuje průměrně 1200 tornád za rok. V České republice nebo v Evropě se kvůli nepoměrně nižšímu počtu tornád podobná statistika zpracovat nedá.

Poroste-li v následujících letech počet silných bouří, ještě to nutně neznamená nárůst počtu tornád. Jak jsme se snažili vysvětlit v úvodních kapitolách, potřebují supercely a tornáda ke svému vzniku silný stříh větru. Na ten, zdá se, klimatická změna vliv nemá, a když tak spíše oslabující. Můžeme tedy spíše očekávat více nebezpečných jevů spojených se srážkami – prudké přívalové deště, krupobití, prudké nárazový vítr spojený s downbursty, ale nikoliv více tornád.

## Literatura a další zdroje informací

P. Markowski, Y. Richardson. *Mesoscale meteorology in midlatitudes*. Wiley-Blackwell 2010, doi:10.1002/9780470682104; ESSL. *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; ČHMÚ. *Souhrnná zpráva k vyhodnocení tornáda na jihu Moravy 24. 6. 2021* [online]. Český hydrometeorologický ústav [cit. 30. 11. 2021]. Dostupné z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove\\_zpravy/2021/Souhrnna\\_zprava\\_tornado\\_24.6.2021.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2021/Souhrnna_zprava_tornado_24.6.2021.pdf); ESSL. *Průzkum dopadů ničivého tornáda na jihovýchodě Moravy 24. 6. 2021* (Damage Survey of the Violent Tornado in Southeast Czechia on 24 June 2021). Dostupné z: <https://www.essl.org/cms/wp-content/uploads/24-June-2021-violent-tornado-damage-assessment.pdf>, zveřejněno 2022; Kosmas. *Kronika Čechů*. Překlad Karel Hrdina, Marie Bláhová, Magdalena Moravová. 8. vyd. Praha: Argo 2011. ISBN 978-80-257-0465-3; ČMeS. *Elektronický meteorologický slovník eMS* [online]. Česká meteorologická společnost [cit. 11.08.2022] 2022. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>.

Na večer 24. června 2021 mnozí z nás nezapomenou. Několik obcí na jižní Moravě tehdy přepadlo tornádo, které nemělo v české historii obdoby. Mnoho lidí přišlo o své domovy a majetky, šest lidí tornádo bohužel připravilo o život. I zkušení meteorologové byli zaskočení, protože s tak extrémním jevem nemají zkušenosti a rozhodně jej na našem území neočekávali. Jak to, že ve 21. století nás příroda ještě stále může takhle překvapit?

Tornáda se vyskytují na všech kontinentech, samozřejmě s výjimkou Antarktidy. I když to třeba není obecně známo, vyskytují se i v České republice s průměrnou četností jeden až tři případy za rok, ale evidujeme i roky, např. 2019 a 2020, kdy o žádném výskytu tornáda v ČR nevíme. Slabá tornáda s malými škodami ovšem mohou snadno uniknout zájmu veřejnosti, a proto neproběhne ani nutný terénní průzkum. Ten je mnohdy jedinou možností, jak prokázat existenci tornáda, lépe řečeno snahou rozlišit stopy po tornádu od stop po přímočarém větru. V roce 2021 jsme si do české databáze přidali tornádo síly IF4, ze kterého ještě teď běhá mráz po zádech.

#### V EDICI VĚDA KOLEM NÁS PŘIPRAVUJEME:

Andrea Jelínková: **Bibliografie cizojazyčných bohemikálních tisků do roku 1800**

Jan Hasil: **Odhalování minulosti Letenské pláně**

Martina Ireinová: **Významní čeští dialektologové**

#### V EDICI MIMO JINÉ VYŠLO:

Lukáš Krmíček: **Vulkanismus: vnitřní energie Země**

Václav Cílek: **Zadržování vody v krajině od pravěku do dneška**

Petr Zacharov: **Měření oblačnosti na Milešově**

Edice Věda kolem nás | Výzvy a otázky

*Tornádo | Petr Zacharov, Petr Münster, Jan Daňhelka, Radek Tomšů*

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., Nakladatelství Academia. Grafická úprava dle osnovy Jakuba Krče a sazba Serifa. Odpovědná redaktorka Petra Královcová. Vydání 1., 2022. Ediční číslo 12978. Tisk **SERIFA**<sup>®</sup>, s. r. o., Jinonická 80, 158 00 Praha 5.

ISSN 2464-6245

Evidováno MK ČR pod e. č. E 22344

Další svazky získáte na:

[www.vedakolemnas.cz](http://www.vedakolemnas.cz) | [www.academia.cz](http://www.academia.cz)

**Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ)** jako příspěvková organizace vykonává funkci ústředního státního ústavu České republiky pro obory kvalita ovzduší, hydrologie, jakost vody, klimatologie a meteorologie, jako odborné služby poskytované přednostně pro státní správu.

Ústav vznikl v roce 1954 sloučením Státního ústavu meteorologického a hydrologického a hydrografické služby vodohospodářského rozvojového střediska. Sídli v Praze Komořanech a plnění úkolů ústavu v regionech zajišťuje prostřednictvím poboček v Praze, Českých Budějovicích, Plzni, Ústí nad Labem, Hradci Králové, Brně a Ostravě.

ČHMÚ především:

- zřizuje a provozuje státní monitorovací a pozorovací sítě pro sledování kvantitativního a kvalitativního stavu atmosféry a hydrosféry
- odborně zpracovává výsledky pozorování, měření a monitorování
- vytváří a spravuje databáze o vodě, klimatu, ovzduší aj.
- poskytuje operativní informace o stavu atmosféry a hydrosféry, předpovědi a výstrahy
- provádí výzkum, zajišťuje technologický rozvoj a publikační činnost ve všech oborech meteorologie, klimatologie, hydrologie a kvality ovzduší
- vykonává další speciální odborné činnosti.

ČHMÚ provozuje:

29 profesionálních meteorologických stanic  
207 automatických meteorologických stanic  
179 automatických srážkoměrných stanic  
304 manuálních srážkoměrných stanic  
2 meteorologické radary  
1 aerologickou stanicí  
2 sodary  
4 windprofilery  
545 limnigrafických stanic povrchových vod  
1 473 hydrogeologických vrtů  
319 pramenů  
707 objektů monitorování kvality podzemních vod  
47 automatických sněhoměrných stanic  
17 automatických sněhoměrných polštářů  
48 monitorovacích míst pro kvalitu povrchové vody (sedimenty, biota, plaveniny)  
101 stanic automatického imisního monitoringu  
33 stanic manuálního imisního monitoringu  
14 stanic pro monitoring jakosti dešťové vody  
29 fenologických pozorovacích ploch.