



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
LETECKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AEROSPACE ENGINEERING

BOUŘKY NA LETIŠTÍCH LKTB A LKMT A JEJICH PŘEDPOVĚĎ

THE FORECAST OF THUNDERSTORM ON THE AIRPORTS LKTB AND LKMT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PŘEMYSL RYBA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

RNDr. KAREL KRŠKA, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Letecký ústav

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Přemysl Ryba

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Profesionální pilot (3708R030)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Bouřky na letištích LKTB a LKMT a jejich předpověď

v anglickém jazyce:

The forecast of thunderstorm on the airports LKTB and LKMT

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Popište časové a prostorové rozložení bouřek v České republice se zvláštním zřetelem na uvedená letiště. Charakterizujte bouřky jako nebezpečný jev pro leteckou činnost. Zhodnoťte úspěšnost předpovědi bouřek za vybraných situací v období 2005 až 2009.

Cíle bakalářské práce:

Cílem je popsat výskyt bouřek v ČR za období 2005-2009, jejich četnost, intenzity a vliv na letový provoz na civilních letištích LKTB a LKMT.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na nebezpečné jevy v letectví, na přítomnost bouřek v prostoru letišť Brno-Tuřany a Ostrava-Mošnov se zvláštním zřetelem na sledované období od roku 2005 do roku 2009 a jejich předpovídání.

Abstract

This bachelor's thesis is focused on hazardous atmospheric phenomena namely presence of thunderstorms in Brno-Turany and Ostrava-Mosnov aerodrome area and it's forecasting. Extra care is taken for observed period since 2005 till 2009.

Klíčová slova

Blesk, kumulonimbus, meteorologie letecká, námraza v letectví, propad studeného vzduchu, předpovídání bouřek, supercela, vznik bouřky

Keywords

Aircraft icing, aeronautical meteorology, cumulonimbus, downburst, lightning, supercell, thunderstorm development, thunderstorm forecasting

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování bakalářské práce, a že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce RNDr. Karla Kršky, CSc..

22. května 2010 v Brně

.....
Přemysl Ryba

Poděkování

Chci využít tohoto místa k poděkování RNDr. Karlu Krškovi, CSc. za vstřícný přístup, trpělivost, profesionalitu, věcné připomínky a vedení při zpracovávání mé bakalářské práce. Dále chci poděkovat Mgr. Františkovi Kuklovi, který je pracovníkem letecké meteorologické služby na stanici Brno-Tuřany za dodání klíčových podkladů pro zpracování této práce.

1 Obsah

1	Obsah.....	6
2	Úvod.....	7
3	Bouřka.....	8
3.1	Bouřka jako meteorologický jev.....	8
3.2	Popis oblačnosti druhu Cu (cumulus) a Cb (cumulonimbus).....	8
3.3	Vznik a vývoj bouřky.....	10
3.4	Klasifikace podle místa výskytu.....	11
3.5	Zvláštní typy uskupení bouřky –supercely a multicely.....	15
4	Zvláště nebezpečné projevy bouřky.....	18
4.1	Macroburst, microburst a downburst.....	18
4.2	Námraza.....	21
4.3	Blesk.....	23
4.4	Vítr jako nebezpečný jev.....	24
4.5	Srážky.....	25
5	Způsoby předpovědi bouřek.....	27
5.1	Způsoby získávání meteorologických dat.....	27
5.2	Druhy vydávaných meteorologických zpráv pro letectví.....	32
5.3	Roční a denní chod bouřkové činnosti na letištích LKTB a LKMT.....	34
5.4	Sumarizace dat z LKTB a LKMT.....	38
6	Závěr.....	39
7	Seznam použitých zdrojů.....	40
8	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	41
9	Obrazová příloha.....	42

2 Úvod

Letectví je odvětví, jenž v současné době zažívá rozkvět. Jeho popularita se zvětšuje a cestovat v současné době letadlem není žádný problém, jak mnohdy inzerují nízkonákladové společnosti. Přpravují velké množství pasažérů do většiny atraktivních evropských destinací. Čísla hovořící o množství přepravených zákazníků jsou vysoká a i nadále se počítá s jejich dalším narůstajícím vývojem. Létání se tedy stává dostupnější stále více lidem, což s sebou přináší i houstnoucí letecký provoz nad našimi hlavami.

Hustý provoz se může stát nepřehledným, projeví-li se nepřízeň počasí, zejména ta nenadálá. Pro zachování maximální bezpečnosti letu se proto snažíme zdokonalovat techniky předpovědi počasí.

Tato práce pojednává o nebezpečných jevech spojených s bouřkou a o principech jejich tvorby a výskytu. O zjišťování jejich pravděpodobnosti výskytu, délce trvání a předávání těchto informací na palubu letounu.

3 Bouřka

3.1 Bouřka jako meteorologický jev

Jako bouřku lze označovat přírodní jev, nazývaný též elektrometeor. Ten je vždy doprovázen bleskem a hřměním nebo pouze hřměním. Vnímá-li pozorovatel pouze vizuální kontakt s úkazem, mluvíme o blýskavici. Ta je pravděpodobně způsobena odrazem blesku od oblaků na velkou vzdálenost z právě aktivní bouřky. Její výskyt je spojen s oblačností druhu Cb (cumulonimbus, v kódech CB) a Cu con., (cumulus congestus, v kódech TCB – towering cumulus)[4].

Za nejatraktivnější pro pozorovatele lze bezesporu považovat bleskový výboj. Vzniká mezi centry kladných a záporných nábojů jednoho nebo více oblaků, popř. mezi oblakem a zemí. Elektrické výboje vznikající za bouřek dokazují, že jejich zdrojem je bouřkový oblak. Má se za to, že vznik elektrického náboje je spojen s přítomností ledu v oblaku a nejpravděpodobněji se současným výskytem ledu a vody při nízkých teplotách vzduchu. Vertikální gradient elektrického pole dosahuje v Cb hodnot řádově desetitisíc V/m.

Tyto hodnoty mnohonásobně převyšují velikost gradientu elektrického pole za normálního stavu v atmosféře. Lze tedy Cb považovat za krajní případ poruchy elektrického pole atmosféry. Velikost vertikálního gradientu elektrického pole se během vývoje Cb mění. Má-li vzniknout v Cb elektrické pole, které po dosažení určité intenzity vede k výboji (blesku), je třeba, aby se kladné a záporné náboje od sebe oddělily a náležitě seskupily. K výboji dochází teprve tehdy, až se vrchol oblaku Cb ocitne v oblasti s teplotou nižší než $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Výboj nastává mezi oblakem a zemí, mezi dvěma oblaky, uvnitř jednoho oblaku nebo mezi oblakem a okolním vzduchem[4]. Za letu může dojít k výboji i vůči letadlu, a tím k poruše nebo vyrazení palubních systémů. Proto je nutno se oblastem s bouřkovou činností vyhybat.

3.2 Popis oblačnosti druhu Cu (cumulus) a Cb (cumulonimbus)

Cumulus, zkr. Cu - osamocené „kypré“, obvykle zářivě bílé a husté oblaky s ostře ohraničenými obrysy, vyvíjející se směrem vzhůru v podobě kup, kupolí nebo věží. Jejich horní rostoucí část má často podobu kvěťáku. Téměř vodorovná základna Cu však bývá poměrně tmavá. Oblaky tohoto druhu mají obvykle základnu v nízkém patře, mohou však být tak velkého vertikálního rozsahu, že jejich vrcholky dosahují středního i vysokého patra oblaků.

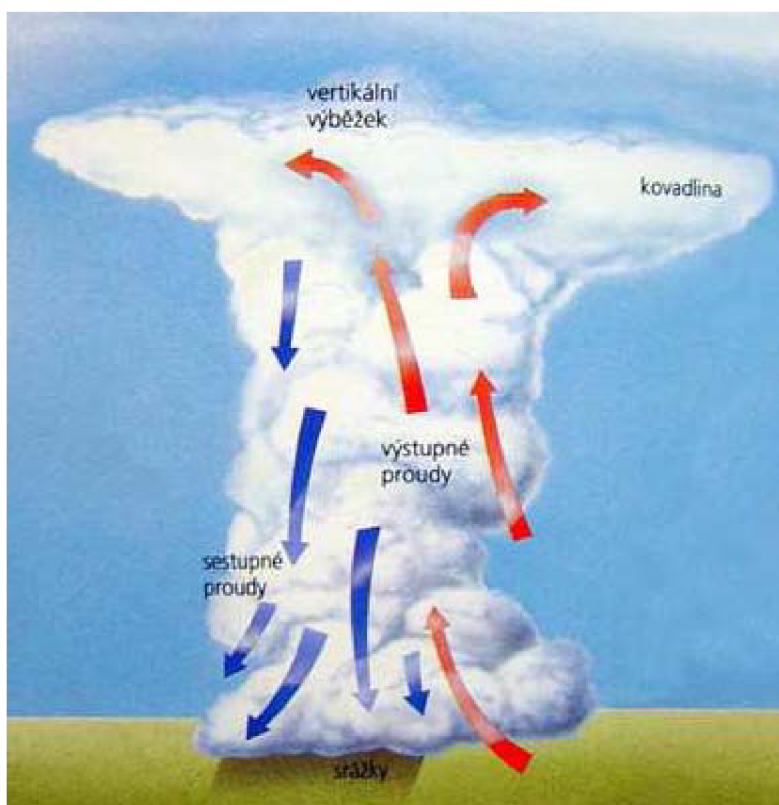
Kumuly se mohou vyskytovat současně v různých stádiích vertikálního vývoje. Mohou mít jen malý vertikální rozsah a vypadat zploštěle, pak hovoříme o oblaku **Cumulus humilis**, zkr. Cu hum. Často vzniká při pěkném počasí v dopoledních hodinách vlivem výstupných pohybů (konvekce), a proto bývá nazýván „kumulem pěkného počasí“. Svého maximálního rozvoje dosahuje kolem poledne, popř. v časných odpoledních hodinách. K večeru opět zaniká. Má podstatný význam pro bezmotorové létání.

Při dostatečně intenzivní konvekci pozorujeme další vertikální růst dosud poměrně plochého oblaku Cu hum a jeho postupné přetváření na **Cumulus mediocris**, zkr. Cu med s mírným vertikálním vývojem, který je přechodovým stádiem vývoje kupovitých oblaků před přetvořením na **Cumulus congestus**, zkr. Cu con. To je vertikálně již poměrně vyvinutý oblak, u něhož pozorujeme tendenci ke spojování do větších celků. Jeho vrcholy mají oslnivě bílou barvu. Oblak druhu Cu se skládá hlavně z vodních kapiček, a je-li vertikálně vyvinutý, oblak druhu Cu con, může být zdrojem srážek - slabých přeháněk.

Cumulonimbus, zkr. Cb, je bouřkový oblak, mohutný a hustý, velmi značného vertikálního rozsahu v podobě hor nebo obrovských věží. Aspoň část jeho vrcholu je obvykle hladká, popř. vláknitá nebo žebrovitá a téměř vždy zploštělá. Tento díl se často rozšiřuje do podoby vějíře, kovádliny nebo širokého chocholu. Cb má obvykle základnu v nízkém patře oblaků (ve výšce kolem 1 až 2 km, ale i níže), je však tak velkého vertikálního rozsahu, že jeho vrcholy mohou dosahovat do středního i vysokého patra (nad naším územím v průměru do výšky 7 až 9 km). Největší výška bouřkového oblaku však podle radiolokačních měření činila 16 km.

V tropických oblastech dosahují vrcholy cumulonimbu až do výšek kolem 20 km, proto jsou tam bouřkové lijáky mnohem prudší než v mírných zeměpisných šířkách [1]. Pod základnou oblaku, obvykle velmi tmavou, se často vyskytují roztrhané oblaky, které mohou, ale nemusí s cumulonimbem souviset (např. Cumulus fractus – Cu fra) [10].

Cb je smíšeným oblakem, který se normálně tvoří postupnou přeměnou ze silně vyvinutých cumulů. Působí často hrozivým dojmem, který obvykle ještě zesiluje nárazovitý vítr, blesky a hřmění, nástup silných, obvykle místně ohraničených dešťových (v zimě sněhových) přeháněk, popř. krupobití a u zvlášť mohutných cumulonimbů i téměř úplné setmění ve dne. Průtrže mračen, vyskytující se na našem území v letním pololetí, jsou vázány právě na oblaky tohoto druhu. Cb je složen z vodních kapiček a v horní části z ledových krystalků. Obsahuje velké dešťové kapky, sněhové vločky, kroupy a krupky. Oblačné i dešťové kapky mohou být značně přechlazeny. Uvolnění latentního tepla tuhnutí podporuje při přechodu vrcholu oblaku v ledovou fázi další bouřlivý růst oblaku.



Obr. 1 Vzdušné proudy v nitru bouřkové oblačnosti

3.3 Vznik a vývoj bouřky

V jarním a letním období se bouřky ve střední Evropě vyskytují nejčastěji z celého roku. Bouřka je obrovský přírodní energetický motor. Pro svůj vznik spotřebuje velké množství energie, které pak během aktivního projevu bouřky ze sebe vydává. Bouřka je vždy spojena výhradně s oblakem cumulonimbus, ačkoliv ne z každého Cb vzniká bouřka. Už podle velikosti a tvaru oblaku Cb je zřejmé, že pro jeho vznik (a potažmo pro vznik bouřky) musí být splněno několik kritérií. Protože se jedná o oblak s vertikálním vývojem, musí nastat podmínky instability, tedy stejný vertikální profil teploty vzduchu, jako při termické konvekci. Rozdíl je jen v tom, že při běžném termickém dni je zadržující vrstva ve formě výškové teplotní inverze ve výšce několika málo tisíc metrů, zhruba ve 3km, zatímco při bouřkovém počasí zadržující vrstva prakticky úplně chybí v celém rozsahu troposféry a výstupný proud se začne ve svém pohybu vzhůru brzdit až v hladinách tropopauzy. Protože je energie stoupajícího vzduchu opravdu mimořádně velká, proráží termika i tuto zádržnou vrstvu a vrcholy oblaků Cb se tak vyskytují nezdědka i ve výškách kolem 14 km, a to i v našich středoevropských podmínkách. Takový Cb je překážkou pro všechna letadla, takže například dopravní stroje, které jej nemohou nadletět, musí odbočit z plánované trasy a oblak oblétnout. Nutno shrnout, že na počátku všeho výše zmiňovaného vývoje byla přítomnost vnější síly, která zadala prvotní impuls ke vzniku počátečního vertikálního pohybu. V praxi je to běžně horizontální složka poryvu větru, který od začátku všeho vede k vývoji bouřek někdy až s katastrofálními následky, zvláště je-li oblast vzduchu s vysokou relativní vlhkostí ve všech vrstvách, jednu z dalších základních podmínek ke vzniku bouřky, značně rozsáhlá.

Buněčná (komorová) struktura bouřek

Cb je tvořen z oddělených buněk (komor) v různých stádiích vývoje, není v něm jeden vzestupný a příslušný sestupný proud, ale podobných cirkulačních systémů je v jediném Cb několik. Některé Cb jsou tvořeny jen jednou buňkou, ale v tom případě Cb (jednibuňkový) nemá nikdy tak velký vertikální rozsah jako buňka, která je součástí celého systému buněk. V Cb vznikají stále nové buňky a staré se rozpadají, takže jedna bouřka potom může existovat i několik hodin. Když se Cb vyvíjí, roste každá nová buňka do větší výšky, než jaké dosáhla buňka předchozí. Buňka je nositelem bouřkové aktivity [5].

Základní vývojová stádia bouřkové buňky

- Kumulové stádium
- Bouřkové stádium
- Stádium rozpadu

Kumulové stádium bouřky

Jak již bylo popsáno v druhé kapitole článku 2.2 této práce, předchůdcem každého Cb je Cumulus congestus, který je prvním vývojovým stádiem bouřkové buňky. Tento oblak v tomto stádiu roste a vytváří soubor nestejně mohutných věží, které horizontálně zaujímají plochu i o průměru několika kilometrů. Vnitřní struktura proudění odpovídá vnějším tvarům. Vyskytují se samostatná maxima vzestupných proudů, odpovídající jednotlivým věžím v různých částech oblaku. Ve výšce zhruba 6 km v horní části výstupného proudu dochází k narůstání částic. Intenzita a rozmístění jednotlivých proudů se neustále mění, vcelku však převládá vzestupná složka. Horní hranice ledových jader je oblak druhu Cu schopen přerůst za 30 – 60 minut. Výstupný proud, kterému se podaří přesáhnout rychlost 10 m/s, vynáší

do hladin ledových jader drobné vodní kapky. Od tohoto okamžiku nastává ledovatění horní části oblaku. Viditelně se projevuje změněná struktura nejvyšší části oblaku, postupně se tvoří vějířovitá kovadlina. Přítomnost ledových krystalů spolu přechlazenými vodními kapkami podporuje rychlejší nárůst ledových částic a soustředění produktů kondenzace v nejstarší části oblaku. Dochází k nárůstu krystalek ledu na úkor vodních složek a větší vodní kapky absorbují ty menší ve svém okolí. Vzduch přicházející z přízemní vrstvy pod základnou oblaku, je směřován se vzduchem v prostoru vzestupného proudu a to ve všech hladinách zasažených tvořící se bouřkovou buňkou.

Bouřkové stádium bouřky

Jako první u tohoto stádia vývoje bouřky dochází k zastavení vertikálního vývoje a růstu Cb. Zastaví-li se vertikální vývoj, ne tak horizontální. Dochází k rozšíření horní části oblaku do tvaru kovadliny. Ledové částice se soustřeďují v nejstarší části oblaku, kde dochází ke slábnutí výstupného proudu. Tato část oblaku je chladnější než okolní vzduch. V důsledku toho začíná ustávat v této části oblaku výstupný proud docela, až se změni jeho orientace na sestupný. Začínají vypadávat srážky, které jen dále podporují sílu a intenzitu sestupných proudů v této části oblaku. Na opačné (aktivní) straně oblaku Cb převládá výstupné proudění teplého vzduchu. Studený vzduch z oblasti srážek se v přízemní vrstvě roztéká a způsobuje při zemi silný nárazovitý vítr (húlavu), především ve směru postupu bouřky. Mezi studeným vzduchem, který se roztéká z prostoru nejsilnějších srážek a jeho okolím se tvoří výrazná diskontinuitní plocha, která má tvar miniaturní studené fronty. Vynucuje na čelní straně studeného vzduchu intenzivní výstupné pohyby teplého vzduchu. Proto se v blízkosti staré bouřky tvoří množství nových termických proudů a kupovité oblačnosti, ze které se mohou vyvinout nové bouřkové buňky. Bouřkové stádium bouřky trvá obvykle 15 – 30 minut.

Stádium rozpadu bouřky

Sestupný proud a srážky postupně zasahují celý prostor původní bouřkové buňky. Jádro maxima odrazivosti klesá k zemi a slábne spolu se slábnutím srážek. Klesá elektrická aktivita. Vypadávání srážek a sestupné pohyby uvnitř Cb se projevují postupným rozplýváním některých částí oblaku. Nakonec se rozpadá oblačnost na vrstvy, čili zbývají vrstvovité pozůstatky rozpadlé buňky ve všech zasažených hladinách. Srážky postupně ustávají. Stádium netrvá obvykle déle než 30 minut.

Typická doba trvání jedné bouřkové buňky je 30 – 60 minut. Po tomto časovém intervalu buňka zaniká. Většina konvenčních bouří je však tvořena více buňkami v různých vývojových stádiích, čímž bouře jako celek může navenek existovat po dobu podstatně delší, až několik hodin.

3.4 Klasifikace podle místa výskytu

Podle místa výskytu lze dělit bouřky například následujícím způsobem:

Bouřky orografické

Jak již název napovídá, jedná se o bouřky, které vznikají nebo jejich vznik je přímo ovlivněn významnou měrou tvarem okolní krajiny, zejména v horkých oblastech, kde proudící vzduch je formován a tvářen okolním terénem. Nejčastěji vznikají, pokud instabilní vlhký vzduch proudí k horskému pásmu. Tehdy se podél návětrné strany pohoří vytvoří řada bouřek.

Orografický účinek terénu se často uplatňuje spolu s ostatními druhy podle specifikace v druhé kapitole této práce bodu 2.4.

Bouřky frontální

Vznik tohoto typu bouřek je na rozdíl od ostatních nejméně závislý na místních podmínkách. To je dáno především příčinou a způsobem, kterým tento typ bouřek vzniká. Především jde o prvotní impuls, kterým je v tomto případě vždy určitá vzduchová masa pohybující se vzduchu. Ať už se jedné o kterýkoliv typ fronty, principiálně lze vždy mluvit o vzájemném pohybu jedné masy vzduchu po druhé. Tyto vzduchové masy jsou definovány určitými fyzikálními vlastnostmi, které nejsou pro jednotlivé masy stejné. Vzájemný pohyb jedné masy vzduchu po druhé a odlišnost fyzikálních vlastností vede ke vzniku oblačnosti v důsledku tření. Velikost rozdílu těchto fyzikálních vlastností má téměř přímou úměru s mohutností a druhem vývoje vytvářející se oblačnosti. Jestliže se nad střední Evropou v červenci udržuje a prohřívá vzduch po dobu jednoho až dvou týdnů a poté přechází studená fronta od Severního moře, přičemž její přechod přes naše území je v odpoledních a večerních hodinách, navíc velmi rychlý, můžeme očekávat silné bouřky s krupobitím. Záludnost frontálních bouřek na rychle postupujících frontách spočívá v tom, že počasí před touto frontou je velmi dobré, vhodné pro létání, avšak změna počasí s postupující frontou přichází velice náhle a může nás během sportovního VFR letu nečekaně překvapit. Už proto bychom měli na začátku letového dne provést alespoň krátké vyhodnocení synoptické situace a ze dvou předpovědních map na příslušný den a na den následující pomocí jednoduché interpolace odhadnout polohu fronty např. po tříhodinových úsecích, což nám výrazně pomůže při plánování trasy letu a jejího časového rozvrhu. Čelo fronty s bouřkami, stejně jako izolované bouřkové buňky, by nám mohly přichystat řadu nebezpečných překvapení (podle[1]).

Podle druhu fronty, na které se bouřky vyskytují, rozlišujeme:

- Bouřky na teplých frontách
- Bouřky na studených frontách
- Bouřky na okluzních frontách

Bouřky na teplých frontách

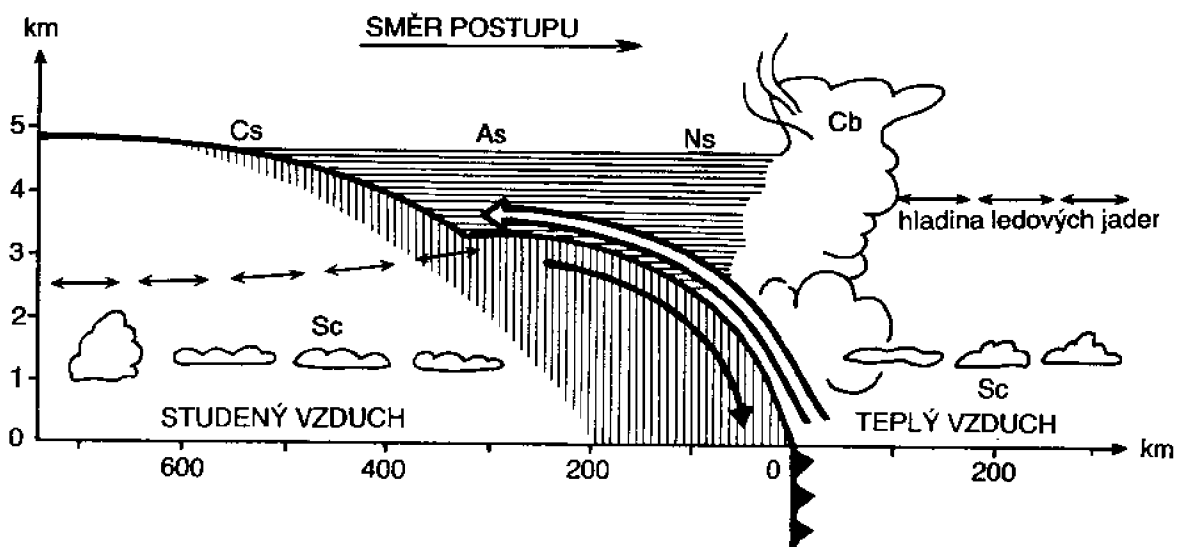
Teplé fronty se nejčastěji vyskytují v zimních měsících. Jejich výskyt je celoroční, ovšem v letních měsících jsou prakticky potlačeny malým rozdílem v teplotách vzduchu před frontou a za ní. Teplá fronta vymezuje přední část teplého sektoru cyklony. V aktivní oblasti pásma teplé fronty teplá vzduchová hmota vystupuje po studené vzduchové hmotě. Tato situace není příznivá pro vznik konvekční oblačnosti kvůli poklidnosti tohoto děje, takže výskyt tohoto druhu bouřky je velmi speciální. Tyto bouřky budou vznikat v chladných ročních měsících a nejčastěji v noci. Dojde k tomu, že mohutnější vrstva oblačnosti vyzářuje svoji zásobu tepla nahoru do volné atmosféry i dolů k zemskému povrchu. Vzduch mezi zemí a spodní základnou oblačnosti se tak postupně mírně zahřívá, zatímco horní část oblačné vrstvy se systematicky ochlazuje. Tak se stane, že se stále zvětšuje teplotní rozdíl mezi spodní a horní částí oblačné vrstvy, až konečně překročí hranici podmíněné instability ($0,6 \text{ }^\circ\text{C}/100$ výškových metrů) a uvnitř oblaku se doslova spustí konvekce. Původní oblačná vrstva, rozprostřená horizontálně, začne nabývat vertikálním vývojem tvaru Cb a nakonec se mohou vytvořit podmínky příznivé pro noční bouřku.

Bouřky na studených frontách

Studená fronta je jednou z částí frontálního rozhraní. Studená vzduchová hmota se nachází v týlu fronty, teplá vzduchová hmota před ní. Teplý vzduch je tedy při postupu fronty nahrazován chladným, a to téměř skokem. Studený vzduch se razantně tlačí kupředu a po jeho přední části je teplejší vzduch vytlačován prudce vzhůru. Postup studeného vzduchu je při zemi zpomalován třením. Tím vzniká svérázný profil postupujícího vzduchu fronty. Protože tento vertikální pohyb mívá za následek vznik vertikálně mohutné kupovité oblačnosti, vypadá příchod studené fronty jako náhlá změna počasí. Zatímco před frontou v létě často panuje horké, jasné počasí, přichází čelo fronty s bouřkami, náhlým zatažením oblohy a nástupem srážek, silného větru, špatné dohlednosti a ochlazením. Dokonce, je-li teplotní kontrast mezi oběma vzduchovými hmotami, které fronta odděluje, velký, lze na čele fronty očekávat výraznější projevy počasí, jako třeba krupobití.

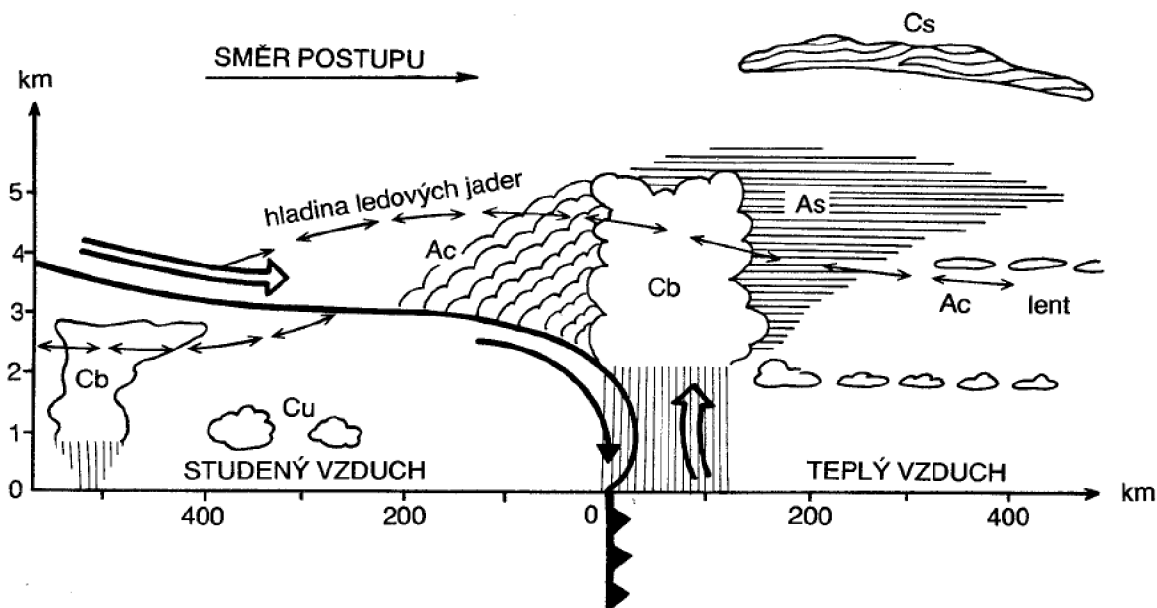
Studené fronty se dále dělí na dva druhy:

I. druh studené fronty – projevují se mírněji a srážkové pásmo bývá široké 200 až 300 km a má charakter přeháněk. Nejdříve se pozorují cumulonimby, které přecházejí ve vrstevnaté oblaky druhu nimbostratus a stratus, dále altostratus a cirrostratus [1].



Obr. 2 Svislý řez studenou frontou 1. druhu

II. druh studené fronty - je podstatně aktivnější. Ve spodní části je teplý vzduch nucen k výstupu (je anafontou) zhruba do výšky 2,5 km. Zde se stává katafrontou, což znamená, že tento vzduch je nucen k sestupu podél plochy fronty, protože teplý vzduch nad povrchem frontální plochy má větší rychlost než fronta, předbíhá ji a sestupuje podél její plochy. Na čelní straně fronty dochází k bouřlivému výstupu vzduchu, což vede k tvorbě bouřkové oblačnosti druhu Cb. Na studené frontě tohoto typu jsou všechny procesy intenzivnější.



Obr. 3 Svislý řez studenou frontou 2. druhu

Bouřky na okluzních frontách

Protože studená fronta postupuje rychleji než teplá fronta, časem ji dožene, spojí se u zemského povrchu dvě studené vzduchové hmoty. Jedna, která postupovala před studenou frontou, a druhá, která postupovala za studenou frontou. Teplý vzduch, který ležel mezi oběma frontami, je vytlačen vzhůru nad zemský povrch. Je-li vzduchová hmota, která původně postupovala za studenou frontou, teplejší než vzduchová hmota před teplou frontou, vzniká **okluzní teplá fronta** (neboli teplá okluze). Tato fronta se projevuje podobně jako fronta teplá. Je-li vzduchová hmota za studenou frontou chladnější než vzduchová hmota před teplou frontou, vzniká **okluzní studená fronta** (neboli studená okluze). Tato fronta se v našich zeměpisných šířkách vyskytuje jen v letním období a projevuje se podobně jako fronta studená, kde dochází ke vzniku nejmohutnější bouřkové oblačnosti druhu Cb.

Bouřky uvnitř vzduchové hmoty

Bouřky uvnitř vzduchové hmoty se vyskytují ve dvou různých variantách, a to:

Bouřky konvekční nebo-li insolační - známé též pod pojmem bouřky z tepla. Vznikají termickou konvekci v důsledku nerovnoměrného prohřívání zemského povrchu. Vyskytují se převážně v odpoledních hodinách za bouřkového počasí a mají místní charakter.

Bouřky advekční – vznikají, když studený vlhký vzduch přichází nad teplý povrch (zemský nebo vodní). Stejný název užívají i bouřky vznikající v týlové části cyklonu ve studeném vzduchu[10].

3.5 Zvláštní typy uskupení bouřky –supercely a multicely

Jsme-li obeznámeni s principem vzniku a vývoje bouřky (bouřkové buňky), můžeme se zde podívat na zvláštnosti při skupování jednotlivých bouřkových buněk při vývoji bouře.

Singlcela (z anglického single-cell)

Jedná se o elementární bouřkovou buňku (viz. vývojové stádia bouřky v kapitole 3.3), která nemá delší dobu trvání než 30 minut, v ojedinělých případech maximálně hodinu. Jakmile dojde k počátku vypadávání srážek, vytváří se sestupný proud ochlazeného vzduchu, který svým působením omezuje přívod teplého vzduchu do oblaku (buňky), až jej úplně přeruší. Následně dochází k zániku buňky.

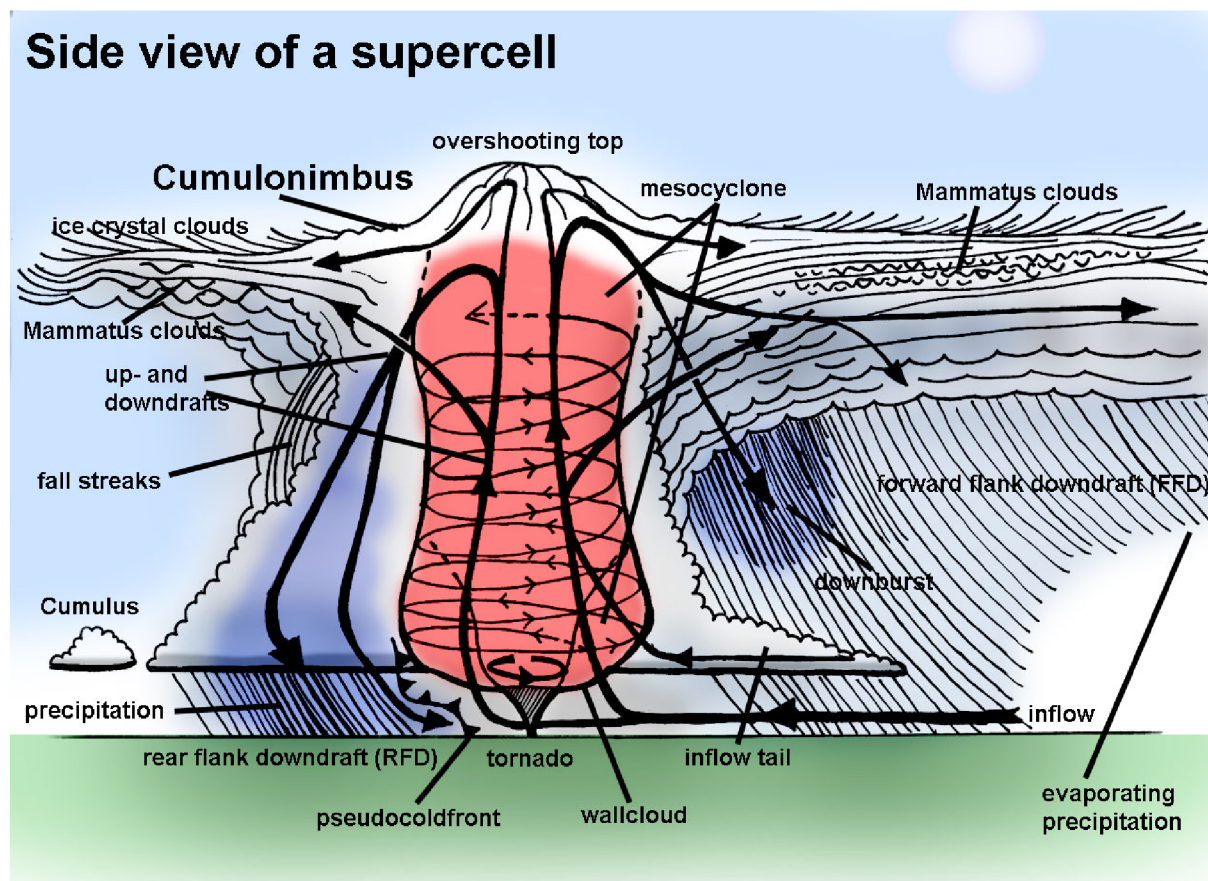
Multicela (z anglického multi-cell)

Seskupení buněk v různých stádiích vývoje, u nichž sestupný proud neukončuje přísun teplého vzduchu do oblaku jako v předchozím případě, ale naopak pomáhá iniciovat vzestupné proudy buněk mladších. Je to nejčastější uskupení u nás se vyskytující se bouří.

Supercela (z anglického super-cell)

Jde o jedinou bouřkovou buňku větších rozměrů s kvazistacionární konfigurací sestupného a vzestupného proudu, přetrvávající řádově déle než vývoj jedné buňky.

Pro její existenci je nutné charakteristické výškové rozložení směru a rychlosti větru. Ten s výškou rychle zesiluje a stáčí se ve směru pohybu hodinových ručiček, čímž se vytváří nejen silný stříh větru (rozdíl vektorů proudění v různých hladinách), ale i tzv. helicitu, což je: Vlastnost týkající se tekutého anebo plynného tělesa, která reprezentuje jeho schopnost "téci" ve smyslu šroubovice (tedy směrem vzhůru a zároveň se stáčet). Počítá se z rychlosti proudění, velikosti stříhu větru a vírnatosti. Dá se odhadnout podle vertikálního větrného profilu (hodografu) a bere v úvahu jen nejnižší 3 km troposféry a to vzhledem na vektor pohybu bouřky. Hodnoty nad $150 \text{ m}^2/\text{s}^2$ představují možnost vzniku mezocyklony [10]. Ta způsobuje rotaci vznikajících výstupných proudů. Supercela silně rotuje kolem své vertikální osy a lze v ní pozorovat tzv. mezocyklónu o průměru zhruba 20 km. Takováto bouře patří mezi nejsmrtonosnější konvekční bouře vůbec. Právě v souvislosti s výskytem supercel dochází ke vzniku nejničivějších tornád ve světě. Navíc je doprovázena intenzivními ničivými elektrickými výboji a prudkým vytrvalým přívalovým deštěm, mnohdy doprovázeným mohutným krupobitím. Jak bouře stárne, součástí mezocyklony se zejména v její týlové části stává i část sestupných proudů. Supercely jsou u nás méně časté. Hlavním důvodem je, že dostatečný stříh větru a helicity jsou u nás hlavně v zimním půlroce, zatímco instabilita v letním. V létě je tak převážná většina bouřkových situací v podmínkách bez výrazného stříhu větru. I přesto ale v rámci zvláště studených front a nebo mladých cyklon tvořících se na frontálních vlnách, kde helicity a stříh větru obecně zesilují, mohou vznikat podmínky vhodné pro vznik supercel, které se většinou vyvinou z multicel v tomto prostředí. Supercela je vždy nositelem typu počasí, které významně ovlivňuje letecký provoz. Názorný příklad prostorového rozložení jedné takové supercely můžeme vidět na obr. 4.



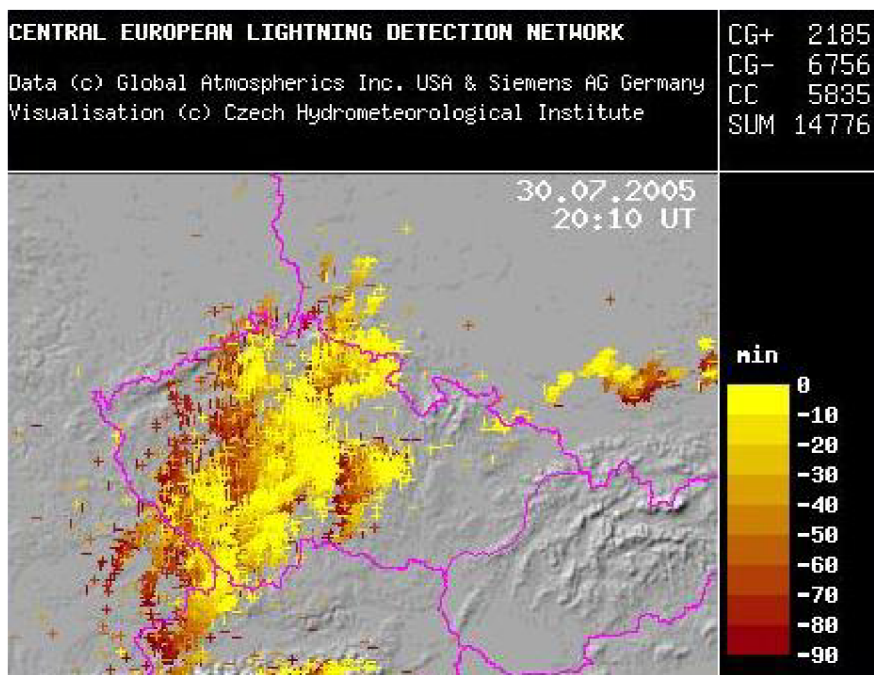
Obr. 4 Schematické znázornění supercely

Konvekční systém středního měřítka

Komplex bouří a srážkových činností, které se rozprostírají v určité oblasti, většinou eliptického tvaru. Tato oblast je význačná svojí obrovskou rozlohou řádu desetitisíců až statisíců kilometrů čtverečních. V této oblasti se jednotlivé bouřkové systémy slučují do komplexů a vytvářejí **squall line** (česky čáru instability), což je výrazné čelo pásů nefrontálních konvekčních dějů v teplém a vlhkém vzduchu 100 – 500 km před studenými frontami. Projevují se jako studené fronty, mají však kratší trvání a výraznější denní chod. Jejich vznik se vysvětluje cirkulací vzduchu před studenými frontami, s nimiž jsou čáry instability souběžné. Jsou-li na čáře instability konvekční děje velmi dobře vyvinuty s výskytem húlav, používá se někdy termínů **čára húlav** [10].

Aby byla oblast s výraznou konvekční činností klasifikována jako **konvekční systém** musí být splněny tyto podmínky: Oblast zasažená bouřkovou činností min. 100.000 km² a délka trvání této bouře alespoň 6 hodin.

Uvědomíme-li si, že velikost této oblasti je srovnatelná s rozlohou České republiky a délka trvání bouře přes 6 hodin, je jasné, že omezení leteckého provozu např. na letišti v Praze Ruzyni je fatální. Mezinárodní letiště Praha-Ruzyně je se všemi svými dopravními toky nejrušnějším letištem v České republice. Zasáhne-li ho výše zmiňovaná situace, bude to mít zásadní vliv na jeho provoz. Z hlediska bezpečnosti leteckého provozu je také zásadní otázka záložních letišť, které díky rozloze konvekčního systému, mohou být také zasažena.



Obr. 5 Záznam z detekce blesků nad Českou republikou ze dne 30.7.2005

4 Zvláště nebezpečné projevy bouřky

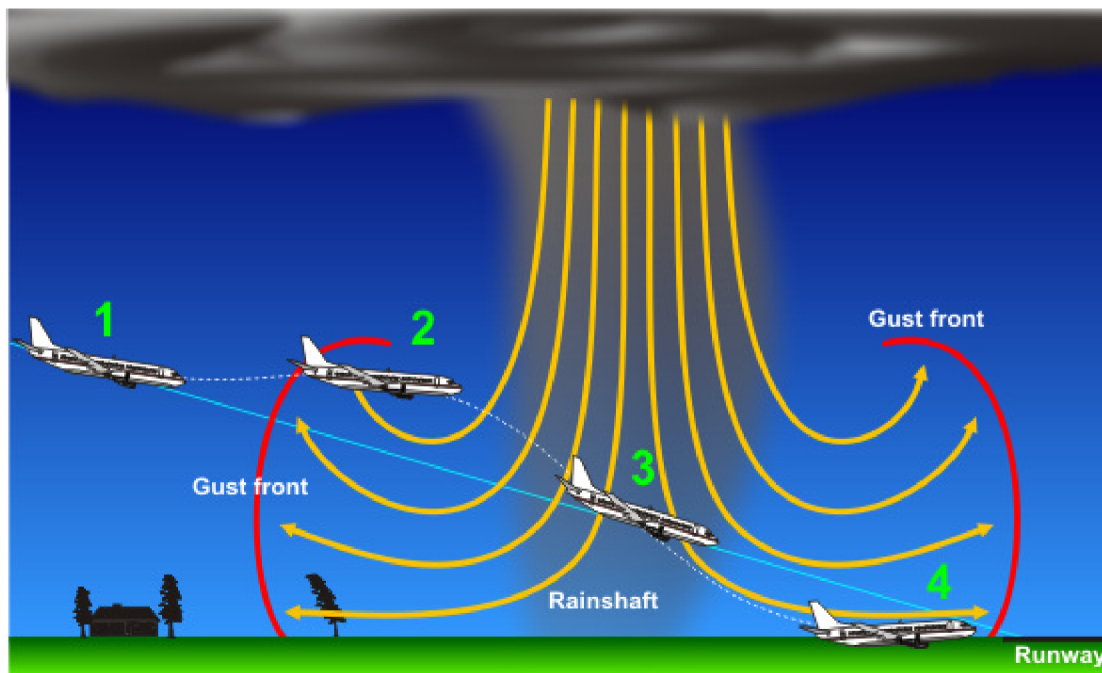
V literatuře se nejčastěji můžeme setkat s definicí bouřky, která například podle J. Munzara, zní: Bouřka je soubor elektrických, optických a akustických jevů vznikajících mezi oblaky druhu cumulonimbus navzájem nebo mezi těmito oblaky a zemí. Bývá doprovázena dalšími meteorologickými jevy, např. nárazy větru, silnými výstupnými a sestupnými vzduchovými proudy, vydatnými přeháňkami (deště, krup, v zimě sněhu), smrštěmi atd. [5].

Jak již bylo zmíněno, je přítomnost bouřky vázána vždy na oblak cumulonimbus ovšem ne každý výskyt tohoto druhu bouřkového oblaku musí být za bouřku považován, pokud se tento neprojevuje svými elektrickými, optickými nebo akustickými projevy. Takže jedinou a skutečně nutnou podmínkou bouřky je výskyt oblaku druhu cumulonimbus. Podíváme-li se na výčet doprovodných meteorologických jevů zjistíme, že každý jeden z nich představuje pro letecký provoz přinejmenším komplikaci. Natož, když se jich při bouřce objeví celý soubor.

4.1 Macroburst, microburst a downburst

Downburst (český termín: propad studeného vzduchu)

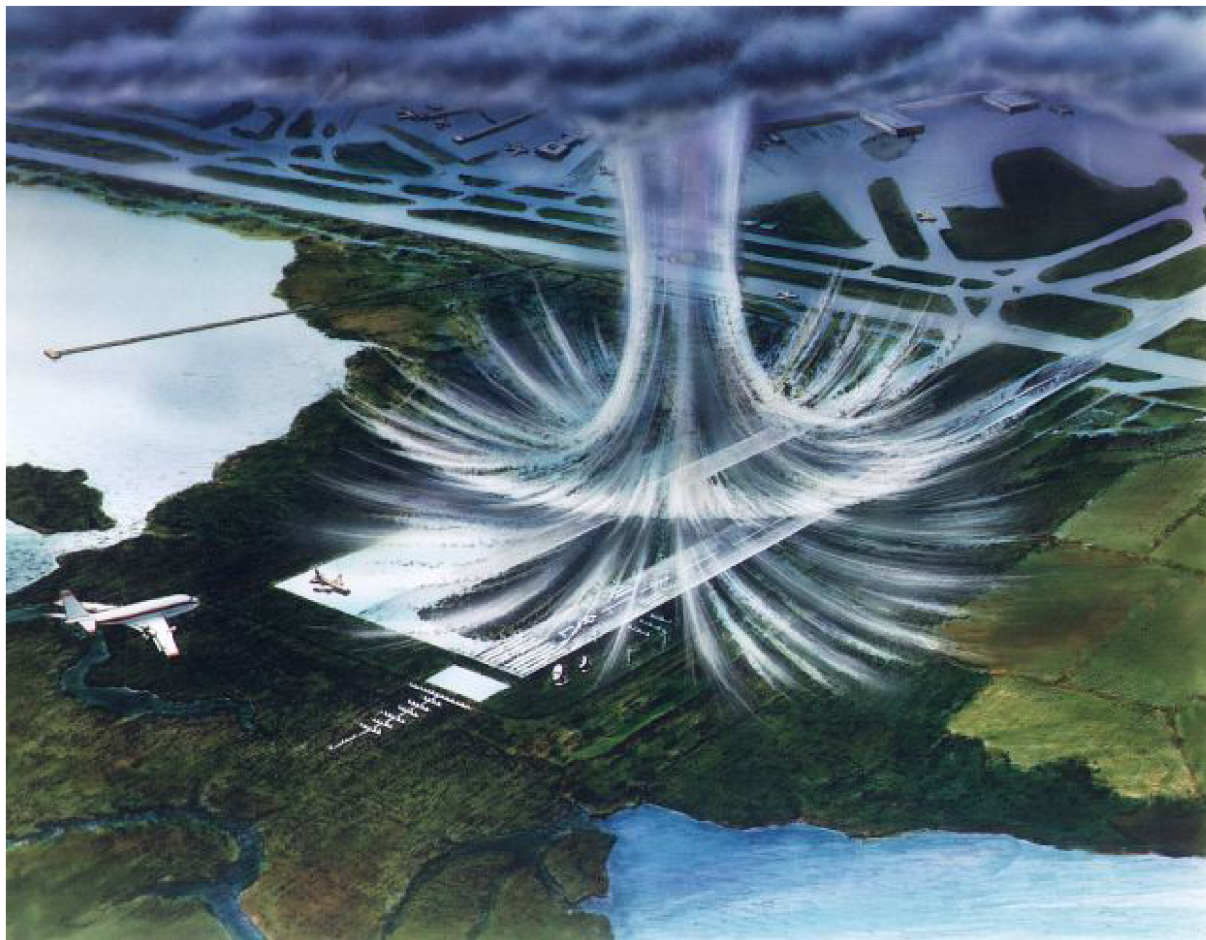
Downburst je jev, který se projevuje jako extrémně silný, sestupný proud studeného vzduchu vytékající ze zadní části cumulonimbu, velmi často doprovázený silným deštěm. Následkem rychlého sestupu a adiabatickému vypařování má tato „masa“ studeného vzduchu výrazně nižší teplotu než okolí. Často se také proud deště před dopadem na zem vypaří, a proto je sestupný proud neviditelný. Při dosažení zemského povrchu se začne roztékat do všech stran a tvoří vír s horizontální osou kruhového tvaru (oblast divergujících větrů). To může mít katastrofální následky na přistávající nebo právě startující letouny, které v tomto počasí létají v IMC podle IFR. Počátek pozorování a zkoumání jevu downburst je relativně nedávného data. K rozsáhlejším výzkumům se přistoupilo až po roce 1975, kdy let číslo 66 společnosti Eastern Air Lines havaroval, dle závěrečné zprávy, v blízkosti letiště Johna F. Kennedy ve městě New York dne 24. června roku 1975.



Obr. 6 Aktivní projev propadu studeného vzduchu na právě přistávající letoun

Nebezpečí se skrývá v tom, kdy po usazení letounu na sestupovou rovinu GS (pozice 1 obr.) systému přístrojového přiblížení ILS, je pilot je vychylován od sestupové roviny směrem vzhůru (pozice 2 obr.). Na to bude pravděpodobně reagovat potlačením letounu a stáhnutím přípustí plynu. Následně ovšem vstoupí do oblasti silného sestupného proudu, kde je jeho předešlý opravný manévr rázem přeměněn na cestu do záhuby, ačkoliv se na několik okamžiků vrátil do své původní pozice vůči sestupové rovině (figura 3 obr.). Dá se totiž očekávat, že v důsledku silného sestupného proudu bude opět vychýlen ze své pozice vůči sestupové rovině tentokrát směrem pod ni a nezbude už čas na opravu, přihlédneme-li k faktu, že právě letí se staženou přípustí plynů se skloněnou přídí letounu. Následný, třebaže náhlý, opravný manévr se může míjet účinkem uvědomíme-li si, jak citlivým manévrem přiblížení na přistání a přistání samotné je. Pilot může nedobrovolně skončit před zpevněnou přistávací drahou (figura 4 obr.).

Na tomto místě je nutno podotknout, že jev downburst již má na svém kontě několik závažných a tragických dopravních neštěstí. To vše v důsledku silných turbulencí vyvolaných stříhem větru, které jsou průvodním jevem.



Obr. 7 Ilustrativní znázornění propadu studeného vzduchu nad letišťem

Jev downburst je dále členěn na dvě kategorie podle průměru sestupného sloupce vzduchu:

- microburst
- macroburst

Microburst

Principiálně lze říci, že **microburst** je slabším projevem propadu studeného vzduchu. Mezní hranice pro dělení je průměr sloupce sestupujícího studeného vzduchu, která je v tomto případě 4 km. To však neubírá tomuto jevu na nebezpečnosti. Naopak. Při tomto průběhu propadu studeného vzduchu dochází k daleko intenzivnějším, náhlejší a ničivějším projevům. I rychlosti větru jsou vysoké, blíží se rychlostem větru v tornádech, na rozdíl od kterých sestupující sloupec větru nerotuje. Rychlosti větru jsou v průměru okolo 270 km/h.

Macroburst

V případě, že průměr sloupce sestupujícího studeného vzduchu přesáhne 4 km, mluvíme o variantě **macroburst**. Rychlosti větru nejsou tak závratné jako v předchozí variantě, nicméně jsou stále přes 200 km/h.

4.2 Námraza

Pro současný letecký provoz, a to nejenom v zimním období, zůstává problémem tvorba námrazy na povrchu letadel. Námraza totiž způsobuje výrazné zhoršení aerodynamických vlastností letadla. Výrazně se mění profil křídel a ocasních ploch, což má za následek menší vztlak, ztrátu rychlosti či mnohem vyšší spotřebu pohonných hmot. Také může docházet za letu k odlupování ledu a jeho následnému nasátí do motoru letadla. Velká námraza na letadle mění rovněž jeho těžiště, tím i stabilitu celého stroje. Na navigačních čidlech námraza může zapříčinit jejich nesprávnou činnost a zkreslit získaná data. S námrazou na letadlech se bojuje nejrůznějšími způsoby. Nejlépe je ovšem námraze předcházet.

Stupeň nebezpečí námrazy pro let závisí na intenzitě tvorby námrazy. Tím rozumíme tloušťku ledu, která se na povrchu letounu vytvořila za určitý čas. Intenzita vytváření námrazy závisí na: obsahu vody v oblaku či mlze, složení oblaku, částic v oblaku, na rychlosti letu a době letu v prostředí, ve kterém se námraza tvoří, a na tvaru a velikosti aerodynamických ploch. Při velkých rychlostech letadla závisí vznik námrazy rovněž na teplotě aerodynamických ploch. Ty se ohřívají třením částic vzduchu o povrch plochy a také stlačováním proudu vzduchu před obtékaným tělesem. Pro začátek tvorby námrazy na letadle v oblačnosti tvořené přechlazenými kapkami je rychlost letu. S rostoucí rychlostí se zvyšuje výška hladiny, od které se námraza začne tvořit vzhledem k nulové izotermě. Nejčastěji se námraza bude tvořit v souvislé vrstvě oblačnosti složené z přechlazených vodních kapek při rychlosti letu do 600 km/h [11].

Konstruktéři letadel a technici na letištích se snaží nejrůznějšími způsoby bojovat proti tvorbě námrazy na vnějším povrchu letadla. Na náběžných hranách křídel je montována ochrana - gumové protektory, které zvětšují svůj objem a lámou vznikající námrazu, která následně z letadla odpadává.

Tepelná ochrana náběžných hran křídel využívá zahřátý vzduch z kompresorů a teplo výstupních plynů.

Systém elektrické ochrany využívá přeměnu elektrické energie na tepelnou ve speciálních topných tělesech umístěných např. na náběžných hranách kořenů vrtulí a tím rozmrazuje tvořící se led. V neposlední řadě se používá i ochrana chemická, která je založena na zmenšení přilnavosti námrazy k povrchu letounu. Povrch letounu a náběžné hrany křídel bývají opatřovány různými mrazuvzdornými kapalinami. Problémem této ochrany bývá tloušťka nátěru letadla – pokud by nebyl dostatečně tenký, nepravidelnosti na jeho povrchu by mohly samy o sobě způsobovat odtrhávání proudnic od povrchu křídla (turbulenci) či letadlo brzdit [11].

Co se týče námrazy, je oblačnost druhu cumulonimbus jedním z nejnebezpečnějším druhu oblaku, a to z důvodu druhu námrazy, která se zde vyskytuje. Protože jeho obsahem jsou jak přechlazené vodní kapky, tak i krystaly ledu, může se vyskytnout kombinace zrnité námrazy spolu s ledovkou. Intenzita námrazy se mění od mírné a slabé (v Cu con) až po silnou ve vyvinutém Cb nebo Cu con. Z výše uvedeného důvodu je přísný zákaz vletnutí do oblaku druhu Cb a Cu con. Oblaky těchto druhů je nutné buďto nadlétnout s odstupem alespoň 1 km ve vertikálním směru nebo oblétnout s horizontálním odstupem alespoň 10 km.

Intenzita námrazy se posuzuje podle rychlosti jejího růstu v centimetrech za jednotku času [10] jako:

- do 0,6 mm/min - **slabá**
- 0,6 – 1,0 mm/min - **mírná**
- 1,0 – 2,0 mm/min - **silná**
- nad 2,0 mm/min - **velmi silná**



Obr. 8 Námraza na křídle letounu po přistání

Na závěr zde uvádím alespoň tři základní druhy námrazy se zevrubným popisem jejich vlastností : jinovatka, zrnitá námraza a ledovka [10].

Jinovatka

Usazené, horizontální srážky tvořené ledovými krystalky většinou vytvořené na horní straně povrchu letounu, tvořené za letu jen vzácně. Co se týče bezpečnosti, je tento druh námrazy klasifikován jako relativně neškodný.

Zrnitá námraza

Je vytvořena přechlazenými vodními kapkami tříštící se o náběžnou hranu křídla letounu za letu, které na něm okamžitě namrzají a má podobu drsného, neprůhledného šedě zbarveného ledu. Nežádka přítomná v oblačnosti druhu cumulus ve většině jeho tvarů a odrůd.

Ledovka

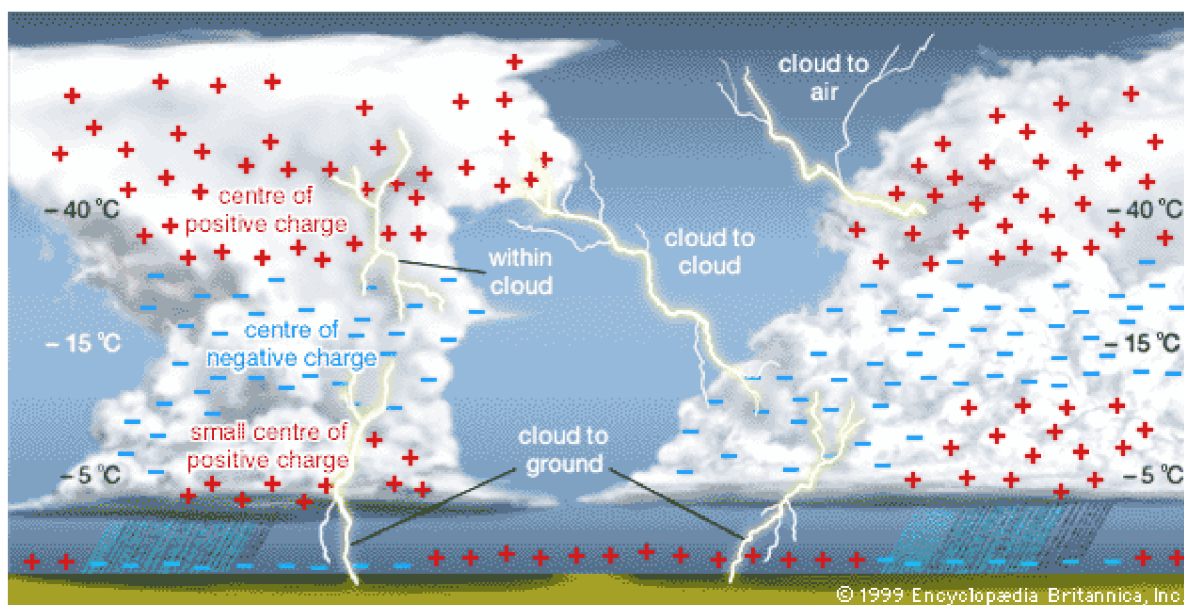
Vyskytuje se jako průhledný led. Dokonale obaluje aerodynamický tvar profilu v důsledku příčiny vzniku tohoto druhu námrazy. Tím jsou velké přechlazené dešťové kapky tříštící se o náběžnou hranu křídla letounu po kterém se rozlévají a teprve následně tuhnou a vytvářejí vrstvu kompaktního ledu. Je to nejčastěji se vyskytující se typ námrazy v bouřkových oblačnostech druhu cumulonimbus.

4.3 Blesk

Blesk je světelný meteorologický úkaz, jímž je lidstvo fascinováno již od nepaměti. Zkusme se zamyslet, jaké pocity vyvolává výskyt této přírodní zvláštnosti v nás samotných. Jde o projev přítomnosti obrovského množství energie přímo nad našimi hlavami. Blízká přítomnost poblíž bouře, která se vyvinula do takového stádia, že z ní počali „létat blesky“ je sama osobě více než zajímavá. Může vyvolávat strach, respekt, bezmoc i radost. Představení začíná, když utichne vítr.

Zaměříme-li se na vliv této situace vzhledem k leteckému provozu, vidíme jisté nebezpečí. Veškerá avionická vybavení letounu jsou citlivá zařízení. Při výboji blesku na letoun může dojít k jejich vážnému poškození nebo přímo k jejich zničení. Dále nutno upozornit na možnost přivaření čepů závěsů uchycení řídicích ploch. O přímém mechanickém proražení částí potahu ani nemluvě. Letouny jsou chráněny tak, že před dosednutím letounu na RWY dochází k uzemnění náboje z povrchu letounu přes zemnicí pásek nebo vodivé pneu. Mohutnost a intenzita bouří je často posuzována dle množství blesků za jednotku času.

Po dosažení určité polarizace vzduchu ($80 - 100 \times 10^6$ V) dochází k vůdčímu výboji, který končí v oblaku, nebo zemi. Bývá často rozvětven a mívá často o řád vyšší rychlost, než průměrná rychlost výboje. Po elektrickém výboji vždy následuje akustický projev nazývaný hrom. Výklad teorie vzniku hromu: Při průběhu elektrického výboje dochází v dráze blesku k vysoké teplotě. Ta rozkládá molekuly kyslíku a dusíku, což je doprovázeno prudkým poklesem tlaku v místě proudícího výboje. Následně se nestabilní částice prudce rozkládají, což vede ke vzniku akustického jevu [9].



Obr. 9 Typy výbojů v atmosféře

Elektrický výboj (blesk) má obecně tyto vlastnosti:

Rychlost blesku:	průměrně 30km/vteřinu
Délka blesku:	průměrně 600 – 2000 metrů, max. 4100 metrů
Energie blesku:	průměrně 250 kWh
Délka trvání blesku:	průměrně 0,1-0,4 vteřiny max. 1,5 vteřiny
Počet dílčích výbojů:	2 – 5
Modifikace el. výboje:	čárový, plošný, perlet'ový a kulový blesk, Eliášův oheň



Obr. 10 Čárový elektrický výboj

4.4 Vítr jako nebezpečný jev

Přítomnost oblaku cumulonimbus bývá vždy provázena přítomností větru. Kromě silného deště a krupobití právě silný a nárazový vítr páchá při bouřkách největší škody na majetku a ovlivňuje letecký provoz vůbec, zejména startující, přistávající a na zemi parkující letouny. Jeho příchod bývá také jedním ze signálů blížící se bouřky. Naproti tomu i proslulý „klid po bouřce“ je v podstatě jen utišení větru v týlu bouřky.

Jak již bylo řečeno, v čele oblaku dochází k mohutným výstupným proudům teplého vzduchu, který do oblaku nemusí vstupovat jen z míst právě pod základnou oblaku, ale jsou zde vtahovány také teplé konvektivní proudy z poměrně vzdálenějších oblastí. Výstup jednotlivých přízemních vzduchových mas dosahuje rychlosti řádově metrů za sekundu, avšak v samotném oblaku, kde lze hovořit o určitém typu komínového efektu, dosahují tyto výstupné rychlosti řádově desítek metrů za sekundu – v extrémních případech až 50 m/s (180 km/h). V přízemní vrstvě ve vzdálenostech stovek metrů před čelem oblaku se tyto vzduchové pohyby projeví slabým větrem dosahujícím rychlosti zmíněných několik metrů za sekundu.

Posune-li se čelo bouřky dále a oblak již zahalí většinu oblohy, začnou výstupné proudy slábnout a převáží již sestupné pohyby. Hlavní masa sestupujícího vzduchu, jehož pohybová rychlost je řádu desítek metrů za sekundu, může dosáhnout v extrémních podmínkách až rychlosti 30 m/s (108 km/h). Nárazovitost přízemního větru, která je s tímto proudem spojena, vzniká tím, že v cumulonimbech a pod nimi jsou silné výstupné a sestupné pohyby charakteru vírů s horizontální osou. Tomuto nárazovitému větru se říká húlava a její nárazy mohou dosáhnout, popřípadě i přesáhnout, 30 m/s. Húlava je prudký nárazovitý vítr trvající často jen několik minut. Přesná definice používána pro klasifikaci húlavy (squall) zní: náhlé zvětšení větru o rychlosti alespoň 16 kt (8 m/s) na hodnotu 22 kt (11 m/s) nebo větší, které trvá alespoň 1 minutu. Pozorování a objektivní měření prokázaly, že při bouřkách mohou rychlosti větru, ať již zprůměrované například za 1 minutu, nebo přímé nárazy, dosahovat úctyhodných hodnot. Jako příklad uvádím maximální hodnotu nárazu větru v bouřce na stanici Brno-Tuřany za období let 2005 - 2009, kterým se zabývá tato práce. Nejvyšší naměřená hodnota nárazu větru 33 m/s (118,8 km/hod) byla naměřena 1. 8. 2008 v 10:33 UTC ze směru 280°.

4.5 Srážky

Děšť

Děšť je nejběžnější formou kapalných padajících srážek, tedy také nejběžnější formou srážek při bouřkách. Mechanismus vzniku padajících atmosférických srážek spočívá v tom, že část původně maličkých oblačných elementů začne intenzivně narůstat na úkor ostatních.

V současnosti lze na tento fenomén nahlížet v podstatě dvojím pohledem. Podle klasické představy je ke vzniku srážek nezbytná přítomnost ledových částic v oblacích. K intenzivnímu narůstání ledových částic dochází, sráží-li se krystal s přechlazenou vodní kapkou. Tím se postupně zvětšuje hmotnost krystalu a síla aerodynamického odporu již dále neudrží krystal v rovnováze se silou tíhovou. Krystal postupně rovnoměrně zrychleným pohybem začne padat a v oblasti pod hladinou nulové izotermy začne tát a vznikne dešťová kapka. Podle této představy je dešťová kapka svým původem roztátý kousek ledu [9].

Ovšem skutečnost, že srážky mohou vypadávat také z tzv. teplých oblaků nalézajících se celým svým objemem pod hladinou nulové izotermy, je představa vzniku srážek pouze z ledových krystalků nesprávná. Vzniklou mezeru lze vyplnit narůstáním kapek koalescencí. Také přítomnost obřích kondenzačních jader v oblacích značně přispívá ke vzniku dešťových kapek. Oproti narůstání kapek existuje i jejich samovolný rozpad. Dosáhne-li velikost kapek 2 až 5 mm, může podle konkrétních podmínek uvnitř oblaku, dojít k jejich rozpadu na několik málo větších zbytků a značný počet mikroskopických kapiček. Příčinou tohoto jevu je skutečnost, že povrchové napětí už není schopno udržet povrchovou blánu kapky a ta praská. Větší zbytky jsou pak vzestupnými proudy unášeny vzhůru a celý proces narůstání kapek může začít znovu čímž se celý proces opakuje. Ovšem ne všechny kapky musejí prodělat spontánní rozpad. Pakliže k němu nedojde, může kapka opustit oblak a padat k zemi ve formě srážek. Její další narůstání není vyloučeno, splýváním s ostatními padajícími kapkami a to zvláště pokud v kapce jsou přítomny příměsi, které účinně napomáhají k udržení objemu kapky pohromadě. Z oblačnosti druhu cumulonimbus můžou vypadávat i srážky pevné [9].

Klasifikace intenzity dešťových srážek

Děšť je z hlediska intenzity klasifikován následujícím způsobem (v intervalu 1 hodina):

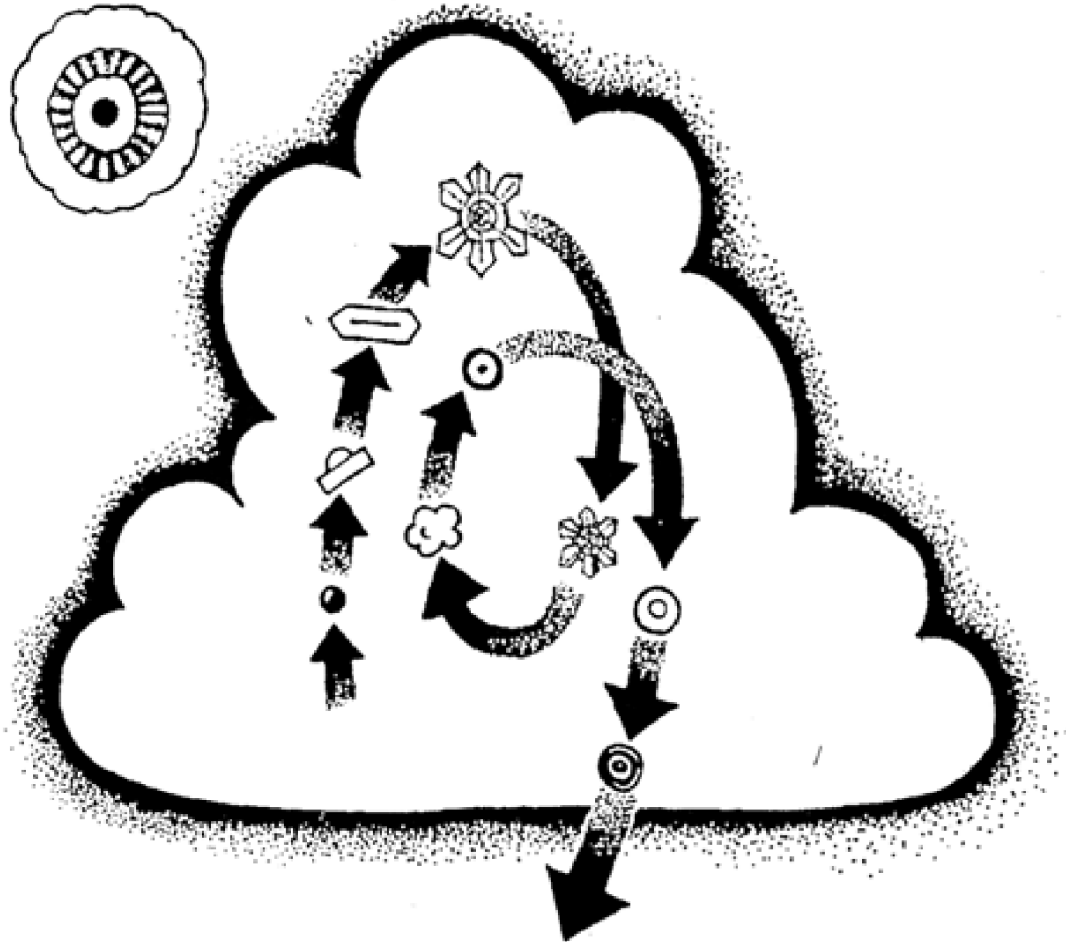
- **děšť slabý** – srážkový úhrn do 1 mm za hodinu
- **děšť mírný** – srážkový úhrn 1,1 – 5,0 mm za hodinu
- **děšť silný** – srážkový úhrn 5,1 – 10,0 mm za hodinu
- **děšť velmi silný** – srážkový úhrn 10,1 – 15,0 mm za hodinu
- **liják** – srážkový úhrn 15,1 – 23,0 mm za hodinu
- **příval** – srážkový úhrn 23,1 – 58,0 mm za hodinu
- **průtrž mračen** – srážkový úhrn nad 55 mm za hodinu

Kroupy

Vznik krup je v podstatě jistým spojením obou výše zmíněných procesů. Padající krystalek ledu může být v bouřkovém oblaku zachycen výstupným proudem a při srážkách s novými kapičkami podchlazené vody a v důsledku klesající teploty se mění v ledové kuličky – kroupy. Ty pak padají, částečně tají a velice často jsou znovu vynášeny vzhůru (obr. 10). Tento proces se může i několikrát opakovat, a tím se kroupy zvětšují. Při každém výstupu se vytvářejí nové a nové vrstvy ledu, takže v řezu pak kroupa působí dojmem letokruhů. Průměr krup dopadajících na zem je různý, od 5 do 50 mm, vzácně mohou být pozorovány i kusy

ledu o velikosti až 190 mm [9]. Poškození letounu v důsledku tohoto druhu srážek si jistě každý dokáže představit sám. Ne nadarmo se projevům těchto srážek říká lidově „krupobití“.

ŘEZ KROUPOU



Obr. 11 Principiální schéma vzniku krup

Při průletu srážkami všeho druhu je nutno mít na paměti, že jak horizontální, tak i vertikální dohlednost může být místy značně zhoršena. Může klást na posádku za letu zvýšenou námahu na provedení správné pilotáže letounu v důsledku dočasné ztráty orientace způsobené právě zhoršenou dohledností. Toto zatížení je větší, letí-li posádka podle VFR a nenadálá snížená dohlednost je přinutí k okamžitému přechodu na IFR, než pokud se již na zemi, v důsledku setrvalého stavu počasí, nevhodného pro let VFR, na let IFR připravují.

5 Způsoby předpovědi bouřek

5.1 Způsoby získávání meteorologických dat

Předpověď počasí není nic jiného, než snaha člověka o vyjádření budoucích meteorologických podmínek počasí. Používá k tomu nejčastěji následující techniky nebo jejich kombinaci.

Synoptická meteorologie

Zabývá se rozbořem map sestavených ze synoptických pozorovacích termínů. Jedná se o mapy velkých geografických oblastí rozměrů kontinentů. Na nich nalezneme zákres počasí ve formě „pavoučků“ z jednotlivých meteorologických stanic. Předmětem studia synoptické meteorologie jsou synoptické objekty. Mezi ně patří vzduchové hmoty, tlakové útvary a atmosférické fronty.

Dynamická meteorologie

Obor meteorologie zabývající se formulováním a matematickým řešením vztahů a rovnic popisujících statiku, dynamiku a termodynamiku atmosféry. Aplikací dynamické meteorologie jsou dynamické předpovědní metody, které se v současné době používají k objektivním, především početním předpovědím přízemních a výškových tlakových polí, výškových teplotních a vlhkostních polí a k předpovědi atmosférických srážek[10].

Nejdůležitějším nástrojem numerické předpovědi počasí je **numerický předpovědní model**. Základem každého modelu je jeho **dynamické jádro**. Východiskem je soustava rovnic popisujících fyzikální zákony, podle kterých se vývoj skutečné atmosféry řídí. Dynamické jádro modelu tyto rovnice řeší přibližně metodami numerické matematiky v prostorové síti uzlových bodů, vzorkujících atmosféru nebo její část. Dynamické jádro však nepopisuje všechny významné procesy, ať už protože probíhají v menším prostorovém měřítku než je základní rozlišení modelu (např. turbulence, konvekce aj.), anebo protože tyto procesy nejsou přímo zahrnuty v základních rovnicích (záření, mikrofyzikální procesy v oblačnosti apod.). Nejdůležitějším nástrojem numerické předpovědi počasí je **numerický předpovědní model**. Numerické předpovědní metody jsou centrem zpracování meteorologických dat a základem veškeré provozní předpovědi počasí (podle [1]).

Aerologie

Výstupem aerologické meteorologie jsou data získána z aerologických výstupů. Ty jsou prováděny několikrát za den. Principiálně se jedná o vypouštění aerologického balónu se zavěšenou aerologickou sondou. Sonda je schopná pomocí rádiového signálu odesílat naměřené hodnoty meteorologických veličin zpět na zem. Mezi měřené meteorologické veličiny patří teplota vzduchu, vlhkosti vzduchu a tlak vzduchu, které sonda měří přímo, a dále lze získat z výstupu ještě směr a rychlost větru ve výškách, které se provádělo radiovým zaměřením sondy během jejího výstupu, tedy nepřímou. Nyní se přechází na systém získávání souřadnic GPS, které jsou sondou vysílány zpět na zem. Při použití systému GPS pro určení směru větru jde o získávání dat přímou metodou. Vynesením teploty vzduchu z výstupu do diagramu získáme **křivku zvrstvení**. Ta udává graficky rozdělení teploty s výškou, přičemž vertikální souřadnicí diagramu je (klesající) tlak vzduchu.

Na základě takto získaných dat se provádí předpověď výskytu kupovité oblačnosti a počítá se pravděpodobnost výskytu bouřek.

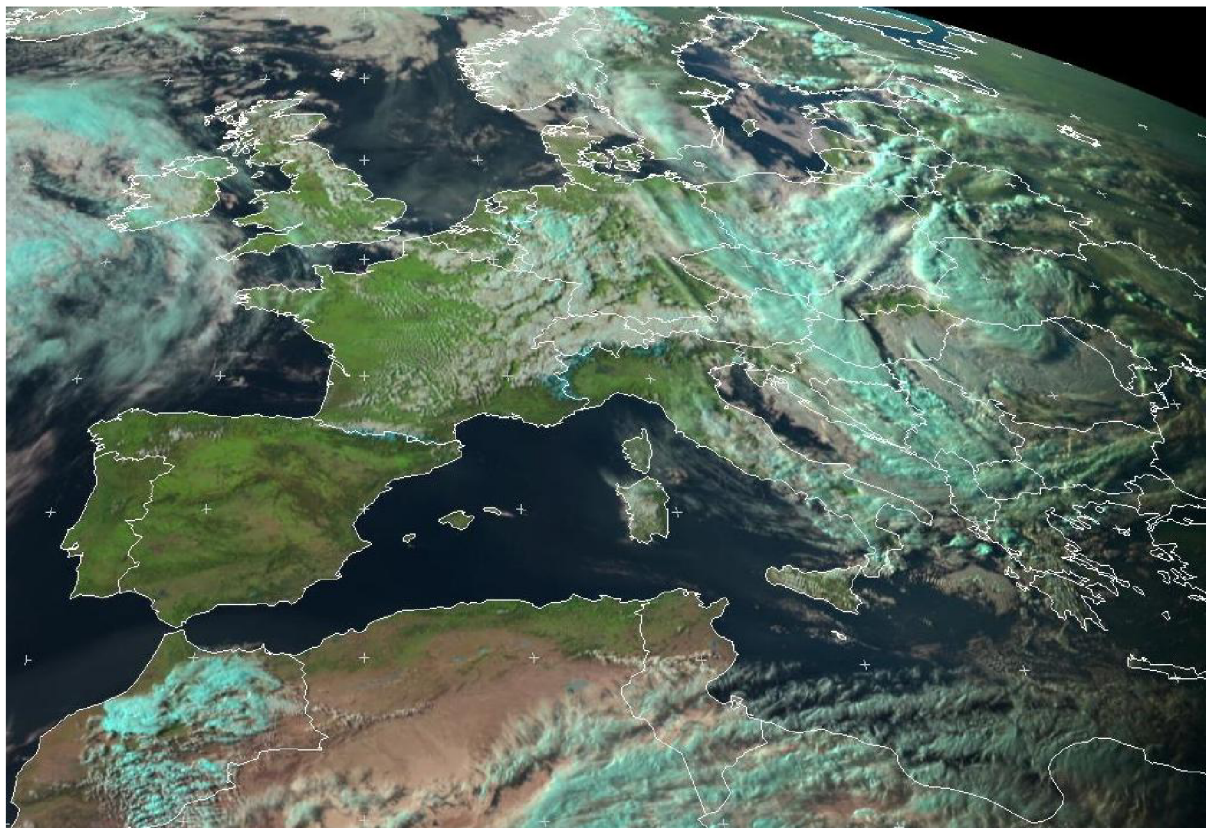
Způsoby předpovědi výskytu bouřky

Víme již, že výška konvekční vrstvy není jedinou rozhodující podmínkou pro vznik přeháňky či bouřky. Kromě instability v potřebném vertikálním rozsahu je nutná určitá vlhkost vzduchu a určitý stříh větru. Malá vlhkost vzduchu nebo velký stříh větru uvnitř konvekční vrstvy stačí zabránit vzniku přeháňky či bouřky i při dostatečné instabilitě. Ve volné atmosféře se vyskytují rozličné kombinace uvedených činitelů, které úspěšná předpověď bouřky nebo přeháňky musí mít na zřeteli.

Pro předpovídání výskytu bouřek se používá tzv. **čtyřvrstvová metoda**. Je založena na principu vyšetřování podmínek vzniku bouřky ve čtyřech hladinách (výškách). Hladiny jsou předem definovány na hodnotách 850 – 700 hPa, 850 – 500 hPa, 850 – 400 hPa a 850 – 300 hPa. Informace o stavu ovzduší jsou dodávány z aerologických výstupů několika stanic umístěných v oblasti pro které se mají předpovědi vydávat. Na základě těchto výstupů se určuje stav ovzduší z hlediska stability. Je-li stav ovzduší instabilní, je velká pravděpodobnost výskytu přeháněk nebo bouřek. Po sumarizaci získaných dat a po provedené opravě se vydává předpověď na vznik a výskyt bouřek nebo přeháněk.

Družicová meteorologie

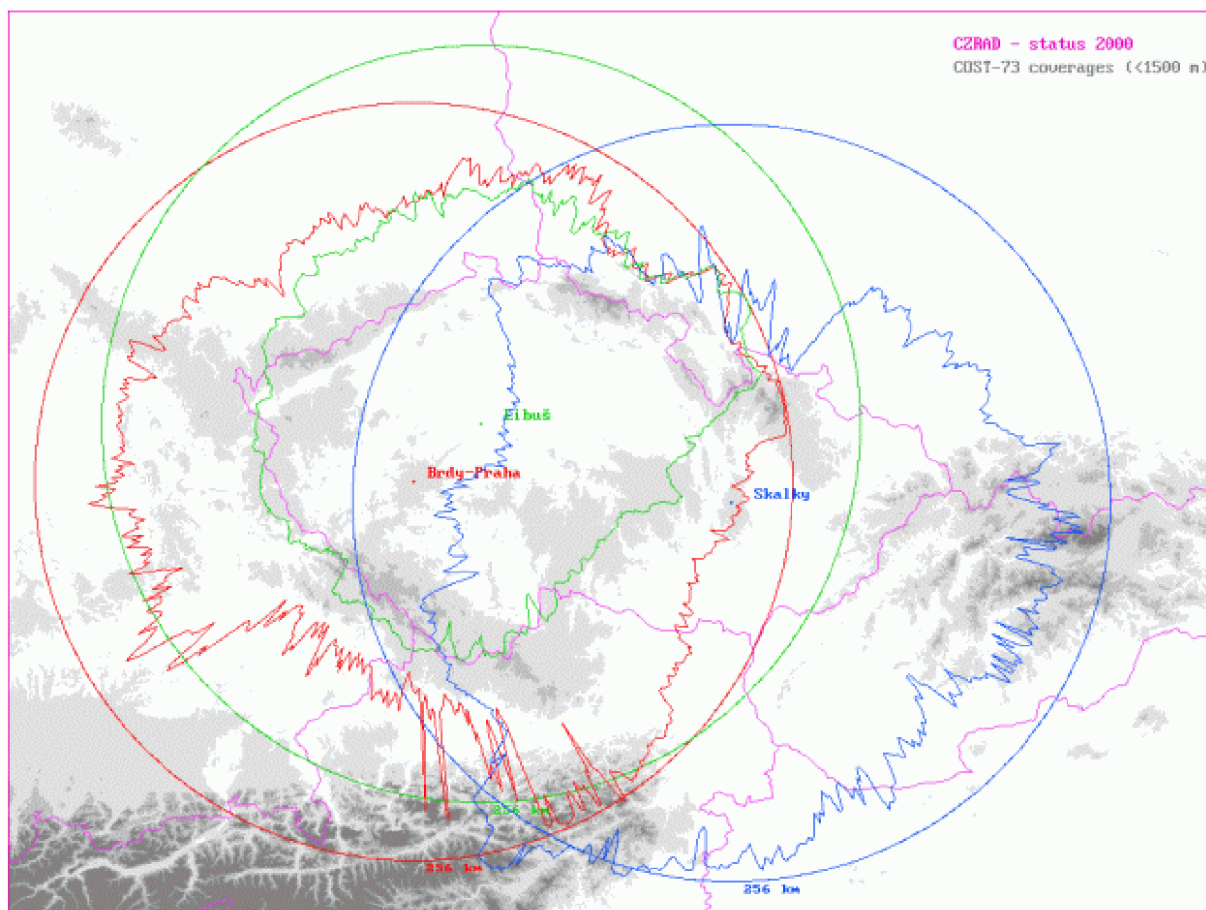
Zabývá se získávání informací o počasí pomocí zařízení na palubě meteorologické družice Země. Na oběžné dráze Země se vyskytují dva druhy těchto družic. **Geosynchronní (geostacionární)** jsou rozmístěny nad rovníkem ve výšce zhruba 36.000 km. Evropu pokrývá družice METEOSAT, jejíž snímky známe např. z televizních předpovědí počasí. Informace z ní mohou být částečně zkreslené vlivem velké vzdálenosti od zemského povrchu. Tento nedostatek nám pomáhají odstranit družice **orbitální** (nebo-li na „polárních drahách“). Ty operují ve výškách od 800 km do 1000 km nad zemským povrchem. Získané informace 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. Měření tohoto záření umožňuje výpočet velkoprostorového rozložení povrchu Země a oblačnosti, vertikálních profilů teploty atmosféry[10] apod.



Obr. 12 Snímek z družice EUMETSAT

Radiolokační meteorologie

K nejčastějšímu způsobu předpovědi bouřky slouží informace z České radarové sítě CZRAD. Meteorologické radiolokátory jsou užívány již půl století pro detekci význačné oblačnosti a měření intenzit srážek na velké ploše. Pokrok v počítačovém zpracování signálů umožnil v 80. a 90. letech digitalizaci dat a automatizaci meteorologických radarových měření. Meteorologické radary nové generace tvoří nyní i českou národní meteoradarovou síť CZRAD. Jedná se o dva radiolokátory, které jsou umístěny na kótě Brdy-Praha a Skalky. Standardní součástí zpracování dat u těchto radarů je mimo měření radiolokační odrazivosti též vyhodnocení radiální rychlosti radiolokačních cílů na základě Dopplerova jevu. Meteorologické radiolokátory díky plošnému pokrytí a dobrému prostorovému i časovému rozlišení dat vhodně doplňují síť pozemních stanic i družicová pozorování pro synoptickou a leteckou meteorologii. Poskytují okamžitý přehled o plošném rozložení, pohybu a struktuře srážkových systémů. Tím umožňují sledování okamžitých intenzit srážek a nebezpečných jevů spojených s oblačností, zejména bouřek a krup a varování před těmito jevy.

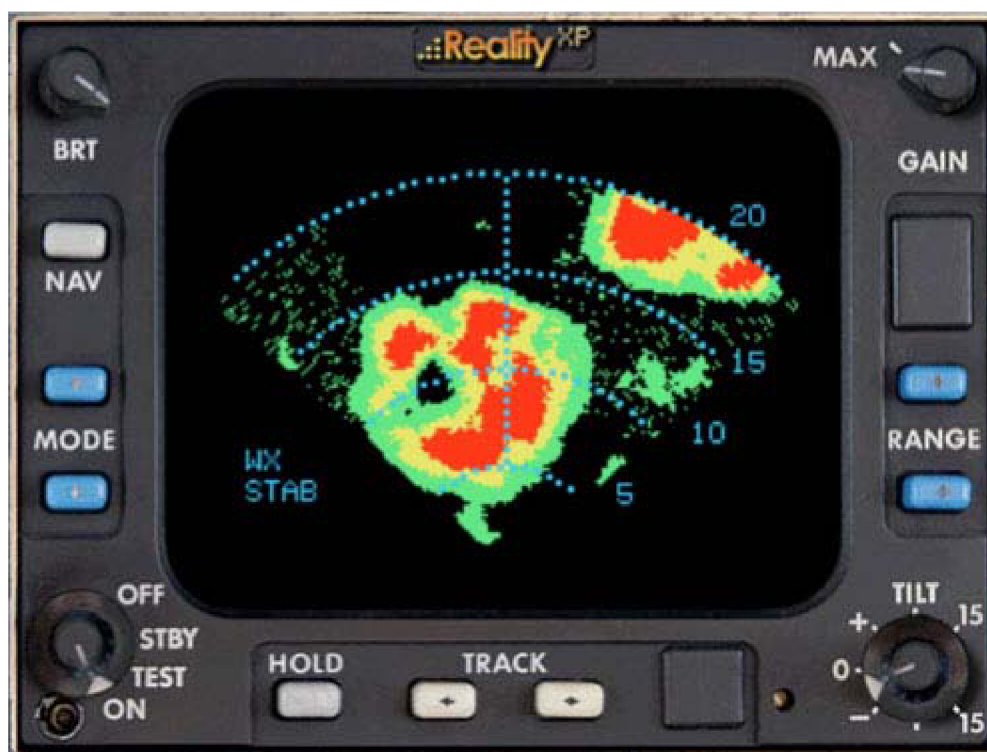


Obr. 13 Pozice meteorologických radiolokátorů na území ČR

Na obrázku č.12 je vidět rozdíl mezi teoretickým dosahem radaru (kružnice) a praktickým pokrytím radaru pro výšku např. 1500m nad terénem (křivky).

Letecké palubní radiolokátory

Všechny letouny přepravující cestující nad 9 osob včetně, jsou povinny mít na palubě povětrnostní radar, podle nařízení závazného předpisu EU-OPS pro provozovatele letecké dopravy. Tyto umožňují operativní sledování rozložení srážkové a především bouřkové oblačnosti za letu. Tyto radiolokátory pracují v pásmu X, z čehož vyplývá i vlnová délka velmi blízká hodnotě 3 cm. WX radary jsou umístěny obvykle v přední části trupu a mívají rozmítání paprsku v azimutu v rozsahu 60° od směru letu. Přesto existují určité omezení, které musí mít posádka obsluhující tento typ radaru na paměti. Jedná se o nízký dosah radaru (několik desítek km), omezený rozsah zobrazovaného prostoru (pouze prostor ve směru letu) a útlum radarového paprsku v silných srážkách (radar „nevidí“ další oblačnost za oblastí konvekčních jader Cb).



Obr. 14 Ukázka zobrazování meteorologické situace na palubním radaru za letu

Meteorologické radary patří spolu s družicemi k technice dálkového průzkumu. U radaru se jedná o aktivní detekci, která na rozdíl od běžných družicových pozorování nepotřebuje zdroj světla (Slunce) ani vlastní vyzařování cíle. Sám totiž emituje částice, které následně zachytává na svou anténu a v registrační jednotce vyhodnocuje. Příklad takového zobrazení můžeme vidět na obr. 13. Užití vlnové délky v řádu centimetrů umožňuje pozorování přes opticky husté zóny. Přitom pozorování nijak nenarušuje prostředí, v němž je pozorování prováděno.

Detekce blesků

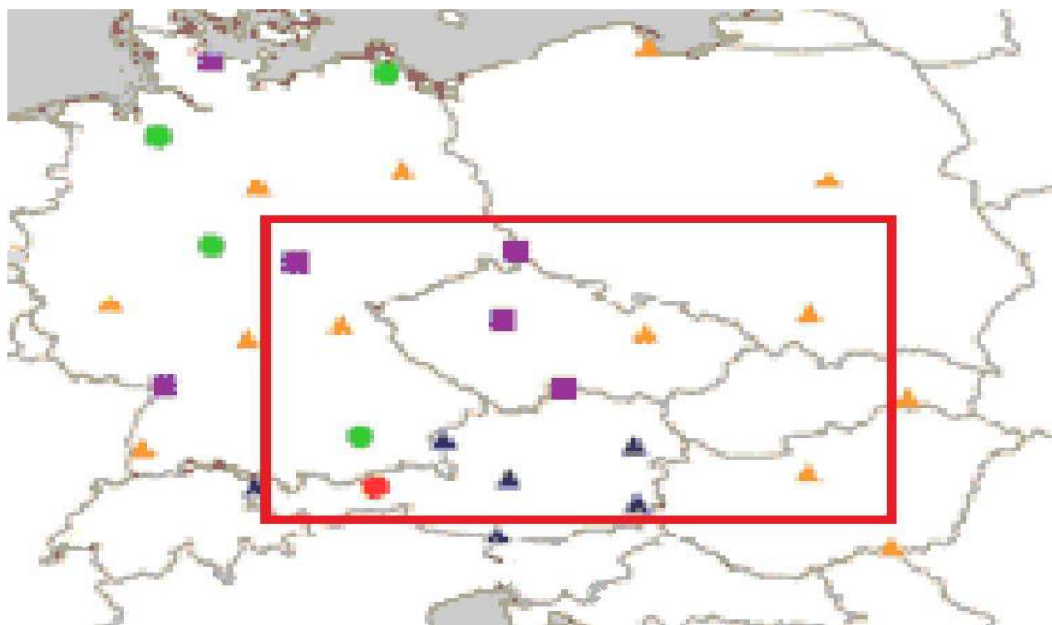
Přestože systémy detekce blesků patří k nejmladším distančním metodám v meteorologii, i ony si vydobily celkem pevnou pozici. Data detekce blesků jsou v současnosti operativně využívána ve většině evropských meteorologických služeb, zejména pro potřeby nowcastingu a varování před konvektivními bouřkami a s nimi spojenými blesky. K tomuto účelu jsou v pravidelných intervalech generovány mapky aktuálně detekovaných blesků pro potřeby pracovníků předpovědní služby.

Na našem území využíváme data ze sítě CELDN, zaměřené zejména na oblast České republiky a našich nejbližších sousedů (Německo, Rakousko, Maďarsko, Slovensko a Polsko) v rámci Evropské sítě EUCLID.

Princip systémů detekce blesků je spočívá v detekci a analýze elektromagnetického záření blesků zachycených sítí senzorů rozmístěných po zájmové oblasti. Všechny senzory jsou přesně časově synchronizovány pomocí GPS a online připojeny k hlavní zpracovatelské jednotce, která na základě triangulace informací z jednotlivých senzorů vyhodnotí finální polohu bleskových výbojů v rámci sítě detekce blesků CELDEN. Pro každý vyhodnocený výboj je k dispozici informace o přesném čase, poloze, typu (zda se jedná o výboj do země nebo mezioblačný) a pro výboje do země též odhad amplitudy.

Podle analýz odborníků a nezávislých studií by se pravděpodobnost detekce blesků do země měla pohybovat kolem 90%, v případě mezioblačných výbojů však výrazně klesá na ca 30%.

U blesků do země by se přesnost vyhodnocení měla pohybovat pod 1 km a nejistota v určování velikosti amplitud je odhadována na 30%. Množství falešně vyhodnocených výbojů je nízké, nikoliv však nulové.



Obr. 15 Rozmístění detekční sítě CELDN a oblast dat pro potřeby ČHMÚ (výřez)

Detekce blesků mimo jiné slouží i pro hodnocení bouře z hlediska intenzity. Obecně platí, čím vyšší koncentrace blesků na jednotku plochy, tím intenzivnější projev právě probíhající bouře má. Dále se využívá detekce blesků ke zjišťování aktuální polohy bouře. Jako elementární jednotku plochy pro zjišťování polohy bouřky je plocha o rozměrech 1 x 1 km.

5.2 Druhy vydávaných meteorologických zpráv pro letectví

Letecké meteorologické zprávy jsou určeny všem leteckým uživatelům. Z pohledu hlášení a předpovídání bouřkových jevů nás zajímají následující typy zpráv:

Meteorologické hlášení

Meteorologickým hlášením rozumíme zveřejňování napozorovaných a naměřených hodnot pro uživatele pouze na letišti, kde bylo pozorování provedeno. Distribuce takového druhu zprávy je prováděno ve formě otevřené řeči s použitím zkratk předepsaných organizací ICAO. Na letištích zpravidla šířeno pomocí radiového vysílání nebo formou předletové přípravy pilotů na meteorologických služebnách.

Zprávy METAR

Pravidelná letecká meteorologická zpráva (METAR) je informací o aktuálním počasí pozorovaném na letišti a je distribuována v předem dané kódované formě. Dále se tato informace rozšiřuje i mimo oblast letiště, pro které byla vydána. Pravidelná meteorologická pozorování se šifrují v kódu **METAR**. Obvykle se vydávají jednou za hodinu, na frekventovaných letištích dvakrát za hodinu, pravidelný termín je vždy celá hodina resp. půlhodina. Zpráva METAR bývá zakončena přistávací předpovědí typu TREND. Ta je vždy vydávána na časový úsek dvou hodin a je zpracována meteorologem. Vyjadřuje

indikátor změny. Nejfrekventovanějšími používanými identifikátory zprávy TREND jsou : BECMG (setrvalá změna), TEMPO (krátkodobá změna), NOSIG (bez význačné změny). Nedílnou a významnou část zprávy tvoří mimo jiné informace o stavu RWY, jejich brzdících účincích, tloušťce nánosu a rozsahu znečištění dráhy, vyskytuje-li se nějaké.

Pokud však dojde v mezidobí k výrazné změně počasí, vydává se zvláštní letecká meteorologická zpráva **SPECI** (special), která se kóduje podle stejných pravidel. Na některých letištích jsou zprávy vytvářeny plně automaticky (v kódu se pak objevuje informativní označení AUTO), jinde mohou být měření sice prováděna automatickými přístroji, ale zprávu poté sestaví a zkontroluje meteorolog.

Zprávy SIGMET

Jedná se o výstrahu pro letectvo před současnými nebo očekávanými nebezpečnými meteorologickými jevy, vydávanou výstražní meteorologickou službou. Obsahem informací SIGMET je stručný a výstižný popis výskytu specifikovaných meteorologických jevů na trati, které mohou ovlivnit bezpečnost letů, a popis očekávaného vývoje těchto jevů v prostoru a čase (výskyt bouřek, tropických cyklon, húlav, silného krupobití, silné námrazy a silných turbulencí, výrazného proudění ve tvaru vln za horskou překážkou a rozsáhlých prachových bouří). Pro letové hladiny, ve kterých se překračuje rychlost zvuku a v hladinách s nadzvukovým leteckým provozem se dává výstraha i na mírnou turbulenci, na oblaky druhu Cb a na výskyt krup. Informace SIGMET se vydávají ve zkrácené otevřené řeči za použití předepsaných zkratk. Platnost informací vydaných ve zprávě SIGMET nesmí obvykle přesahovat **4 hodiny**. Existují výjimky, pro které mohou tento stanovený časový údaj přesáhnout: Jde především o výstrahy na výskyt vulkanického popela a tropických cyklon. Trvá-li jev déle, musí být vydána nová informace SIGMET. Pomine-li trvání jevu, na který byla tato zpráva vydána dříve než pomine délka platnosti informace SIGMET, musí být tato zpráva zrušena poznámkou **CNL** (cancelled) (podle [10]).

Pro názornost zde uvedu, jakým způsobem se uvádějí různé typy bouřek ve zprávě SIGMET.

<u>zkratka</u>	<u>popis modifikace bouřek</u>
OBSC TS	zastřené zákalem nebo kouřem, nebo špatně viditelné ve tmě
EMBD TS	prorůstající vrstevnatou oblačností
FRQ TS	četné
SQL TS	na squall line (na čáře instability)
EMBD TS GR	prorůstající vrstevnatou oblačností s kroupami
FRQ TS GR	četné s kroupami
SQL TS GR	na squall line (na čáře instability) s kroupami
OBSC TS GR	zastřené zákalem nebo kouřem, nebo špatně viditelné ve tmě s kroupami

Informace VOLMET

Informace VOLMET slouží zejména posádkám letounů za letu. Je to dáno způsobem, jakým je tato informace rozšiřována. Provádí se rádiovým vysíláním na letecké frekvenci. Pro Českou republiku se tak děje na frekvenci 125,525 MHz, pro zahraniční letiště pak na frekvenci 128,6 MHz. Dosah rádiového signálu je za letu mnohem větší, než pro letouny na zemi. Vysílání je prováděno ze dvou od sebe vzdálených, vzájemně se nerušících, stanišť, aby bylo zaručeno pokrytí celé České republiky.

Informace VOLMET jsou obnovovány každých 30 minut, při mimořádných změnách počasí častěji. Tato informace je distribuována v anglickém jazyce. Nejčastějším zdrojem informací pro tento typ zprávy jsou informace METAR doplněné o informace SIGMET, se zachováním předepsaného způsobu kódování pro tyto zprávy. Na rozdíl od METARu, který je kódován formou zkratk a distribuován tištěnou formou, v informaci VOLMET jsou tyto zkratky čteny mluvenou formou. Informace obsažené v této zprávě pokrývají vždy celou sérii letišť (na rozdíl od zprávy ATIS).

Informace ATIS

ATIS je informací o aktuálním stavu počasí na daném letišti, pro které je vysílána. Vysílání je nepřetržité. Tato informace je obnovována každých 30 minut nebo častěji a každé toto hlášení je opatřeno jednoznačným identifikátorem pro danou zprávu (nejčastěji písmeno abecedy). Posádka před letem nebo za letu pak s řídicím letového provozu komunikuje o této zprávě pomocí tohoto jednoznačného identifikátoru. Řídicí letového provozu pak na základě tohoto identifikátoru platnost zprávy potvrdí nebo opraví. Informace ATIS je (stejně jako informace VOLMET) rozšiřována rádiovým vysíláním za použití stejného formátu kódování a čtení zprávy.

Letištní předpověď TAF

Na rozdíl od předcházejících druhů zpráv, které popisují aktuální meteorologickou situaci nebo předpověď na velmi blízký časový interval, je informace TAF předpovědi vydávanou z pražského meteorologického předpovědního centra. Letištní předpověď TAF se vydává dvojího druhu, podle délky platnosti předpovědi. Předpověď obvykle na 18 hodin (tzv. dlouhý TAF) a předpověď na 9 hodin (tzv. krátký TAF). Letištní předpovědi s platností kratší než 12 hodin se vydávají každé 3 hodiny, ostatní každých 6 hodin.

Tato předpověď musí obsahovat předpověď na minimálně tyto prvky:

přízemní vítr, dohlednost, oblačnost a stav počasí.

Úspěšnost vydávaných leteckých předpovědí

Úspěšnost jakékoliv předpovědi je posuzována velmi jednoduchým způsobem. Jde o porovnávání vydaných předpovědí pro jednotlivé meteorologické situace a prvky na určitou dobu a vyhodnocováním situací podle toho, jestli nastali nebo ne. Hodnotí se předpovědi oblačnosti, srážek, minimálních a maximálních teplot vzduchu, bouřek a mlh, přičemž při předpovědi srážek a nebezpečných jevů jde o hodnocení podle plošného výskytu nikoliv podle intenzity či množství. Hodnocení se vyjadřuje v procentech. Hodnocení se provádí pro první až čtvrtý předpovědní den (viz. grafy přílohy). Obrázky neuvádí úspěšnost předpovědi na kratší termín, než jeden den. Pro potřeby předpovědi určených pro letecký provoz se užívá intervalů kratších.

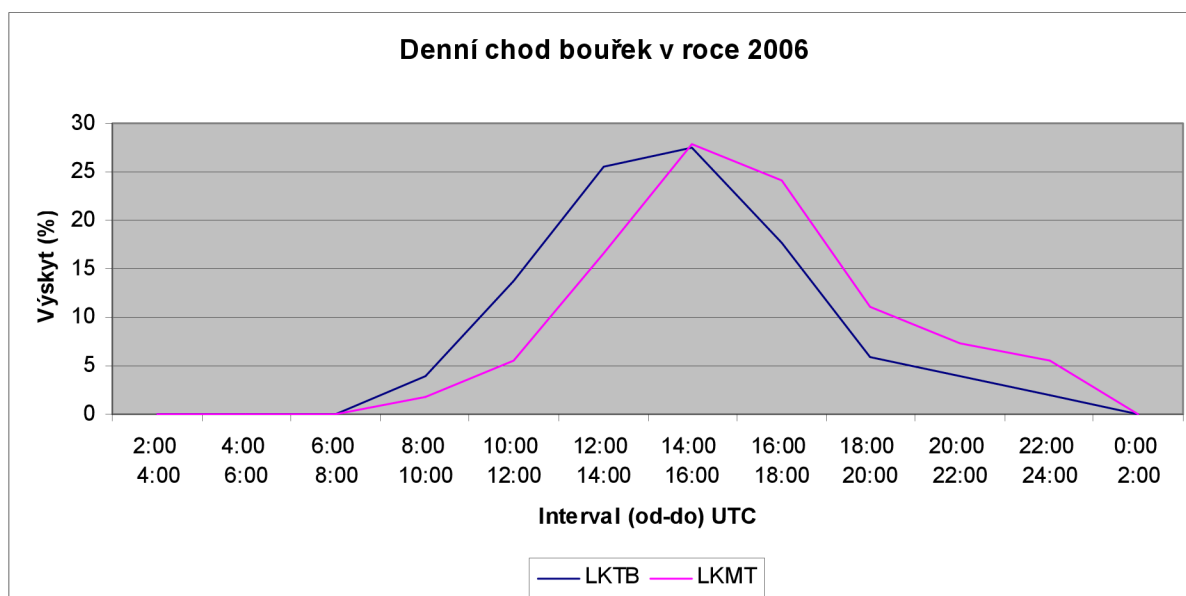
Úspěšnost předpovědi se nacházejí dle délek intervalů na které jsou vydávány v patřičném rozmezí. Obecně lze říci, že úspěšnost vydané předpovědi je tím nižší, na čím delší interval je předpověď vydána.

5.3 Roční a denní chod bouřkové činnosti na letištích LKTB a LKMT

Na vznik bouřky působí mimo vlastností vzduchové hmoty také nemalou měrou místní podmínky. Při shromažďování dat z letišť Brno-Tuřany (LKTB) a Ostrava-Mošnov (LKMT) jsem si povšiml vyšší intenzity projevu bouřek na letišti LKMT za přibližně stejných hodnot

počtu dní s bouřkou za sledované období na obou letištích. Z teorie denního chodu bouřek víme, že izolované bouřky se budou tvořit odpoledne a v podvečer, kdy teplota vzduchu dosahuje své maximální hodnoty v důsledku prohřátého zemského povrchu. Večer a v noci se pak tyto bouřky budou rozpadat. Zemský povrch se totiž ochladí a ukončí tím přísun prohřátého vzduchu, hnací motor izolované bouřky. Podobný denní chod mají i bouřky frontální. Snad jen s tím rozdílem, že můžou přetrvávat do nočních hodin a teprve tehdy slábnout, neboť zdrojem energie v tomto případě je vzájemné tření vzduchových mas. Může tedy trvat i po té, co ustala radiace tepla ze zemského povrchu.

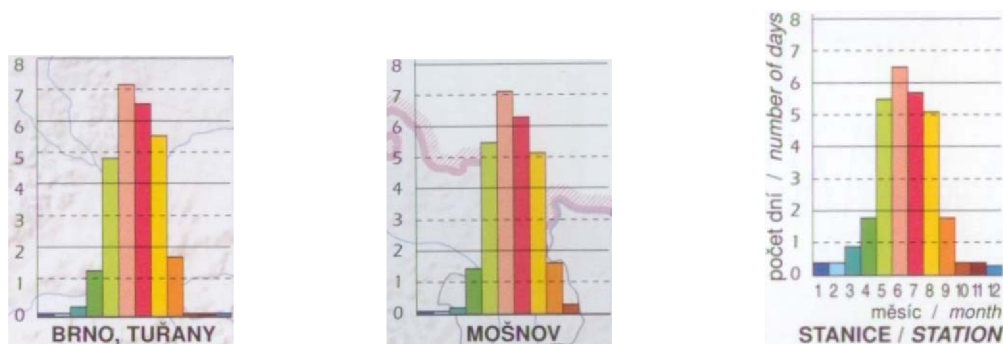
Zvýšenou intenzitu projevu bouřek na letišti LKMT přisuzují zmíněným místním podmínkám. Jsem přesvědčen, že tato vyšší intenzita je významně ovlivněna přítomností nedalekých Moravskoslezských Beskyd. Ty také podstatně ovlivňují denní chod bouřek na tomto letišti. Pro ilustraci jsem zde umístil jeden z grafů uvedených v příloze této práce, znázorňující denní chod výskytu bouřek na těchto letištích, což potvrzuje moji teorii o částečném časovém posunu v průběhu výskytu bouřek.



Obr. 16 Denní chod bouřek v roce 2006 na letištích Brno-Tuřany a Ostrava-Mošnov

Naproti tomu roční chod výskytu bouřek je svázán spíše s přechodem atmosférických front. Jak již bylo popsáno v kapitole 2.4, přechod aktivní studené fronty se může projevit i bouřkou v zimních měsících, jak se tomu například stalo dne 19. 1. 2007 na LKTB. Toho dne zde byla pozorována vzdálená bouřka.

V obrazové příloze této práce jsou uvedeny grafy, které názorněji prezentují počet dní s bouřkou v jednotlivých měsících a denní chod těchto bouřek, zpracované zvláště pro každý rok v pozorovaném období 2005 – 2009. Příkladám kartodiagramy z literatury [3] jako obr. 17 za období 1961 - 2000 pro názornější porovnání průběhu výskytu bouřek v jednotlivých měsících na sledovaných letištích LKTB a LKMT.

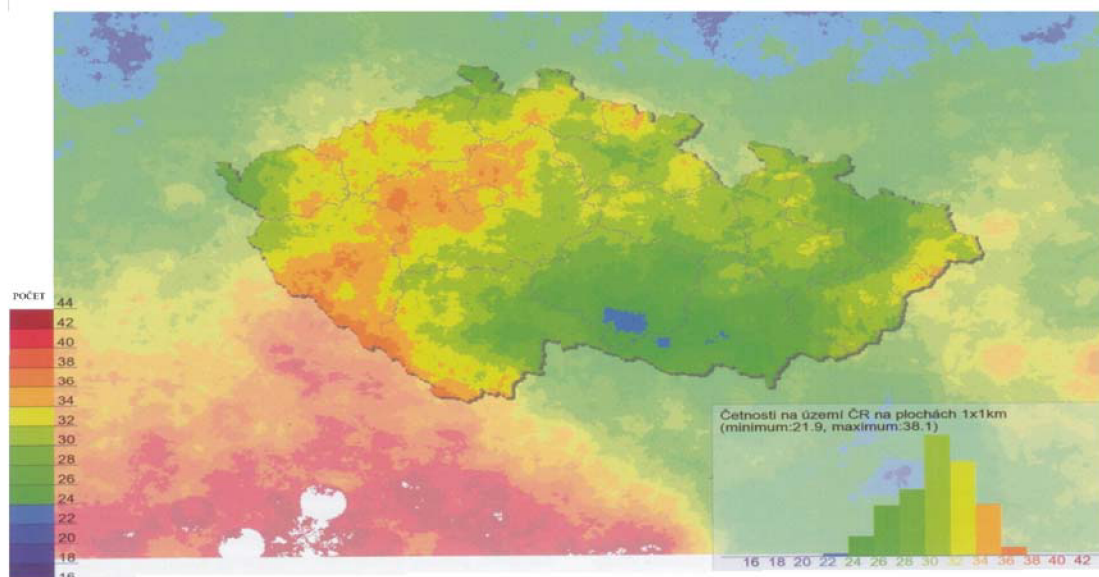


Obr. 17 Počet dnů s bouřkou na LKMT a LKTB za období 1961 – 2000

Praktická část této práce spočívala především ve sběru dat z meteorologických služeb na letištích LKTB a LKMT. Výsledkem byly podrobné výpisky z meteorologických deníků se všemi náležitostmi, které se používají k zápisu sledovaných bouřek. Jsou použity pro zpracování grafů v příloze (denní chod bouřek a počet dní s bouřkou na sledovaných na letištích). Přímé zdrojové informace nejsou v této práci uvedeny z důvodu jejich obsáhlosti. Přes velkou obsáhlost nemají takovou vypovídající hodnotu, aby zde byli zařazeny. Jsou plně nahrazeny grafy, které z nich byly vytvořeny a plně je nahrazují. Přehled významných a zajímavých dat jsou uvedeny v kapitole 5.4 v oblasti sumarizace.

Rozložení bouřek na území České Republiky

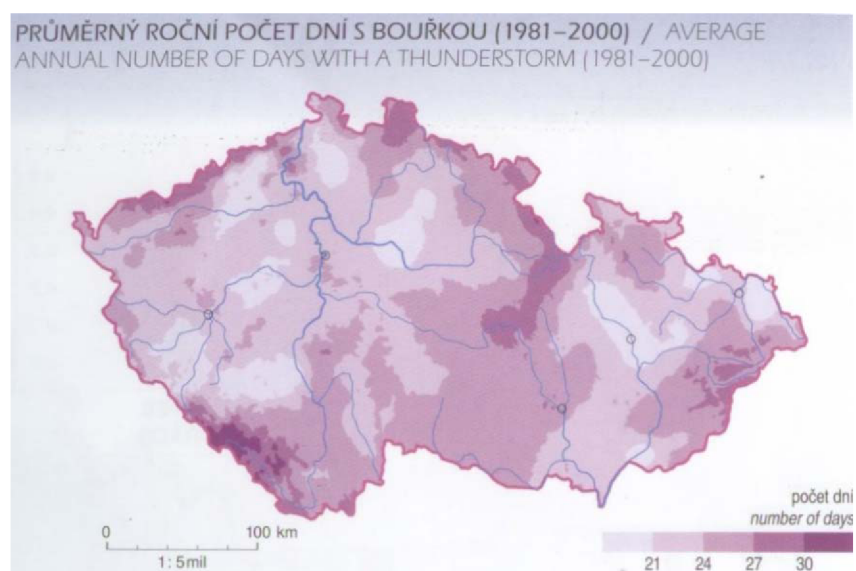
Jak již bylo popsáno v kapitole detekce blesků, jednou z možností posuzování intenzity bouřky je dle přítomnosti elektrických výbojů (blesků). Obecně platí pravidlo, že čím vyšší počet zaznamenaných elektrických výbojů na určité omezené ploše, tím je probíhající bouře intenzivnější[6]. Provedl-li bych syntézu dat přítomnosti elektrických výbojů na území ČR za sledované období, dosáhl bych tím zvýraznění oblastí s různou intenzitou bouřkové činnosti. Výsledek je nejlépe názorný na obr. 17. Ačkoliv je obrázek částečně mimo zadané sledované období, lze říci, že jeho vypovídající schopnosti jsou dostatečné. Jeho originální formát je přiložen v příloze této práce. Z obrázku mimo jiné vyplývá přímá souvislost mezi nadmořskou výškou terénu (nebo přítomnost překážek zasahujících do vyšších nadmořských výšek) a aktivitou bouřkové činnosti. Déle si lze na obrázku povšimnout dalších pozoruhodností. Třebaže to s touto prací přímo nesouvisí (mám pozorovat pouze výskyt na území České republiky), je na obrázku vidět zvýšený počet dní s bouřkovou činností (přítomností blesků) v oblasti Alp. To přímo podporuje teorii přímého vlivu nadmořské výšky terénu na počet dní s bouřkovou činností.



Obr. 18 Průměrný roční počet dnů s výskytem alespoň 2 blesků do země v období 2003-2008

Mapa na obr.18 obsahuje průměrný roční počet dní s bouřkou. Plošné zpracování těchto jevů je obecně velmi obtížné. To je dáno především tím, že jevy jako bouřka a její výskyt je lokální s časově omezenou povahou, jsou značně závislé na povětrnostní situaci, na orografických podmínkách a jejich plošná porovnatelnost je malá.

Průměrný roční počet dní s bouřkou v České republice se pohybuje od 17 na stanici Kralovice po 35 na stanici Churáňov. Nejvyšší počet zaznamenáváme v letním půlroce (duben-září), kdy se vyskytuje 96% všech bouřek. Bouřková aktivita začíná narůstat v dubnu a vrcholí v měsíci červnu, který má průměrně 7 dní s bouřkou, v říjnu se bouřková aktivita výrazně utlumuje a minima dosahuje v zimních měsících. Nejvyšší počet dní s bouřkou by na stanici Lysá hora (50 dní) v roce 1963. Minimum bylo na stanici Lysá hora zaznamenáno v roce 1977 (17 dní) (podle[3]).



Obr. 19 Průměrný roční počet dní s bouřkou na území České republiky

5.4 Sumarizace dat z LKTB a LKMT

Souhrn informací vztahující se k výskytu bouřkových činností na jednotlivých letištích za sledované období 2005 až 2009.

Letiště Brno – Tuřany (LKTB)

Počet dní s bouřkou celkem:	144
Počet dní s bouřkou v roce 2005:	38
Počet dní s bouřkou v roce 2006:	51
Počet dní s bouřkou v roce 2007:	48
Počet dní s bouřkou v roce 2008:	51
Počet dní s bouřkou v roce 2009:	36
Nejdéle trvající bouřka:	3 hodiny 30 minut dne 30.6.2007 v čase od 14:15 do 17:45 UTC
Největší nárazy větru:	33 m/s (118,8 km/h) ze směru 280°
Pozoruhodnost:	výskyt bouřky 19. ledna 2007

Letiště Ostrava – Mošnov (LKMT)

Počet dní s bouřkou celkem:	149
Počet dní s bouřkou v roce 2005:	49
Počet dní s bouřkou v roce 2006:	54
Počet dní s bouřkou v roce 2007:	56
Počet dní s bouřkou v roce 2008:	56
Počet dní s bouřkou v roce 2009:	40
Nejdéle trvající bouřka:	3 hodiny 30 minut dne 13.7.2008 v čase od 13:55 do 17:25 UTC
Největší nárazy větru:	31,4 m/s (113 km/h) ze směru 240°

6 Závěr

Kvalita činnosti meteorologických a výstražních služeb má vzestupný charakter. Tyto služby disponují stále kvalitnějším technickým vybavením, což jim napomáhá udržet vysokou úspěšnost vydávaných meteorologických předpovědí. V posledních letech této vzestupné tendenci nejvíce přispělo zavedení využití dat detekce blesků v mnohých evropských meteorologických službách včetně Českého hydrometeorologického ústavu. Blesková data společně s meteorologickým radiolokátorem, dokáží spolehlivě určit povahu blížících se nebo právě probíhajících nebezpečných jevů.

Pro letecký provoz (raději letoun na zemi nebo za letu) znamenají nebezpečné meteorologické jevy značné komplikace. S letounem dokáží manipulovat na hranici jeho provozních a mechanických možností. Proto je důležité spolu se zkvalitňováním a zpřesňováním vydávaných předpovědí, zaměřit se na lidský činitel v této oblasti.

Ačkoliv je každý pilot obeznámen se všemi druhy projevu nebezpečných jevů, je dobré udržovat aktivní povědomí a připravenost na akutní projevy. Dovedu si reálně představit například podcenění navigační a meteorologické přípravy při zaoceánském letu. Po přeletu nad nový kontinent může být posádka zaskočena mohutností a uskupením bouře, která před deseti a více hodinami zpět, vypadala jako nevýznamná záležitost. Na možnost dalšího vývoje byla posádka „jen“ upozorněna. Bezpečnost takto probíhajícího letu může být ještě více snížena při výskytu např. supercely, která bude plošně zabírat celou oblast Čech i Moravy a může tak snížit množství nebo omezit dostupnost některých záložních letišť. Pravděpodobně tím, že takto mohutný útvar nebude možné nadlétnout z důvodu finálního sestupu na přistání v cílové oblasti nebo oblétnout z důvodu nedostatečného množství pohonných hmot po dlouho trvajícím letu. Konečná zodpovědnost zůstává na veliteli letounu a pro potřebnou úroveň bezpečnosti leteckého provozu, je žádoucí, aby to byla vždy osoba s vysokou úrovní znalostí a povědomím o nebezpečnosti povětrnostních procesů a jevů v této práci popsaných. Tyto potřebné znalosti lze udržovat v aktivní formě pořádáním školení a přednáškových kurzů s požadavkem na jejich absolvování. Jen tak bude zaručena vysoká bezpečnost leteckého provozu za výskytu nebezpečných povětrnostních jevů.

Při rozboru a sledování bouřkové činnosti a s ní spojených průvodních fenoménů na letištích Brno – Tuřany a Ostrava – Mošnov jsem zjistil velkou podobnost v časovém rozložení bouřek na moravských letištích. Atlas podnebí česka zpracovaný za rozsáhlé období 1960 až 2000 uvádí maximum bouřkových dní v měsíci červnu. Statistika, kterou jsem provedl pro jednotlivé roky v období 2005 - 2009, vykazuje vysokou proměnlivost výskytu maxima dní s bouřkou vzhledem k jednotlivým měsícům a je takřka v rozporu s dlouhodobým trendem výskytu. Objevuje se značné kolísání z roku na rok. Maximum kolísá mezi měsíci květen a červenec. Přestože Atlas podnebí česka uvádí maximum bouřkových dní v měsíci červnu, byl tento měsíc v roce 2005 až na 4. místě.

V porovnání s Atlasem podnebí česka můžu říci, že mé sledované období se nachází, vzhledem k průměru, v následující oblasti: Počet dní s bouřkou má vzestupnou tendenci čili počtu dní s bouřkou přibývá, přičemž pozoruji vzdalující se tendenci od normálu směrem ke kladným hodnotám.

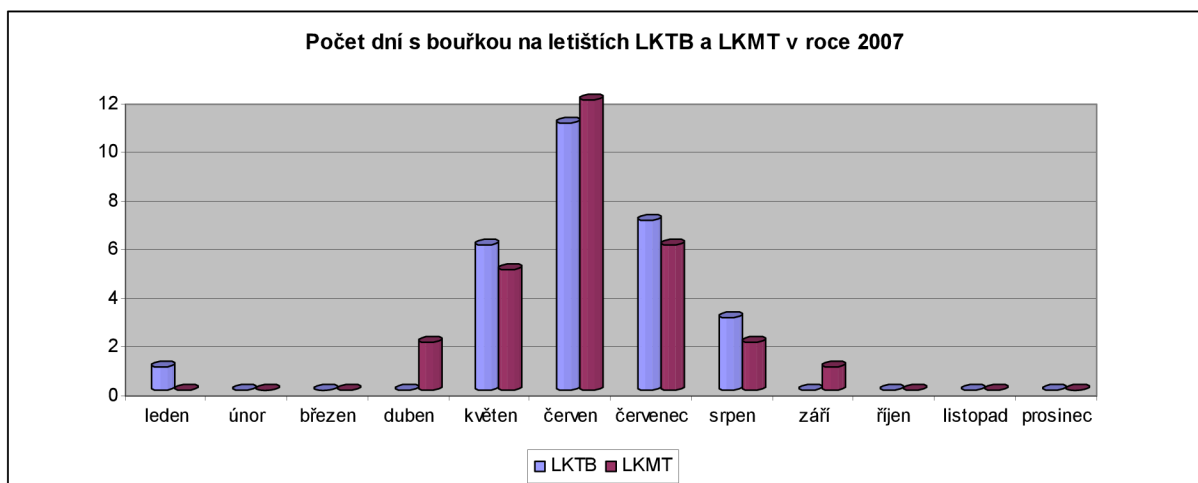
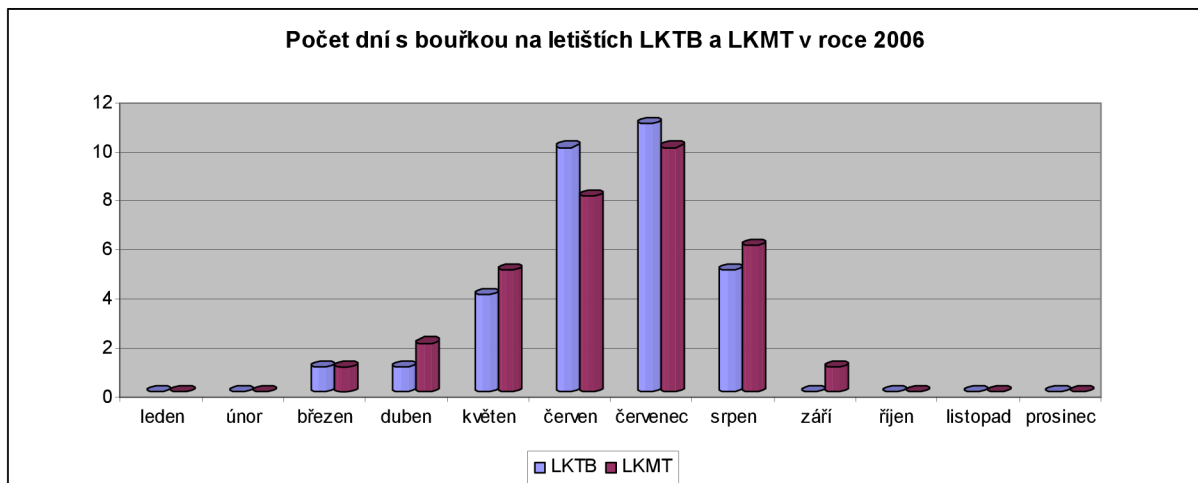
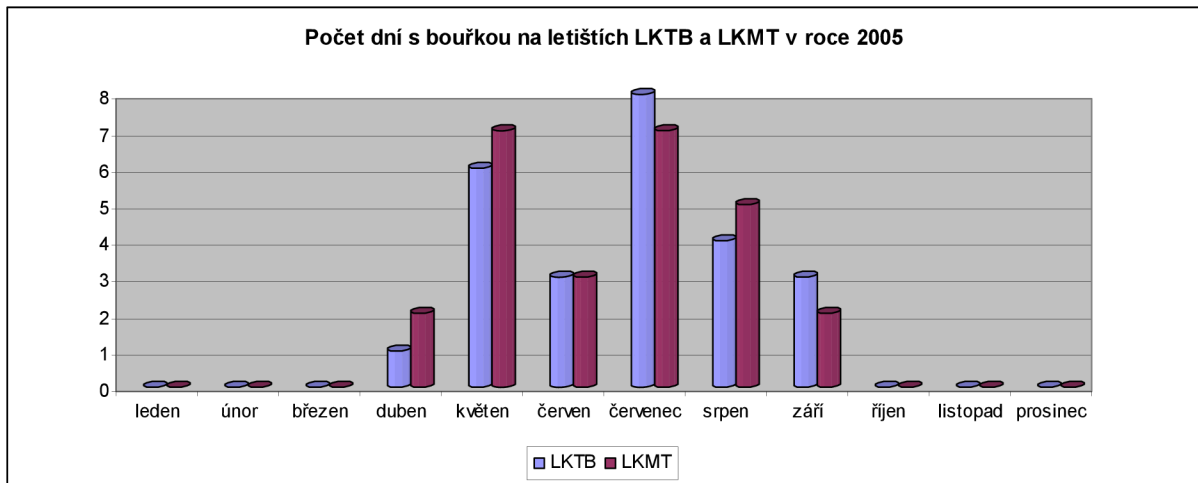
7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Dvořák, P.: *Letecká meteorologie*, Cheb, 2004.
- [2] Kobzová, E.: *Počasi (knižka pro každého)*, Rubico, Olomouc, 1998.
- [3] Kolektiv autorů: *Atlas podnebí Česka*, ČHMU Praha v koedici s ÚP v Olomouci, 2008. 256 s.
- [4] Krška, K. a kol.: *Meteorologie*. CERM, Brno, 2006. 306 s.
- [5] Munzar, J. a kol.: *Malý průvodce meteorologií*. Mladá fronta, Praha 1989. 248 s.
- [6] Novák, P. - Žejdlík, T. -Tolasz, R.: *Deset let využívání dat detekce blesků v Českém hydrometeorologickém ústavu*. Meteorologické zprávy, 2009, ročník 62, č.6, s.165-172
- [7] Novák, P. – Havránek, P. – Kráčmar, J.: *Česká meteorologická radarová síť CZRAD v roce 2008*. Meteorologické zprávy, 2008, ročník 61, č.5, s.129-136
- [8] Řezáčová, D. a kol.: *Fyzika oblaků a srážek*. Academia, Praha, 2007. 576 s.
- [9] Skřehot, P.: *Stručné základy teorie vzniku bouřek*, M.O.R, Praha, 2004. 36 s.
- [10] Sobíšek, B. a kol.: *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*, Academia, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha, 1993. 1.vydání, 594 s.
- [11] Vašíček, J.: *Námraza – Pracovní pomůcka č. 02/2007*, Článek uveřejněn na internetové adrese http://chmi.cz/meteo/olm/Let_met/namraza.pdf dne 1.4.2007.
- [12] Zverev, A.S.: *Synoptická meteorologie*, Alfa/SNTL, Bratislava/Praha, 1986. 712 s.
- [13] Židek, D.: *Příručka pro pozorovatele meteorologických stanic*, ČHMÚ, Ostrava 2003.

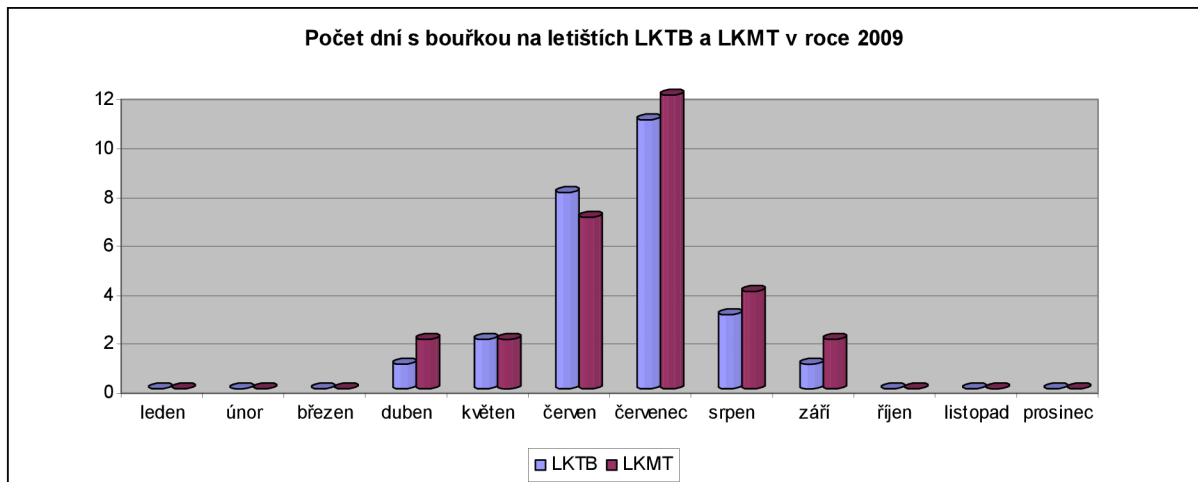
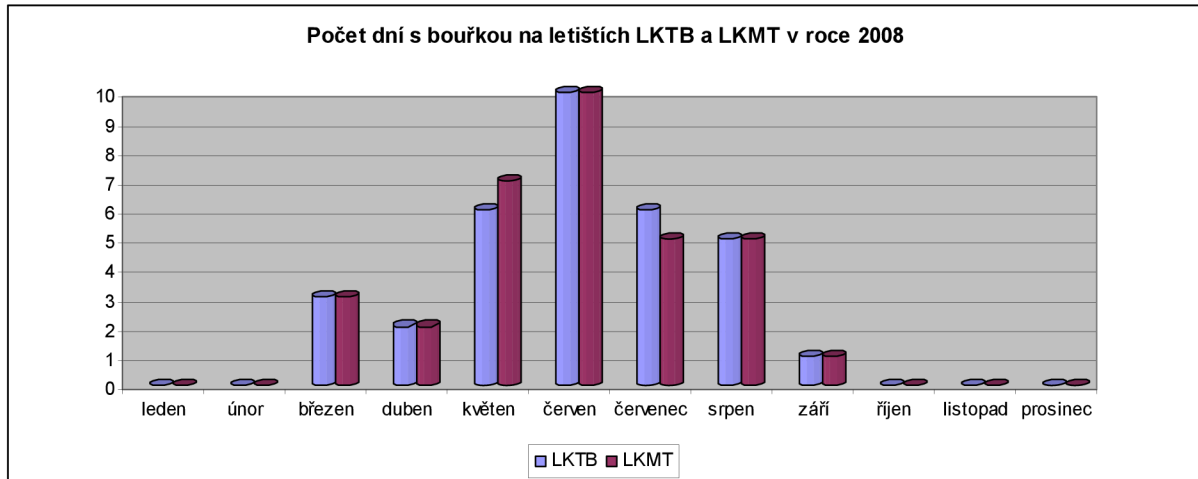
8 Seznam použitých zkratek a symbolů

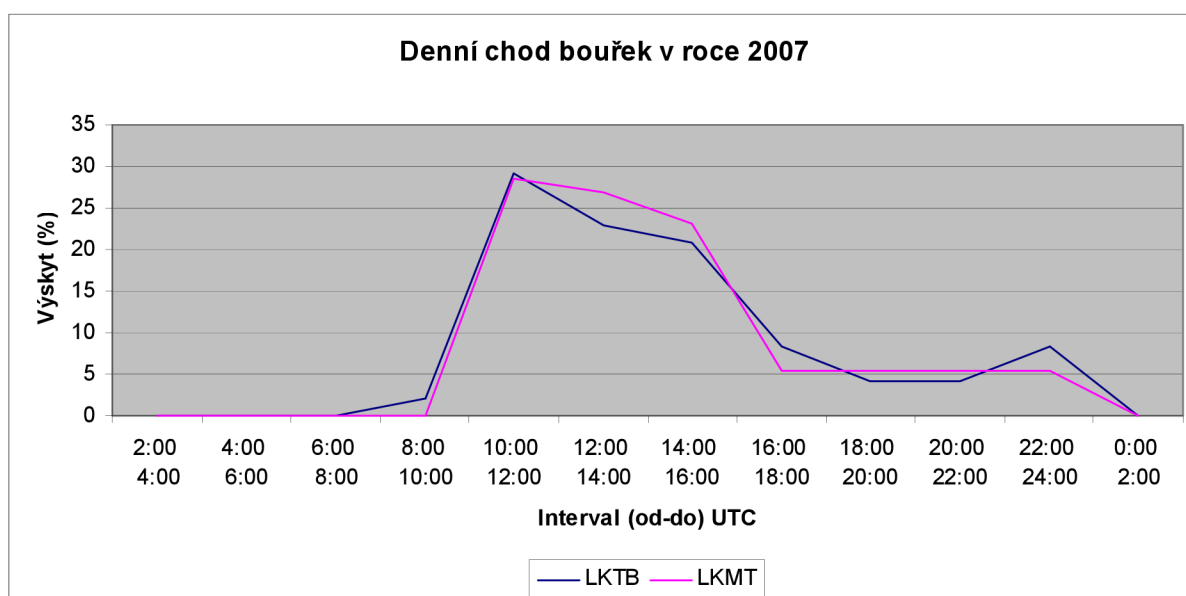
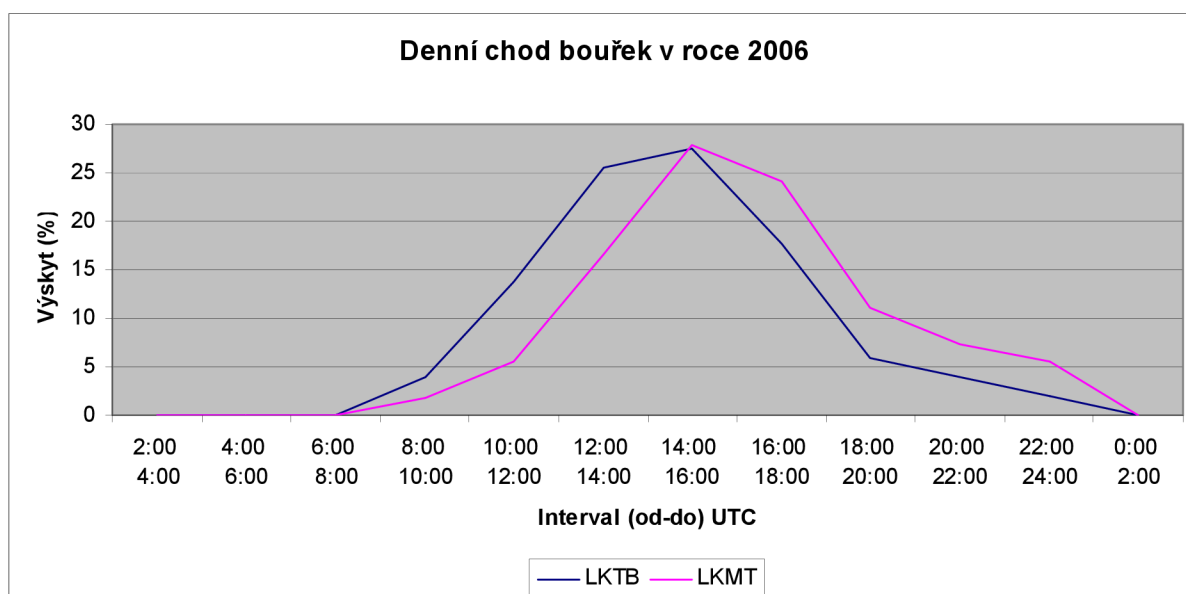
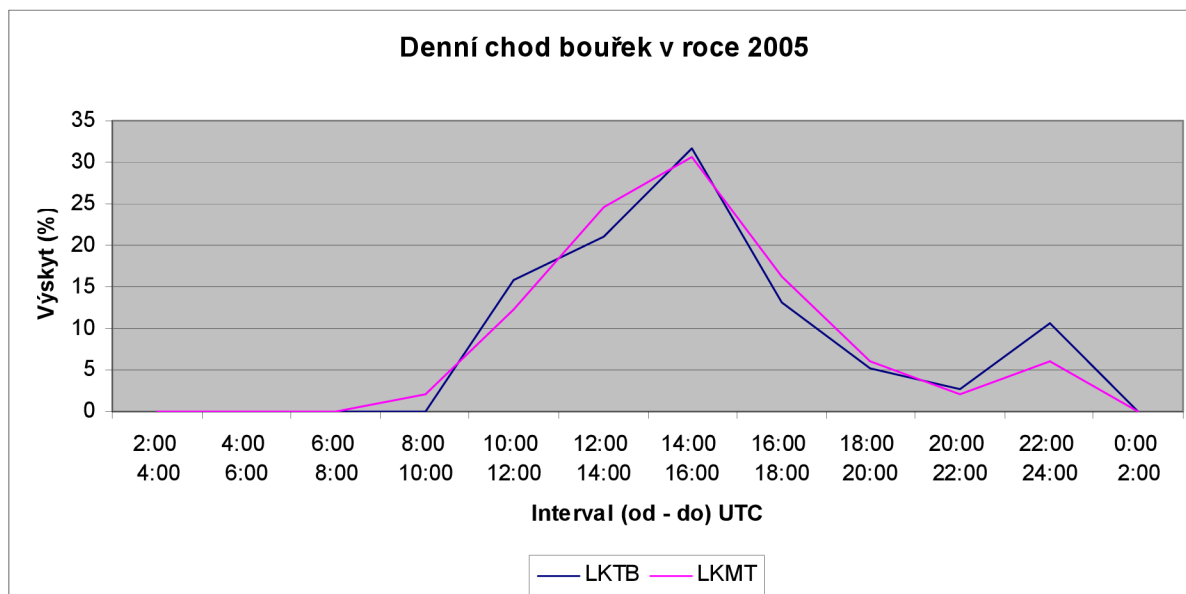
ATIS	Automatic Terminal Information System (automatická informační služba koncové řízené oblast)
GPS	Global positioning system (systém určování zeměpisných souřadnic)
GS	Glide Slope (sestupová rovina)
hPa	hektopaskal
ICAO	International Civil Aviation Organisation (organizace pro všeobecné letectví)
IFR	Instrument Flying Rules (pravidla pro létání podle přístrojů)
ILS	Instrument Landing System (systém pro přístrojové přiblížení na přistání)
IMC	Instrument Meteorological Condition (podmínky pro let podle přístrojů)
km	kilometr
km/h	kilometr za hodinu
kt	Knots (uzly)
m	metr
mm	milimetr
m/s	metr za sekundu
METAR	Meteorological Aviation Report
MHz	megahertz
RWY	Runway (vzletová a přistávací dráha)
SIGMET	Significant Meteorological Phenomena (výstraha pro letectvo před současnými nebo očekávanými meteorologickými jevy)
TAF	Terminal Aerodrom Forecast (letištní předpověď)
UTC	United Time Coordinated (koordinovaný světový čas)
V	Volt
V/m	Volt na metr
VFR	Visual Flying Rules (pravidla pro let za viditelnosti země)
VOLMET	Meteorological information for aircraft in flight (letecká meteorologická informace pro letadlo za letu)
WX	Weather (ve smyslu povětrnostní)

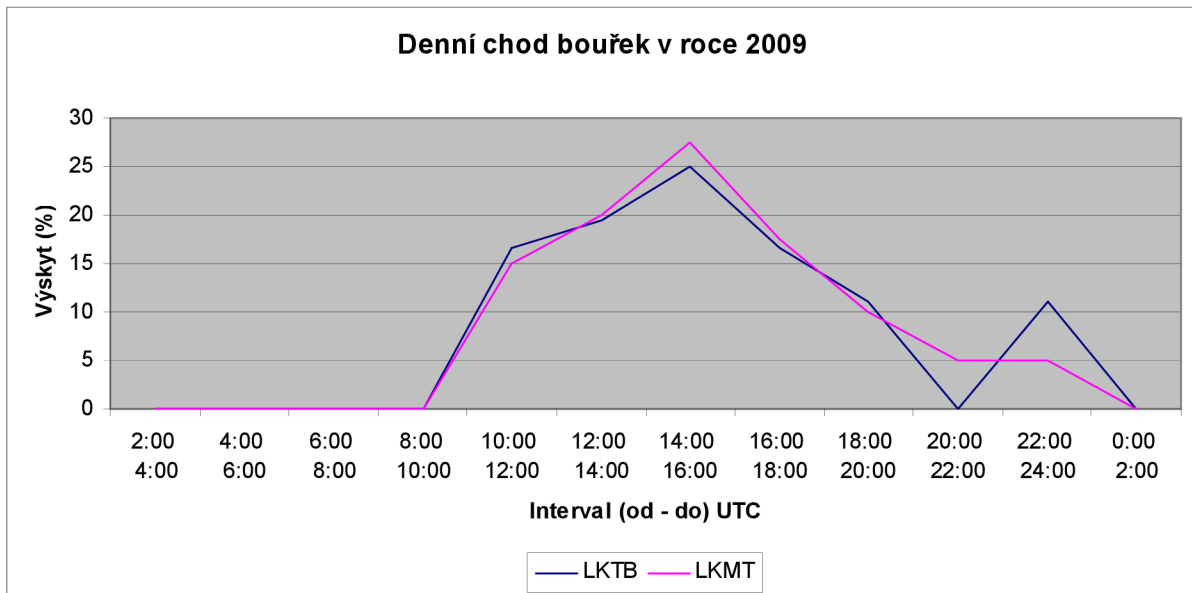
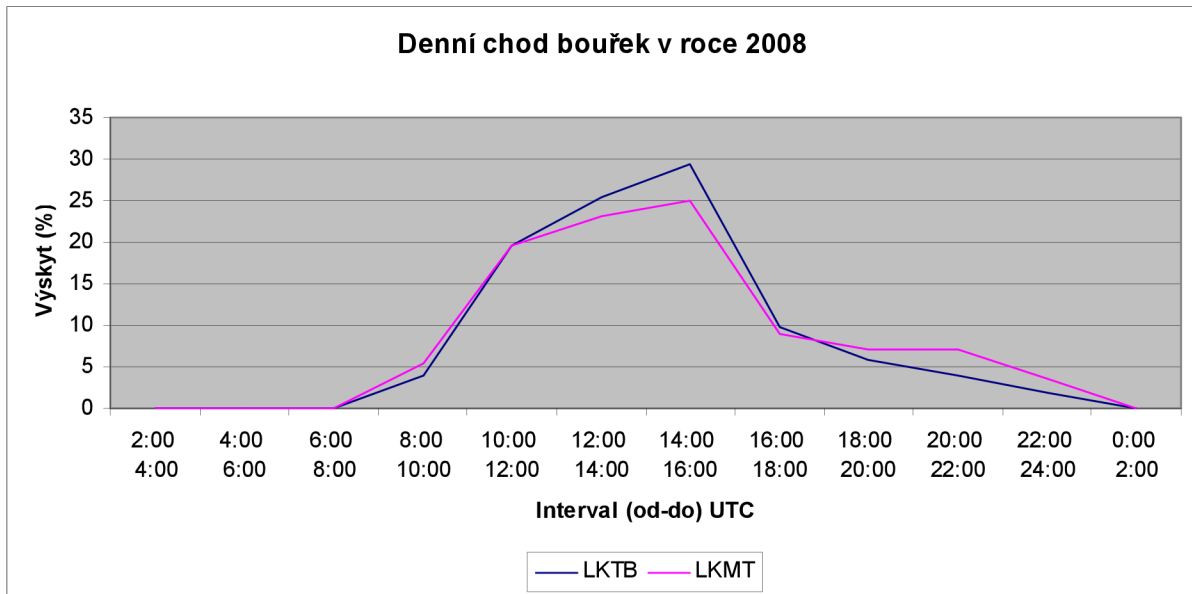
9 Obrazová příloha

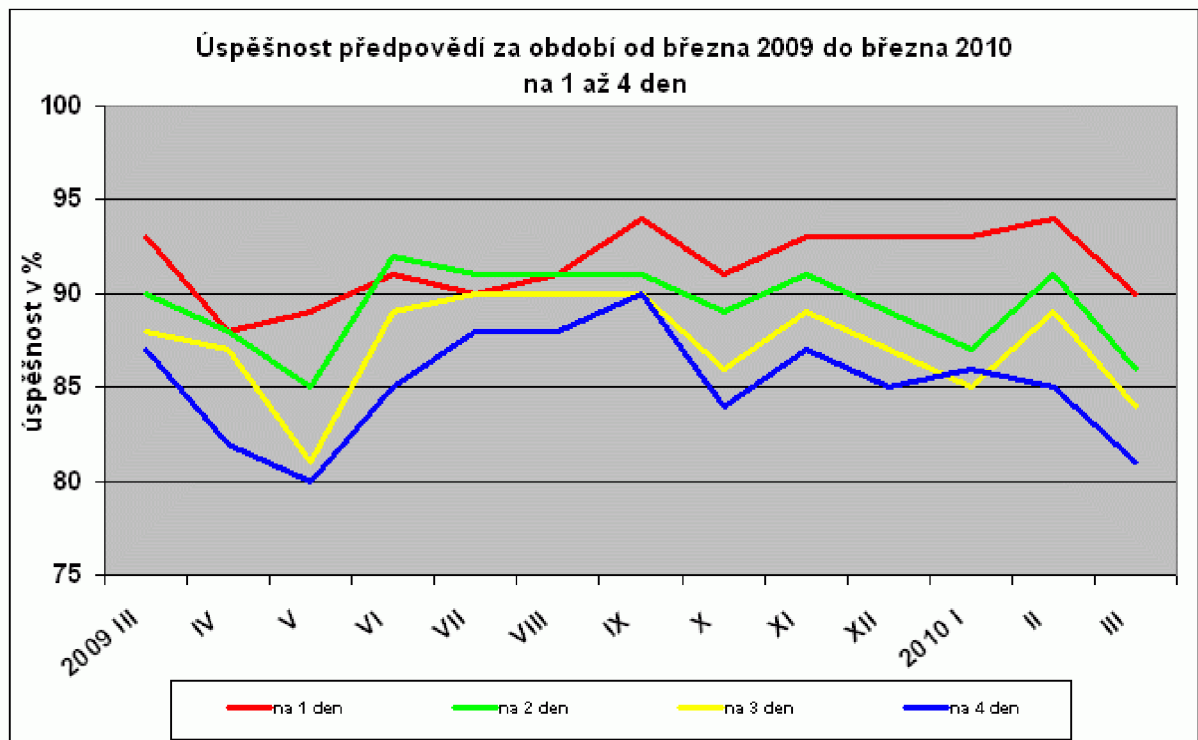
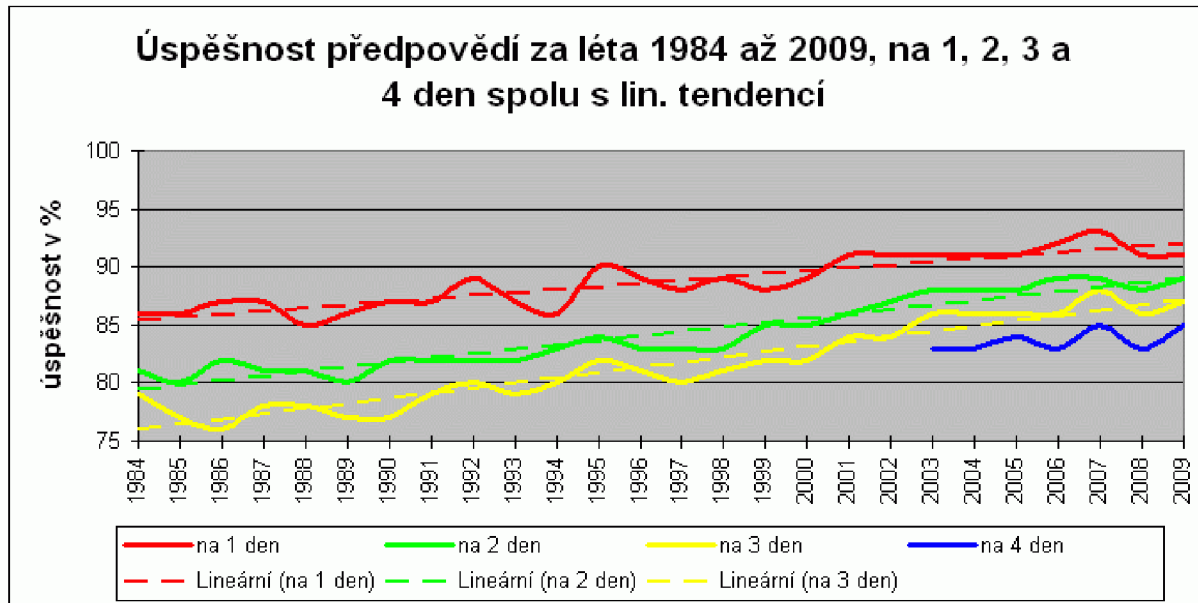


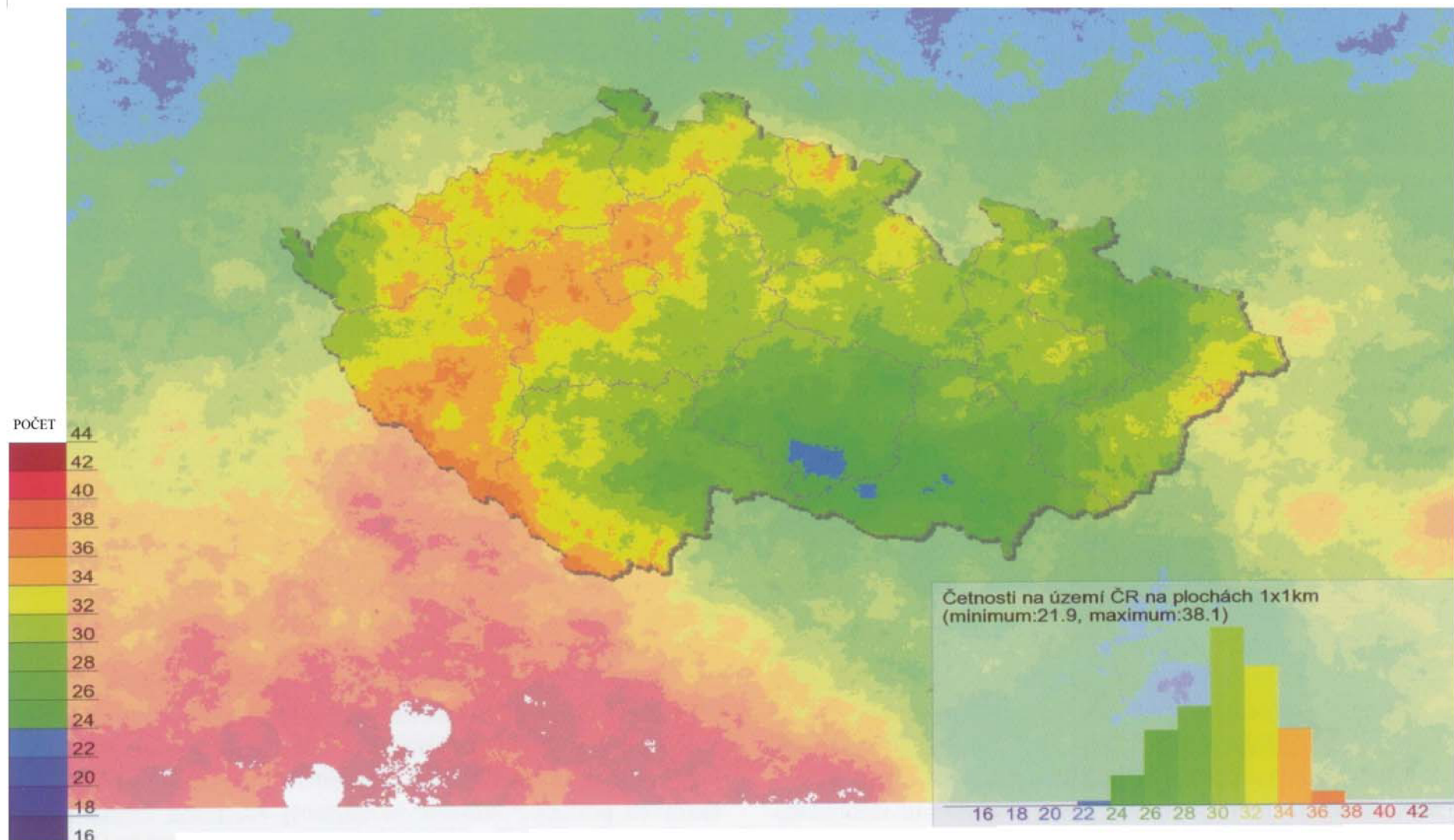
Bouřky na letištích LKTB a LKMT a jejich předpověď











Obr. 20 Průměrný roční počet dnů s výskytem alespoň 2 blesků do země v období 2003-2008