

# Cumulonimbus – oblak známý i neznámý

## Díl sedmý – předpověď

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 00 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Konvektivní bouře popsané v minulých dílech našeho seriálu jsou neuvěřitelně prostorově i časově proměnné, čímž takřka znemožňují přesnou předpověď jejich výskytu a jejich projevů. Přesto meteorologové úspěšně bojují a daří se jim nebezpečné bouře v rozumném prostorovém a časovém horizontu předpovídat.

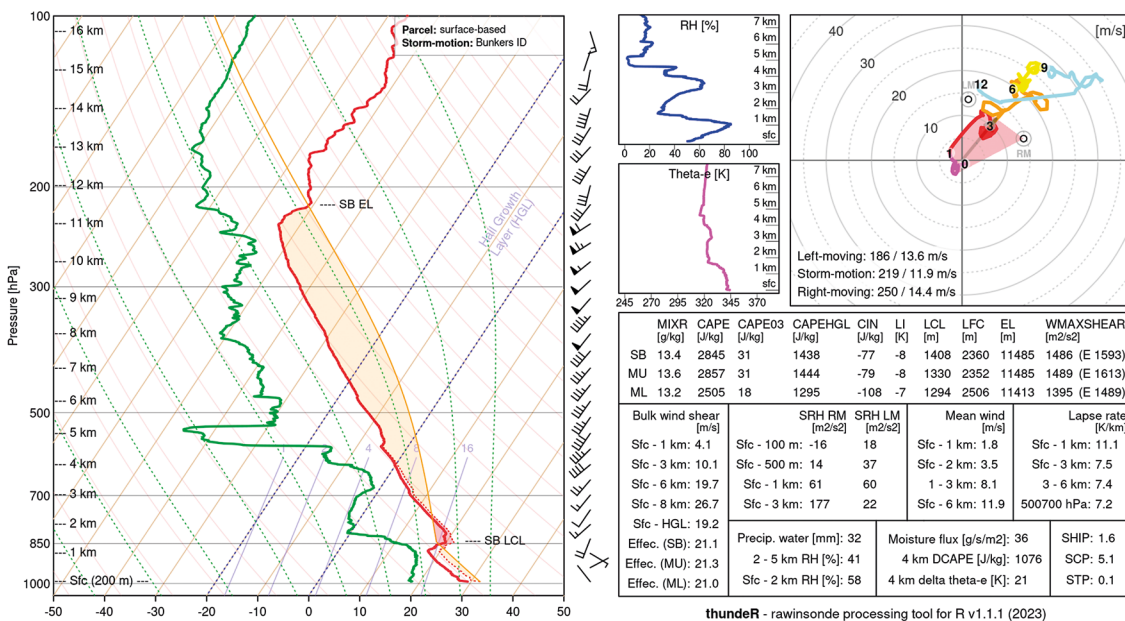


Na jednoduchou otázku, zda lze konvektivní bouře předpovědět, není vůbec jednoduchá odpověď. Meteorologové umějí předpovědět výskyt silných bouří na některé rozsáhlé oblasti, např. na kraje ČR. Ale jestli budou ve Středočeském kraji silné bouřky v Rakovníku, krupobití na Kladně nebo prudký vítr v Kutné Hoře, to už se předpovědět nedá. V první čtvrtině 21. století se to zdá jako závan prehistorie, ale ve skutečnosti je to závan složitosti a výrazné heterogenity kupovitých oblaků, což jsme rozebírali v minulých kapitolách našeho seriálu.

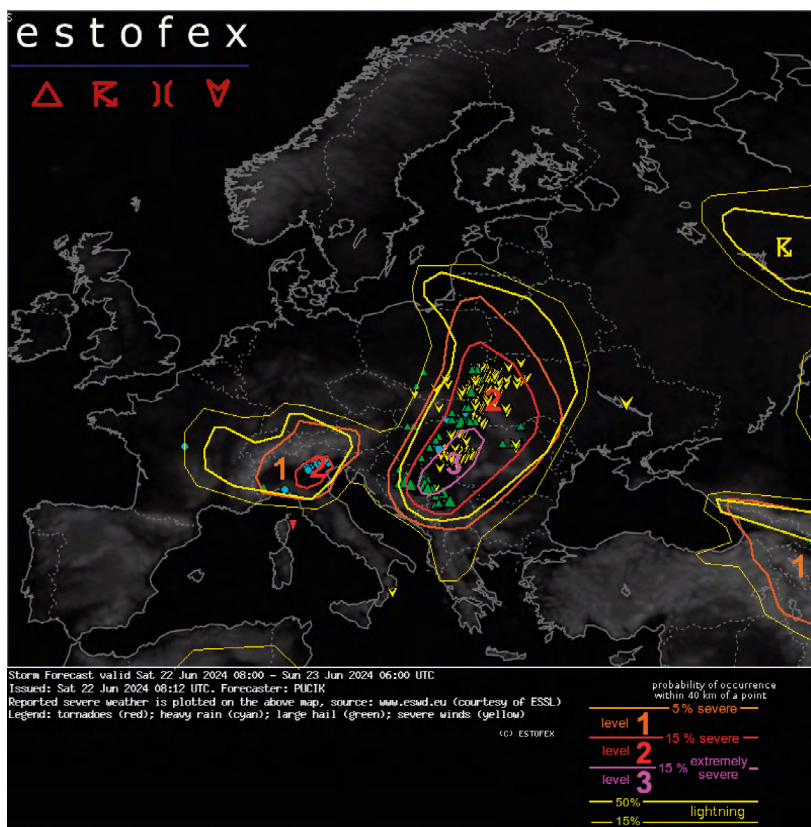
Pro dobrou předpověď bouří jsou potřeba tři základní přísady a trochu koření. Hlavními přísadami

jsou dostatečná instabilita atmosféry, vlhký vzduch ve spodní troposféře a hlavně impuls k jejich vzniku. Kořením, které není nutné pro vznik, ale pro organizaci bouře, je potom stříh větru<sup>1</sup>. Připravenost atmosféry, tzn. instabilitu (stav atmosféry vhodný k vývoji bouří, znamená rychlý pokles teploty vzduchu s výškou.), vlhkost vzduchu při zemi, a dokonce i stříh větru zjišťujeme z vertikální sondáže atmosféry<sup>2</sup> (viz obrázek 1). To

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



**Obr. 1** Příklad zpracování sondážního měření ze stanice Vídeň – Hohe Warte (ID: 11035) ze dne 24. června 2021 (tornado na jižní Moravě). V levé části je červenou čarou vyneseno vertikální profil teploty vzduchu, zelenou čarou pak profil teploty rosného bodu. Oranžovou plochou je vyznačena veličina CAPE, červenou plochou veličina CIN. Uprostřed je znázorněno měření směru a rychlosti větru pomocí šipek větru s opeřením či paprky. V pravé části je modrou křivkou vyneseno profil relativní vlhkosti vzduchu, v pravém horním rohu hodograf větru. V tabulkové části jsou vyneseny hodnoty CAPE a CIN (a jejich variant), výšky důležitých hladin (LCL, LFC a EL), hodnoty stříhu větru, gradienty teploty (lapse rate) a některé vybrané indexy instability (LI – lifted index, WMAXSHEAR, SCP a STP). Zdroj: <https://rawinsonde.com/>



**Obr. 2** Předpověď estofex na 22. června 2024. Tenké žluté a silné žluté čáry oddělují oblasti s nízkou, střední a vysokou pravděpodobností výskytu bouřek s blesky. Stupeň ohrožení 1 odpovídá pravděpodobnosti 5 % až 15 %, že se v okruhu 40 km od daného místa vyskytne silná konvektivní bouře. Stupeň ohrožení 2 odpovídá pravděpodobnosti vyšší než 15 %, že se v okruhu 40 km od místa vyskytne silná konvektivní bouře. Jedná se o významnou hrozbu, která vyjadřuje větší pravděpodobnost výskytu silných bouří. Extrémně silné povětrnostní jevy sice nejsou součástí tohoto stupně, ale již pro ně existuje mírně zvýšená pravděpodobnost (3–5 %). Stupeň ohrožení 3 se vydává, pokud existuje významná hrozba (pravděpodobnost vyšší než 15 %) výskytu extrémně silných konvektivních bouří. Je vydáván zřídka a znamená, že se očekává výskyt nebezpečné bouře. Malé znaky na mapě ukazují skutečný výskyt nebezpečných jevů, jako jsou tornáda (červené trojúhelníčky), silný déšť (azurová kolečka), velké kroupy (zelené trojúhelníčky) a silné nárazy větru (žluté značky), vše z hlášení pozorovatelů v databázi [www.eswd.eu](http://www.eswd.eu). Zdroj: [estofex.org](http://estofex.org)

je pro předpověď bouří zcela ultimátní měření, bohužel kvůli ceně se měří pouze na několika málo místech, a ještě navíc pouze několikrát denně. Např. v ČR v Praze-Libuši třikrát a v Prostějově dvakrát denně. To není mnoho, protože hlavně popis spodní troposféry bude velmi ovlivněn místním okolím, a tedy reprezentativní především pro úzké okolí sondážní stanice. Ve vyšších vrstvách už si je atmosféra podobnější i v širším okolí. Zároveň je důležité brát při předpovědi v potaz, zda již není měření ovlivněno výskytem bouří, což může např. díky přechodu gust fronty<sup>3</sup> výrazně zchladit a zvlhčit přizemní vrstvu troposféry. To může významně ovlivnit charakteristiky, které ze sondáže počítáme.

V prvních dílech seriálu jsme mluvili o veličině CAPE, která patří mezi modernější prekurzory konvekce nebo chcete-li charakteristiky konvektivního prostředí (viz obrázek 1). Prostě čísla, která meteorologovi napoví, jak moc je atmosféra připravena pro vývoj bouří. Mezi starší prekurzory konvekce patří různé indexy instability<sup>4</sup>, které se jednoduše, třeba i ručně, spočítaly z dat měření sondy. Často se takové indexy používaly z půlnoční sondáže jako předpověď pro ná-

sledující odpoledne. Indexů instability byla v minulosti odvozena celá řada a meteorolog tak má buď možnost výběru, nebo používá svoji oblíbenou sadu indexů.

Další měření, která meteorolog při předpovědi bouří používá, jsou radarová a satelitní měření. Ta už se ovšem využívají v době, kdy bouře vznikají. Meteorolog pak sice nemá k dispozici výrazný časový předstih, ale zase má lepší představu, kde konkrétně se už něco děje. Taková měření jsou veřejnosti k dispozici buď na internetu (web ČHMÚ)<sup>5</sup>, nebo v různých mobilních aplikacích (např. nová aplikace Počasí ČHMÚ). Data se využívají i pro velmi krátkodobou předpověď počasí (tzv. *nowcasting*), která využívá výpočtu pole pohybu srážek (z radaru)<sup>6</sup> nebo oblaků (z družice) z posledních dvou dostupných snímků. Pole pohybu se pak aplikuje na poslední měření většinou až na jednu hodinu dopředu. Delší předpověď není možná, poněvadž neobsahuje žádný fyzikální vývoj srážek, ale pouze posun stávajících.

Jiný pohled nabízejí meteorologické modely. Ty na jednu stranu dokážou předpovědět počasí i na několik dní dopředu. Na druhou stranu je ovšem předpověď bouří zatížena daleko větší chybou na rozdíl od velkoprostorových srážek, které model umí dobře simulovat. V září 2024 jsme byli svědky úžasné předpovězené srážkové epizody, která způsobila povodně především v Olomouckém a Moravskoslezském kraji. Takové srážky jsou způsobeny rozsáhlými tlakovými útvary, které jsou dobře změřeny a také spočteny modelem. Na druhou stranu bouře a bouřky jsou útvary o několik řádů menšího měřítka, na které mají velký vliv lokální efekty, které už nejsou tak dobře předpovězené a ani model je nedokáže dobře zachytit. Je to jednak kvůli nedokonalým a hlavně řídkým měřením atmosféry, hrubému rozlišení modelu a také zjednodušené fyzice modelu. O nedostatečném měření, a to hlavně ve vertikálním směru, jsme již mluvili. Současný model ALADIN dokáže popsat počasí nad střední Evropou s horizontálním krokem  $2,3 \times 2,3$  km. To je sice pro velkoprostorové srážky spousta bodů, ale pro konvektivní bouře se jedná (v horizontále) o několik desítek bodů, které rozhodně nemohou dobře popsat výrazně nehomogenní proudění v oblaku, rozdělení oblačných a srážkových částic či jeho roztodivné a často velmi členité tvary.

Příkladem zjednodušené fyziky je pak popis vzniku a chování oblačných a srážkových částic v oblaku. V ideálním případě bychom potřebovali mít v každém bodě oblaku informaci o rozdělení oblačných a dešťových kapek, oblačného ledu, sněhu, krupek a krup. V každém bodě oblaku je takové rozdělení jiné, liší se nejenom množstvím vody, ale i množstvím jednotlivých částic. Například ve výstupném proudu se udrží velké množství velkých částic, ale malé jsou odneseny pryč – zde tedy dominují velké částice. Pro takový komplikovaný popis bychom potřebovali mít v modelu cca 500 rovnic – to je ovšem výpočetně příliš drahé a nereálné a zároveň ani nemáme takto detailní měření. Respektive máme, ale v ČR pouze na Milešově, detailní oblačné radary, které proměří oblaky v cca 50 km okolí hory a dále nikoli. V realitě je v modelu cca 5–7 rovnic pro jednotlivé kategorie částic: vodní pára, oblačná voda, oblačný led, déšť, sníh, někdy i krupky a kroupy. Rozdělení velikostí částic je pro všechny kategorie v kaž-

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

4 <http://slovník.cmes.cz/heslo/1200>

5 [www.chmi.cz](http://www.chmi.cz)

6 <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/inca-cz/short.html>

dém bodě oblaku stejné a model řeší pouze množství vody v dané části oblaku.

Je jasné, že jde o velké zjednodušení, které je způsobeno jak nedostatečným měřením, tak i výpočetní náročností detailního modelu. A není to samozřejmě jen případ ČHMÚ – všechny operativní modely používají zjednodušený popis vzniku a vývoje oblaku, protože kdyby používaly komplexní popis, budou předpověď na zítra počítat dva dny. A to přeci nejde.

Model předpovědi počasí tedy neumí správně vytvořit cumulonimbus. Neumí to přesně ani ve tvaru, ani v čase, ani v prostoru. Jenže otázkou je, zda takhle „namáhavou“ úlohu vůbec někdy zvládne. Osobně jsem přesvědčen, že v blízké budoucnosti to nepřichází v úvahu. Zároveň to však neznamena, že je předpověď k ničemu! Pokud by minulé řádky naznačovaly, že předpověď bouří je nesmysl, není to pravda. I když se model přesně netrefí, tak dokáže spočítat, že bude atmosféra připravená pro silné bouře, že může vznikat silný vítr a tak podobně. Meteorolog tak z modelu dostává informaci, že budou silné bouře, nebezpečí krup, silného větru a tak podobně, jenom nesmí lpět na detailech a před modelem vypočtenými bouřemi na Kladensku musí varovat celý Středočeský kraj. V tomto místě je potřeba se naopak modelu a meteorologů zastat, protože taková plošná předpověď a varování už nejenom dává smysl, ale často i dobře vychází. Bohužel když malý český člověk slyší, že ve Středočeském kraji mají být bouře, ale zrovna na jeho hlavu nespadá jediná kapka, posílá meteorology až na konec zahrady, kde roste kopr. Co na tom, že za kopcem bouře lámala stromy, zaplavovala ulice nebo blesky ohrožovaly domy. Plošná předpověď obzvláště silných bouří se musí i plošně vyhodnocovat.

Úžasným příkladem plošné předpovědi silných bouří jsou předpovědi *estofex* (viz obrázek 2) – skupiny dříve mladých a teď již velmi zkušených meteorologů, specializujících se na předpovědi nebezpečných jevů

spojených s bouřemi v Evropě. Na stránkách *estofex.org* je takřka denně aktualizovaná předpověď s detailním rozbohem aktuální povětrnostní situace v Evropě a popis pravděpodobného vývoje i možných nebezpečných jevů podle místa výskytu. Opět, stejně jak bylo výše napsáno, taková předpověď neznamena, že se všude ve vyznačených oblastech stane něco děsivého, ale můžete si být jisti, že se někde ve vyznačené oblasti něco „pěkného“ semele (viz obrázek 2). Pro tvorbu takových předpovědí používají meteorologové z *estofex* kromě svých rozsáhlých zkušeností jednak satelitní, radarové a sondážní měření, jednak i výstupy modelů předpovědi počasí. Zde je na místě zmínit i tzv. pseudosondáže, vertikální profily atmosféry počítané modelem. Model předpovědi samozřejmě počítá počasí ve 3D, tzn. že v každém bodě jeho domény předpovídá i vertikální profil atmosféry. Ten se pak může zobrazit stejně jako výstupy ze sondážního měření. Na rozdíl od sondy ale v každém bodě předpovědní domény a také i v různých předpovědních hodinách.

Obdobně jako skupina *estofex* funguje na ČHMÚ pro předpovědi na území České republiky tzv. konvektivní skupina (*#konvektivniskupina* na facebook.com a x.com), která pomocí sociálních sítí rychle distribuuje aktuální informace o výskytu a šíření silných bouří na území ČR nebo v bezprostředním okolí. Zároveň k jejich postům přispívají ostatní uživatelé dokumentováním projevů bouří z jejich místa výskytu. Dobrá práce ČHMÚ! Předpovědi ČHMÚ jsou distribuovány i pomocí systému integrované výstražné služby (SIVS)<sup>7</sup>.

Až tedy budete plánovat výlet, je dobré se den předem podívat na výhled počasí, jestli náhodou nehrozí bouře. A v den výletu se hodí sledovat např. informace konvektivní skupiny a radar, aby vás někde venku nezastihlo nepřijemné (obr. 3) nebo dokonce nebezpečné počasí.

7 <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/vystrahy/index.html>



**Obr. 3** Překvapení při jízdě mezi kopečky poblíž Poříčí nad Sázavou. Bouře se sice kolem potulovala, ale z cyklistického sedla se zdála být hodně daleko. Ovšem najednou mi zkřížila cestu. Nebo já jí? Foto: Jana Žďárská