

# Cumulonimbus – oblak známý i neznámý

## Díl druhý: srážky



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

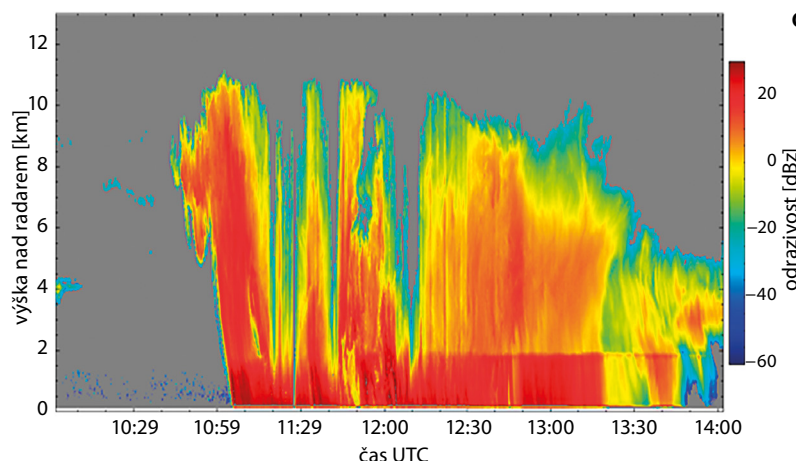
Cumulonimbus je mohutný a hustý oblak velkého vertikálního rozsahu, který svou stavbou připomíná hory či obrovské věže. Přináší většinou dešťové přeháňky nebo kroupy či krupky. Při vzniku velkých krup se uplatňují dva druhy růstu a na kroupě pak můžete spatřit vrstevnatou strukturu. Výsledná podoba kroupy při dopadu na zem je zase značně ovlivněna cestou, kterou kroupa z oblaku putovala. Před letní přeháňkou se často studeně rozfouká a tento jev meteorologové nazývají gust fronta..

V minulém díle jsme si představili cumulonimbus jako mohutný oblak tvořený vysokými věžemi. Tyto věže zasahují vysoko nad nulovou izotermu, nicméně i vršek oblaku může obsahovat malé oblačné kapičky, které dokážou vydržet i teploty hluboko pod bodem mrazu (udává se i pod  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Ostré vrcholy oblaku obsahují kapičky vody a jsou příznakem jeho neustálého růstu. Když se totiž růst oblaku zastaví, kapičky v jeho horní části časem zamrzají a vrchol cumulonimbu nebo jeho starší části začnou být řasnaté, neostře. Kapičky vody, které jsou vyneseny větrem mimo oblak, se v jeho okolí rychle vypaří a okraj oblaku zůstane pěkně ostře ohraničený. Obdobně vynesené ledové krystalky se ovšem vypařují pomalu, což dává oblaku vláknitou nebo rozmazanou strukturu.

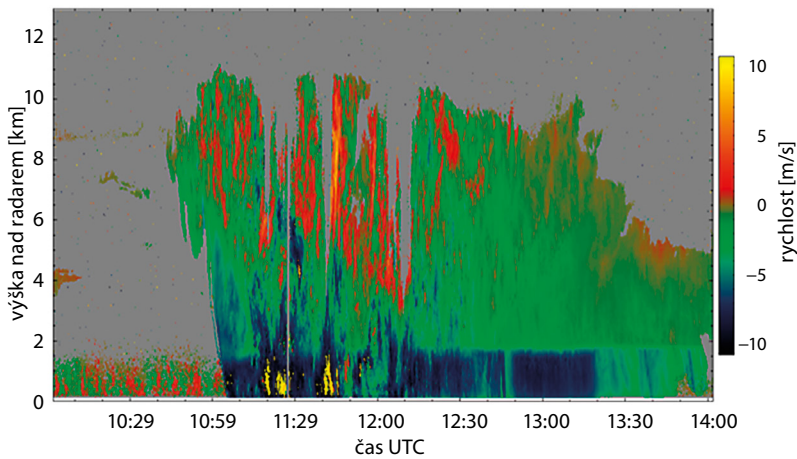
Vývoj oblačných a srážkových částic závisí na vertikálních rychlostech v oblaku. „Ve vrstevnatém oblaku druhu nimbostratus převládají pomalé výstupné i pádové rychlosti částic, ledové krystalky v horních patrech ob-

laku rostou pouze velmi pomalu depozicí (opačný proces k sublimaci) vodní páry na ledových krystalkách, větší ledové krystalky se pak spojují ve sněhové vločky (nazýváme pojmem agregace), které padají k zemi rychleji. Pokud se vločky dostanou pod hladinu  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , začnou tát a na zem dopadávají jako dešťové kapky,“ připomíná Petr Zacharov, „na druhou stranu v oblaku cumulonimbus převládají vysoké výstupné rychlosti a velká turbulence. Částice mají daleko větší šanci se potkávat, než je tomu v případě nimbostratu, takže v cumulonimbu převládá splývání vodních kapek (koalescence) a zachytávání přechlazených kapek ledovými částicemi (krystalky, krupkami a kroupami). Stejně jako u nimbostratu, pod nulovou izotermou ledové částice tají. Kroupy a krupky ovšem nemusejí stihnout roztát a dopadají na zem i v létě v pevném skupenství.

A jak se dá pozorovat detailní struktura oblačnosti? Například na observatoři Milešovka jsou nainstalována dva meteorologické radary, které k detekci struk-



**Obr. 1** Radarová odrazivost – na obrázku vidíme přechod cumulonimbu přes Milešovku, syté červené barvy představují velké srážkové částice, světle červené barvy v pravé horní části oblaku zobrazují sníh, který taje do dešťových kapek přibližně okolo dvou kilometrů výšky nad radarem – na obrázku patrné vodorovné rozhraní. Měřený cumulonimbus sahal až do výšky kolem 11 km nad radarem, zadní část oblaku pak byla o něco nižší. Zuby v obrázku představují spíše útlum měření způsobený velkými srážkovými částicemi než skutečné „díry“ v oblaku.



**Obr. 2** Červené a žluté plochy v horních částech oblaku představují místa výstupných proudů, zelené barvy představují pomalé pádové rychlosti převážně sněhu a modré barvy vysoké pádové rychlosti deště či krupky a krup. Žluté barvy těsně nad zemí nejsou náhlé výstupné rychlosti, ale naopak tak vysoké pádové rychlosti, že přesáhly maximální rozlišitelnou pádovou rychlost, která pak číselně „přetekla“ do výstupných rychlostí.

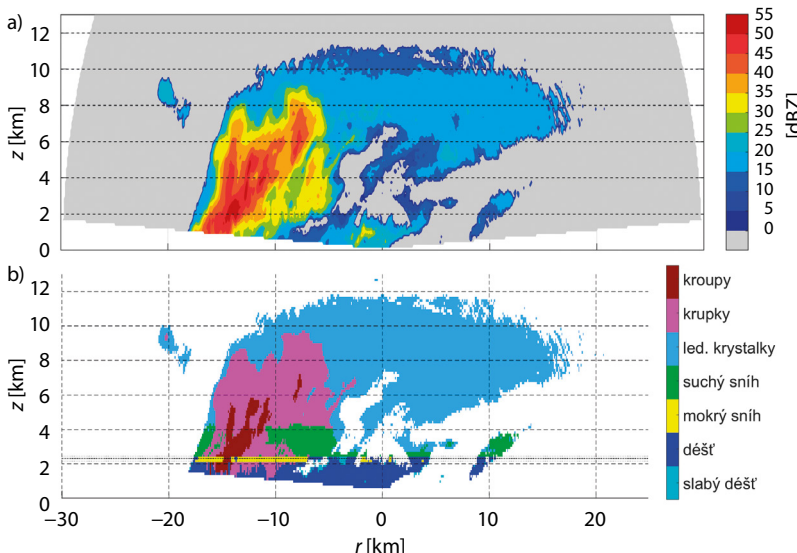
tury obláčnosti slouží. Na rozdíl od srážkových radarů Českého hydrometeorologického ústavu, které detekují pouze velké srážkové částice, detekují radary na Milešovce obláčné částice a umějí tak nahlédnout do rozložení částic v oblaku. Velmi detailní radar METEK MIRA 35c měří částice pouze ve vertikálním sloupci nad radarem a vytváří tak vertikální řez (profil) oblakem, který postupně přecházel přes Milešovku (obr. 1). Vertikální rychlosti obláčných částic ve směru k radaru nebo od něj počítá radar na základě Dopplerova jevu (obr. 2).

Druhý radar z Milešovky – FURUNO – není sice tak detailní jako radar METEK, ale zato dokáže díky výkyvné anténě měřit obláčnost okolo této hory pomocí otáčení antény, nebo dokonce řezu obláčností, kdy se nemění azimut antény, ale její elevace. Na obrázku 3 můžete vidět příklad takového řezu cumulonimbem procházejícím cca 15 km od observatoře. V horní části je patrná kovadlina oblaku zasahující až nad stanici (ta je umístěna ve středu obrázku u bodu 0 km), v levé části oblast s velkými srážkovými částicemi dosahujícími až k zemskému povrchu. Pomocí různých charakteristik měřených radarem umíme odhadnout i druh částic převažujících v dané části oblaku. Na obrázku 3b si tak můžete prohlédnout kovadlinu tvořenou malými ledovými krystalky, srážkovou část oblaku (úplně vlevo) obsahující krupky a kroupy – část z nich taje na dešťové kapky – a nakonec i část oblaku tvořenou zelenou barvou – suchým sněhem, který pomalu padá, taje do mokrého sněhu a nakonec roztaje do dešťových kapek.

Letní přeháňky, často i velmi intenzivní, bereme v podstatě jako samozřejmost, ale krupobití zůstává pro lidstvo i nadále záhadným a fascinujícím jevem. Složitý není pouze růst krup, ale i jejich vypadávání z oblaku. Na začátku kroupy je ledový krystalek, který potkáva přechlazené vodní kapičky. Ty na něm rychle mrznou a vytváří se krupka. Neprůhledná malá ledová částice, která v sobě obsahuje mnoho malých zamrzlých bublinek vzduchu, což právě způsobuje její neprůhlednost. „Takovému mrznutí říkáme suchý růst, protože jak kapky rychle zmrznou, je povrch částice víceméně suchý. Při zamrznání ale kapičky odevzdávají latentní teplo, takže postupně zahřívají povrch krupky. To vede až k tomu, že další kapičky už na krupce nemrznou rychle, ale stihnou se po krupce rozlít a zatéci do malých škvírek a prasklinek a pak teprve pomalu zmrznou. To už ale z vody vyprchaly malé bublinky vzduchu a nový led je krásně průhledný,“ podotýká Petr Zacharov.

V tomto stadiu už je možno této částici říkat kroupa. Růstu čistého ledu, který její vznik doprovází, říkáme mokrá růst, protože je kroupa na povrchu chvilku mokrá, než na ní konečně voda zmrzne. Suchý a mokrá růst se pak může při růstu kroupy střídát a výsledkem je kroupa s několika vrstvami průhledného a neprůhledného ledu (obr. 4).

Když přestane být kroupa nadnášena silným výstupným proudem, začne stejně jako srážky padat směrem k zemi. Velikost kroupy po dopadu na zem ovšem závisí na míře tání, k němuž dochází během jejího sestupu. Pokud bude kroupa propadávat výstupným proudem, který přináší odspodu teplý vzduch, může dojít k výraz-



**Obr. 3** Radarový řez obláčností – na obrázku a) vidíme cumulonimbus ve vzdálenosti cca 15 km od Milešovky (viz horizontální osa – r), červenější barvy představují větší částice. Syté červené barvy na obrázku představují sestupný proud se srážkami. Na obrázku b) vidíme odhad druhu částic od malých ledových krystalků v horní části oblaku přes větší ledové krupky a kroupy v sestupném proudě a pomaleji padající suchý sněh, přecházející při pádu přes mokrá tající sněh do deště.



**Obr. 4** Kroupa se zřetelnou ukázkou vrstev průhledného (mokrý růst) a neprůhledného ledu (suchý růst). Zdroj: wikipedia.org

němu tání kroupy ještě předtím, než vypadne z oblaku. K menšímu tání dochází, pokud kroupa padá mimo výstupný proud, kde propadáva studenějším vzduchem.

Pokud však bude kroupa vypadávat úplně mimo oblak suchým vzduchem, bude tát ještě méně, protože v suchém vzduchu se kroupa ochlazuje rychlým vypařováním roztáté vody. Kroupa padající sestupným proudem s ostatními srážkami se dostane na zem nejrychleji a má tedy omezený čas na ztrátu hmoty táním. „Velikost výsledné kroupy je tedy zásadně ovlivněna cestou, kterou si kroupa směrem k zemi vybere, nebo kterou jí oblak určí – a pak předpovídejte velikost krup!“ naoko se zlobí Petr Zacharov.

Vypadávající srážky s sebou strhávají studený vzduch z výšky. Pod oblakem se srážky navíc dostávají do vrstev vzduchu, který je daleko sušší než vodní parou nasycený vzduch v oblaku. V takové vrstvě se část



**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 studium (1998–2004) 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.

kapek vypaří do okolního suchého vzduchu. Vzduch pod oblakem je hlavně v létě teplý s teplotou nad 0 °C, takže mohou také tát či odtávat krupky a kroupy. Oba tyto procesy vypařování a tání však potřebují dodat teplo, takže se vzduch, který obklopuje srážky, ochlazuje. Po dopadu srážek na zem se pak studený vzduch roztéká pod oblakem ve formě jakéhosi bazénu nebo louže studeného vzduchu. „V teplém vzduchu, ve kterém náš cumulonimbus začal vznikat, se bude jednat o velmi ochlazený vzduch, který je těžší než původní teplý a který se proto pod oblakem po zemi roztéká. Okraji tohoto bazénu studeného vzduchu říkáme gust fronta. Rozhraní mezi studeným a teplým vzduchem vlastně v menším měřítku připomíná studenou frontu a „gust“ je anglicky náraz větru, což připomíná, že se na této frontě právě s nárazy větru setkáme. A je to přesně to studené rozfoukání se v létě, když vidíme přicházející bouři,“ podotýká Petr Zacharov.

V teplém vzduchu, který je nucen vystoupat nad bazén studeného vzduchu, může vzniknout horizontálně orientovaný oblak, který se nazývá cumulonimbus ar-



**Obr. 5** Shelf cloud zvýrazňující přední okraj bazénu studeného vzduchu pod bouří – gust frontu. Foto: Mike Cempa

cus nebo také shelf cloud. Spodní část oblaku je často velmi turbulentní a rozřepená, vršek oblaku mívá poměrně hladký povrch (obr. 5).

Je zajímavé, že je při popisu meteorologických jevů používáno mnoho latinských či anglických termínů. Latinské termíny pro druhy a vzhled oblaku jsou mezinárodní označení, kterým se dává přednost před jejich českými ekvivalenty. V češtině je totiž například druh cumulus překládám jako kupa, stratus jako sloha a cirrus jako řasa. Už pojem sloha není úplně běžný a překlady cirrostratu „sloha řasová“ nebo stratocumulu „kupa slohová“ zní spíše jako pro pobavení než jako odborné pojmy.

Termíny z angličtiny, jako je gust fronta nebo shelf cloud (a mnoho dalších), byly do češtiny převzaté a rovnou používané bez jakéhokoli přirozeného vývoje. Fyzika silných konvektivních bouří se totiž začala studovat v USA až několik let po druhé světové válce. V té době se k nám do Československa americká odborná literatura, bohužel, příliš nedostávala. A tak došlo k tomu, že byly vlastně bez jakéhokoli vývoje terminologie rovnou převzaty již v odborné literatuře etablované anglické termíny a nebyl čas na vznik a zaužívání českých ekvivalentů. Krkolomné pokusy o přeložení pak většinou nevedou ke šťastnému cíli, i když jsou hlavně novinářskou obcí vyžadovány a někdy bohužel i vytvářeny. Typickým příkladem je „šelfový oblak“ – shelf cloud, který se neujal, nebo příšerný „lukovitý efekt“ – bow echo neboli prohnutá linie bouří, o které bude řeč někdy v příštích kapitolách.