

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2014

Kateřina Trčková

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A
ENVIROMENTÁLNÍHO PLÁNOVÁNÍ



AMATÉRSKÁ POZOROVÁNÍ
BOUŘEK
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Bakalant: Kateřina Trčková

2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Martina Hanela, Ph.D. a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Příbrami 1. 2. 2014

.....

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Martinu Hanelovi, Ph.D. za cenné připomínky a odborné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce. Dále svému manželovi a synovi za jejich trpělivost a psychickou podporu a nesmím opomenout amatérského meteorologa Davida Rývu, díky němuž jsem nahlédla do tajů amatérského pozorování.

V Příbrami 1. 2. 2014

.....

Abstrakt

První část této práce se věnuje detailnímu popisu konvekčních bouří. Okrajově jsou popsány jednotlivé vrstvy atmosféry, pozornost je věnována zejména její spodní vrstvě, tedy troposféře.

Důraz je kladen především na popis vzniku bouřek, druhy bouřek a popis oblačnosti, která se vyskytuje v souvislosti s bouřkovou aktivitou. Prostor dostaly i meteorologické jevy (srážky, blesky), které bouřku doprovázejí, protože k bouřce neodmyslitelně patří. Vysvětleny a popsány jsou také extrémní meteorologické jevy (downburst, derecho, kroupy, tornáda), které pokud se vyskytnou, dokážou způsobit nemalé škody. Pozorování těchto jevů se těší velké popularitě i v našich podmínkách.

Další část práce je zaměřena na pozorování bouřek, jak profesionální (spíše z praktického hlediska vysvětluje fungování družic či radarů), tak i amatérské. Důležitá je zmínka o projektech Amatérské meteorologické společnosti o. s., které jsou výsledkem práce amatérských pozorovatelů a v případě projektu pozorování tornád dokonce i výsledkem spolupráce amatérů s profesionály.

Hlavním cílem práce je tak přiblížit amatérské pozorování bouřek, které se v dnešní době internetu a moderních technologií stává stále více populární. Zhodnocena je i bouřková sezóna 2013.

Klíčová slova

Bouřky, oblačnost, meteorologické extrémy, pozorování, derecho

Abstract

The first part of this bachelor's thesis contains a detailed description of convective storms. It also marginally describes individual layers of the atmosphere, the biggest attention is paid to the lower layer, known as the troposphere.

Emphasis is placed on the description of storms, thunderstorms and the description of the clouds, which are associated with thunderstorm activity. The thesis also deals with meteorological phenomena (precipitation, lightning), that accompany the storm and inherently belong to it. In the thesis, there are also explained and described the extreme meteorological phenomena (downburst , derecho , hail , tornadoes) which can cause considerable damage, if they occur . The observation of these phenomena is very popular also in our conditions.

Another part of the work focuses on the observation of thunderstorms of both professional (it rather explains the functioning of satellites and radars from a practical point of view) and amateur perspective. It is important to mention the projects of the Amateur Meteorological Society (civic association), which are the result of the work of amateur observers and as for the observation of the tornadoes the result comes from collaboration of amateurs with professionals .

The main goal of the thesis is to get closer to amateur observations of thunderstorms, which nowadays becomes increasingly popular, mainly because of the expansion of the internet and other modern technologies. In conclusion of the thesis, the 2013 thunderstorm season is summarized.

Keywords

Storms, clouds, weather extremes, observation, derecho

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíle práce.....	10
3	Literární rešerše	11
3.1	Atmosféra a její členění	11
3.2	Vlhkost vzduchu v atmosféře.....	11
3.3	Bouřka a podmínky jejího vzniku	12
3.3.1	Termická konvekce.....	13
3.3.2	Instabilita atmosféry	13
3.4	Dělení bouří.....	13
3.4.1	Bouřky uvnitř vzduchové hmoty	14
3.4.2	Frontální bouřky	15
3.4.3	Singlcela.....	17
3.4.4	Multicela	17
3.4.5	Supercela.....	18
3.5	Druhy oblaků.....	19
3.6	Vývojová stadia konvekční bouře.....	25
3.7	Jevy doprovázející konvekční bouři.....	28
3.7.1	Srážky	28
3.7.2	Blesky	28
3.8	Extrémní meteorologické jevy při bouři	31
3.8.1	Downburst.....	31
3.8.2	Derecho.....	32
3.8.3	Kroupy	32
3.8.4	Tornáda	33
4	Pozorování bouřek.....	37
4.1	Radarové pozorování	37
4.2	Družicové pozorování	39
4.3	Detekce blesků	39
4.4	Amatérské pozorování	41
4.4.1	V ČR	41

4.4.2	V USA.....	43
5	Výsledky.....	45
6	Diskuze.....	48
7	Závěr.....	49
8	Seznam použité literatury.....	50
9	Seznam obrázků.....	53

1 Úvod

Bouřky odpradáвна patří k těm jevům, které vzbuzují v lidech obavy a respekt před silami přírody, a to naprosto oprávněně. Jen v České republice bouřky způsobí každoročně až miliardové škody ať už prostřednictvím s nimi spojených přívalových povodní, větrných bouří, krupobití, ale i samotných následků úderu blesku. A bohužel si vyžádají i daň nejvyšší v podobě ztrát na lidských životech. Bouřky jsou ale pro zvědavé lidské povahy i působivou podívanou, jakou může skýtat jen málokterý jiný přírodní jev, a která v lidech vyvolává různé otázky. Věda dnes sice dokáže vysvětlit fyzikální podstatu většiny bouřkových jevů, poskytnout profesionálním meteorologům nejmodernější nástroje pro sledování bouřkových jevů, ať už jde o meteorologické družice, radary, systémy detekce blesků či sítě automatických stanic, mnohé principy fungování konvektivních bouří nám ale i tak zůstávají stále skryty.

Konvektivní bouře jsou navíc jevem časově a prostorově velmi proměnlivým a neřídka kdy se stává, že nejvýraznější projevy se vyskytnou mimo profesionální meteorologické stanice a ani radary či detekce blesků nemají tu schopnost ukázat sloužícímu meteorologovi, co se děje ve skutečnosti na daném místě, pod zájmovou konvektivní buňkou. Spousta jevů by tak mohla zůstat nepovšimnuta a zřejmě tomu tak dlouhá léta i bylo a tady hrají nemalou roli pozorování přímo "z terénu", ať už hlášení v reálném čase z pod bouřkové buňky např. o extrémním větru, výskytu obřích krup apod., nebo následný terénní průzkum škod bouří způsobených. To vše jsou činnosti, které vyžadují větší počet lidí s možnostmi sledovat bouřkové jevy, ať už z pohodlí a relativního bezpečí domova, nebo za nimi cíleně vyjíždět i dlouhé stovky kilometrů.

Právě zde je velký prostor pro amatérské pozorovatele bouřek, kteří zejména v posledních letech aktivně spolupracují s profesionálními meteorologickými institucemi a kteří dokážou poskytovat cenná pozorování výměnou za možnosti přístupu k datům potřebným pro úspěšný "lov bouřek", ale i spolupracovat na tvorbě mnohých odborných webových prezentací, např. stránek mapujících výskyt tornád na území ČR.

I já se mohu nazvat amatérským pozorovatelem bouřek. Fascinovaly mě odjakživa, na plno se ale kolotoč rozjel v roce 2007 pořízením digitální zrcadlovky. Ihned jsem našla zálibu ve focení blesků a bouřek, v sezóně denně sledovala radary a snímky z družic. Téma pro bakalářskou práci tedy bylo jasné. V dnešní době, kdy již mám svoji rodinu, ale bohužel není snadné najít tolik času, kolik bych pro svůj koníček potřebovala.

2 Cíle práce

Cílem práce je z dostupných zdrojů shromáždit informace o tématu týkající se bouřek a informovat o způsobu a možnostech pozorování obyčejných lidí nebo nadšenců jak na našem území, tak i ve světě (pro svou popularitu a četnost výskytu záměrně vybírám Spojené Státy Americké). Zároveň jsou prezentovány informace o dostupných datech, jak oficiálních, tak i založených na hlášení amatérských pozorovatelů. Na závěr je provedena i jednoduchá analýza vybraných dat, zaměřená na intenzitu výskytu bouřek pozorovaných amatérskými pozorovateli.

3 Literární rešerše

3.1 Atmosféra a její členění

Atmosférou nazýváme plynný obal Země, který sahá od zemského povrchu do výšek několika desítek tisíc km a v převážné míře se Zemí rotuje. Atmosféra Země je tvořena směsí různých plynů, vodní páry a obsahuje také pevné a kapalné částice, tzn., že má charakter řídkého aerosolu. Hlavní složku atmosféry tvoří dusík (70 % objemu), dále pak kyslík (21 %) a ostatní plyny, které jsou ale zastoupeny v nepatrném množství (argon, oxid uhličitý a další). Vlivem promíchávání se složení vzduchu v atmosféře nemění přibližně do výšky 95 km. Výjimku tvoří oxid uhličitý a ozon, kde je množství v ovzduší závislé na místě a času. Celková hmotnost atmosféry je přibližně 500 miliard tun.

Vertikální členění atmosféry:

- **Troposféra** je nejnižší vrstvou atmosféry, ve které je soustředěno asi 80 % její celkové hmotnosti. Veškeré počasí na Zemi se odehrává právě v troposféře. Na rovníku je troposféra mocná kolem 18 km, v mírných šířkách sahá k 11 km a na jejím horním okraji je teplota přibližně -65 °C. U pólů dosahuje troposféra výšky pouze 9 km. V troposféře s rostoucí výškou klesá tlak i teplota. Od stratosféry je troposféra oddělena tropopauzou (Kemel, 2000).
- **Stratosféra** začíná ve výšce asi 10 km a končí přibližně 50 km nad zemským povrchem. Teplota je v dolní části téměř neměnná, s výškou ale roste a u horní hranice stratosféry dosahuje 30 °C (Dvořák, 2012). Na horním okraji pásma se nachází vrstva s vysokou koncentrací ozonu, kterou nazýváme **ozonosféra**.
- **Mezosféra** se nachází ve výšce zhruba 50 až 80 km nad zemským povrchem a vyznačuje se prudkým poklesem teploty s výškou, v horní hranici až k -100 °C.
- **Termosféra** má svoji horní hranici ve výškách 500 až 700 km. S výškou zde výrazně roste i teplota, řádově dosahuje stovek °C.
- **Exosféra** je nejvyšší vrstvou atmosféry, která plynule přechází v meziplanetární prostor (Bednář, 2003).

3.2 Vlhkost vzduchu v atmosféře

Vlhkost vzduchu v atmosféře je proměnlivá a závisí na mnoha faktorech, především na tlaku a teplotě. V běžných atmosférických podmínkách se směs plynů

tvořících vzduch chová vůči vodě a vodní páře jako homogenní plyn. Takovouto směs plynů nazýváme suchý vzduch. V atmosféře se ale nachází směs těchto plynů a vodní páry, kterou nazýváme vlhký vzduch.

Vlhkost vzduchu se dá vyjádřit dvěma způsoby – jako absolutní vlhkost vzduchu a jako relativní vlhkost vzduchu. Absolutní vlhkost vzduchu udává hmotnost vodních par, které jsou obsažené v jednotkovém objemu vzduchu, a její velikost se mění v přímé závislosti na teplotě. Zatímco relativní vlhkost vzduchu je poměr skutečného napětí par v ovzduší k tlaku syté páry při stejném tlaku a teplotě vzduchu. Pokud je vodní pára obsažena ve vzduchu konstantně, relativní vlhkost vzduchu se mění v závislosti na teplotě. Jestliže teplota vzduchu vzroste, relativní vlhkost klesá a pokud teplota poklesne, relativní vlhkost vzduchu vzroste. Teplota, při níž je vzduch vodní párou právě nasycen, je označována jako rosný bod. Znamená to, že relativní vlhkost dosáhla 100 %. Obvykle k takovému stavu v atmosféře dochází při poklesu teploty. Při dosažení rosného bodu (za existence kondenzačních jader v ovzduší) dochází ke kondenzaci přebytečné vláhý (Kemel, 2000).

3.3 Bouřka a podmínky jejího vzniku

Prudký vítr, silný déšť, blesky, hřmění, ba dokonce i krupobití a tornáda. Každý den se nad naší planetou rozpoutá asi 40 000 bouřek, jejichž uvolněná energie je srovnatelná s výbuchem atomové bomby. Během jediné z nich se uvolní energie přibližně stejná jako při výbuchu 12 000 tun dynamitu a tolik tepla, které by stačilo na vytápění bytů středně velkého města po jednu zimní sezonu. Nejčastěji se vyskytují v oblastech mezi obratníky, avšak postihují i oblasti mírného pásma, a to zejména na jaře a v létě, kdy jsou ideální podmínky pro vznik bouřkové buňky (Karas et al., 2007).

Obecně je bouřkou nazýván soubor elektrických, akustických a optických jevů mezi oblaky a zemí nebo mezi oblaky navzájem. Je to nejvýraznější projev konvekce v atmosféře. Typická bouřka může trvat i kolem dvou hodin, ale stádium zralosti je 15 - 30 minut. Ke svému vzniku bouřky spotřebovávají velké množství energie a tuto energii čerpají zejména ze slunečního záření získaného odrazem od povrchu země. Vrcholky bouřkových oblaků dosahují obvykle výšky 10 000 m, nezdá se, kdy i více jak 12 000 m. Podmínkou pro vytvoření bouřkového oblaku je instabilita atmosféry a stoupavé termické proudy (Soukupová, 2009).

Základní strukturální jednotkou konvekční bouřky je tzv. konvekční cela neboli konvekční buňka. V případě jedné konvekční buňky se jedná o jeden výstupný proud následovaný sestupným prouděním spojeným s vypadáváním srážek. Hovoříme tak o

jednobuněčné bouřce, zatímco bouřka s více konvekčními buňkami se označuje jako mnohobuněčná bouřka (Řezáčová et al., 2007).

3.3.1 Termická konvekce

Dvořák (2008) uvádí, že jako první předpoklad pro vznik termické konvekce je nerovnoměrné a dostatečně intenzivní prohřátí zemského povrchu. Tam, kde je zemský povrch prohřátý nejvíce, následně dochází k vyzařování tepla zpět do přilehlých vrstev zemské atmosféry. To dává za vznik ložiskům teplejšího vzduchu, jejichž vertikální rozměry jsou několik desítek metrů a horizontální rozměr nejčastěji desítky až stovky metrů. Teplo se do nich šíří od zemského povrchu částečně vedením (avšak malá efektivita, jelikož vzduch je velmi špatný vodič), částečně turbulentním promícháváním. To je pro oko člověka i viditelné, každý zná „tetelení“ vzduchu nad rozpáleným terénem. Tento jev není nic jiného než mění se index lomu světla na různě teplých částech vzduchového objemu. Pokud už je takový objem vzduchu oproti svému okolí dostatečně prohřátý, dochází k jeho odtržení od země a tento teplejší vzduch, můžeme ho přirovnat k bublině, začíná stoupat do výšky. Často se stává, že na různých místech v okolí vznikají takovéto bubliny současně a stoupáním vzhůru se slíjí do jednoho velkého celku. Takto se z původně malých termických bublin utvářejí mohutné a široké stoupavé proudy, jejichž vertikální rychlost je až 30 m/s. Pakliže je vzduch v těchto stoupajících termických proudech přiměřeně vlhký, s narůstající výškou při výstupu roste i jeho další vlhkost. V okamžiku, kdy dosáhne 100 % stává se vzduch nasyceným a začíná v něm kondenzovat vodní pára, tvoří se malinkaté kapičky, které ze země pozorujeme v podobě kupovitého oblaku – tzv. *Cumulonimbu* (Cb).

3.3.2 Instabilita atmosféry

Pokud se atmosféra ochlazuje s výškou o více než 1 °C na každých 100 m, bude termická bublina vždy o něco teplejší a tudíž i lehčí, což jí bude dodávat další energii pro výstupný pohyb. Hranicí takového výstupu bývá zpravidla výšková teplotní inverze, tedy vrstva atmosféry, kde teplota vzduchu s výškou stoupá, namísto aby klesala. Termická bublina v takovéto vrstvě zpomaluje svůj růst, až ho úplně zastaví, rozpadne se do stran a klesá zpět k zemskému povrchu (Batigne et al., 2001).

3.4 Dělení bouří

Bouře se dají dělit z několika hledisek. Nejzákladnější je dělení bouří podle místa výskytu (bouřky uvnitř vzduchové hmoty, frontální bouřky) a podle struktury (singlcela, multicela, supercela), jemuž položili základ už v roce 1972 A. J. Chrisholm a J. H. Renick.

3.4.1 Bouřky uvnitř vzduchové hmoty

Bouřky insolační

Insolační bouřky neboli bouřky z tepla vznikají ohříváním vzduchu nad zemským povrchem a jeho následným vzestupem vzhůru (obr. 1). Mají krátkou životnost, většinou nejsou příliš pohyblivé.



Obr. 1: Insolační bouřka (AMS, 2013)

Bouřky advekční

Tyto typy bouřek vznikají příchodem studeného vlhkého vzduchu nad teplý zemský povrch nebo teplou vodní plochu. Jedná se o izolované bouřkové buňky, u kterých je však již patrný pomalý pohyb, a to ve směru postupu proudícího studeného vzduchu.

Bouřky orografické

Tento typ bouřek je vázán na vysoké kopce a hory, jejichž návětrné svahy jsou silně ohřívány slunečními paprsky, čímž opět dochází k vzestupnému vertikálnímu proudění (obr. 2). Vznikají při proudění instabilního vlhkého vzduchu přes orografickou překážku (například pohoří), která zesílí vertikální složku proudění. Vliv orografie může mít dílčí podíl na vzniku všech typů bouřek, uvedených ve 3.4 (AMS, 2013).



Obr. 2: Vznik orografické bouřky (AMS, 2013)

3.4.2 Frontální bouřky

Vzduchové hmoty, fronty

Vzduchovou hmotou je nazýváno obrovské množství atmosféry, které setrvalo v určité oblasti, čímž získalo její klimatické vlastnosti. Vzduchové hmoty se přesouvají podle větrů, přicházejí do styku s dalšími vzduchovými hmotami a tím přispívají k šíření vlhkosti a tepla po zemském povrchu. V případě střetu dvou vzduchových hmot rozdílné teploty a vlhkosti se vytvoří linie nazývaná fronta. Místo, kde protíná zemský povrch, se nazývá frontální čára.

Jestliže teplá vzduchová hmota při přesouvání zachytí studenou vzduchovou hmotu, vytvoří se teplá fronta. Protože je teplý vzduch lehčí než studený, vystoupá do výšky, kde se ochladí, vlhkost zkondenzuje a na zemském povrchu se projeví jako mírné srážky. Pokud studená vzduchová hmota dostihne teplou vzduchovou hmotu, vytvoří se studená fronta. Hustší studený vzduch vytlačí vzhůru vzduch teplý, který rychle stoupá, přičemž vytváří kumulonimby. Nastává kondenzace vodních par, následovaná silnými srážkami, někdy provázenými bouřkami. Třetím typem fronty je okluzní fronta, která vzniká, jestliže studená fronta dostihne teplou frontu; dvě hmoty studeného vzduchu se spojí, uzavřou hmotu teplého vzduchu a vytlačí ji do vyšších hladin (Batigne et al., 2001).

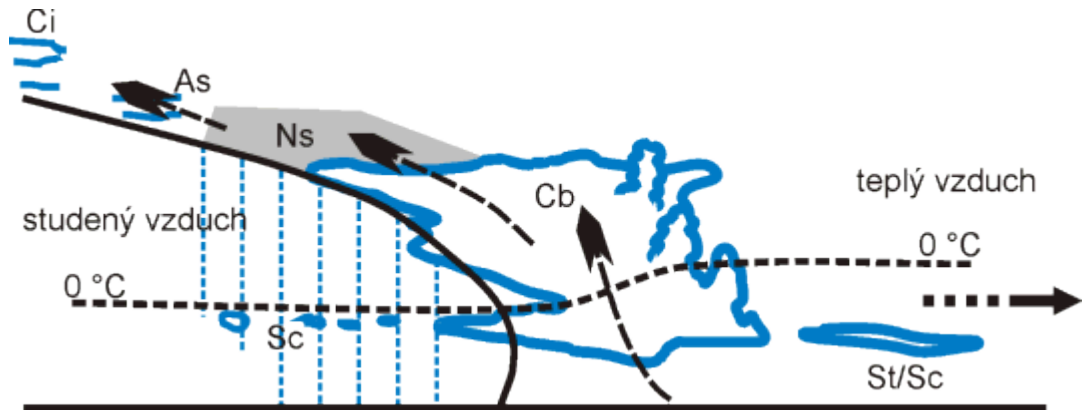
Bouřky na teplé frontě

Ve většině případů na teplých frontách konvekční bouřky nevznikají. Jako následek výkluzných pohybů podél frontální plochy se na teplé frontě nejprve objevují oblaky vysokého patra *Cirrus* (Ci) a *Cirrostratus* (Cs), následovány střední oblačností *Altostratus* (As) a ukončené přízemní vrstvou *Nimbostratu* (Ns). Ale ne každá postupující teplá fronta má takovýto charakter oblačnosti, do jisté míry závisí na vlhkosti teplé vzduchové hmoty, stádiu cyklóny, v níž se fronta nachází, geografických podmínkách oblasti atd. Jestliže se teplá fronta tvoří v počátečním stádiu vývoje cyklóny a výstupné proudy v blízkosti linie fronty nabývají konvektivního charakteru, mohou se utvořit bouřkové oblaky, z nichž vypadávají srážky. U nás se nejčastěji tvoří bouřky na teplých frontách, které se nacházejí v podstatě v jihozápadním výškovém proudění zvlněné studené fronty.

Bouřky na studené frontě

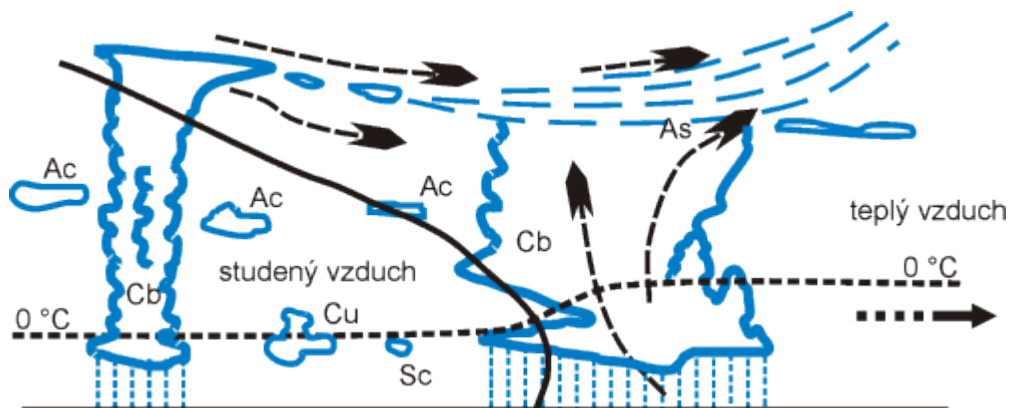
Tření studeného vzduchu o strmý podklad frontálního rozhraní má za důsledek mnohem výraznější bouřkovou činnost než je tomu u postupu teplé fronty. Studený vzduch se pod teplý doslova nasouvá a vytlačuje jej do výše, mnohem lépe tak vznikají potřebné výstupné proudy. Podle rychlosti pohybu můžeme studené fronty dělit na fronty prvního a druhého druhu.

U studené fronty prvního druhu oblačnost svým způsobem připomíná oblačný systém typické teplé fronty, jenže zrcadlově obrácený (obr. 3). Rozdíl je však na čele fronty. U studené fronty prvního druhu se vytváří konvektivní bouřková oblačnost provázená silnými srážkami kolem frontální čáry, zatímco u teplých front jsou srážky spíše výjimečné.



Obr. 3: Studená fronta prvního druhu (AMS, 2013)

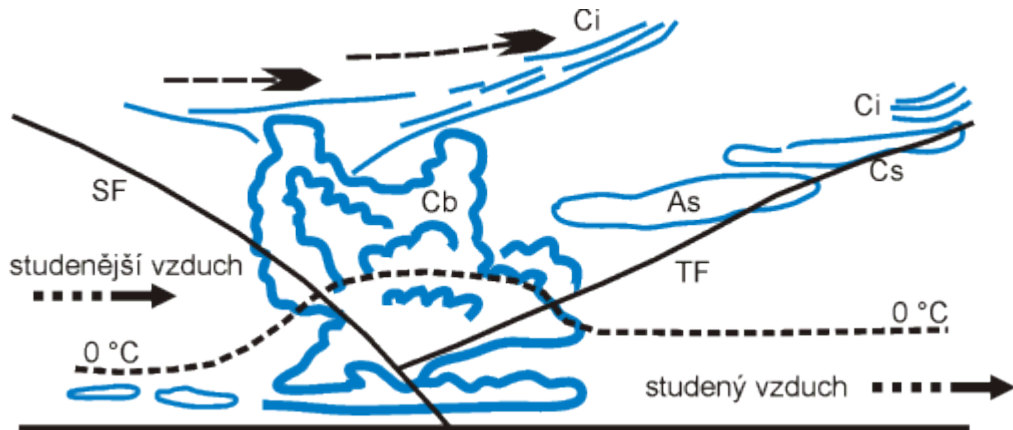
Studená fronta druhého druhu (obr. 4) se pohybuje výrazně rychleji než studená fronta prvního druhu. Právě rychlý pohyb této fronty (40 – 50 km/hod.) způsobuje prudké vytlačení teplého vzduchu vzhůru, což má spolu s vysokou vzdušnou vlhkostí za následek vývoj velmi výrazné bouřkové oblačnosti. Čelo této fronty ale nebývá širší než 100 km, proto jsou srážky spíše nárazové a trvají krátce (přibližně 30 – 60 min.). Díky zvlhčení zemského povrchu bouřkami na čele fronty vznikají další oblaka typu *Cumulus* (Cu) a *Cumulonimbus* (Cb) a tím i možnost dalšího rozvoje zafrontálních bouřek. Proto považujeme bouřkovou činnost na studené frontě druhého druhu za nejsilnější a z hlediska pozorovatele ze země i nejvhodnější k pozorování.



Obr. 4: Studená fronta druhého druhu (AMS, 2013)

Bouřky na okluzní frontě

Okluzní fronta (obr. 5) vzniká, jestliže studená fronta (SF) dostihne teplou frontu (TF). Dvě hmoty studeného vzduchu se spojí, uzavřou hmotu teplého vzduchu a vytlačí ji do vyšších hladin. Vzniknou tak konvekční proudy, které mohou dát růst bouřkovým oblakům (Maňák, 2005).



Obr. 5: Okluzní fronta (AMS, 2013)

3.4.3 Singlcela

Singlcela je jednobuněčná bouřka vyskytující se jen zřídka. Trvá krátce a jen málokdy dosáhne stádia intenzivní zralosti. U nás ji můžeme pozorovat v případě letních bouřek „z tepla“, kde její potencionální nebezpečí tkví v tom, že se utvoří za velmi krátkou dobu.

3.4.4 Multicela

Tzv. mnohobuněčná bouřka, častý je také anglický výraz *multicell*. Jedná se o bouřku, která se skládá ze dvou a více buněk, z kterých většina anebo všechny se dají rozpoznat v daném čase jako zřetelné „komíny“ v různém stádiu vývoje. Drtivá většina bouřek jsou multicely, dokonce i supercela je v podstatě multicelulární bouřkou. Všeobecně se za multicelu považuje jakákoliv bouřka, která má více jak jednu aktivní buňku, ale nesplňuje kritéria pro supercelu.

Multicely vznikají převážně v brázdách nízkého tlaku vzduchu uvnitř vzduchové hmoty. Právě díky kontinuálnímu tvoření nových buněk staršími sestupnými proudy mohou takto vytvořené bouřky často přetrvávat až několik hodin do noci. V případě, že multicelární bouřka postupuje uspořádaně v linii, nazýváme ji čarou húlav nebo linií instability (angl. *squall line*). Délka této linie se pohybuje od několika desítek až po několik stovek kilometrů. Často vzniká na postupujících studených frontách, kde je příčinou vzniku teplotní rozdílu mezi vzduchovými masami (Púčik, 2006).

3.4.5 Supercela

Nazýváme tak konvektivní bouři většinou velmi silné intenzity, která se zpravidla skládá z jediné dominantní, velmi výrazné konvektivní buňky. Činnost takové buňky může být i v rádech několika hodin a to díky mohutnému proudu vzduchu uvnitř Cb, který zpravidla rotuje kolem své osy a dosahuje vertikální rychlosti 50 až 60 m/s. Ve spojení s poklesem tlaku vzduchu uvnitř cely pak můžeme hovořit o vzniku mezocyklóny. Ta se vyskytuje ve středních hladinách výstupného proudu a lze ji detekovat dopplerovým radarem. Supercely se vyvíjejí v prostředí se silným stříhem větru, kde horizontální vorticity generovaná stříhem větru se ve výstupném proudu transformuje na vorticitu vertikální. Supercely s výstupným proudem rotujícím cyklonálně se na severní polokouli stáčí vpravo od původního směru pohybu, pokud výstupný proud rotuje anticyklonálně, stáčí se vlevo. Mezi specifické projevy supercely patří dozajisté výskyt tornád, silného krupobití s obřími kroupami a prudkého nárazovitého větru (Koutsoyiannis a Langousis, 2011).

Jak již bylo psáno v kapitole 3.4.4, supercely vznikají z multicele, jejich horizontální rozměry bývají podobné, jako u běžných konvektivních bouří. Na přítomnost supercely lze nepřímě usuzovat i na základě specifického vzhledu oblačnosti bouře při pohledu ze zemského povrchu (Sobíšek et al., 1993).

Supercely dělíme na 3 základní druhy:

- **Nízko srážkové neboli LP supercely** (*low precipitation supercells*), které jsou typické nedostatkem srážek a to zejména při vizuální identifikaci. Jsou podobné klasické supercele, ale chybí jim výrazné srážkové pásmo a jsou tedy i špatně odhalitelné na radarových odrazech. Navzdory tomu, že je bouřka srážkově neefektivní, vyprodukuje často rozměrné kroupy a může vytvořit i tornádo.



• Obr. 6: Wallcloud (Lukáš Ronge, 2008)

- **Klasické supercely** (*classic supercells*) jsou srážkově poměrně vydatné a také ze všech tří typů supercel se v nich nejvíce vyskytují tornáda. Srážky

se objevují nejvíce pod předním sestupným proudem a v pozdějších stádiích i v týlovém sestupném proudě. Díky tomu zde můžeme dobře pozorovat tzv. *wallcloud* (obr. 6), u nás se uvádí i výraz stěnový oblak, což je vlastně snížená základna bouřkového oblaku o velikosti i několika km.

- **Vysoce srážkové HP supercely** (*high precipitation supercells*) charakterizují extrémní srážkové přínosy a to i na návětrné straně mezocyklony, možnost vzniku tornáda, které je však ukryto v proudě srážek, velmi vysoký odraz na radaru, ničivá krupobití i možnost povodní. Vizuálně se často vyznačují výrazným *shelf cloudem* v oblasti týlového sestupného proudě, lineární základnou a velmi tmavým, hrozivým vzhledem (obr. 7). Nejvíce se utvářejí ve vlhkém, silně labilním prostředí se slabším prouděním v úrovni vyšších partií bouřky (Púčik, 2006).



Obr. 7: Přečod HP supercely s typickým *shelf cloudem* (Roger Edwards, 2001)

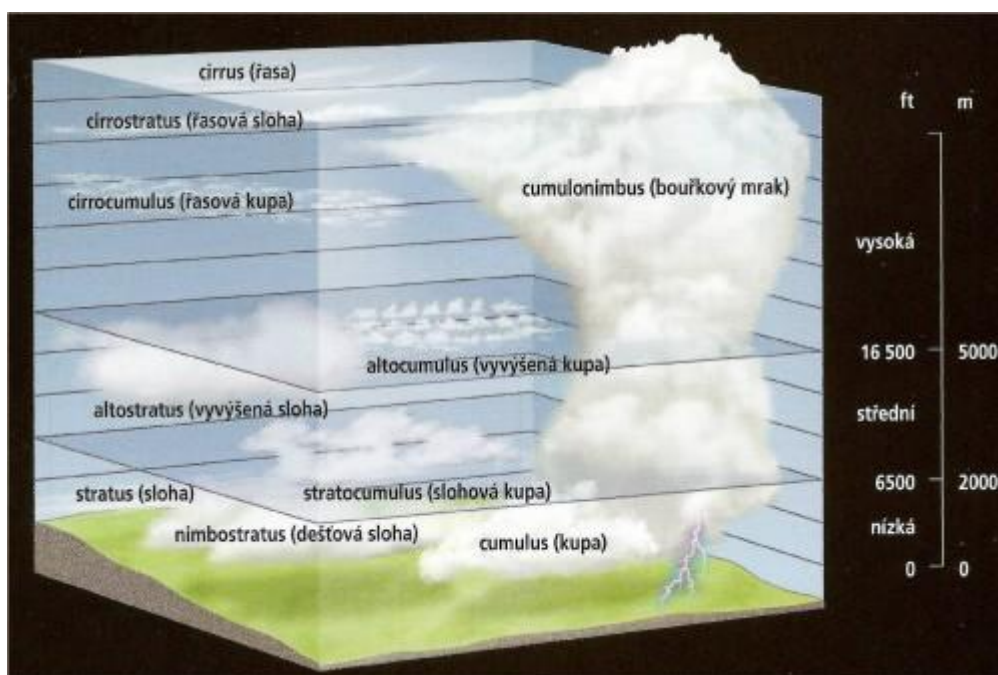
3.5 Druhy oblaků

Oblaky svou pestrostí a rozmanitostí odjakživa poutaly pozornost vědců i milovníků přírody. Prvním, kdo poukázal na nutnost třídění oblaků, byl francouzský přírodovědec Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), který aktivně propagoval a sám prováděl meteorologická pozorování. Jeho rozdělení na 5 hlavních a několik doplňkových typů oblaků se však neujalo. O rok později se o to samé pokusil britský amatérský meteorolog Luke Howard (1772-1864) a jeho zásluhou do dnes zůstalo rozdělení oblaků na 3 základní skupiny: *Cirrus*, *Cumulus* a *Stratus*. Předpokládal možnost přechodu mezi těmito druhy, proto odvodil i mezitvary: *Cirrocumulus*, *Cirrostratus* a *Cumulostratus*. Kombinací všech tří hlavních druhů byl podle

Howarda dešťový oblak zvaný *Nimbus*. Dal tak základ dělení oblaků podle vzhledu (Munzar et al., 1989).

Oblak je definován jako viditelná soustava částic vody nebo ledu v atmosféře. Často bývá laicky nazýván mrak nebo mračno (Sobíšek, 1993). Kromě vodních kapiček či ledu v sobě může obsahovat také pyly, prach a různé antropogenní částice. V podmínkách mírného pásma se oblaky vyskytují přibližně do výšky 13 km. Další možností rozdělení je tedy i vertikální výška oblaků a to na tři oblačná patra: vysoké, střední a nízké (obr. 8). Každé z nich je definováno intervalem výšek, ve kterém se nejčastěji vyskytují oblaky určitého druhu. Mezinárodní atlas oblaků z roku 1956 (česky vyšel v roce 1965) člení oblaky do deseti hlavních skupin, které se navzájem vylučují, a ne všechny lze jednoznačně zařadit do daného patra (Munzar et al., 1989).

Při pozorování oblaků se někdy zaznamenává i směr jejich pohybu, který může laika přibližně informovat o rychlosti a směru proudění vzduchu v různých výškách, pokud se na obloze současně vyskytuje více vrstev oblačnosti. Tato pozorování jsou pro amatérské pozorovatele velmi důležitá pro předpověď počasí.



Obr. 8: Vertikální výskyt oblaků v atmosféře (URL 1)

Oblaka vysokého patra

Cirrus (zkratka Ci)

Českým synonymem pro tento oblak je řasa. Vyskytuje se na horní hranici troposféry, někdy i ve stratosféře, ve výškách 6 - 10 km. Je složený pouze z ledových krystalků, ale srážky z něj nikdy nevypadávají. Často je však příznakem blížící se

atmosférické fronty. Můžeme je na obloze pozorovat jako vzájemně oddělné oblaky ve tvaru bílých vláken, úzkých pruhů nebo plošek. K cirrovité oblačnosti můžeme v podstatě řadit i kondenzační pruhy, jež vznikají za letadly, i když se jedná o oblak umělý, vzniklý v důsledku antropogenní činnosti.

Cirrostratus (zkratka Cs)

U nás je tento druh oblaku nazývaný jako řasosloha. S výškou výskytu kolem 8 – 10 km patří mezi nejvýše zasahující oblaky. Podobá se bělavému závoji, který je průsvitný pro sluneční i měsíční světlo a časté také pro světlo hvězd, ale jejich světlo je tímto závojem utlumen. Může pokrývat i celou oblohu, která má pak bělavé až mléčné zabarvení. Složený je pouze z ledových krystalků a srážky z něj nevypadávají. Při výskytu oblaku Cs můžeme na obloze pozorovat tzv. **halové jevy**, které vznikají při průchodu slunečního či měsíčního světla skrze oblačnou vrstvu Cs, ať už lomem nebo odrazem na ledových krystalcích. Pozorování těchto jevů obvykle znamená přibližování atmosférické fronty a brzký nástup srážek (Dvořák, 2001).

Halové jevy neboli fotometeory, můžeme pozorovat jako kruhy zabarvené duchovými barvami, popřípadě další světelné efekty. Jejich vznik je popsán výše. Nejčastěji se vyskytujeme s jevem zvaným malé halo (obr. 9), což je světelný kruh kolem Slunce či Měsíce o poloměru 22° (velké halo pak s poloměrem 46°) (Dvořák, 2010).



Obr. 9 : Malé halo (Jan Drahekoupil, 2006)

Cirrocumulus (zkratka Cc)

Česky tento oblak nazýváme řasokupa. Podobně jako *Cirrus* se nejčastěji objevuje ve výškách 6 – 10 km. Tvoří ho velké množství malých bílých kup nebo vloček, zrn nebo vlánek bez vlastního stínu. Jednotlivé části oblaku vypadají jakoby pravidelně uspořádané. Opět jsou složeny z ledových krystalků, výjimečně z kapiček

přechlazené vody, ale srážky z něj nevypadávají. Vzniká vlnovými a konvekčními pohyby v horní troposféře, ale v našich podmínkách se vyskytuje poměrně vzácně.

Oblaka středního patra

Alto cumulus (zkratka Ac)

Český název je vyvýšená nebo také vysoká kupa. Nikdy nepokrývá celou oblohu, zpravidla se vyskytuje v menších či větších skupinách, v jedné i několika vrstvách nad sebou podle vertikálního průběhu vlhkosti. Dosahuje výšky 2 – 6 km. Ac je bělavý až šedavý a na rozdíl od oblaků vysokého patra má svůj vlastní stín. Jeho fyzikální složení je vodní, někdy je ale smíšený z vodních kapek a ledových krystalků. Na obloze můžeme altokumulus pozorovat v celé škále tvarů, vznikajících např. vlnovým prouděním v atmosféře, prouděním přes horskou překážku, instabilitou ve středních hladinách troposféry nebo vlivem dynamické turbulence. V letním období u nás může Ac také vzniknout přeměnou z kupovité oblačnosti jako důsledek ustávání termické konvekce.

Altostratus (zkratka As)

U nás také nazýván jako vysoká sloha. Většinou pokrývá celou oblohu a to ve výškách 2 – 6 km. Zpravidla nemá žádnou patrnou strukturu, je to rozlehlá šedivá plocha. Jestliže je dostatečně tenký, prosvítá jím Slunce i Měsíc. Ac je zpravidla vázán na atmosférickou frontu, ale srážky z něho vypadávají spíše v podzimních a zimních měsících. Obecně lze konstatovat, že altostratus je oblakem provázejícím špatné počasí, tedy zataženo, srážky a větrno.

Oblaka nízkého patra

Strato cumulus (zkratka Sc)

Česky slohová kupa. Výška jeho základny je obvykle 300 až 2000 m nad zemí. Tvarem připomíná valouny a zploštělé kupy, někdy je jeví jako šedavá vrstva se strukturou vln. Fyzikální složení je vodnaté, někdy smíšené, často z něj také vypadávají srážky. Na naší obloze se objevuje Sc velmi často, ve větším pokrytí oblohy se vyskytuje zpravidla po přechodu studené fronty, ale může vzniknout transformací z jiných oblaků, zejména kumulu nebo stratu.

Stratus (zkratka St)

Český ekvivalent je sloha. Jedná se o šedavý oblak vyskytující se těsně nad zemským povrchem, nebo i několik stovek metrů nad ním. Nejvyšší pravděpodobnost vzniku je z mlhy, jejíž základna se zdvihla od země: St má potom vzhled jednotvárné šedivé plochy pokrývající celou oblohu, která se podle místních podmínek může udržovat nad krajinou po celý den. Obecně nazýváme takovéto

pokrytí oblohy nízkou inverzní oblačností, která však v průběhu dne může dále stoupat a oblak může transformovat do jiného druhu oblaku. Stratus může vzniknout i odpařováním velké vzdušné vlhkosti v místech, kde se vlhkost dobře akumuluje při dešti (např. nad lesními oblastmi). Vlhkost mu tak dává tvar šedých roztrhaných cárů, pohybujících se i v několika vrstvách nad sebou. St je vodním oblakem, pokud z něj srážky vypadávají, jedná se téměř vždy o mrholení, které v zimě dostává podobu ledových jehliček nebo sněhových zrn. Někdy se stane, že je viděn pouze stratus a přesto padají velké kapky nebo sněží. Ty ale nepocházejí přímo z něj, nýbrž z oblačnosti nacházející se nad ním.

Oblaka se značnou proměnlivostí výšky výskytu (těžko zařaditelné)

Nimbostratus (zkratka Ns)

Neboli česky dešťová sloha. Jedná se o obtížně zařaditelný oblak, jelikož jeho základna bývá nejčastěji v nízkém patře do 2 km výšky, zatímco vertikální mohutnost tohoto oblaku může být i několik km. Slunce jím díky tomu vůbec neprosvítá, oblak pokrývá celou oblohu a padají z něho trvalé srážky na značně rozlehlém území. Vlivem velké vlhkosti z vypadávajících srážek se pod základnou Ns často vytvářejí další oblaka. Jeho vznik je vždy spojen s přechodem atmosférické fronty nebo někdy s oblastí výškových tlakových níží. Ns má tmavou, šedavou barvu a je složený jak z vodních kapiček, tak i z ledových krystalků. V horách jsou projevy Ns silnější a vydatnější než nad rovinami.

Cumulus (zkratka Cu)

U nás tento typický oblak nazýváme kupa. Je zde patrný vertikální vývoj a vzniká výhradně jako důsledek termických konvektivních proudů v atmosféře, tedy vzestupným pohybem vzduchu prohřátého nad vhodným zemským povrchem. Vždy se jedná o osamocené, jasně ohraničený oblak bílé barvy ve tvaru kup, květáků nebo věží. Základna bývá vodorovná, zpravidla tmavá, ale její tvar se může měnit dalším vývojem oblaku. Z Cu mohou vypadávat srážky, ale díky horizontálnímu i vertikálnímu omezení se vždy jedná pouze o dešťové přeháňky, v zimě sněhové. Při suchém počasí nebo při postupném vysušování vzduchové hmoty po přechodu studené fronty nejvíce pozorujeme Cu označený podle tvaru jako *humilis*. Velmi často se v takových dnech vysuší vzduch natolik, že kupovitá oblačnost se rozpadne. Pokud nastanou podmínky vhodné pro termickou konvekci a vzduch je dostatečně vlhký, objevuje se Cu *mediocris*, z něhož se může vyvinout i třetí tvar, Cu *congestus* (obr. 10). Ten vzniká, pokud je v atmosféře vyšší zásoba vlhkosti a současně je dosti vysoko vrstva výškové teplotní inverze, která zastaví proudění výškového termického proudu. Je také zpravidla předstádiem vzniku bouřkového oblaku.

Základny kumulů se vyskytují ve výšce 1 – 3 km, vrcholy *Cu humilis* dosahují 3 km, *Cu mediocris* 4 km a *Cu congestus* 5 – 7 km.



Obr. 10 : Cumulus congestus (Jan Drahekoupil, 2011)

Cumulonimbus (zkratka Cb)

Česky zvaný také jako bouřková kupa. Vzhledově je stejný jako Cu, avšak svými vertikálními a horizontálními rozměry jej podstatně převyšuje. Vzniká z kumulu za přítomnosti dostatečné zásoby vlhkosti v atmosféře, energie a absence účinné zádržné vrstvy, která by zastavila stoupající termický proud. Tmavá až černá základna oblaku je kolem 1 – 3 km nad zemí, vrchol často přestřeluje nad hranici tropopauzy a díky slunečnímu svitu se jeví bíle. Z Cb vypadávají téměř vždy intenzivní srážky ve formě velkých vodních kapek, v létě s kroupami, v zimě pak sněhové.

Pozorovat zde můžeme i doprovodné jevy jako prudký nárazovitý vítr a rychlé ochlazení. Vzniká na čele studených front druhého typu, na podružných studených frontách, na tzv. čárách instability ve vrcholícím přílivu teplého vzduchu před studenou frontou, ale také v místní vzduchové hmotě. Cb v sobě obsahuje jak vodní kapky a přechlazenou vodu, tak i led. Ve spodní části oblaku převažuje záporný elektrický náboj, v horní části kladný. Uvnitř oblaku jsou silné výstupné a sestupné proudy o rychlostech až několik desítek m/s. V době vrcholového stádia vývoje Cb se v jeho horní části utváří řasnatá struktura, která se označuje jako *capillatus*. Získá-li podobu kovadliny, nazývá se *incus*, viz obr. 11 (Dvořák, 2001).



Obr. 11: Cumulonimbus Incus

Bouřkové oblaky vždy patří k druhu *Cumulonimbus*, ale výskyt tohoto oblačného druhu nemusí mít nutně bouřkové projevy. Pojmy bouřkový oblak a *Cumulonimbus* se nicméně obvykle považují za synonyma, protože již sama existence kumulonimbu svědčí o tom, že v atmosféře jsou vhodné podmínky, které jsou pro vznik bouřky nezbytné a potenciálně k ní mohou vést (Skřehot, 2004).

3.6 Vývojová stadia konvekční bouře

Pojem konvekční bouře je obecný termín pro souhrn konvekčních procesů a jevů, které probíhají při vývoji konvekčních oblaků druhu Cb. Základní strukturální jednotkou takové bouře je tzv. konvekční cela, která je složena z jednoho výstupného proudu a následného sestupného proudění doprovázeného vypadáváním srážek. V životním cyklu jednoduché konvekční cely rozeznáváme tři vývojová stadia, která závisí na směru a mohutnosti vertikálního proudění.

Stadium kumulu

Na počátku vývoje oblaku dochází ve výstupném proudu ke vzniku a růstu vodních kapek či ve vyšších hladinách ledových krystalků. Vystupující proud se mísí s okolním vzduchem, jenž do oblaku vtéká. Kondenzuje zde velké množství vodní páry, která je výstupným proudem vynášena vzhůru. Jakmile dosáhnou kapky vody či ledové krystalky velikosti, kdy jejich pádová rychlost převýší rychlost výstupného proudu, začnou padat jako proud srážkových částic. Tyto ochlazené srážkové částice s sebou strhávají okolní vzduch a při pádu nenasycenou částí pod oblakem se vypařují. To má za následek vznik sestupného proudu, který proudí směrem od oblaku a dosahuje zemského povrchu, kde mění vlastnosti pole proudění v okolí.

Cumulus congestus (obr. 12) je jediné vývojové stadium kumulu, u kterého dochází k vývoji srážek. Stadium kumulu trvá typicky 10 až 15 minut (Řezáčová et al., 2007).

Představme si to takto – při teplotách pod 0°C menší část přechlazených vodních kapiček, které obsahují vhodná krystalizační jádra, zmrzne v ledové částičky. Protože tlak nasycené vodní páry nad ledem je menší než tentýž tlak nad kapalnou vodou, vytvoří se následně stav, kdy se kapičky přechlazené vody vypařují, zatímco ledové částice narůstají postupným nabalováním molekul vodní páry na svůj povrch. Tímto způsobem dochází k intenzivnímu narůstání ledových částic na úkor přechlazených vodních kapiček. V okamžiku, kdy jsou ledové částice tak veliké, že je stoupající proud vzduchu nedokáže udržet, vy-padávají z oblaku. Pokud při pádu teplejšími vrstvami stihnou roztát, objevují se na zemském povrchu ve formě prudkého deště. Jestliže ale neroztají, padají kroupy. Každá dešťová kapka je tedy svým způsobem roztátým kouskem ledu (Bednář, 2003).



Obr. 12: Mohutný *Cumulus congestus*, který se právě mění v *Cumulonimbus*

Během svého vývoje může horní hranice *Cumulu congestu* dosáhnout i nad hladinu s teplotou -12 °C (hladina ledových krystalků). Od tohoto okamžiku začne horní část oblaku ledovatět. Z povrchu země tento jev můžeme pozorovat jako změnu tvaru horní části oblaku z typicky ohraničeného „beránku“ na tvar jakési vějířovité kovadliny (AMS, 2013).

Stadium zralosti

Pro stadium zralosti je typický oblak druhu *Cumulonimbus*. V průběhu stadia zralosti dochází k zastavení vertikálního růstu Cb, nahromaděné ledové krystalky se

vlivem vlastní hmotnosti a tíhového zrychlení Země začnou propadat k zemi ve formě srážek a podpoří tak vznik sestupného proudu. Vzestupný proud teplého vzduchu však stále existuje, někdy dokonce ještě zesiluje, ale je lokalizován na přední stranu buňky v poli horizontálního proudění. Sestupný proud se vytváří v týlové části buňky, ve které právě poté dochází k nejintenzivnějšímu vypadávání srážek a v této fázi se také objevují první bleskové výboje. Studený vzduch, který přivádí sestupný proud sebou dolů, se roztéká po zemském povrchu a to zejména ve směru pohybu Cb, čímž na jeho čelní straně vytváří frontální rozhraní, které nadzvedává teplejší vzduch před sebou a podporuje tím další trvání vzestupného proudu.

Vzhledem k často silným nárazům větru a prudkým poklesům teploty, které studený sestupný proud pod oblakem doprovázejí, můžeme hovořit o tzv. **gust frontě**. Ta se dá charakterizovat jako rozhraní mezi chladným vzduchem vytékajícím z bouře a okolním vzduchem ve spodní části oblaku, v literatuře bývá také označována jako gravitační tok. Díky gust frontě vznikají na čele konvekční cely nové, velmi silné, výstupné proudy, které podporují vznik nových Cb a tím i možnost dalšího rozvoje bouřky (Řezáčová et al., 2007).

Kumulonimby v našich zeměpisných podmínkách dosahují výšky tropopauzy, průměrně tedy 10 km, ve výjimečných případech i 15 km. Jejich základna bývá 400 až 1000 m vysoko, někdy se tedy téměř dotýkají zemského povrchu. Výstupné proudy vzduchu stoupají rychlostí 3 až 5 m/s u spodního okraje Cb, v horních vrstvách někdy dokonce až 40 m/s, zatímco sestupné proudy jsou pomalejší, rychlost je přibližně 12 m/s (Řihánek a Postránecký, 1957). Různí autoři ale uvádějí ve své literatuře rozdílné rychlosti těchto proudů, je potřeba tedy brát tyto hodnoty přibližně. Pro stadium zralosti je uváděna délka trvání 15 až 30 minut.

Stadium rozpadu

Výstupný proud slábne a postupně zaniká, čímž dochází i k odstranění zdroje vody pro vývoj srážek. Celou buňku tak tvoří už jen studený sestupný proud, který způsobuje její rozpad. Sám ale slábne, až nakonec zcela zanikne. Ve vzduchu zanechává nesrážkový zbytek oblaku, vrstevnatě rozpadlý ve všech výškových hladinách. Typicky tak můžeme pozorovat kovadlinu tvořenou ledovými krystalky, které ale nebyly účastny srážkového procesu, ještě dlouho dobu po zániku cely. Stadium rozpadu obvykle probíhá kolem 30 minut.

Většina konvekčních bouří se skládá z více cel, ty tak mohou být v daném okamžiku v různém stadiu vývoje, vzájemně se střídají v projevech bouřkové aktivity a bouřka takto může trvat i několik hodin (Bednář, 2003).

3.7 Jevy doprovázející konvekční bouři

3.7.1 Srážky

Mezi nebezpečný jev doprovázející konvekční bouři dozajisté patří možnost produkce velkého množství srážek či přítomnost přivalového deště. Vysoká srážková intenzita ničí úrodu, vyvolává erozi půdy a může způsobit rychlé lokální povodně. Srážky se zpravidla nevyskytují po celé ploše, kterou zaujímá bouřkový oblačný systém. Na vývoji srážek se podílí celá řada procesů různých časových a prostorových měřítek, přičemž nejdůležitější je adiabatické ochlazování vzduchu unášeného výstupnými proudy.

Vyšší intenzita srážek se očekává, když do výstupného proudu vzduchu v oblaku proudí velké množství vodní páry, která se v oblaku postupně transformuje na srážkovou vodu. Největší pravděpodobnost vzniku takové situace je v pomalu se pohybujících konvekčních celách, pokud se proces nad danou oblastí opakuje, nebo má orografický vztah k dané oblasti. Úhrn srážek je ovlivněn srážkovou účinností konvekčního systému. Srážková účinnost vyjadřuje poměr množství vodní páry, vstupující do konvekčního systému k množství vody, opouštějící systém ve formě srážek. U nesrážkových oblaků je hodnota srážkové účinnosti rovna nule, u silných supercelárních bouří může po krátkou dobu dosáhnout i hodnotu vyšší než jedna (Řezáčová et al., 2007).

3.7.2 Blesky

Ani v dnešní době není přesně známo, jakým způsobem vznikají v bouřkovém oblaku elektrické náboje takové síly, že způsobují výboje blesku. Řihánek a Postránecký (1957) ve své knize zmiňují několik teorií o akumulaci těchto nábojů v mracích. I když nám dnes pomáhá výzkum atmosférické elektřiny, není možné jednoznačně určit, která z teorií je správná. Jednotlivé teorie si navíc značně odporují a nejsou úplně spolehlivé. Jako nejprijatelnější uvádějí autoři Řihánek a Postránecký teorii podle Frenkela, který považuje bouřkový oblak za koloidní soustavu, která se zelektrizuje na určitý potenciál, jež se skládá z nábojů kapek a krystalků při pádu ionizovanou vrstvou. Vznik výboje je způsoben zvětšením kapek, narušením stacionárního stavu v bouřkovém oblaku a místním zesílením elektrického pole. Tato teorie je nejvíce přijímána i v současné době (AMS, 2014).

Nehledě na tyto teorie lze obecně říci, že blesk je silný jiskrový elektrický výboj, který rozhodně patří mezi ty nebezpečnější projevy bouřky. Nejčastěji elektrické výboje vznikají uvnitř bouřkového oblaku druhu Cb, kde se v horní části nachází kladné náboje a v dolní části tohoto oblaku náboje záporné. Kladně nabitě krystaly mají tendenci stoupat nahoru a vytváří kladný náboj vrcholu mraku a záporně nabitě

krystaly a kroupy padají do středních a spodních vrstev mraku, čímž vzniká oblast se záporným nábojem. V této fázi se obvykle mluví o vnitřním blesku, lidově označovaném také jako blesk mrak – mrak nebo také CC blesk (z anglického *cloud to cloud*). Často se vyskytují i blesky do země, neboli CG blesky (*cloud to ground*), které mohou být ve vztahu k zemskému povrchu buď nabitě kladně (CG+) nebo naopak záporně (CG-). Výjimečně se lze setkat i s blesky mezi oblaky a volnou stratosférou (Dwyer a Uman, 2014).

Blesk jako silný elektrický výboj je doprovázen vysokou ionizací vzduchu ve značném prostorovém rozsahu. Průměry těchto kanálů podle četných pozorování dosahují několika milimetrů až několika centimetrů, v ojedinělých případech i přes 10 cm. Podle intenzity pozorovaných spektrálních čar plynů tvořících součást vzduchu se usuzuje, že v kanálech blesků dosahují teploty až 25 000 °C. Blesk se skládá z několika fází:

- Vůdčí výboj

Tvoří první a hlavní fázi blesku. Vytvoří opticky viditelný kanál vysoce ionizovaného a zahřátého vzduchu, jímž pak po určitý čas proudí elektrický proud. Při svém postupu k zemskému povrchu se vůdčí výboj opakovaně zastavuje (na desítky mikrosekund), což má za následek, že se nám vůdčí výboj jeví kostrbatě a přerušovaně. Tento zvláštní pohyb výboje je způsoben poklesem gradientu potenciálu pod určitou kritickou hranici. Pohyb se opět obnoví poté, co elektrické pole vzroste.

- Vstřícný výboj

Jakmile se dostane vůdčí výboj téměř k zemi, začne proti němu od vyvýšeného předmětu, kterým může být například strom, dům, vysílač, stoupat vstřícný výboj.

- Zpětný výboj

Jakmile se spojí vůdčí a vstřícný výboj, dojde k uzavření kanálu (obvodu). Tak vznikne vodivý kanál mezi zemí a oblakem. V tomto kanálu ionizovaného vzduchu se začne směrem vzhůru šířit zpětný výboj. To je nejviditelnější část blesku, kterou protéká proud o několika tisících ampér. Jeho rychlost postupu dosahuje až 20 000 km/s. Současně vzniká tlaková vlna, jejíž projev je označován jako **hrom** (hřmění). Ten je způsoben náhlým zvětšením objemu vzduchu v kanálu blesku při jeho ohřátí na velmi vysokou teplotu.

Po zpětném výboji následují v hlavním kanálu další silné výboje (v průměru tři až pět). Pomocí zvuku hromu se také dá přibližně určit vzdálenost blesku a tím vlastně i aktivní bouřkové buňky od místa pozorovatele. Zvuk se ve volné atmosféře šíří rychlostí přibližně 340 m/s. Zvuk hromu urazí tedy zhruba 1 kilometr přibližně

za 3 sekundy. Světlo bleskového výboje se v atmosféře šíří rychlostí velmi blízkou rychlosti světla ve vakuu, čili je viditelné prakticky okamžitě, jeho zvukový doprovod v podobě hromu má oproti světlu mnohonásobné zpoždění dané relativně pomalou rychlostí šíření zvuku v atmosféře.



Obr. 13. : Rozvětvený CG blesk (Dagmar Müllerová, 2012)

Blesky také můžeme rozlišit podle jejich charakteristického vzhledu. **Blesk čárový** se nejčastěji vyskytuje mezi oblakem a zemí a jeho viditelný kanál není rozvětven. Oproti tomu **blesk rozvětvený** (obr. 13) se může vyskytnout i ve formě CC, často s bohatým větvením, přičemž optická intenzita dílčích kanálů směrem od hlavního slábne. Vzácně se vyskytuje **blesk perlový** (čočkový) charakteristický opticky přerušovaným kanálem, což je zřejmě způsobeno pozorováním přes husté vypadávání srážek. Pokud je kanál blesku opticky skryt uvnitř oblaku a patrně je pouze osvětlení oblaku zevnitř, nazýváme tento **blesk plošným**. Zřídka se vyskytuje **blesk stuhový**, jehož optický kanál má výrazně širokou strukturu, což bývá vysvětleno ovlivněním kanálu silným větrem (Bednář, 2003).

Dalším druhem blesku a vzácným jevem při bouřkách je **kulový blesk**. Jeho původ není doposud zcela objasněn, většinou se usuzuje, že jde o formu existence plazmy v atmosféře nebo o jakési shluky plazmy původně vzniklé svinutím kanálů obyčejných blesků. Je vytvořen mnoha tepelnými vlnami, které se šíří po samostatných vláknech, a využívají povrchovou energii. Mívá sférický tvar o průměru několika centimetrů a v extrémních případech i několika metrů. Projevuje se jako světélkující koule v různých barvách, volně se vznášející ve vzduchu nebo klesající shora dolů. Zanikne buď explozí, nebo se tiše rozplyne. Do budov vniká nejčastěji okny nebo komínem a má destruktivní účinky, při jeho dotyku vznikají popáleniny (Smirnov, 1993).

3.8 Extrémní meteorologické jevy při bouři

3.8.1 Downburst

Downburst je velmi nebezpečný povětrnostní jev, se kterým se setkáváme v souvislosti s bouřkovou činností (obr. 14). Jeho vznik je spojován pouze s oblakem druhu Cb. Jedná se vlastně o jediný, velice silný sestupný proud studeného vzduchu, který se z bouřkového oblaku propadá k zemi, kde se pak roztéká do stran. Vždy je spojen se silnými nárazy větru, které mají často ničivé účinky. Velké nebezpečí tento meteorologický jev představuje v letectví. Pokud se letadlo do takového propadu studeného vzduchu dostane, nemůže ani svým maximálním motorickým výkonem čelit silnému sestupnému proudu a zřítí se na zem. Podle horizontálního rozsahu se *dowburst* dělí na *microburst* a *macroburst*.



Obr. 14: Downburst (Meteonetwork Italia, 2012)

Microburst

Projevuje se v prostoru do 4 km kolem oblaku Cb a jeho trvání je kratší než 15 minut. Rychlost větru zde bývá zpravidla větší než u *macroburstu*, v literatuře se uvádí až 75 m/s, ale díky krátkému trvání nenapáchá takové škody. Právě díky krátkému trvání a lokálnímu omezení se tento meteorologický jev velmi špatně registruje a monitoruje. Meteorologové tedy na něj nemohou upozornit výstrahou.

Macroburst

Macroburst znamená existenci silného větru za hranicí 4 km kolem oblak Cb. Tyto větry trvají asi 5 až 30 minut a přestože mají menší rychlost než u zmíněného

microburstu, kolem 60 m/s, škody, které mohou způsobit, jsou srovnávány s tornádem. To je dáno právě podstatně větší délkou trvání (Dvořák, 2008).

3.8.2 Derecho

Vrcholnou událostí všech konvekci indukovaných větrnými jevy se označuje derecho. Na rozdíl od tornád ničivý vítr při derechu postihuje mnohem rozsáhlejší oblast a přetrvává po výrazně delší dobu. Vítr v něm láme větší větve ze stromů, popřípadě vyvrací stromy celé, způsobuje rozsáhlé lesní polomy a významné škody na stavbách. Příčinou vzniku tak silného větru je specifická cirkulace vzduchu v některých konvektivních systémech.

Podle Weismena (2002) není možné příchod jevu kvalifikovaně předpovědět ani z pohledu pozorovatele na zemi, protože přicházející systém se často nijak významně neliší od běžného gust frontu bouřkové fronty nebo HP supercely. Určitým indikátorem potenciálního nebezpečí nicméně může být až nezvykle kompaktní vzhled zpravidla nepřerušovaného gust frontu bouřkového systému zasahujícího celý horizont (tzv. *shelf cloud*). Uprostřed léta pak může být čelo bouřky doprovázeno intenzivní bleskovou aktivitou pozorovatelnou především pod základnou oblačnosti, přesto ale téměř nedoprovázenou žádným hřměním, případně jen jakýmsi neurčitým duněním. Lze si také povšimnout podivně nazelenalého odstínu srážkové oblasti.

Zatímco bývá zvykem, že vítr po následném přechodu gust frontu začíná pozvolna slábnout, v případě derecha naopak ještě výrazně zesílí, a to až na rychlosti dosahující síly orkánu. A nemusí u něj být zřetelná ani jeho nárazovitost. Právě pro silné konstantní větrné proudění je derecho někdy nazýváno hurikánem ve vnitrozemí. Vítr si udržuje téměř konstantně svůj ničivý potenciál po dobu nejméně několika minut, v ojedinělých případech ale i desítek minut. Derecho bývá často doprovázeno i intenzivními srážkami (Psika, 2002).

3.8.3 Kroupy

Kroupami nazýváme kulové, kuželovité, nebo i nepravidelné ledové částice o průměru 5 až 50 mm, někdy i větším, které mohou vznikat v konvektivních bouřích v oblacích druhu Cb s velkou vertikální mohutností a rychlostí výstupného proudu. Právě přítomnost silných výstupných a sestupných proudů spolu s teplotou v horních vrstvách Cb pod bodem mrazu dávají vznik kroupám. Základem ledové kroupy je kapička vody, která při výstupu výstupným proudem do horní vrstvy Cb zmrzne. Sestupným proudem následně klesá do nižších, vlhčích částí oblaku, kde se na ni nabalí přechlazená voda a pokryje ji vrstvou průsvitného ledu. Takto vzniklá kroupa opět výstupným proudem stoupá vzhůru, kde naroste o další vrstvu, tentokrát neprůsvitného ledu. Při řezu kroupou je tak možné pozorovat střídání průsvitné a

neprůsvitné vrstvy. Tento cyklus se opakuje tak dlouho, dokud kroupy nepřesáhnou hmotnost, kterou již výstupný proud není schopen unést. Padají tak k zemi rychlostí až 150 km/hod. a v meteorologii je tento jev označován jako krupobití.

Vlivem nabalování vrstev vznikají někdy kroupy obřích rozměrů. Ta největší zaznamenaná spadla 3. září 1970 v Kansasu, vážila 766 gramů, její nejdelší rozměr byl 15 cm a obvod 44 cm. Za nejsilnější krupobití, které se ve světě vyskytlo, se považuje to z Bangladéše ze 14. dubna 1986. Zahynulo při něm 92 lidí a padající kroupy dosahovaly hmotnosti až 1 kg (Karas et al., 2007).

3.8.4 Tornáda

Tornádo je nebezpečný konvekční jev, který může způsobit velké místní nebo regionální škody, jakož i ztrátu lidského života. Nejčastější je výskyt tornád v USA, kde tornáda páchají každý rok škody v řádech miliard dolarů (Brázdil et al., 2012). Například Brooks a Doswell (2002) ve svém článku uvádějí, že od roku 1680 se na území Spojených států amerických vyskytlo 3600 tornád, které způsobily 20 000 úmrtí. Pokud si tato čísla přepočítáme, zjistíme, že každých 6 dní zemře díky tornádu v USA jeden člověk. Za velmi častý výskyt tornád ve Spojených státech amerických může střet chladného vzduchu z Arktidy s velmi teplým, vlhkým vzduchem z Mexického zálivu a horským, suchým vzduchem z pouští Arizony a Nového Mexika. Tornádo však není v 21. století nic výjimečného ani na území Evropy, a přestože z hlediska frekvence, intenzity a rozsahu převažují slabší tornáda, jejich účinky nelze ignorovat. Pravděpodobně první tornádo u nás líčil Kosmas ve své knize Kronika česká. Vyskytlo se 30. 7. 1119 v Praze a Kosmas jej popisuje jako satanův vír, jenž udeřil na palác na Vyšehradě (Krška a Šamaj, 2001).

Tornádo definujeme jako silně rotující vír (se zhruba vertikální osou), vyskytující se pod spodní základnou konvektivních bouří, který se během své existence alespoň jednou dotkne zemského povrchu a je dostatečně silný, aby na něm mohl způsobit hmotné škody. Kemel (2000) uvádí, že ve víru při zemi vzniká značný podtlak, který způsobuje kondenzaci vodní páry a také zde dochází k silnému sání. Víř je schopen nasát volné předměty či dokonce vodu z moře či nádrží. Jsou známy ve světě i případy, kdy tornádo vyčerpalo vodu z koryta řeky a postižené koryto tak bylo kratší dobu zcela bez vody.

Klasická tornáda jsou vázána na supercely (sem patří všechna silnější tornáda), ale část se jich může vyskytnout i na relativně slabších konvektivních bouřích; takováto tornáda však zpravidla nedosahují ničivějších účinků. Je potřeba zmínit i tzv. **trombu** (obr. 15), což je víř v atmosféře s jinou než horizontální osou a průměrem řádově jednotek, desítek, výjimečně i stovek metrů, který se ve většině

případů (na rozdíl od tornáda) nedotkne zemského povrchu. Např. podle Meteorologického slovníku výkladového a terminologického (Sobíšek et al., 1993) je tornádo označováno jako druh silné tromby.



Obr. 15: Tromba ze dne 5. 5. 2013 u Slavětina (Michal Coufal, 2013)

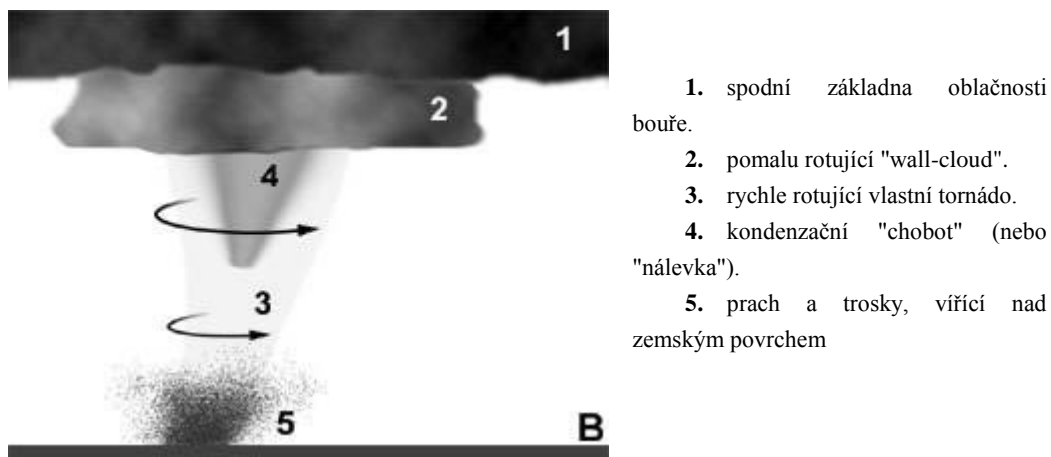
Průměr sloupce rotujícího vzduchu v tornádu je řádově od jednotek do stovek metrů (výjimečně i několika kilometrů). Rychlost horizontálního proudění v tornádu může nabývat různých hodnot, v horní hranici není přesně vymezena, jelikož ji lze obtížně změřit. Proto se rychlost většinou odhaduje podle tzv. **Fujitovy stupnice** (viz tab. 1), která sílu rotujícího víru odhaduje na základě škod způsobených tornádem na zemském povrchu. Fujitova stupnice sahá od nejslabšího stupně F0 (rychlost 18 – 32 m/s) k nejsilnějšímu možnému tornádu stupně F5 (rychlost 120 m/s a větší). Rychlosti větru v této stupnici jsou však pouze typickými hodnotami, hrubě orientačními, odvozenými na základě působení tlaku větru na různé materiály, stavby či konstrukce. Berou se zde v úvahu typické stavební poměry pro oblast Severní Ameriky, které se ovšem od evropských standardů liší. Není tedy možné ji taxativně aplikovat na škody způsobené tornády v oblasti střední Evropy.

Souběžně s Fujitovou stupnicí se v části Evropy používá alternativa v podobě TORRO stupnice, která kategorizuje tornáda do 11 stupňů (T0 – T10).

Tab. 1: Fujitova stupnice doplněná o odpovídající stupně podle tzv. TORRO stupnice (Řezáčová et al., 2007)

stupeň	rychlost větru (m/s)	škody
F0 (T0, T1)	17-32	lehké; polámané větve stromů, poškozené reklamní tabule, ploty, drobné škody na střechách domů
F1 (T2, T3)	33-51	mírné; posunuta lehká obydlí, zničeny chatrné přístřešky, vyvrácené větší stromy
F2 (T4, T5)	52-72	středně těžké; poničeny nebo odneseny střechy, menší automobily jsou nadnášeny, vývraty a polomy osamocených stromů
F3 (T6, T7)	73-95	značné; poničené domy, nadnášena i větší vozidla, převrácené vlaky či lokomotivy, polomy a vývraty lesních porostů
F4 (T8, T9)	96-120	těžké; zděné a kamenné budovy silně poškozeny, auta unášena vzduchem nebo odtažena na velké vzdálenosti, pahýly stromů zbaveny kůry
F5 (T10)	nad 120	totální zkáza; poškozeny i železobetonové budovy, automobily odneseny vzduchem na velké vzdálenosti, pole zbavena vegetace

Součástí tornáda je kondenzační chobot (obr. 16), který zdánlivě visí od základny Cb směrem k zemskému povrchu, a zviřený oblak prachu a různých trosk vystupující od země směrem vzhůru. Tento chobot, díky němuž tornádo vidíme, mívá vzhled různě širokého kužele směřujícího svou užší částí k zemi, v některých případech může mít tvar širokého válce nebo naopak úzkého útvaru ve formě lana nebo trubky. V okamžiku, kdy se kondenzační chobot a prašný vír propojí, je tornádo ve své nejsilnější fázi (Řezáčová et al., 2007).



Obr. 16: Schéma tornáda (AMS a ČHMÚ, 2013)

Spolu s tornádem lze někdy pozorovat přítomnost jednoho či více sekundárních vírů o průměru 0,5 – 50 metrů, které označujeme jako **savé víry**. Mohou mít stálou polohu, nebo obíhají kolem středu tornáda. Savé víry jsou důsledkem vln přeložených přes primární vír, jsou značně nestabilní a zvláště nebezpečné. Vznikají uvnitř či na periferii „mateřského“ tornáda a mají velmi krátkou životnost, řádově v sekundách až desítkách sekund. Savými jsou označovány pro svůj zjevně velmi silný savý efekt, směřující směrem vzhůru. Mechanismus jejich vzniku není doposud zcela zřejmý. Jsou známy případy, kdy doprovodný savý vír napáchal více škody než samotné tornádo (Setvák et al., 2004).

Na území ČR se poprvé povedlo prokazatelně zdokumentovat supercelární tornádo s doprovodnými savými víry při silné konvekční bouři z 31. 5. 2001 u obce Milošovice v okrese Kutná Hora (Šálek et al., 2002).

4 Pozorování bouřek

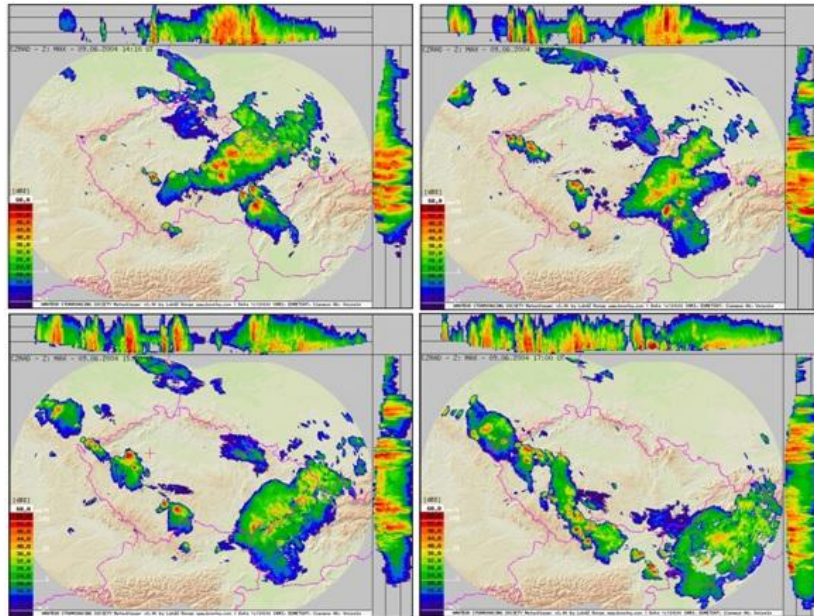
4.1 Radarové pozorování

Radary se začaly používat ve druhé světové válce, kdy pomáhaly odhalovat nepřátelská letadla. Tato pozorování ale komplikoval šum, jehož příčinou byl výskyt oblačnosti a srážek. A tak netrvalo dlouho a radiolokátory se začaly používat i pro meteorologické účely. Na tehdejší území Československa byl první takový radar zprovozněn v roce 1969 a jednalo se o prototyp Tesla RM-2. Od té doby se radarová meteorologie posunula od ručního měření až k dnešní automaticky zaznamenávané radarové informaci a hlavně k celoevropské spolupráci.

Radarová pozorování srážek mají výhodu měření z jednoho místa na velké ploše v reálném čase, zachycují dobře prostorovou a časovou variabilitu srážek. Nevýhodou je nemožnost změřit množství spadaných srážek, to se tak pouze odhaduje.

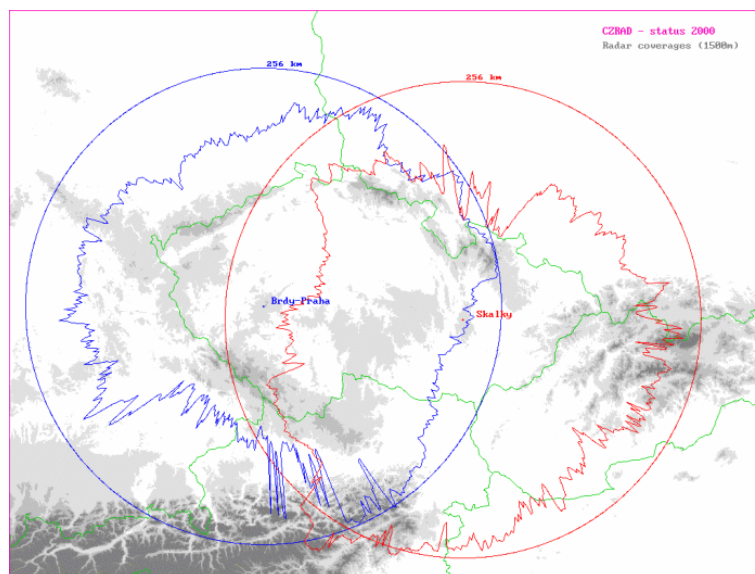
Výskyt atmosférických srážek a srážkové oblačnosti detekujeme pomocí meteorologických radiolokátorů do vzdálenosti přibližně 200 až 300 kilometrů. Jejich funkce spočívá na schopnosti vodních kapek, sněhových vloček nebo ledových krystalů zpětně rozptylovat radiovlny. Vysílač radaru vydává do atmosféry krátké pulsy s vysokým okamžitým výkonem elektromagnetické energie přes parabolickou anténu o průměru několika metrů. V atmosféře následně dochází k odrazu části energie od cílů a výsledná odražená energie je opět přijata anténou, zesilována a zpracována přijímačem radaru. Čas mezi vysláním impulzu a přijetím radarového odrazu určuje vzdálenost cíle, azimut a elevace antény pak udávají směr výskytu cíle. Právě rotací antény v azimutu na různých úhlech je získávána třírozměrná informace o prostorovém rozložení radarových cílů v atmosféře.

Obvyklý interval měření je 5 až 15 minut. Výsledná data jsou následně zobrazována v barevné stupnici intenzit na počítačovém monitoru. Modrá barva značí srážky slabší intenzity, žlutá, oranžová a červená ukazují na přítomnost silné radarové odrazivosti a tedy i vydatných srážek případně krupobití, které se zobrazuje bílou barvou (viz obr. 17).



Obr. 17: Postup bouřek z 9. 6. 2004 na radarových snímcích (ČHMÚ, 2004)

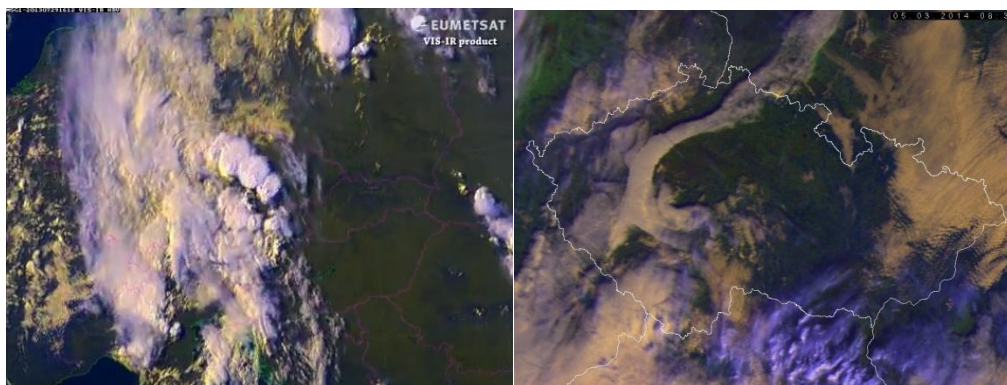
K nejčastějšímu způsobu předpovědi bouřky slouží informace z České radarové sítě CZRAD. V ČR se používají dva meteorologické radary, které jsou zapojeny do středoevropské radarové sítě CERAD (*Central European Weather Radar Network*):jeden je na kótě Praha v Brdech a druhý na kótě Skalky na Dražanské vrchovině (obr. 18). Oba tak nabízejí sloučenou informaci pokrývající celou ČR a její nejbližší okolí. Vyhodnocení a zpracování těchto radarových snímků se provádí v sídle ČHMÚ v Praze – Libuši. Animací snímků přijatých z těchto radarů, které jsou volně dostupné na internetových stránkách ČHMÚ, dostane amatérský meteorolog přehled o aktuálním pohybu a struktuře srážek a lze je využít i pro krátkodobou předpověď vývoje počasí (Zacharov et al., 2004).



Obr. 18: Pozice meteorologických radiolokátorů na území ČR (ČHMÚ, 2010)

4.2 Družicové pozorování

První čistě meteorologickou družicí byla TIROS 1, která byla vypuštěna na oběžnou dráhu Země v roce 1960. Od té doby postupně přibývaly další a dnes jich obíhá okolo Země několik desítek a to dvojího druhu. První jsou geostacionární družice, které jsou rozmístěny nad rovníkem ve výšce zhruba 36 000 km, a jejich oběžná doba je 24 hodin. Drží se stále nad jedním bodem zemského povrchu a mohou tak pozorovat stále jednu oblast Země. U nás nejznámější jsou družice **Meteosat** (snímek z družice na obr. 19 vlevo), které vypouští a provozuje organizace EUMETSAT. Data z nich nejsou bohužel volně přístupná, přístup mají pouze meteorologové ČHMÚ na intranetu a licencovaní externí uživatelé. Veřejnost je odkázána jen na silně zredukovaná data oficiálně publikovaná na internetových stránkách EUMETSAT. Informace z Meteosatu mohou být částečně zkreslené vlivem velké vzdálenosti od zemského povrchu. Tento nedostatek nám pomáhají odstranit družice polární. Ty se pohybují ve výškách přibližně 600 až 1500 km nad zemským povrchem a informace získané z nich obsahují především informace o rozložení a struktuře oblačnosti, atmosférickém proudění, o stavu zemského povrchu a vodních hladin, znečištění ovzduší, dále informace o rozložení a intenzitě záření zemského povrchu, oblačnosti, mlh apod. V ČR jsou využívány snímky z družice **Metop**, opět provozované organizací EUMETSAT, a **NOAA** (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, obr. 19 vpravo), jejíž snímky a data jsou volně šiřitelná a dostupná na internetových stránkách (Charvát, 2006).

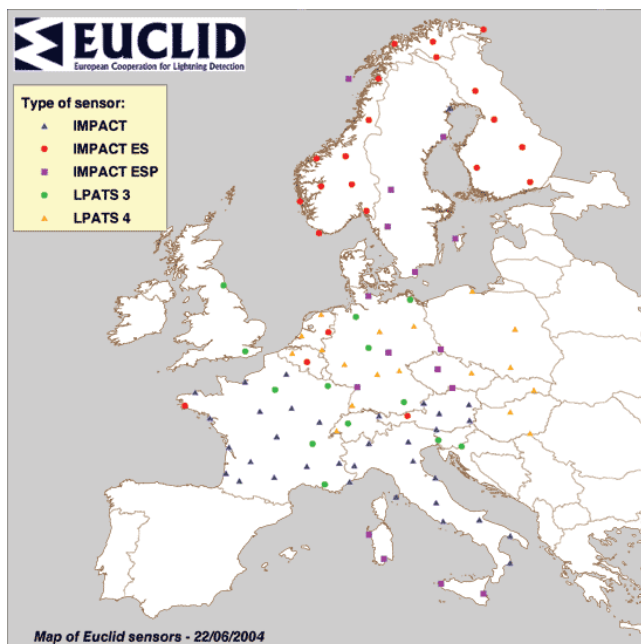


Obr. 19: Vlevo záběr z družice Meteosat s patrnou konvektivní činností, vpravo snímek běžné oblačnosti z družice NOAA (AMS a ČHMÚ, 2013)

4.3 Detekce blesků

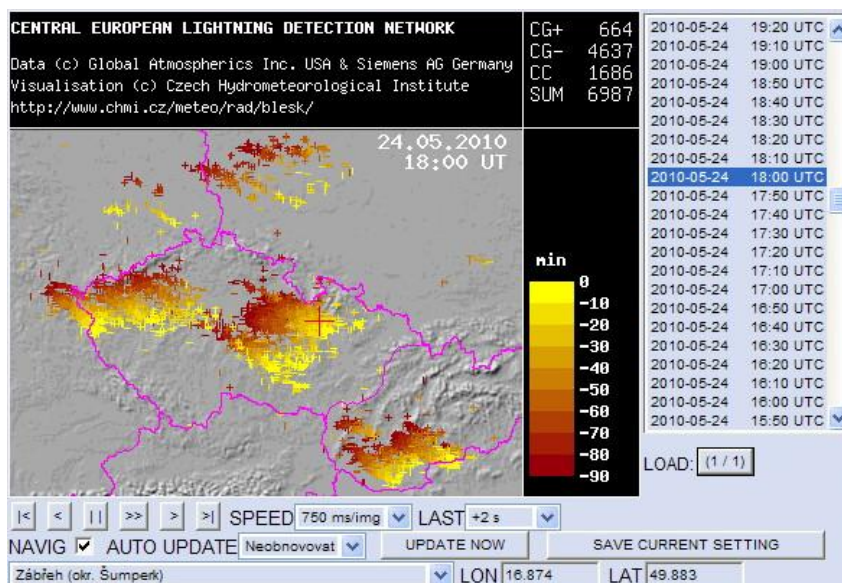
Na našem území využíváme data ze sítě CELDN (*Central European Lightning Detection Network*), zaměřené zejména na oblast České republiky a našich nejbližších sousedů (Německo, Rakousko, Maďarsko, Slovensko a Polsko). Síť CELDN spadá pod celoevropskou jednotnou detekční síť pod názvem EUCLID

(*European cooperation of lightning detection*), jenž se skládá ze 140 senzorů detekujících blesky na území 19 evropských států (obr. 20).



Obr. 20: Síť detekčních senzorů v rámci EUCLID (ČHMÚ, 2010)

Data jsou volně dostupná buď na stránkách organizace EUCLID (celoevropsky), případně přímo na stránkách ČHMÚ (zobrazena pouze pro ČR a nejbližší okolí), a mimo jiné slouží pro zhodnocení bouřky z hlediska intenzity (viz obr. 21). Data je možné zobrazovat v 15 minutových intervalech v reálném čase, zpětně maximálně za 60 hodin. Obecně platí, že čím je vyšší koncentrace blesků na jednotku plochy, tím intenzivnější projev právě probíhající bouře má. Dat z detekce blesků je ale také možné využít pro aktuální zjištění polohy bouřky (EUCLID, 2014).



Obr. 21: Záznam z detekce blesků z 24. 05. 2010. Lze z něj odhadnout i směr postupující bouřky a to díky barevnému rozlišení časového záznamu blesků: žlutě jsou znázorněny nejnovější, červeně poté nejstarší blesky (ČHMÚ, 2010)

4.4 Amatérské pozorování

4.4.1 V ČR

Bouřek v České republice dlouhodobě ubývá, za deset let je to o dva dny. Průměrně se na našem území během roku vyskytuje 20 bouřkových dnů, nejčastěji poté samozřejmě v letních měsících. Na květen připadají 4 dny s bouřkou, na červen pět, v červenci necelých pět a v srpnu opět čtyři dny. Od 60. let dochází k poklesu počtu bouřkových dnů. Tento trend je statisticky významný pro celý rok a zvláště pak pro vybrané měsíce (Turbulence, 2013).

V souvislosti s amatérským pozorováním bouřek se často používá termín „lov bouřek“ (*storm chasing*). Jak takové lovení bouřek v České republice vypadá? Na rozdíl od amerických kolegů se nemusí v České republice tolik cestovat, protože většina lovců loví bouřky ve svém okolí, ale samozřejmě jsou i tací, kteří jsou ochotni přejet celou republiku. Příprava probíhá již týden dopředu a začíná sledováním modelů počasí.



Obr. 22: Amatérští pozorovatelé v terénu (Tomáš Chlival, 2012)

Vybavením lovců je fotoaparát, konkrétně digitální zrcadlovka, několik výměnných objektivů k ní a stativ (obr. 22). Někteří pozorovatelé používají i detektor blesků, který se propojí s fotoaparátem a poté funguje vlastně jako samospoušť. Lze tedy fotit i za denního světla, kdy lidská reakce není natolik dostačující, aby stihla zmáčknout včas spoušť fotoaparátu. Další pomůckou je kapesní detektor blesků, nejčastěji webová aplikace stažená přímo v mobilním telefonu, která každých 15 minut zachycuje radarově blesky zaznamenané nad územím České republiky a souhrnně zde uvádí i jejich počet a typ, zdali se jedná o

CG či CC blesky. Ten se ale přímo v terénu již moc nevyužívá, protože lovec bouřek takovou situaci už zná a ví, co se děje.

V posledních letech je běžné si sebou brát notebook či tablet s připojením na internet, lovec bouřek tak může v reálném čase přímo z terénu pozorovat meteorologické radary a tím i směr a intenzitu bouřky. Dá se samozřejmě ale nahradit lepším mobilním telefonem s internetovým připojením.

S koncem bouřky ale nekončí úloha amatérského meteorologa. Je nutné stáhnout právě pořízené snímky či videa do počítače, zapsat dostupná data jako místo výskytu, čas, směr, rychlost větru (pokud je známá) a zdali se vyskytly nějaké další jevy doprovázející bouřku, popřípadě doplnit obrázky z radarových a satelitních snímků či záznamy z detekční sítě blesků. Na základě těchto skutečností vznikají na www.bourky.com jednotlivé články o konkrétních bouřkách očima vícero pozorovatelů.

Práce amatérských pozorovatelů je přínosná také pro Český hydrometeorologický ústav, jelikož pomáhá doplnit informace o pozorovaných jevech o podklady přímo z terénu.

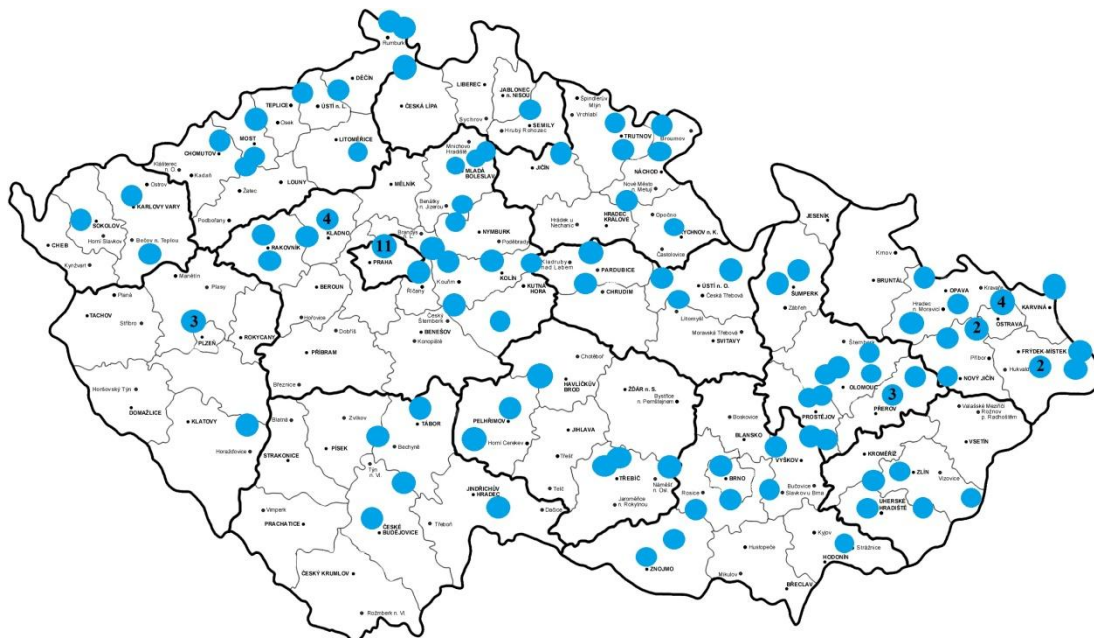
Projekt databáze pozorování bouřek

V roce 2005 vznikla myšlenka vytvořit systematickou databázi pozorování bouřek. Vznikl tak projekt Amatérské meteorologické společnosti o. s. dostupný na internetové adrese www.report.bourky.cz. Webová aplikace pomocí interaktivního formuláře umožňuje registrovaným uživatelům (obr. 23) vkládat informace (texty, fotografie, grafy, tabulky), které se týkají pozorovaných bouřkových jevů na území České republiky. Tyto informace mají pak uživatelé možnost zobrazit buď jako formulářový záznam, nebo ve formě mapového výstupu. Cílem tohoto nápadu je sjednocení metodiky pozorování bouřek a soustředění všech získaných dat na jednom místě s možností vyhledávání podle mnoha parametrů a zobrazování dat na mapovém podkladě. Získaná data slouží ke zpětnému vyhodnocení bouřkových situací a jsou dostupná jak veřejnosti, tak státním institucím (ČHMÚ). Na obr. 25 je znázorněn výskyt bouřek na našem území za rok 2013 zaznamenaný amatérskými pozorovateli.

Společný projekt pozorování tornád a jevů příbuzných na území ČR

V srpnu 2013 byl spuštěn společný projekt Amatérské meteorologické společnosti o. s. a Českého hydrometeorologického ústavu, který vznikl na základě dlouhodobé spolupráce ČHMÚ s jednou ze skupin amatérských meteorologů. Výsledkem je vznik internetové stránky <http://www.tornado-cz.cz/>, na které se podílejí obě strany, a jejíž hlavním cílem je shromáždit data o výskytu tornád a

dalších příbuzných jevů na území ČR. Role amatérských meteorologů je zde velmi důležitá, jelikož odborníci z ČHMÚ, kteří se na dokumentaci tornád podíleli či podílejí, mají vzhledem ke svým oficiálním úkolům čím dál méně času na problematiku tornád (AMS, ČHMÚ, 2014).



Obr. 23: Mapa amatérských pozorovatelů vytvořená na základě databáze z www.report.bourky.cz

4.4.2 V USA

Na území Spojených států amerických probíhá lov bouřek (neboli *storm chasing*) obdobně, ale v podstatně větším měřítku. Na amatérské úrovni se pozorování a výjezdům za bouřkami věnuje tisíce lidí, což je dáno jednak rozlohou země, ale také faktem, že díky příznivým faktorům jsou zde mimořádné podmínky pro konvektivní činnost. Ta je v mnoha případech spojena s výskytem tornáda, krup obřích rozměrů či velmi silné HP supercely.

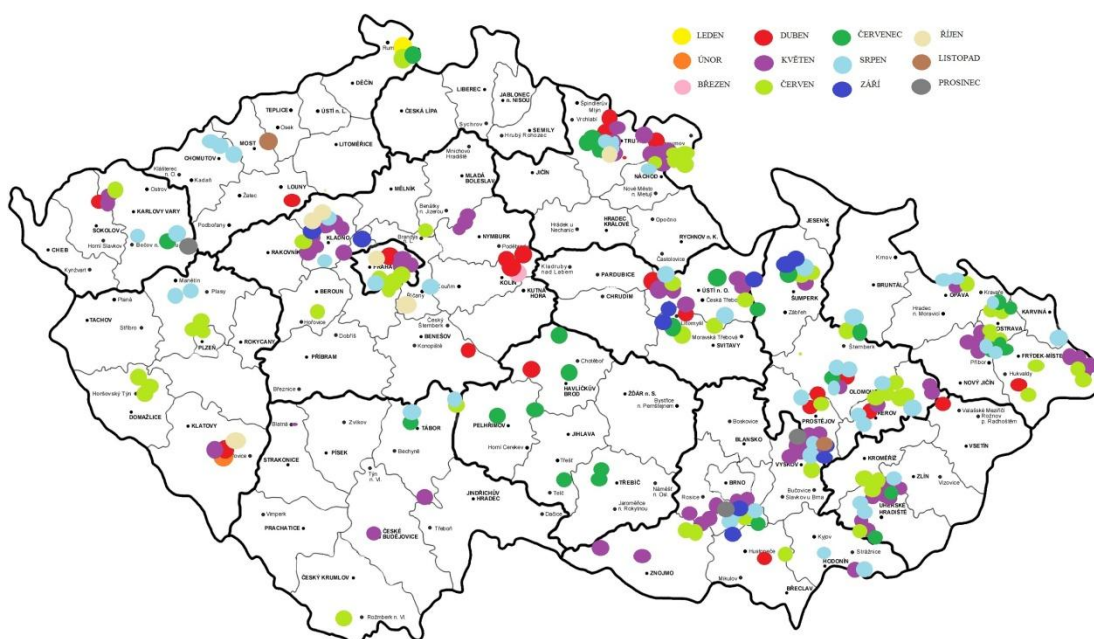
Někteří amatérští pozorovatelé vlastní technicky upravené osobní automobily, některé v sobě nesou přenosný radar, jiné jsou zase schopny odolat tornádu (viz obr. 24). I díky většímu nebezpečí ze strany projevů bouřek také více spolupracují s místními úřady. Při prvním pozorování tornáda ohlašují jeho výskyt a úřady tak mohou vydat varování pro obyvatelstvo. Bohužel lov bouřek v USA je koníček opravdu nebezpečný, při tornádu 31. 5. 2013 zemřel jeden z nejznámějších „*storm chaserů*“ Tim Samaras (Discovery, 2014).



Obr. 24: Dominator 3, speciálně upravený automobil schopný přežít tornádo (TVNweather.com, 2013)

5 Výsledky

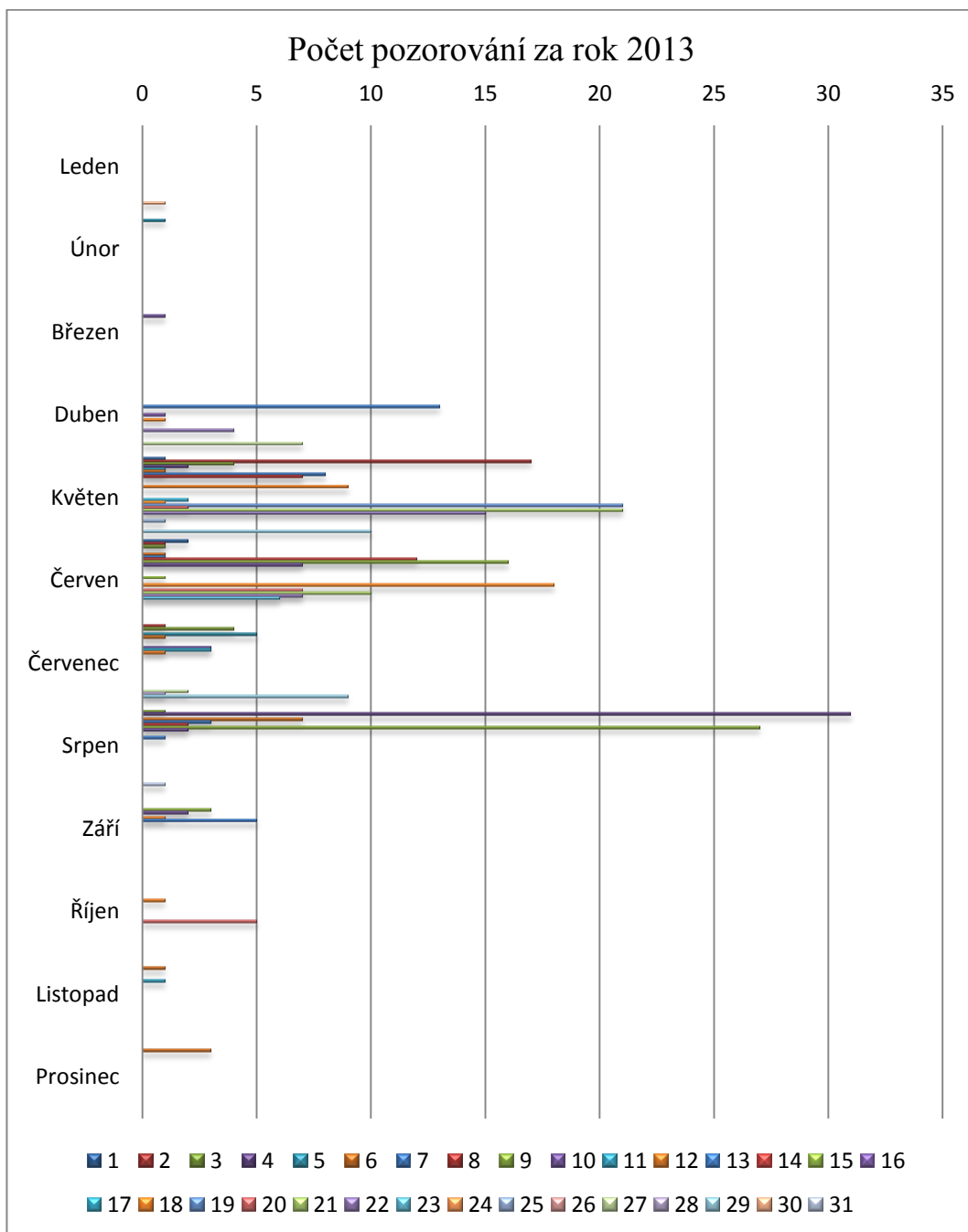
Ve výsledcích přiblížím a shrnu bouřkovou sezonu v roce 2013, která podle meteorologů a amatérských lovců bouřek byla spíše podprůměrná. Začala poměrně slibně a to již koncem dubna, ale poté nastala poměrně dlouhá pauza. 18. 6. až 20. 6. vznikaly v extrémně vlhkém velmi teplém vzduchu bouřky při mimořádně vysokých hodnotách CAPE (*Convective available potential energy*), což je světově nejpoužívanější ukazatel konvekce v atmosféře (Sulan a Pešice, 2004).



Obr. 25: Mapa pozorování podle databáze pozorování bouřek za rok 2013. Jednotlivé měsíce jsou barevně odlišeny a místa výskytu jsou dána převážně polohou pozorovatelů, viz mapa pozorovatelů na obr. 23

Obvykle bouřkově aktivní červenec byl zprvu pro všechny zklamáním, protože bouřek bylo minimum. Pak ale přišlo pondělí 29. 7. 2013 a příroda začala „řádit“. Česká republika dostala od Estofexu (evropský projekt pro předpovídání bouřek) nejvyšší stupeň upozornění číslo 3 a ten se vyplnil. Nejvíce bouřek se odehrávalo v Jeseníkách, v Beskydech nebo Středních Čechách. V srpnu byly nejméně aktivními bouřkami derecha z 4. 8. a 6. 8. vyznačující se silnými nárazy větru (přes 30 m/s) a vydatnými srážkami. To je patrné i z obr. 26, na kterém graf znázorňuje výskyt bouřek nad naším územím zaznamenaných amatérskými pozorovateli, kdy 4. 8. bylo pozorováno 31 bouřek, což bylo maximum v daném roce. Tím ale výraznější bouřková aktivita nad naším územím skončila a do konce roku 2013 se vyskytly bouřky již jen ojediněle a slabšího charakteru.

Později se ukázalo, že přítomnost velmi silných bouřek nemusí znamenat to, že musí i nejvíce napršet. Červenec byl srážkově spíše nadprůměrný, ale počty dnů s bouřkou tomu neodpovídaly.



Obr. 26: Graf počtu pozorování bouřek amatérskými pozorovateli (www.report.bourky.cz) v jednotlivých dnech v roce 2013

Pro české družicové meteorology měla tato sezona jednu zvláštnost. V rámci organizace EUMETSAT, která provozuje meteorologické družice nad územím Evropy, totiž měli domluvený projekt, díky kterému mohli z družic snímat dvakrát častěji než obvykle, tedy po dvou a půl minutách (Turbulence, 2013).

Z pohledu družic pak byly nejlépe pozorované bouřky 20. června a 29. července. Podařilo se jim zachytit poměrně mohutné bouře, které pokrývaly velkou část Německa, Rakouska a část České republiky. Přesto každá z těchto bouří byla odlišná a výjimečná. 20. července se jednalo převážně o izolované samostatné bouřkové buňky, zatímco 29. července to zpočátku přes den na bouřky vůbec nevypadalo, přestože byly meteorology předpovídaný. V odpoledních hodinách se ale začaly tvořit bouřky i nad naším územím načež se spolu s bouřkami nad Rakouskem a Německem spojily v jeden mohutný systém, velikostí srovnatelný s územím Čech, který v následujících hodinách napáchal poměrně velké škody.

V případě, že jsou očekávány na našem území silnější bouřky, vydávají se výstrahy. Žlutý, tedy nejnižší stupeň předpokládá, že vítr v bouřkách v nárazech přesáhne 20 m/s, nebo že během krátké doby naprší přes 30 mm. Oranžový, tedy druhý stupeň nebezpečí očekává „velmi silné bouřky“ s nárazy větru přes 25 m/s, srážkovými úhrny přes 50 mm nebo kroupami přes 2 cm. Třetí stupeň nebezpečí, ten nejvyšší, barvy červené, předpokládá „extrémně silné bouřky“. V nich nárazy větru přesahují 30 m/s, naprší přes 90 mm nebo padají kroupy větší než 4 cm.

Na obrázku č. 27 je uveden přehled bouřek oranžového a červeného stupně nebezpečí v ČR v roce 2013. Jedná se o záznamy z meteorologických stanic, a jelikož ty nejsou rozmístěny po celé republice, je proto pravděpodobné, že se bouřky podobné intenzity vyskytly i jinde.

Bouřky v ČR v roce 2013							
stupeň nebezpečí	datum	čas události	kraj	okres	místo	nebezpečný jev	intenzita
2	19.5.2013	19:30	Středočeský	Benešov	Hulice	vítr-náraz	29,1 m/s
2	19.5.2013	19:10	Vysočina	Pelhřimov	Košetice	vítr-náraz	27,4 m/s
2	19.5.2013	21:00	Liberecký	Liberec	Liberec	vítr-náraz	25,6 m/s
2	18.6.2013	19-22 hod.	Olomoucký	Přerov		supercela	
2	18.6.2013	19-22 hod.	Zlínský	KM, ZL, UH		supercela	
3	18.6.2013	17:30	Moravskoslezský	Bruntál	Krnov	tornádo	F1
2	20.6.2013	22:00	Plzeňský	Plzeň	Plzeň-Mikulka	vítr-náraz	27,0 m/s
2	20.6.2013	23:10	Ústecký	Ústí nad Labem	Ústí nad Labem	vítr-náraz	25,2 m/s
2	29.7.2013	19-22 hod.	Praha	Praha	Praha-Chodov	srážky	57 mm
2	29.7.2013	19-23 hod.	Královéhradecký	Náchod	Rozkoš	srážky	73 mm
3	29.7.2013	19-24 hod.	Liberecký	Jablonec nad Nisou, Liberec	Bedřichov, Hejnice, Nové Město pod Smrkem	srážky	91 až 117 mm
3	29.7.2013	17:50	Středočeský	Benešov	Vlašim	vítr-náraz	39,2 m/s
3	29.7.2013	19:40	Pardubický	Chrudim	Skuteč	vítr-náraz	35,5 m/s
3	29.7.2013	19:00	Vysočina	Jihlava	Kostelní Myslová	vítr-náraz	31,0 m/s
2	4.8.2013	14:40	Ústecký	Chomutov	Chomutovsko	kroupy	přes 2 cm
2	4.8.2013	18:30	Pardubický	Pardubice	Mokošín	vítr-náraz	29,8 m/s
2	4.8.2013	18:50	Vysočina	Třebíč	Dukovany	vítr-náraz	29,8 m/s
3	4.8.2013	17:00	Praha	Praha	Praha-Karlov	vítr-náraz	31,4 m/s
3	4.8.2013	17:50	Středočeský	Kutná Hora	Chotusice	vítr-náraz	31,6 m/s
3	4.8.2013	16:10	Jihočeský	Strakonice	Kocelovice	vítr-náraz	33,9 m/s
3	4.8.2013	16:00	Plzeňský	Plzeň	Plzeň-Mikulka	vítr-náraz	30,9 m/s
2	6.8.2013	kolem 21:00	Středočeský	plošně		vítr-náraz	přes 25 m/s
2	6.8.2013	19-22 hod.	Karlovarský	Karlovy Vary	Klínovec	srážky	50,1 mm
2	6.8.2013	20:00	Plzeňský	Plzeň	Plzeň-Mikulka	vítr-náraz	25,7 m/s
3	6.8.2013	21:10	Praha	Praha	Praha-Karlov	vítr-náraz	32,4 m/s
3	6.8.2013	19-22 hod.	Ústecký	Chomutov	Měděňec	srážky	92,5 mm
2	19.8.2013	18:30	Jihomoravský	Brno-město	Brno-Tuřany	vítr-náraz	25,2 m/s

Obr. 27: Přehled bouřek na meteorologických stanicích v roce 2013 (ČHMÚ, 2014)

6 Diskuze

Bouřky v dnešní době sleduje spousta lidí, ale většina nemá o pozorování ani základní znalosti, můžeme je považovat za naprosté laiky. Naproti tomu jsou zde profesionálové převážně z řad zaměstnanců ČHMÚ, kteří občany informují prostřednictvím televizního vysílání či svých internetových stránek o stavu a vývoji počasí.

A další skupinou lidí jsou právě amatérští pozorovatelé. Od naprostých laiků je odlišuje jistá znalost základů meteorologie a uplatnění těchto základů v praxi. Většinou se jedná o lidi, kteří se věnují zaměstnání nesouvisejícímu s meteorologií či předpovídáním počasí, a kteří převážně v letních měsících a za příznivých předpovědí věnují pozorování veškerý svůj volný čas. V jistých ohledech spolupracují s profesionálními meteorology z ČHMÚ, protože ti i přes své znalosti a zkušenosti nemají možnost být přítomni pozorování přímo v terénu.

Právě díky spolupráci ČHMÚ a občanského sdružení amatérských meteorologů a pozorovatelů bouřek Amatérská meteorologická společnost o. s. vznikla oficiální internetová databáze tornád v ČR dostupná na adrese <http://www.tornada-cz.cz/>.

Kooperace mezi amatérskými pozorovateli a úřady u nás není ještě tak propojená jako u amerických „stormchaserů“, ale díky moderním technologiím a možnostem ČHMÚ a zapálenosti a dychtivosti jejich amatérských kolegů se do budoucna bude spolupráce i v naší zemi dozajista prohlubovat.

7 Závěr

Jak již bylo uvedeno, bouřek v České republice dlouhodobě ubývá. Jejich pozorování se ale věnuje čím dál více lidí. Na této skutečnosti má svůj jistě hlavní podíl především rozšíření internetu a snadná dostupnost technických prostředků, které umožnily lidem v daleko větší míře sdílet své znalosti a zkušenosti. Proto jsem se v teoretické části práce zaměřila na jednoduchý popis bouřek a jejich doprovodných jevů. Popsala jsem jevy nebezpečné pro dnešní společnost s přihlédnutím na podmínky naší republiky, ve světě se tyto jevy díky odlišným klimatickým podmínkám samozřejmě vyskytují v mnohem větší míře a je jim také věnováno daleko více pozornosti. V druhé části jsem se zaměřila na bouřku jako předmět pozorování, kde se snažím z praktického hlediska vysvětlit dobrovolnou činnost amatérských pozorovatelů bouřek v České republice a jejich dostupné možnosti potřebné k samotnému pozorování. Hlavním cílem těchto „lovců bouřek“ je především monitorování možných nebezpečných doprovodných jevů, mezi které patří krupobití, nárazy větru nebo přívalové srážky. Snem každého lovce bouří je samozřejmě pozorování supercelární bouře nebo tornáda. Nejsme ale v Americe, a tak se většina pozorovatelů nakonec spokojí s fotografováním blesků, rozličných oblačných útvarů či húlavy, nebo se věnuje oblíbenému intervalovému snímání oblačnosti, které, v počítači upraveno a zrychleno, odhalí dynamiku viditelných procesů v atmosféře.

V posledních letech se prohlubuje role amatérských pozorovatelů a jejich spolupráce s profesionály. Mnozí amatéři se dokážou vypracovat na úroveň srovnatelnou s profesionálními meteorology, v takových případech je spolupráce prospěšná oboustranně nejen při dokumentaci bouřek a nebezpečných jevů, k získávání informací v reálném čase (varování obyvatel), ale i kvůli možnosti následného průzkumu škod apod. Zatím je oficiálně vytvořený jeden společný projekt (databáze tornád a příbuzných jevů), známá je především neoficiální spolupráce, kdy lovci bouřek poskytují „oči v terénu“ a profesionálové na oplátku data běžně nedostupná.

8 Seznam použité literatury

- AMS, 2013:** Teorie bouřek [online]. Amatérská meteorologická společnost, <http://www.bourky.com/teorie-bourek-iii/>, cit. 30. 12. 2013
- AMS, 2014:** Projekt CG blesky [online]. Amatérská meteorologická společnost, <http://www.bourky.com/projekt-cg-blesky>, cit. 22. 3. 2014
- AMS, ČHMÚ, 2014:** Projekt pozorování tornád [online]. Amatérská meteorologická společnost a ČHMÚ, <http://www.tornada-cz.cz/>, cit. 4. 4. 2014
- Batigne S., Bourbonniere J., Fredette N., 2001:** Understanding Climate and the Environment. QA International, Montreal: 128 s.
- Bednář J., 2003:** Meteorologie. Portál, Praha: 223 s.
- Brázdil R., Chromá K., Dobrovolný P., Černocho Z., 2012:** The tornado history of the Czech Lands, AD 1119–2010. Atmospheric Research 18: 193–204 s.
- Brooks H. E., Doswell Ch. A., 2002:** Deaths in the 3 May 1999 Oklahoma City Tornado from a Historical Perspective. Weather and Forecasting 17: 354–361 s.
- Discovery, 2014:** Storm Chasers, [online]. Discovery communications, LLC, <http://www.discovery.com/tv-shows/storm-chasers/bios/tim-samaras.htm>, cit. 26. 2. 2014
- Dvořák P., 2001:** Ilustrovaný atlas oblaků. Svět křídel, Cheb: 122 s.
- Dvořák P., 2008:** Počasí takřka populárně. Svět křídel, Cheb: 224 s.
- Dvořák P., 2010:** Letecká meteorologie. Svět křídel, Cheb: 481 s.
- Dwyer J. R., Uman M. A., 2014:** The physics of lightning. Physics reports 534: 147–241.
- EUCLID, 2014:** Oficial information [online]. European Cooperation for Lightning Detection, <http://www.euclid.org/>, cit. 25. 2. 2014
- Charvát Z., 2006:** Využití družicových snímků v Českém hydrometeorologickém ústavu. Meteorologické zprávy č. 1/2006: 11–17.
- Karas P., Zárybnická A., Míková T., 2007:** Skoro jasno. Česká televize, Praha: 206 s.
- Kemel M., 2000:** Klimatologie, meteorologie, hydrologie. České vysoké učení technické, Praha: 290 s.
- Koutsoyiannis D., Langousis A., 2011:** Precipitation. In: Wilderer P., Uhlenbrook S. (eds): Treatise on Water Science. Academic Press, Oxford: 27–77.

- Krška K., Šamaj F., 2001:** Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku. Karolinum + ČHMÚ, Praha: 563 s.
- Maňák P., 2005:** Frontální bouřky (3. 2. 2005) [online]. <http://bourky.wz.cz/clanky/cl01.html>, cit. 30. 12. 2013
- Munzar J., Krška K., Nedelka M., Pejml K., 1989:** Malý průvodce meteorologií. Mladá fronta, Praha: 243 s.
- Psika T., 2002:** Průvodce bouřkovou oblačností pro pozemní pozorovatele [online]. <http://www.bourky.kvalitne.cz/>, cit. 20. 2. 2014
- Půčík T., 2006:** Slovník stormchaseera [online]. Amatérská meteorologická společnost, <http://www.bourky.com/slovník-stormchaseera/>, cit. 15. 12. 2013
- Řezáčová D., Novák P., Kašpar M., Setvák P., 2007:** Fyzika oblaků a srážek. Academia, Praha: 576 s.
- Řihánek L., Postránecký J., 1957:** Bouřky a ochrana před bleskem. Československá akademie věd, Praha: 507 s.
- Setvák M., Novák P., Šálek M., 2004:** Tornáda 31. května 2001 na území České republiky. Meteorologické zprávy č. 4/2004: 101–112.
- Skřehot P., 2004:** Stručné základy teorie bouřek. Meteorologická Operativní Rada, Praha: 35 s.
- Smirnov B. M., 1993:** Physics of ball lightning. Physics Reports 224: 15–236.
- Sobíšek B. a kol., 1993:** Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia a Ministerstvo životního prostředí, Praha: 594 s.
- Soukupová J., 2009:** Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie). ČZU, Praha: 201 s.
- Sulan J., Pešice P., 2004:** Výpočet konvekční dostupné potenciální energie "CAPE" a možnosti jeho využití v provozu ČHMÚ. Meteorologické zprávy č. 3/2004: 61-68.
- Šálek M., Setvák M., Sulan J., Vavruška F., 2002:** Významné konvektivní jevy na území České republiky v letech 2000 – 2001. Meteorologické zprávy č.1/2002: 1-8.
- Turbulence.** TV, ČT 24. 22. 09. 2013, 17:40.
- Weisman M., 2002:** Bow Echos and Derecho. In: Holton J. R., Pyle J., Curry J. A. (eds): Encyklopedia of Atmospheric Sciences. Academic Press, Salt Lake City: 311-322.

Zacharov P., Šálek M., Novák P., 2004: Porovnání různých metod využívajících radarová a srážkoměrná měření pro odhad srážek. Meteorologické zprávy č. 6/2004: 157-167.

9 Seznam obrázků

- AMS, 2013: Amatérská meteorologická společnost [online], dostupné z <http://www.bourky.com/teorie-bourek-iii/>
- Lukáš Ronge, 2008 [online], dostupné z <http://galerie.bourky.com/index.php>
- Roger Edwards, 2001 [online], dostupné z <http://www.stormeyes.org/tornado/rogersky.htm>
- URL 1: [online], dostupné z <http://www.atmosferickeprocesy.estranky.cz/clanky/oblaka/oblaka-vysokeho-patra.html>
- Jan Drahokoupil, 2006 [online], dostupné z http://galerie.bourky.com/displayimage.php?album=14&pid=480#top_display_media
- Jan Drahokoupil, 2011 [online], dostupné z http://galerie.bourky.com/displayimage.php?album=23&pid=5891#top_display_media
- Dagmar Müllerová, 2012 [online], dostupné z http://galerie.bourky.com/displayimage.php?album=3&pid=7759#top_display_media
- Meteonetwork Italia, 2012 [online], dostupné z <http://www.meteonetwork.it/cronaca-meteo/downburst-non-una-tromba-d%E2%80%99aria>
- Michal Coufal, 2013 [online], dostupné z <http://www.in-pocasi.cz/clanky/bourky/cesko-tromby-7.5.2013/>
- Amatérská meteorologická společnost a ČHMÚ, 2013 [online], dostupné z <http://www.tornada-cz.cz/definice/>
- Český hydrometeorologický ústav, 2010 [online], dostupné z <http://old.chmi.cz/meteo/rad/index.html>
- Český hydrometeorologický ústav a Amatérská meteorologická společnost [online], dostupné z http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/sat/data_jsmsgview.html
- Český hydrometeorologický ústav, 2010 [online], dostupné z <http://old.chmi.cz/meteo/rad/blesk/celdn.php>
- Tomáš Chlival, 2012 [online], dostupné z http://galerie.bourky.com/displayimage.php?album=33&pid=7109#top_display_media
- Český hydrometeorologický ústav, 2010 [online], dostupné z <http://zmeny-klimatu.blog.cz/1005/bourky-24-kvetna-2010>
- TVNweather.com, 2013 [online], dostupné z <http://www.tornadovideos.net/component/content/article/36-tornadoes/1454-introducing-dominator-3>
- Český hydrometeorologický ústav, 2014 [online], dostupné z <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1388649120>