

Cumulonimbus – oblak známý i neznámý

Díl první: oblak

Petr Zacharov¹, Jana Žďárská²

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

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

Cumulonimbus je mohutný a hustý oblak velkého vertikálního rozsahu v podobě hor nebo obrovských věží. Je zodpovědný za mnoho zajímavých a potažmo i nebezpečných meteorologických jevů, jako jsou např. bouřka, kroupy či tornádo. Některé jevy důvěrně známe, s některými jsme se již setkali, ale nevíme, že jsou spojeny s cumulonimbem, a o některých jsme třeba ani ještě neslyšeli. A pozor, na obloze vidíme mraky oblaků, a nikoli oblaky mraků – proto spisovně a odborně používáme slovo oblak, mrak je pouze hovorové označení oblaku.

V šestém vydání Československého časopisu pro fyziku roku 2023 jsme hovořili o tornádech¹ jako o nepředvídatelném meteorologickém jevu. Nyní v tomto seriálu navazujeme oblakem druhu cumulonimbus, který je se vznikem tornád a podobných nebezpečných jevů neodmyslitelně spjat.

Oblaky na obloze rozlišujeme podle vzhledu na deset základních druhů² a pouze ze dvou druhů padají vydatné srážky. Z některých dalších sice mohou malé kapky či ledové krystalky také vypadávat, ale buď se cestou k zemi vypaří, nebo jich dopadne víceméně zanedbatelné množství. Na druhou stranu *cumulonim-*

1 J. Žďárská: Tornádo jako nepředvídatelný jev. *Čs. čas. fyz.* 73, 482–485 (2023).

2 Cirrus, cirrocumulus, cirrostratus, alto cumulus, altostratus, nimbostratus, stratocumulus, stratus, cumulus a cumulonimbus.



Obr. 1 Ostré věže a „rozšumdlaný“ vršek oblaku cumulonimbus. Foto: Abraxas3d



Obr. 2 Cumulonimbus je velmi fotogenický oblak, každý vypadá trošičku jinak, a proto je častým cílem fotografů a lovců bouří. Zde cumulonimbus nad Varšavou. Foto: Kamil Nowacki

bus (cumulus = kupovitý oblak, nimbus = déšť) odpovídá nejčastěji za dešťové, ale i sněhové přeháňky a *nimbostratus* (nimbus = déšť, stratus = vrstva) vytváří dlouhotrvající srážky, typické např. pro ošklivé podzimní počasí.

Cumulonimbus je velmi zajímavý oblak. Roste do obrovitých kup, věží či květáků a je nesmírně fotogenický. Protože v podstatě každý cumulonimbus vypadá trošku jinak, je častým cílem fotografů i lovců bouří. Oproti tomu nimbostratus tak atraktivním krasavcem není. Jedná se o vrstevnatý oblak, tedy o mohutnou oblačnou vrstvu bez zřetelných tvarů či kontur, a téměř nikdo si jej nefotografuje.

Jedním z nejrozšířenějších mýtů o počasí je, že oblak je tvořen vodní párou, a nikoliv kapičkami vody – ty by přece rychle spadly jako déšť! Nedostatek fyziky na základních a středních školách? Možná. Nicméně



Obr. 3 Ostré kontury cumulonimbu a spousta řasnatých kovadlin. Foto: Patrick Kavanagh

ně uveďme to na pravou míru. Ve spodních partiích a v ostrých vrcholových partiích je cumulonimbus tvořen oblačnými kapičkami, ve starších „rozšmudlaných“ partiích je tvořen ledovými krystalky. Oblačné kapičky totiž dokážou přežít i teploty hluboko pod bodem mrazu, takže pokud se rychle dostanou do vysokých pater oblaku a nedotknou se ledových krystalků, nemusejí zmrznout hned. Proto mají vrcholy aktivních, stále rostoucích oblaků ostré okraje. Pokud však již bude mít kupovitý oblak vrcholové partie rozmazané nebo vláknité, začínají v horní části převažovat ledové krystalky a oblak přestává růst.

A jak cumulonimbus skutečně vzniká? Na počátku je velká vzduchová bublina, která se buď dostatečně ohřála od země, nebo se zdvihla o svah hor či nějaké rozhraní v atmosféře (např. o studenou frontu) a začala stoupat. Jakmile tato bublina stoupá směrem vzhůru, klesá v ní společně s okolím tlak vzduchu a bublina se rozpínáním ochlazuje. Ve spodních 1–2 km nad povrchem země je většinou bublina studenější než okolí, takže začne být těžší než okolí a její výstup je brzděn, případně až zastaven. Když při tomto výstupu dosáhne vzduch nasycení vodní párou a začne kondenzace, vzniknou malé ploché obláčky (druh cumulus).

Pokud je počáteční impuls dostatečně silný, bublina se u země hodně zahřeje anebo je proudění u svahu hor dostatečně intenzivní, může se bublina dostat až do hladiny, kde bude stejně teplá jako okolí. Nad touto hladinou pak už bude bublina teplejší než okolí a bude stoupat dále vzhůru jako balonek naplněný teplým vzduchem. Takové hladině říkáme *hladina volné konvekce* (viz obr. 6) a její dosažení znamená bujarý rozvoj konvektivní oblačnosti.

Bublina stoupá vzhůru tak dlouho, dokud je teplejší než okolí. U cumulonimbů se stává, že částice stoupá



Obr. 4 Cumulonimbus – přestřelující vrcholky a krásná kovadlina. Foto: Marshall Space Flight Center společnosti NASA

na úkor energie atmosféry až k horní hranici troposféry (viz obr. 6). Nad ní začíná *tropopauza* – vrstva, ve které dochází k silné inverzi teploty, tedy růstu teploty s výškou. Naše stále se ochlazující se částice začne být rychle studenější než okolí, ale zároveň má dostatečnou vertikální rychlost získanou ve spodní vrstvě, kde byla lehčí než okolí. Bublina tímto způsobem vytvoří tzv. přestřelující vrchol oblaku. Po zastavení výstupného pohybu vzduchu se vrcholek hroučí a rozpadá do ploché vrstvy

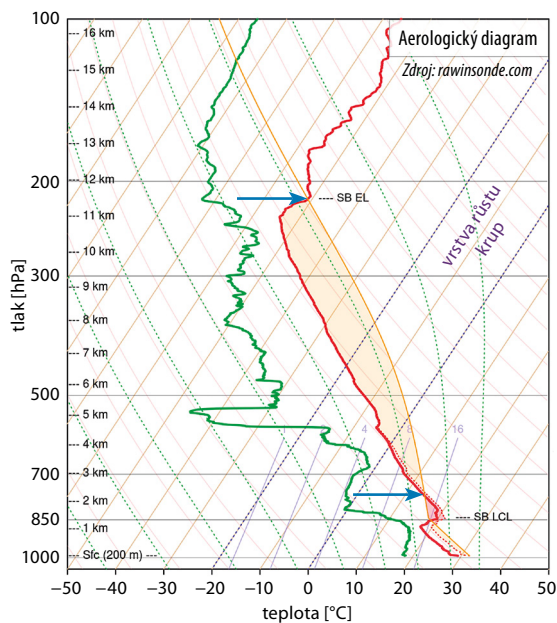


Obr. 5 Cumulonimbus nad centrální Floridou. Foto: JGkatz

oblaku, který připomíná kovadlinu. Ta se zformuje právě na horní hranici tropopauzy. Přestřelující vrchol má krásně ostré kontury, značí růst oblaku, po zastavení pohybu se začnou ostré kraje rozmazávat a kovadlina je již vláknitá, neostrá.

Spočítáme-li veškerou energii, kterou může naše bublina nad hladinou volné konvekce využít, dostaneme veličinu CAPE (*dostupná konvektivní potenciální energie* – viz obr. 6). Tato veličina je důležitá především při předpovědích. Její nulová hodnota ukazuje na atmosféru bez bouří, vysoké hodnoty mohou znamenat výskyt silných bouří. V některých případech se však může stát, že i když je atmosféra připravená pro vznik konvektivní oblačnosti a spočítáme také vysokou hodnotu CAPE, nemusí ani jedna bublina dosáhnout hladiny volné konvekce a žádná bouře nevznikne. V tom je právě kouzlo i úskalí předpovědi bouří a bouřek. Spočítáme-li naopak veškerou energii, kterou musíme vynaložit, aby částice překonala spodní zádržnou vrstvu, dostaneme veličinu CIN (*inhibice konvekce* – viz obr. 6). Čím je tato energie vyšší, tím menší je pravděpodobnost vzniku bouří. Obě veličiny mají jednotku J/kg.

Hladina, ve které dojde k nasycení vzduchu vodní párou a posléze i ke kondenzaci této vodní páry, se nazývá *výstupná kondenzační hladina* (viz obr. 6). Pokud



Obr. 6 Aerologický diagram – zobrazení měření ze sondáže atmosféry – závislost teploty na nadmořské výšce (tlaku vzduchu). Silnou červenou čarou je zakresleno měření teploty vzduchu, zelenou čarou teploty rosného bodu. Tenkou oranžovou čarou je znázorněna teplota částice popsané v textu, která stoupá od povrchu země, rozpíná se a ochlazuje. Červeně je vybarvena plocha představující veličinu CIN, oranžovou barvou plocha představující CAPE. Značka SB LCL je vykreslena výstupná kondenzační hladina, hladina volné konvekce se nachází na průsečíku oranžové a červené čáry (spodní okraj oranžové plochy CAPE). Ve výšce 11 km vidíme, že teplota začíná rychle stoupat – zde se nachází horní hranice troposféry. Více informací můžete najít v elektronickém meteorologickém slovníku. Diagram aerologický – <http://slovník.cmes.cz/heslo/662>, diagram zkosený – <http://slovník.cmes.cz/heslo/23022>.

je vzduch u země hodně suchý, nemusí dojít ke kondenzaci a ke vzniku oblaku. Vertikální pohyb vzduchu se pak projevuje bezoblačnou turbulencí, která může být nebezpečná například pro letadla.



Foto: Jana Plavec

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 (1998–2004) studium 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 méně nebezpečných jevů, jako např. duhy.

Díky výrazné turbulenci větru u zemského povrchu je v blízkém okolí bubliny vzduch relativně dobře promíchán. Stoupající bubliny mají přibližně stejné vlastnosti, především teplotu a relativní vlhkost. K nasycení vzduchu vodní párou dojde při výstupu v přibližně stejné výšce a základna kupovitěho oblaku je proto poměrně plochá. Takže až budete s dětmi kreslit oblohu, tak obláčky na ní nejsou buclaté ze všech stran, ale pouze shora, spodní okraj je vodorovný. Větším dětem prozradte, že se jedná o výstupnou kondenzační hladinu.

Pro vznik oblaku druhu cumulonimbus je tedy zapotřebí splnit tři základní podmínky. Atmosféra musí být připravena ke vzniku konvektivní oblačnosti, tzn. že musí existovat nějaká hodnota CAPE. Dále musí být vzduch u země dostatečně vlhký, aby oblak vůbec mohl vzniknout, a třetí podmínkou je dostatečný impuls, aby popsaná částice vystoupala nad hladinu volné konvekce. Tyto tři podmínky má na paměti každý meteorolog, který předpovídá možnost vzniku silných bouří.

Život cumulonimbu je většinou relativně rychlý. Během prvních deseti až patnácti minut oblak roste a vy-



Obr. 7 Kupovitý oblak (cumulus) s patrnou plochou základnou. Foto: Olga Ernst

tváří malé oblačné a velké srážkové částice. Srážkové částice se během dalších patnácti až třiceti minut vyprší (nebo vypadnou ve formě sněhu, sněhových krupek či krup). Zbytek oblaku se poté může rozpadat, a to i docela dlouho. Často se vršek oblaku transformuje do jiných druhů oblačnosti.

Po celou dobu svého „života“ se oblak pohybuje spolu s průměrným prouděním v oblačné vrstvě. Ale nebyl by to cumulonimbus, aby to bylo jenom takto jednoduché. Někdy začne na kraji stárnoucího cumulonimbu vznikat další nový oblak a konvektivní bouře se tak vlastně cyklicky obnovuje. Nebo se vyvine jeden mohutný cumulonimbus, který dokáže nasávat další a další teplý vzduch, nezbytný k jeho životu. Obě tyto varianty mohou žít i několik hodin, po celou tuto dobu produkovat nebezpečné jevy, a dokonce se i pohybovat jiným směrem, než bychom podle proudění větru očekávali. Anebo se dokonce cumulonimby sešklupí do velkých organizovaných skupin, které dokážou produkovat nebezpečné počasí, hlavně prudký vítr, i na poměrně velkém území.

I když se cumulonimbu říká bouřkový oblak, žádná bouřka z něj vzniknout nemusí. Cumulonimbus a všechny jeho projevy včetně bouřky zahrnujeme do množiny, již nazýváme *konvektivní bouře*. Pod tímto pojmem tedy rozumíme množinu jevů spojených s výskytem oblaku druhu cumulonimbus, které zahrnují výskyt bouřky, tornáda, krup, prudkého nárazovitého větru nebo přívalového deště. A o těchto zajímavých jevech budeme hovořit v dalším díle našeho seriálu o meteorologii.