

# Cumulonimbus – oblak známý i neznámý

## Díl čtvrtý: Supercela

Petr Zacharov<sup>1</sup>, Jana Žďárská<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Boční II 1401/1a, 141 31 Praha 4; petas@ufa.cas.cz

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

Supercely jsou sice nejméně častým projevem konvektivních bouří, jsou však zodpovědné za zásadní podíl na nebezpečných projevech a škodách způsobených bouřemi. Například takřka všechny velké kroupy a velmi silná tornáda jsou způsobena supercelami.

V minulém díle jsme probrali dva koncepční modely silných bouří, jednoduchou celou a multicelou. V obou případech se jedná o cumulonimbus s relativně krátkou dobou trvání. V případě jednoduché cely se oblak po vypršení rozpadá a jeho život končí, v případě multicely vznikají organizovaně další jednoduché cely. Na meteorologickém radaru tak můžete vidět krátkodobé buňky vyšší odrazivosti, buď izolované, nebo cyklicky se opakující. Už na začátku šedesátých let minulého století si však američtí meteorologové všimli, že některé buňky vyšší odrazivosti vydrží daleko déle a že jsou tedy jiné, lepší, prostě super. Tyto buňky se postupně začaly označovat jako supercely, i když do jejich vysvětlení ještě bylo daleko. V současnosti dáváme přednost definici na základě dynamických vlastností, a nikoli doby trvání bouře.

Supercela je skutečně jeden oblak cumulonimbus, který dokáže vydržet i několik hodin, na rozdíl od jednoduché cely, jejíž délka života se vejde pod hodinu. Vydrží bouře je způsobena rotací výstupného proudu, která vzniká díky velké horizontální vorticitě prostředí, tedy

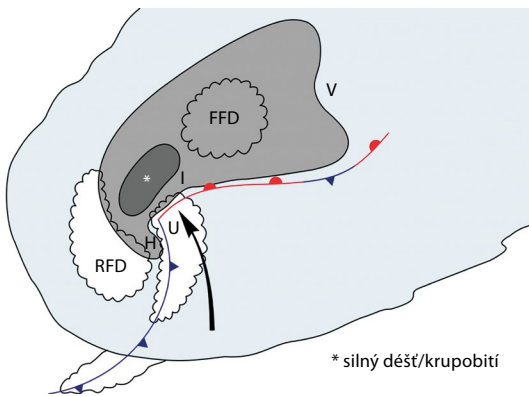
díky silnému vertikálnímu stříhu větru. Velký rozdíl rychlosti větru mezi přízemní hladinou a výškou např. 6 km způsobuje tendenci větru rotovat (*vorticity* – vektor rotace pole větru). Dostane-li se tato horizontální vorticity do výstupného proudu, může dojít k její transformaci na vertikální vorticity a také k protažení pomyslné trubice rotace v rychlém proudu vzduchu. To napomáhá vzniku výraznější vertikální vorticity, která se může projevit pomalu rotujícím výstupným proudem (obr. 1).

V místě rotace dochází k poklesu tlaku vzduchu, který formuje intenzivní a přetrvávající výstupný proud supercely, což jednak prodlužuje život oblaku a jednak umožňuje růst velkým kroupám. Pokles tlaku uvnitř výstupného proudu označujeme termínem mezocyklóna neboli tlaková níže v měřítku oblaku. Od tlakové níže přinášející změnu počasí, např. do střední Evropy, se mezocyklóna liší především velikostí a délkou trvání, ale také svojí schopností rotovat po směru nebo proti směru hodinových ručiček. Při vzniku tlakových níží hraje totiž Coriolisova síla zásadní roli a donutí níže na severní polokouli rotovat proti směru hodinových ručiček. Síla horizontálního tlakového gradientu a Coriolisova síla jsou dvě hlavní síly utvářející tlakovou níže. Oproti tomu na relativně malou a krátce žijící mezocyklónu Coriolisova síla zásadní vliv nemá.

Vznik supercely a smysl rotace mezocyklóny jsou dané nejen vertikálním stříhem rychlosti větru, ale také změnou směru větru s výškou. Tak jak intenzivní změna rychlosti větru s výškou přináší energii na rotaci bouře, změna směru větru s výškou představuje jakési koření, které určuje detailní vlastnosti supercely. V prostředí, ve kterém se mění s výškou pouze rychlost větru, a nikoli jeho směr, mohou vzniknout dokonce dvě symetrické supercely s opačným smyslem jejich rotace. Vzniká tak jedna supercela s cyklonální rotací (proti směru hodinových ručiček) a druhá supercela s anticyklonální rotací (po směru hod. ručiček). Naopak v prostředí, kde se směr větru s výškou stáčí, může být dle



**Obr. 1** Supercela v Nebrasce s patrnými stopami rotace výstupného proudu. Zdroj: Ken Engquist, NOAA



**Obr. 2** Schematický horizontální řez cyklonální supercelou, označující pozici výstupného proudu (U – updraft), předního (FFD – forward flank downdraft) a zadního (RFD – rear flank downdraft) sestupného proudu. Šedivou barvou je vyznačeno hákovité echo. Tenkou černou čarou jsou načrtnuty obrysy oblaku, modrá a červená čára představuje gust frontu jednotlivých sestupných proudů, které připomínají teplou a studenou frontu. Černá šipka představuje směr proudění do supercely. Zdroj: Vanessa Ezekowitz, Public domain, via Wikimedia Commons

směru stáčení větru podporována buď jedna, nebo druhá supercela, či dokonce může vzniknout jedna supercela rovnou. Na severní polokouli se obvykle směr větru stáčí s výškou vpravo, což podporuje cyklonální supercely. Méně časté stáčení větru s výškou směrem doleva podporuje naopak anticyklonálně rotující supercely.

I když je supercela cumulonimbem stejně jako jednoduchá cela, její pohyb je odlišný. Jednoduchá cela pluje s průměrným prouděním v oblačné vrstvě, cyklonálně rotující supercela se od tohoto směru odchyľuje směrem vpravo, anticyklonální supercela směrem vlevo. Na animacích z meteorologických radarů tak můžeme vidět buňku silné odrazivosti, jak se odchyľuje od ostatních srážek.

Supercela je tvořena jedním mohutným výstupným proudem, jehož rychlosti mohou přesahovat i 50 m/s. Na rozdíl od jednoduché cely je tento výstupný proud díky působení mezocyklóny stabilní a dlouhotrvající. To je patrné i na přetrvávajícím přestřelujícím vrcholku, který je u jednoduché cely krátkodobý a u multicely pulzující (vznikají nové a nové vrcholky díky cyklickému růstu buněk). I doba života supercely bývá výrazně delší než doba života jednoduché cely, supercely mohou žít i několik hodin a většinu doby svého života přinášet nebezpečné počasí. Centrum výstupného proudu je na obrázcích z radaru zviditelněno místem se slabší odrazivosti (obr. 2), protože neobsahuje velké hydrometeory (kapky, krupky, kroupy). Velké částice se nacházejí okolo výstupného proudu a na horizontálním řezu na radaru pak vidíme typický příznak supercely –



**Obr. 3** Supercela v Oklahomě. V levé části je trup výstupného proudu, v pravé části přední sestupný proud se srážkami. Zdroj: Raychel Sanner, flickr.com

hákovité echo (obr. 2). Radarové echo neboli radarový odraz je termín používaný v radarové meteorologii pro zobrazené objekty detekované radarovým měřením. Pomocí dopplerovského radaru je možné detekovat i rotaci výstupného proudu, a to jako úzkou strukturu skládající se ze dvou protisměrných (směrem k radaru a od něj) rychlostí větru blízko u sebe.

Na rozdíl od obvyčejného cumulonimbu, ve kterém nalezneme jeden sestupný proud se srážkami, jsou v supercele sestupné proudy hned dva (obr. 2). Přední sestupný proud (FFD – forward flank downdraft) je spojen s hlavními srážkami ze supercely a díky silnému střihu větru (rychlejší vítr ve výšce) se nachází v přední části bouře. Zadní sestupný proud (RFD – rear flank downdraft) je tvořen okolním, a tedy i relativně suchým vzduchem. Proudí-li takový vzduch na bouři, dochází k jeho ochlazení výparem oblačných i srážkových částic na zadní straně supercely a hákovitého echa. Zároveň se na zadní straně bouře vyvíjí dolů mířící tlakový gradient, který k zadnímu sestupnému proudu také



**Obr. 4** Výstupný proud supercely vykazuje jasné stopy rotace a také mírné sešikmení dané vertikálním střihem větru. Zdroj: Niccolò Ubalducci, flickr.com

přispívá. FFD a RFD vytvářejí na zemi gust fronty, které vzdáleně připomínají fronty tlakových níží (obr. 2).

Pod základnou supercely můžeme někdy pozorovat wall cloud, lokální sníženinu základny oblačnosti, o které již byla řeč v pilotním díle o tornádech. Vzniká v místech, kde se do výstupného proudu dostává vlhký vzduch zpoza gust front sestupných proudů. Tento vzduch bývá vlhčí než teplý vzduch stoupající do bouře, a tak dochází při jeho výstupu ke kondenzaci vodní páry dříve. A vzhledem k tomu, že se na gust frontě vytváří vorticity, kterou bouře využívá k vytvoření tornáda, může wall cloud tornádo předznamenávat.

I v České republice se supercely vyskytují relativně běžně, nejedná se o nijak zvlášť výjimečný jev. Každoročně meteorologové detekují nižší desítky takových bouří. Ne všechny supercely ale způsobí nějaké nebezpečné počasí, nemalé škody umí napáchat i mezoměřítkové konvektivní systémy, o kterých budeme mluvit zase příště.

**Předchozí díly:**

- P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblak známý neznámý, díl první, oblak. Čs. čas. fyz. 74, 60–62 (2024).
- P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblak známý neznámý, díl druhý, srážky. Čs. čas. fyz. 74, 148–150 (2024).
- P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblak známý neznámý, díl třetí, vliv větru. Čs. čas. fyz. 74, 221–223 (2024).