

Cumulonimbus – mezoměřítkové konvektivní systémy II.

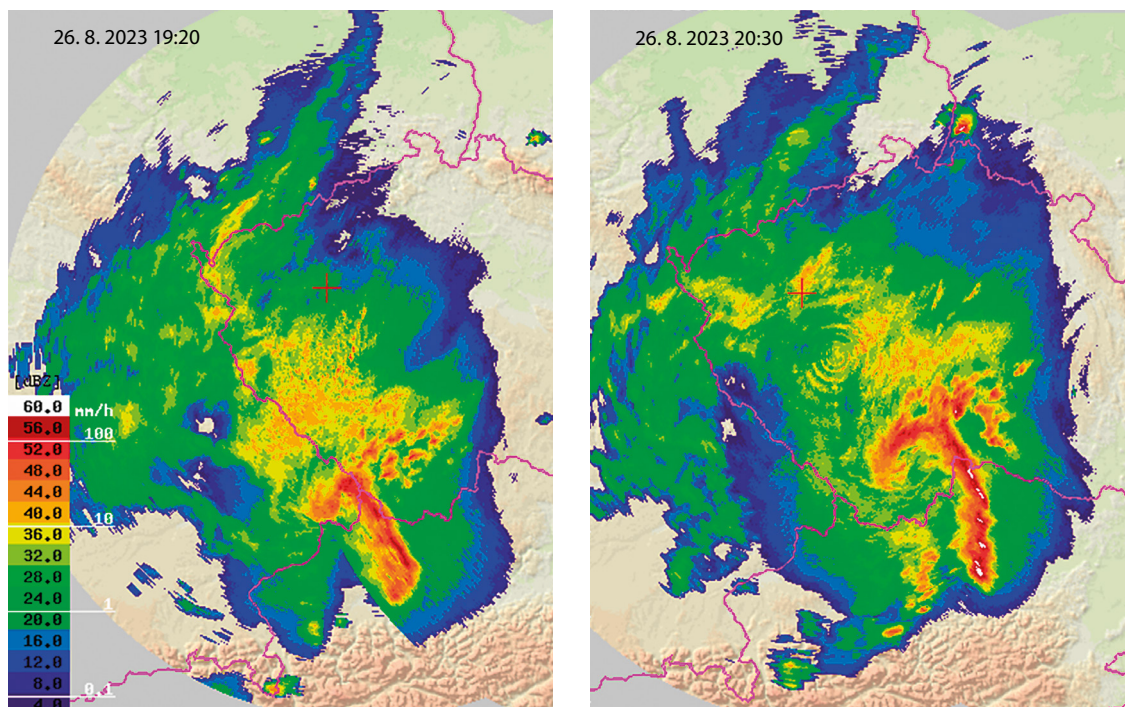


Petr Zacharov¹, Jana Žďárská²

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

² Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 00 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Linie bouří, označovaná jako squall line, se může v průběhu života v některé části prohnut směrem dopředu a přejde tak do bouře označované jako bow echo. V něm můžeme očekávat velmi intenzivní nárazy větru, někdy dokonce i na rozsáhlém území.

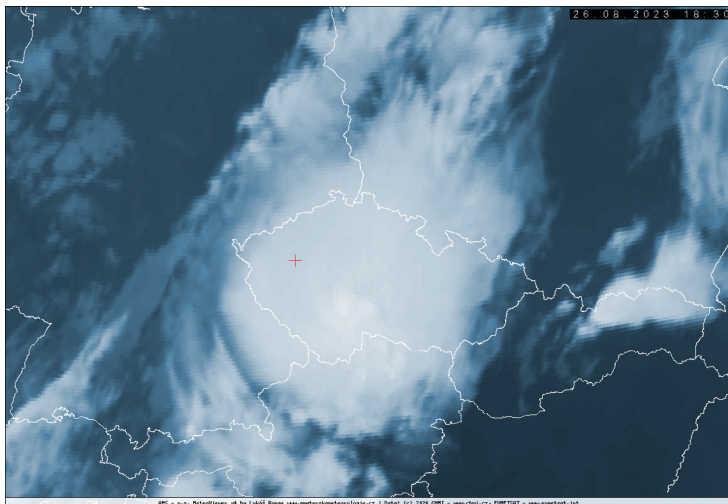


Obr. 1 Výstupy z radarového měření Českého meteorologického ústavu ze dne 26. srpna 2023 v čase 19:20 SELČ (vlevo) a 20:30 SELČ (vpravo). Na levém obrázku je u jižní hranice ČR zřetelné pásmo silných bouří seřazených do linie (SQL), na pravém obrázku o 70 minut později patrné prohnutí linie bouří směrem dopředu (bow echo). V horní části bow echa je patrné zatočení bouří do mezoměřítkového víru (proti směru hodinových ručiček), který je příkladem vlivu Coriolisovy síly na rozsáhlý systém konvektivních bouří. Tento jev se někdy označuje jako comma-echo. Zdroj obrázku: Lukáš Ronge, Amatéřská meteorologická společnost, zdroj dat: ČHMÚ

V minulém díle jsme si představili první koncepční model mezoměřítkových systémů (MCS) – squall line (SQL).¹ V něm se díky složitému proudění uvnitř celého systému vyvíjí týlový vtok, který míří ze zadní strany směrem dolů a dopředu do bouře. Tento se-

stupný týlový vtok pak může na povrchu vyvolat silný vítr včetně škod způsobených silným větrem. A pokud bude týlový vtok velmi intenzivní, může urychlit část linie bouří a zapříčinit tak prohnutí této části linie (viz obr. 1). Prohnutí čela SQL může být způsobeno také downbursty, propady studeného vzduchu připomínajícími vznik bazénu studeného vzduchu a gust fronty, ale s rychlejším větrem. Stejně jako když jsme popisovali

1 P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblač známý neznámý, díl pátý, mezoměřítkové konvektivní systémy I. Čs. čas. fyz. 74, 391–393 (2024).

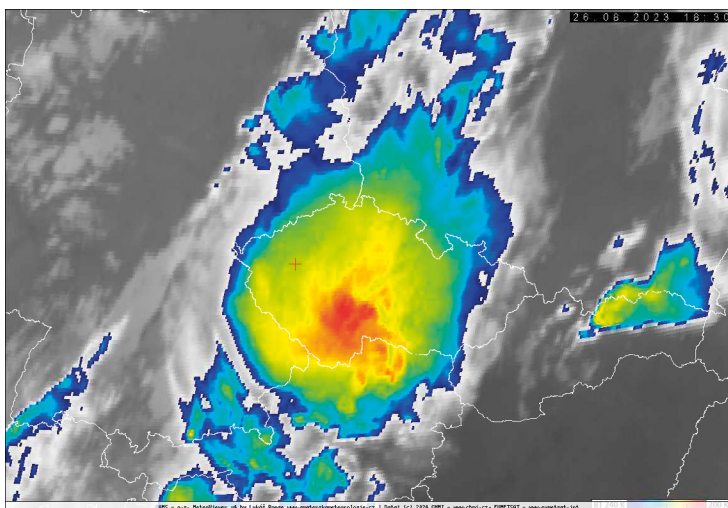


Obr. 2 Pohled na oblačnost nad ČR a okolím z družice MSG společnosti EUMETSAT ze dne 26. srpna 2023 v čase 19:30 UTC. Vzhledem k pokročilé hodině se nejedná o snímek ve viditelném, ale v infračerveném světle, bílé barvy představují studené vrcholy oblačnosti, tmavé barvy teplejší objekty. Nad Českou Kanadou a Jindřichohradeckem jsou patrné přestřelující vrcholy aktivních cumulonimbů tvořících jádro bouře. Vzhledem k rozsahu kovadliny přes většinu území ČR se jedná o mezoměřítkový konvektivní komplex, i přesto, že dle měření radarů se zjevně jedná o bow echo. Zdroj obrázku: Lukáš Ronge, AMS, zdroj dat: ČHMÚ, EUMETSAT

vznik *gust fronty*², tak se vzduch putující se srážkami dolů z bouře jejich výparem ochlazuje. Pokud se vypaří opravdu hodně srážek, bude vzduch tak studený a těžký, že se při dopadu na zem prudce rozteče, především ve směru pohybu bouře. A to z toho důvodu, že už má dopřednou složku pohybu spolu s bouří. Vzduch se samozřejmě pod bouří roztéká do všech stran, ale většina včetně těch nejsilnějších nárazů větru se pohybuje ve směru pohybu bouře.

Downbursty mohou způsobit škody obdobné těm od tornáda, ale na rozdíl od něj downburst vytváří škody přímočarým větrem a většinou s velmi proměnlivými následky. Např. na lesním porostu se můžeme setkat s vykácenými pasekami, mezi nimiž jsou stromy buď poškozené málo, nebo vůbec. Tornádo, které by způsobilo větší škody na lesním porostu, by za sebou zane-

2 P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblak známý neznámý, díl druhý, srážky. Čs. čas. fyz. 74, 148–150 (2024).



Obr. 3 Stejná událost jako na obrázku 2 se zvýrazněním teploty horní hranice kovadliny systému, červená plocha ukazuje nejstudenější, a tedy i nevyšší vrcholy cumulonimbů v MCC. Zdroj obrázku: Lukáš Ronge, AMS, zdroj dat: ČHMÚ, EUMETSAT

chalo souvislejší stopu pokácených stromů. Navíc bývají stromy pokácené tornádem v kruhových stopách, protože se v tornádu vítr točí.

V minulém díle jsme zmínili, že už squall line se pohybuje díky nárůstu nových cel na předním okraji rychleji než vítr, který hýbal původními cumulonimbů. Bow echo, prohnutá část squall line, se pohybuje ještě rychleji. A právě díky rychlému pohybu, silnému týlovému vtoku a častým downburstům může bow echo silným větrem páchat velké škody. Takový vývoj se dá dobře sledovat na radaru, protože je jasně vidět urychlená a prohnutá část systému pospíchající vpřed (viz obr. 1).

Jak se střed systému urychluje vpřed, začnou se konce linie bouří deformovat do dvou mezoměřítkových vírů (viz obr. 1 vpravo). Vzhledem k velikosti a délce trvání systému zde již hraje roli Coriolisova síla, na rozdíl od obyčejných cumulonimbů nebo supercel. Ta pomáhá růst cyklonálnímu víru vlevo od směru proudění na severní polokouli, naopak zeslabuje anticyklonální vír na pravém okraji. Tím vytváří asymetrický útvar, označovaný někdy jako *comma-echo*, radarový odraz ve tvaru čárky (viz obr. 1 vpravo – vysoká odrazivost vytváří pomyslnou čárku se zakrouceným severním okrajem).

S bow echem jsou někdy spojeny větrné bouře, které produkují velké škody na poměrně rozsáhlém území. Takové větrné bouře označujeme jako *derecha*. I když má slovo *derecho* písmenky blízko ke slovu bow echo, jejich původ i význam je odlišný. Termín bow echo pochází z angličtiny a označuje prohnutý radarový odraz – echo. Naproti tomu *derecho* [čti *derečo*] pochází ze španělštiny a znamená rovný, přímý, ve spojitosti s termínem tornádo, který také pochází ze španělštiny (*tornar* – točit se). Větrná bouře – *derecho* – však musí splnit velmi náročné podmínky, kterými jsou nárazy větru nad 26 m/s a uražená dráha přes 400 km s alespoň třemi od sebe vzdálenými nárazy větru nad 33 m/s. Jedná se tedy o větrnou bouři, která působí škody na velké ploše.

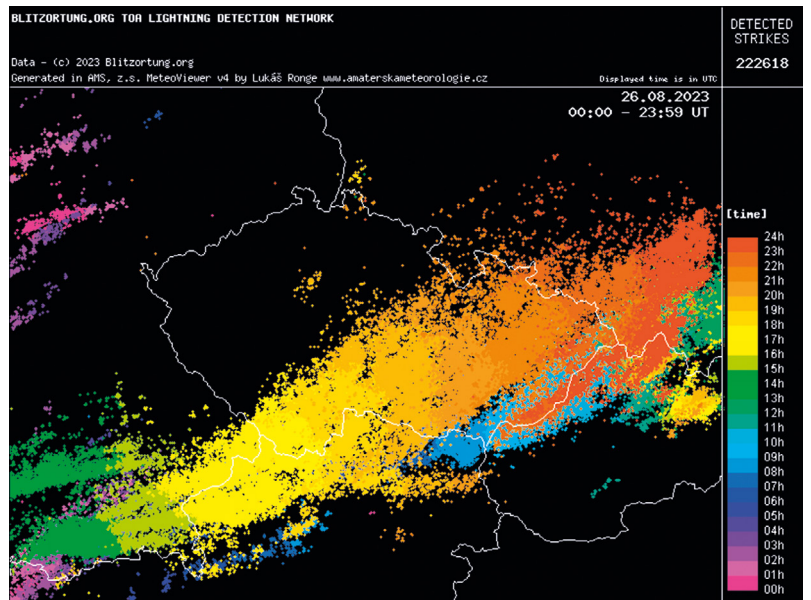
Během pozorování silných bouří pomocí meteorologických družic byly objeveny také celkem obyčejné bouře, které se po vzniku shlukly do jednoho systému bouří s obrovskou kovadlinou. Takové bouře také patří do mezoměřítkových konvektivních systémů a říká se jim mezoměřítkové konvektivní komplexy (MCC – *mesoscale convective complex*). Do těchto komplexů samozřejmě patří i squall line a bow echa s rozsáhlou společnou kovadlinou. Právě touto kovadlinou jsou tyto komplexy definované. Kovadlina komplexu má být přibližně kruhového tvaru s dlouhou výdrží. Detailní složitá definice nám říká, že plocha kovadliny o teplotě nižší než $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ má být větší než $100\,000\text{ km}^2$ a plocha o teplotě nižší než $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ má být větší než $50\,000\text{ km}^2$ s tím, že by taková plocha měla vydržet alespoň 6 hodin. Zároveň je kladena podmínka na přibližnou kruhovost kovadliny, kde poměr mezi menším průměrem (vedlejší osou) a větším průměrem (hlavní osou) plochy kovadliny by měl být nejhůře 0,7. Tolik značně nezáživná definice (viz obrázky 2 a 3). Všimněte si, že studnější vnitřní plocha kovadliny by měla být o něco menší, než je rozloha České republiky, o něco teplejší větší oblast kovadliny dokonce větší, než je naše republika (pozn. rozloha ČR činí $78\,870\text{ km}^2$). Pokud by byla větší plocha z definice víceméně kruhová, měla by průměr minimálně 350 km.

Mezoměřítkový konvektivní komplex se často vytváří z bouří během odpoledne, během večera zesiluje do svého maxima v noci a rozpadá se až v ranních hodinách. I když v noci bouřky obvykle slábnou, je vývoj komplexu podporován radiačním ochlazováním kovařiny, což umožňuje zachovat dostatečný pokles teploty s výškou v troposféře i bez denního prohrátí vzduchu u povrchu země. Při zemském povrchu je navíc výrazný bazén studeného vzduchu, který stejně jako u squall line a multicel³ pomáhá výstupu vzduchu nad hladinu volné konvekce, a tedy i ke stoupání teplého a vlhkého vzduchu do bouří. Ve středním patře MCC se může nacházet mezoměřítkový konvektivní vír, který připomíná malou tlakovou níž. A to tentokrát na rozdíl od mezocyklony i svojí rotací, neboť už je tak velký, že díky Coriolisově síle se vír točí cyklonálně, proti směru hodinových ručiček na severní polokouli (viz obr. 1 vpravo). Vír se může zachovat i po rozpadu MCC a v následujícím dni případně podpořit vznik nových bouří.

MCC může být tvořen squall line nebo bow echem s výraznou kovadlinou, jak můžete vidět na učebnicovém příkladu z 26. 8. 2023 (obr. 1, 2 a 3). Komplex může být ovšem tvořen shlukem multicel, může obsahovat i supercely. Často také produkuje velké množství blesků (viz obr. 4) a může vytvořit i velké množství intenzivních srážek, vedoucích až k přívalovým povodním.

Už jsme si v našem seriálu probrali všechny možné koncepční modely silných bouří, jednoduchou celou,

³ P. Zacharov, J. Žďárská: Cumulonimbus, oblak známý neznámý, díl třetí, vliv větru. Čs. čas. fyz. 74, 221–223 (2024).



Obr. 4 Denní sumace blesků z měření mezinárodní sítě Blitzortung.org, místo výskytu blesku je barevně rozlišeno dle času úderu (časy v UTC – viz barevná legenda).

Během dne bylo na vyznačené ploše detekováno přes 200 tisíc blesků, což dokumentuje výraznou aktivitu silného MCC nad jižními Čechami. Zdroj obrázku: Lukáš Ronge, AMS, zdroj dat: blitzortung.org

multicelul a supercelul a celé oblačné systémy zahrnující mezoměřítkové konvektivní komplexy, squall line a bow echa. Víceméně tedy známe, jak to v bouřích chodí, v příštím díle se podíváme na předpověď bouří, která je pro meteorology velkou výzvou.

ZAJÍMÁ TĚ VESMÍR?

STUDUJ (ASTRO)FYZIKU V OPAVĚ!