MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA
Univerzita Karlova

DISERTAČNÍ PRÁCE

Michal Pokorný

Testování produktů generovaných ze snímků družice Meteosat (MSG) v synoptické praxi

Katedra fyziky atmosféry

Vedoucí disertační práce: Mgr. Michal Žák, Ph.D.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Meteorologie a klimatologie

Praha 2017

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

V Praze dne 10. 2. 2017 Michal Pokorný

Název práce: Testování produktů generovaných ze snímků družice Meteosat (MSG) v synoptické praxi

Autor: Michal Pokorný

Katedra / Ústav: Katedra fyziky atmosféry

Vedoucí disertační práce: Mgr. Michal Žák, Ph.D., Katedra fyziky atmosféry

Abstrakt: První část práce seznamuje s možnostmi a způsoby zobrazení dat, která poskytuje družice MSG (Meteosat Second Generation). Následně jsou uvedeny různé barevné kombinace (RGB) vzniklé skládáním základních kanálů družice. Hlavní část práce je věnována využití tzv. *T-re* profilů (*T* značí teplotu a *re* efektivní poloměr oblačných částic) pro nowcasting intenzivních konvekčních bouří a jejich nebezpečných doprovodných jevů. Tato metoda byla aplikována na různé typy družic během jejich postupného vývoje. Dnes představuje další nástroj pro velmi krátkodobou předpověď nebezpečných konvekčních jevů v regionu Evropy s využitím družic MSG. Profily *T-re* byly testovány a ověřovány v oblasti střední Evropy a závěr práce obsahuje výsledky tohoto testování.

Klíčová slova: satelitní snímek, *T-re* profil, konvekční bouře

Title: Testing of products generated from Meteosat satellite (MSG) images in synoptic praxis

Author: Michal Pokorný

Department: Department of Atmospheric Physic

Supervisor: Mgr. Michal Žák, Ph.D., Department of Atmospheric Physic

Abstract: First part of the thesis introduces possibilities of depicting of the data provided by the MSG (Meteosat Second Generation) satellite. Different color combinations (RGB – red, green, blue) description made by the basic channels combination follows. The main part of this thesis is focused on *T-re* profiles (*T* - temperature, *re* - effective cloud particle radius). The analysis of profiles of temperature versus the effective radius of cloud particles shows the vertical distribution of the effective particle size in clouds. The profiles are computed and constructed from the satellite retrieved data and they show graphically the distribution of cloud particles and indirectly represent the severity of the developing storms. Forecasting and predicting dangerous phenomena such as hailstorms or tornados that occur in severe storms is the main objective of the technique. This nowcasting tool was tested in Central Europe and the end of this thesis presents the results of the testing.

Keywords: satellite image, *T-re* profile, convective storm

Poděkování

Chtěl bych poděkovat všem, kdo svojí pomocí přispěli k této disertační práci. Poděkování patří na prvním místě školiteli Mgr. Michalu Žákovi, Ph.D. za odborné vedení práce, pomoc a přínosné připomínky. Mé poděkování patří také panu RNDr. Martinu Setvákovi, CSc. za poskytnutí motivace k výzkumu. Zvláštní dík patří také Dr. Itamarovi Lenskému, Bar-Ilan University, Israel, za poskytnutý software MSG_RGB a také společnosti EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites) za poskytnutá satelitní data. Projekt byl podpořen Fondem pro specifický výzkum Matematicko-fyzikální fakulty s označením SVV-2011-263308.

Obsah

Úvod **7**

1. Meteosat Second Generation (MSG) **11**

1.1. Spektrální kanály MSG 12

1.2. Shrnutí 25

2. RGB produkty generované z dat MSG **27**

2.1. Analýza snímků 27

2.1.1. Zobrazení 28

2.1.2. Využití solární odrazivosti 29

2.1.3. Barevné snímky, které nevyužívají solární odrazivosti 36

2.2. Využití kombinací kompozitních snímků RGB 43

2.3. Shrnutí 47

3. *T-re* profily **49**

3.1. Metody a data 53

3.1.1. Podstata teorie *T-re* profilů 53

3.1.2. Software 60

3.1.3. Testování *T-re* profilů 64

3.1.4. Data získaná z *T-re* profilů 66

3.2. Využití *T-re* profilů v Česku a okolí 69

3.2.1. Situace s výskytem tornáda 70

3.2.2. Situace s výskytem krup 81

3.2.3. Situace s výskytem silného deště 105

3.2.4. Situace s výskytem nálevkovitého oblaku 106

3.2.5. Situace bez výskytu nebezpečného doprovodného jevu 108

4. Výsledky **113**

4.1. Situace bez nebezpečných doprovodných jevů 118

4.2. Situace s nebezpečnými doprovodnými jevy 119

5. Diskuse **134**

Závěr **137**

Seznam použité literatury **139**

Seznam tabulek **146**

Seznam použitých zkratek **147**

Úvod

Družice MSG (Meteosat Second Generation, Meteosat druhé generace) jsou zástupci geostacionárních družic. Výška jejich dráhy je tedy taková, aby doba oběhu družice kolem Země byla stejná jako doba rotace Země kolem své osy. Družice se proto nachází stále nad jedním pevným místem na Zemi v oblasti rovníku. Z toho je právě odvozen název této kategorie družic. Výška zmíněné pozice družice MSG nad zemským povrchem je přibližně 35 790 km, poloměr této dráhy od středu Země činí 42 168 km. Jako charakteristika těchto družic se pak udává zeměpisná délka, nad níž se družice nachází.

Družicová pozorování hrají klíčovou roli v porozumění vlivu atmosférických procesů na počasí a celkové klima. V dnešní době, kdy jsou k dispozici data (snímky) z několika spektrálních kanálů geostacionárních družic, máme další možnosti získat nové informace, které dále rozvíjejí pochopení atmosférických procesů. Klíčovou roli hrají mimo jiné ve studiu konvekčních procesů a srážek.

Intenzivní konvekční bouře, jejichž sledováním se tato práce zabývá, se ve střední Evropě objevují zejména v teplé sezóně (květen–srpen) a podle dostupných studií se objevují stále častěji (Holzer, 2001; Tolasz et al., 2007; Dotzek et al., 2009; http://report.bourky.cz/?page=search, 2011). Zdokonalení předpovědí intenzity a lokalizace silných bouří je stále žádanější, neboť tyto bouře s sebou přinášejí nebezpečné doprovodné jevy, které způsobují škody na majetku a ohrožují i lidské životy (Pokorný a Žák, 2016). Jedná se zejména o intenzivní krupobití, silný vítr, ale také přívalové srážky (Doswell, 1994). Nebezpečné projevy počasí spojené s konvekcí sice trvají obvykle jen krátce, jejich dopady jsou ale často velmi devastující. Výjimkou není ve střední Evropě ani vznik tornád (Dotzek, 2003; http://www.tornada-cz.cz/, 2010; http://www.tornada.cz/clanky/tornada-v-cesku/pardubice-tornado-21.6.2011/, 2011). Jedná se o jasný nárůst počtu hlášených tornád oproti minulosti (Brázdil et al., 2012). Zdokumentovaný počet tornád v České republice dosáhl svého maxima v letech 2001–2010 (56 tornád), což neodráží jen trend zvyšování jejich výskytu, ale také podstatně lepší možnosti jejich pozorování i hlášení a rovněž lepší informovanost široké veřejnosti. Nejvyšší frekvence hlášení tornád v České republice spadá do letní části roku (červen–srpen), jedná se o 65,7 % z celkového počtu. Tornádo může kromě velkých regionálních

i lokálních škod způsobit i ztrátu lidského života. Jedno konkrétní tornádo způsobilo v České republice škodu v hodnotě cca 75 milionů korun (Brázdil et al., 2012). Početná tornáda se objevují v posledních létech i u našich sousedů, například na jaře 2015 v Německu (https://www.munichre.com/en/reinsurance/magazine/topics-online/2016/04/thunderstorms-over-germany/index.html, 2016). Nejde ale jen o záležitost střední Evropy, Cusack (2014) například zmiňuje stabilně stoupající počet silných konvekčních bouří na území USA, stejně jako rostoucí frekvenci vzniku tornád za posledních 40 let. Takovéto jevy spojené se silnými konvekčními bouřemi zasáhly v poslední době i hustě zalidněné oblasti, což dále zvyšuje jejich nebezpečnost (Doswel, 2014).

Dalším nebezpečným jevem spojeným s bouřemi jsou kroupy. Způsobují škody šplhající do desítek milionů korun každý rok a to nejen v Česku, ale po celé Evropě. Potenciálně mnohem nebezpečnějším jevem spojeným s bouřemi jsou ale rychlé (přívalové) povodně související s intenzivními srážkami, které spadnou na relativně malém území v krátké době (Doswell, 1994; Blyth et al., 2014; Taylor et al., 2016). Rychlé povodně jsou v oblasti střední Evropy také zřejmě stále častější (Tolasz et al., 2007). Je také nutné vzít v úvahu budoucí vývoj klimatu a jeho vliv na vývoj nebezpečných jevů počasí a silných bouří. Podle numerických simulací se předpokládá, že se bude zvyšovat CAPE (Convective Potential Energy – dostupná konvekční potenciální energie), což povede k častějším příznivým podmínkám pro vznik bouří (Brooks, 2012). Dále lze lokálně očekávat nárůst počtu silných dešťů (Field et al., 2012) i intenzivních tornád (Doswel, 2014), stejně jako situací s velkými kroupami (Brooks, 2012).

Z důvodu ochrany majetku i osob roste potřeba vydávání včasných a přesných meteorologických výstrah (Beswick et al., 2008). S ohledem na výše uvedený očekávaný vývoj do budoucna je sledování a předpovídání extrémních jevů souvisejících se silnou konvekcí velkou výzvou příštích let.

Kvůli malému měřítku zmíněných jevů a jejich poměrně krátké době života nebylo dříve vůbec jednoduché takové jevy sledovat (Shiqiang a Zhemin, 2001). S využitím možností současných geostacionárních družic a radarových měření je nyní toto sledování mnohem jednodušší.

Např. v roce 1998 uvedli Rosenfeld a Lensky (Institute of Earth Sciences, The Hebrew University, Jerusalem, Israel a The Department of Geography and Environment, Bar-Ilan University, Ramat Gan, Israel) techniku pro zkoumání

procesu vzniku srážek na základě dat AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer – přístroj pro snímkování oblačnosti) polárních družic NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (Rosenfeld a Lensky, 1998). Využívali multispektrální informace z kanálů AVHRR, které vyzdvihovali mikrofyziku oblaků, a sice velikost částic a jejich teplotu, k určení fázového stavu oblačných částic. Později využívali mimo jiné i data přístroje SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infra Red Imager – snímkovací radiometr) na palubě družice MSG, která byla využita i ve výzkumu, který představí tato práce.

Jejich technika se později využívala v různých dalších studiích (např. Rosenfeld et al., 2006; Rosenfeld et al., 2008; Rosenfeld et al., 2009) mimo jiné ke zhodnocení vlivu aerosolů na oblaky a srážky apod. Multispektrální informace tedy přinesly nový nástroj ke studiu atmosféry i složitých procesů, které se v ní nepřetržitě odehrávají.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem, zejména rostoucímu počtu výskytů silných konvekčních bouří a jejich nebezpečných doprovodných jevů, stejně jako k rostoucímu počtu zasažených obydlených oblastí i jeho očekávanému nárůstu a intenzivnějšímu průběhu bouří, je nanejvýš nutné se těmto jevům věnovat, pochopit je a zlepšit kvalitu a přesnost jejich předpovědí. Proto jsem se ve své práci zaměřil právě na silné konvekční bouře a jejich nebezpečné doprovodné jevy. Z vlastní předpovědní praxe vidím potřebu zejména včasného varování před takovými jevy s přesnější lokalizací jejich výskytu i s přesnějším předpokladem jejich intenzity. Metoda použití profilů teploty a velikosti oblačných částic představuje rychlou a jednoduchou formu (v podobě grafických výstupů) náhledu na mikrofyzikální strukturu oblačnosti, pomocí které lze právě intenzitu vznikajících konvekčních bouří upřesnit. Tato metoda sice byla k výše zmíněnému účelu testována v několika zemích, nikdy však v oblasti Evropy, respektive ve střední Evropě. K jejímu správnému využívání je nutné její pochopení a rychlá orientace v družicových snímcích, po zvládnutí tohoto odvětví meteorologie se metoda *T-re* profilů (*T* značí teplotu a *re* efektivní poloměr oblačných částic – vážený průměr velikostí oblačných částic) oblačnosti ukazuje jako velmi užitečný nástroj vynikající zejména jednoduchou obsluhou a snadnou interpretací grafických výstupů. Možnost vyzkoušet tento nástroj v oblasti střední Evropy se mi tedy jevila jako šance přinést do povědomí a možná i do předpovědní praxe užitečnou a přitom jednoduchou

předpovědní techniku, která by pomohla zvětšit náš náskok před silnými konvekčními bouřemi a jejich nebezpečnými doprovodnými jevy.

Znalost a pochopení kapitoly 1 a 2 jsou klíčové k dobré orientaci v družicových snímcích a k pochopení samotné teorie *T-re* profilů oblačnosti, která představuje hlavní náplň této práce, a to zejména k efektivní práci se samotným profilem *T-re* i ke správnému vybírání oblastí vznikajících bouří už v jejich raném stádiu. Kapitola 1 obsahuje technický popis družic MSG, přináší představení jednotlivých spektrálních kanálů, ve kterých družice snímá oblačnost a zemský povrch, popisuje také výhody použití těchto družic. Kapitola 2 představuje barevné kombinace (RGB) družicových snímků a jejich využití. Kapitola 3 přináší verifikaci *T-re* profilů včetně popisu jejich získávání. Kapitoly Výsledky, Diskuse a Závěr pak shrnují získané poznatky, které je možné využít při operativním použití metody *T-re* profilů.

1. Meteosat Second Generation (MSG)

Jak již zmiňuje úvod práce, družice MSG jsou představiteli geostacionárních družic. Systém družic MSG funguje na oběžné dráze Země od srpna 2002. Družice má tvar válce s průměrem 3,7 m a výškou 3,8 m (MSG-2), hmotnost družice při uvedení na oběžnou dráhu činila přibližně 2035 kg. Velká část této hmotnosti připadá na pohonné hmoty. Palivo družice váží 365 kg, 603 kg představuje okysličovadlo. Hlavní přístroj družice snímkovací radiometr SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infra Red Imager) váží 270 kg.

Kromě zmíněného hlavního zařízení pro snímkování SEVIRI nese družice také telemetrickou, komunikační a řídící jednotku MCP. Dále má na palubě přístroj určený pro měření celkového záření na horní hranici atmosféry GERB, který sbírá údaje důležité hlavně pro monitorování klimatu a klimatických změn. Na palubě je i systém pro sběr nouzových signálů v dosahu družice S&R.

Tato meteorologická družice je stabilizována vlastní rotací s frekvencí 100 otáček/min. Rotace družice je kromě stabilizace využita k samotnému snímkování. Snímání se provádí od jižního pólu Země po „řádcích“ směrem k pólu severnímu, od východu k západu. Celkem je k vytvoření jednoho snímku třeba 1250 otáček družice. Potom se skenovací jednotka vrací do výchozí polohy. Hlavním účelem družice je tedy nepřetržité sledování celé části snímaného zemského povrchu pomocí 12kanálového spektrálního snímkovacího přístroje. Celý snímkovací cyklus trvá 15 minut, což umožňuje zachytit i vývoj hluboké konvekce.

Snímky (formátu High Rate SEVIRI) mají standardně velikost 3712 × 3712 bodů, ve velkém rozlišení potom 5568 × 11136 bodů. Nasnímaná data z přístroje SEVIRI jsou spolu s dalšími daty pořízenými družicí MSG vysílána na Zemi, kde je přijímá stanice v Usingenu v Německu. Odtud jsou data posílána pomocí telekomunikačních linek do řídicího střediska v Darmstadtu, kde se provede jejich zpracování a poté následná distribuce uživatelům. Zpracování představuje přepočítávání do standardní geostacionární projekce, centrování na polohu 0 stupňů zeměpisné délky a kalibraci. Teprve takto upravené snímky jsou distribuovány uživatelům systémem EUMETCast.

Pro tvorbu RGB (barevné kombinace vzniklé skládáním dat základních kanálů družice) snímků z dat MSG se používá např. program GeoSatSignal. Ten snímky propojuje, vytváří jejich různé geografické projekce, může do snímků

vpisovat hranice států nebo vyrábět časové sekvence. Lze ho využít ke zpracování snímků získaných službou EUMETCast, ale i hotových snímků stažených z internetu.

Údaje v předcházejících odstavcích čerpají z webových stránek organizace EUMETSAT (Evropská organizace pro využití meteorologických družic, http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/index.html, 2009).

1.1. Spektrální kanály MSG

Abychom mohli pracovat s různými produkty vzniklými na základě dat MSG, musíme se seznámit s jednotlivými snímky, které družice MSG poskytuje. Zmíněný radiometr SEVIRI je schopen snímat v 11 spektrálních kanálech s rozlišením 3 kilometry a v jednom dalším kanále (HRV – High Resolution Visible) v oblasti viditelného světla s rozlišením 1 km v bodě přímo pod družicí. Kanály bývají označeny střední vlnovou délkou (v μm) snímaného pásma a číslovány (viz Tabulka 1).

Spektrální kanály se dělí do dvou skupin podle druhu záření, které zachycují:

- Kanály VIS 0,6 (Visible – viditelné spektrum), VIS 0,8, NIR 1,6 (Near Infra Red – blízké infračervené spektrum) a HRV (viditelné spektrum ve velkém rozlišení) leží v takové části spektra, ve které zcela dominuje odražené sluneční záření. Označují se proto jako kanály solární. Při zpracování údajů naměřených v těchto kanálech jsou zaznamenané hodnoty radiace přepočteny na odrazivost zemského povrchu.
- Kanály WV 6,2 (Water Vapor – pásmo vodní páry), WV 7,3, IR 8,7 (Infra Red – infračervené pásmo), IR 9,7, IR 10,8, IR 12,0 a IR 13,4 leží v oblasti spektra, ve které dominuje tepelné vyzařování Země. Proto se označují jako kanály tepelné. Při zpracování jsou hodnoty radiace přepočteny na radiační teplotu.
- Kanál IR 3,9 představuje jakési propojení obou částí spektra, protože leží na rozhraní obou výše zmíněných částí. V noci zachycuje pouze tepelné záření, přes den ale obsahuje také podíl záření slunečního. Obvykle se s ním formálně zachází jako s kanálem tepelným.

Ve vlnových délkách kratších než 5 μm zcela dominuje solární radiace. Pásma viditelného světla jsou proto určena k zobrazování oblačnosti pouze ve slunečné části dne. V tomto pásmu plyny v atmosféře nepohlcují příchozí ani odražené sluneční záření. Ve vlnových délkách delších než 5 μm naopak zcela dominuje vyzařování Země. Kanály 1, 2, 3 a 12 (viz Tab. 1) lze proto použít výhradně při oslunění Země. Kanál číslo 4 je schopen zachytit sluneční radiaci, ale také vyzařování Země. Solární kanály se používají převážně k určení oblačnosti, sněhu a ledu, rozlišení vodní a ledové oblačnosti (velmi dobrá odrazivost slunečního záření) a k určení charakteristiky povrchu Země.

Nejtmavší odstíny na snímcích pořízených v solárních kanálech představuje vodní hladina. Zemský povrch je světlejší než vodní hladina, ovšem mezi jednotlivými kanály je možné pozorovat významné rozdíly. Záleží na tom, zda se jedná o holou půdu, nebo povrch pokrytý vegetací (viz Obr. 1, 2, 3). Vegetace se obecně jeví tmavší. Holá půda je nejtmavší v 1. kanále a nejsvětlejší ve 3. kanále. Vegetace je v 1. kanále tmavá, k výraznému zvýšení odrazivosti dochází ve 2. kanále, ve 3. je opět o něco tmavší.

Pohlcující spektra vodních par slouží k určení množství vodní páry ve vyšších vrstvách troposféry. V tomto spektrálním pásmu je atmosféra zcela průhledná při velmi suchém vzduchu a neprůhledná, pokud se v místě nachází vodní pára.

Infračervená pásma jsou použita pro snímkování v průběhu dne i noci a využívají se pro určení teploty na vrcholech oblačnosti a na povrchu oceánů. V těchto pásmech se nachází maximum vyzařování zemského povrchu a atmosféry v závislosti na teplotě.

Skupinu tepelných kanálů je pak možné rozdělit následovně:

- Kanály IR 8,7, IR 10,8 a IR 12,0, ve kterých téměř nedochází k molekulární absorpci, se označují jako atmosférická okna.
- Kanály WV 6,2 a WV 7,3 představují oblasti absorpce vodní páry.
- Kanál IR 9,7 představuje (částečné) oblast absorpce ozónu.
- Kanál IR 13,4 postihuje (částečné) oblast absorpce oxidu uhličitého.

Ozónový kanál (9,7 μm) je novinka na geostacionárních snímkovacích zařízeních (od družic MSG), která umožňuje monitorovat celkový obsah ozónu v atmosféře, sledovat dynamiku stratosféry nebo výšku tropopauzy.

Spektrální kanály MSG

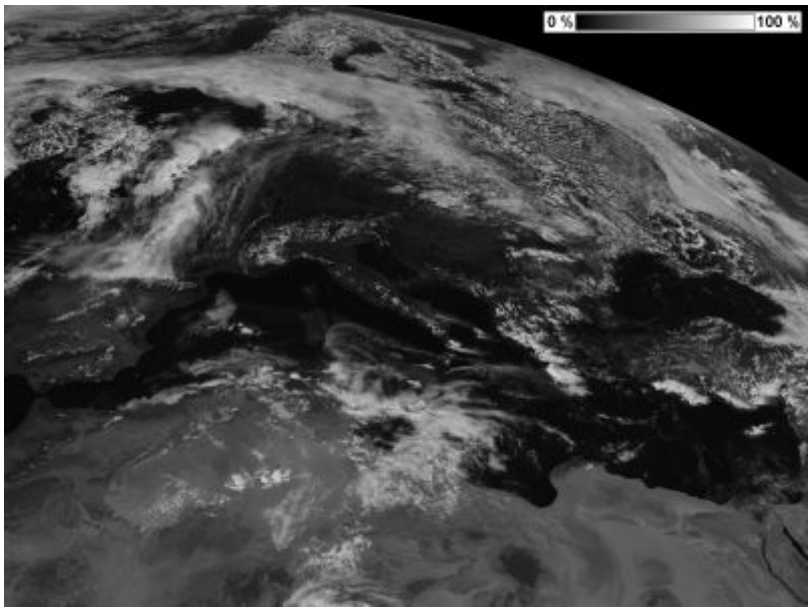
Kanál	Označení	Spektrum [μm]	Absorpční pásmo	Obrazové informace
1.	VIS 0,6	0,56–0,71	viditelné a blízké infračervené	zobrazení oblaků a zemského povrchu v denním světle
2.	VIS 0,8	0,74–0,88	viditelné a blízké infračervené	zobrazení oblaků a zemského povrchu v denním světle
3.	NIR 1,6	1,50–1,78	blízké infračervené	rozlišení mezi oblačností a sněhem
4.	IR 3,9	3,48–4,36	krátkovlnné infračervené	rozlišení mezi dešťovými a sněhovými oblaky a rozpoznání mlhy
5.	WV 6,2	5,35–7,15	vodní páry	zobrazení vodních par v troposféře
6.	WV 7,3	6,85–7,85	vodní páry	zobrazení vodních par v troposféře
7.	IR 8,7	8,30–9,10	infračervené pásmo	rozlišení mezi sněhovými oblaky a zemským povrchem
8.	IR 9,7	9,38–9,94	ozón	celkový obsah ozónu v nižších vrstvách stratosféry
9.	IR 10,8	9,80–11,80	dlouhovlnné infračervené	teploty na zemském povrchu
10.	IR 12,0	11,00–13,00	dlouhovlnné infračervené	teploty na zemském povrchu
11.	IR 13,4	12,40–14,40	oxid uhličitý	teploty v atmosféře
12.	HRV	0,60–0,90	viditelné	černobílý snímek ve velkém rozlišení

Tab. 1: Kanály MSG a jejich základní charakteristiky

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

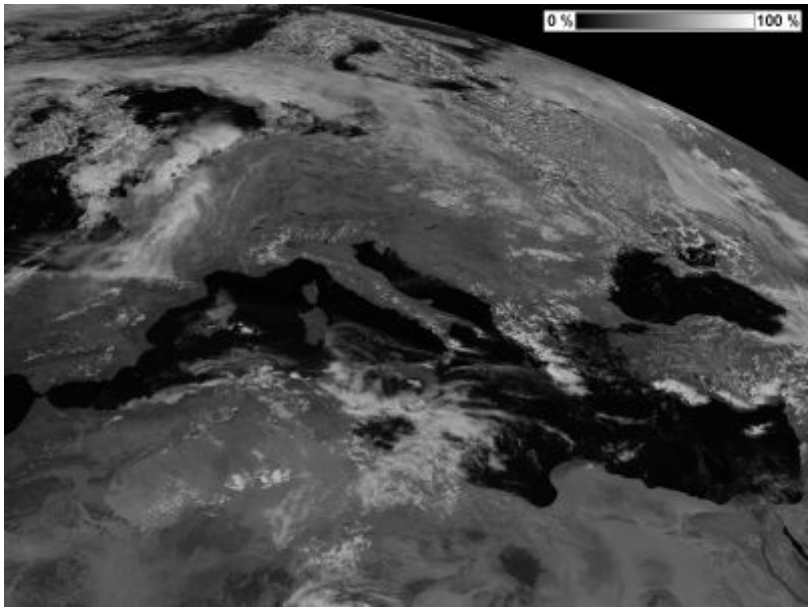
Kanály v pásmu viditelného světla VIS 0,6 a VIS 0,8 jsou v detekci oblačnosti prakticky srovnatelné. Mohutnou oblačnost a sníh zobrazují bíle, řídkou oblačnost zobrazují šedě. Země je pak zobrazena světle šedě až tmavě šedě a oceány černě. Kanál VIS 0,8 je citlivější na rozlišení struktury povrchu, protože v tomto pásmu lépe odráží záření půda a listy. Povrch země se na těchto snímcích jeví světlejší než v kanále VIS 0,6.

Největší odrazivost vykazuje na obou těchto snímcích oblačnost. Pokud se jedná o oblačnost tvořenou vodními kapkami, její odrazivost téměř nezávisí na vlnové délce, ale pouze na její vertikální mohutnosti. Tenká vrstva oblačnosti je obvykle průsvitná a je možné vidět, co se nachází pod ní. Podobně se v 1. a 2. kanále chová oblačnost tvořená ledovými krystalky, nelze ji odlišit od vodní oblačnosti.



Obr. 1: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále VIS 0,6

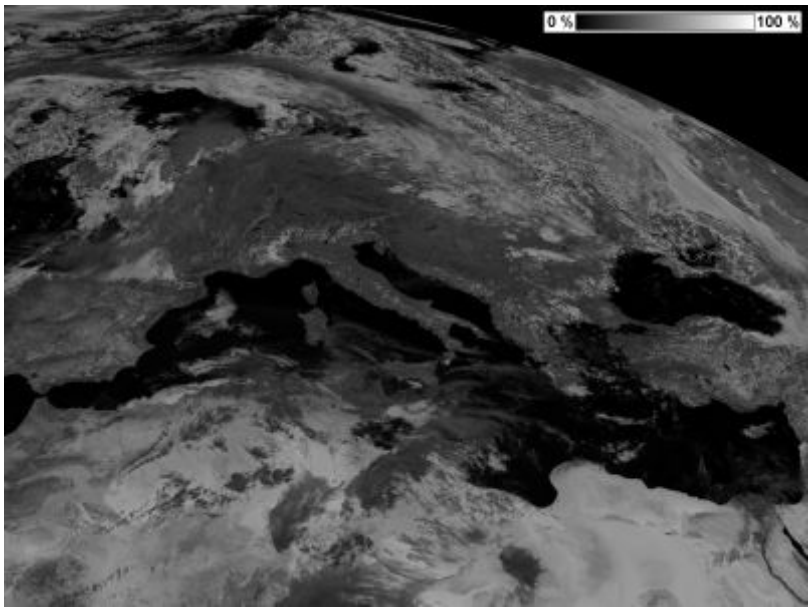
(http://www.chmi.cz/meteo/sat/, 2009)



Obr. 2: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále VIS 0,8

(http://www.chmi.cz/meteo/sat/, 2009)

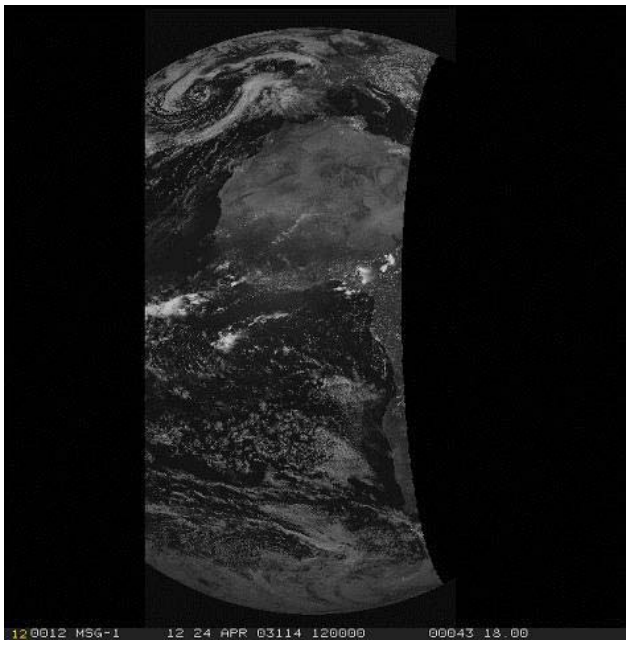
Zcela jiná situace nastává při zobrazení v kanále NIR 1,6 (Obr. 3). V něm se led jeví jako velmi tmavý, protože pohlcuje téměř všechno dopadající záření. Při použití kanálu NIR 1,6 je možné odlišit vodní a ledovou oblačnost. Vodní oblačnost je totiž zobrazena bíle, ale ledová oblačnost, sníh a led tmavě až černě.



Obr. 3: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále NIR 1,6

(http://www.chmi.cz/meteo/sat/, 2009)

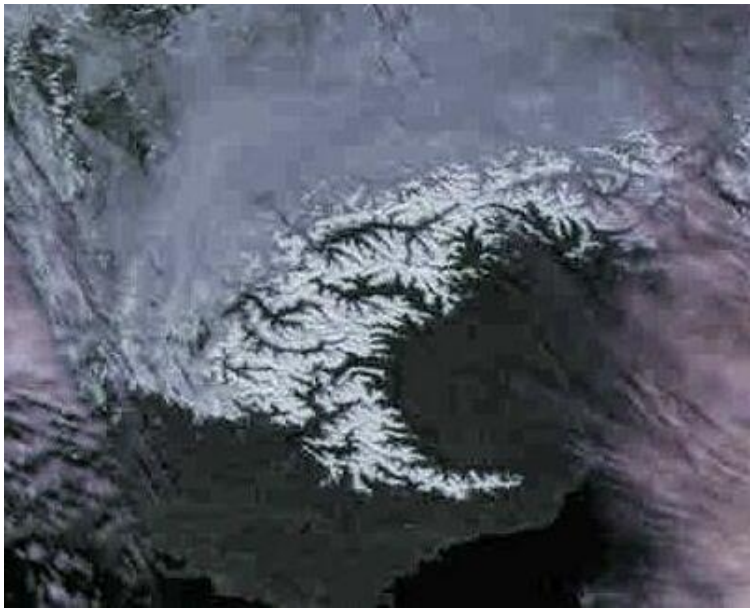
Kanál HRV (Obr. 4) je jako jediný kanálem širokopásmovým. Zachycuje záření z rozsahu vlnových délek přibližně 0,4 až 1,1 mikrometru. Vizuálně se nejvíce podobá kanálu VIS 0,8. Jeho největší výhoda je ovšem trojnásobně lepší rozlišení (až 1 km). Umožňuje tak sledovat vývoj oblačnosti mnohem detailněji.



Obr. 4: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále HRV

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

Hlavním využitím tohoto speciálního kanálu v oblasti viditelného světla je sledování menších objektů. Z těchto snímků je pak možné určit vektory proudění v atmosféře s daleko větší přesností.

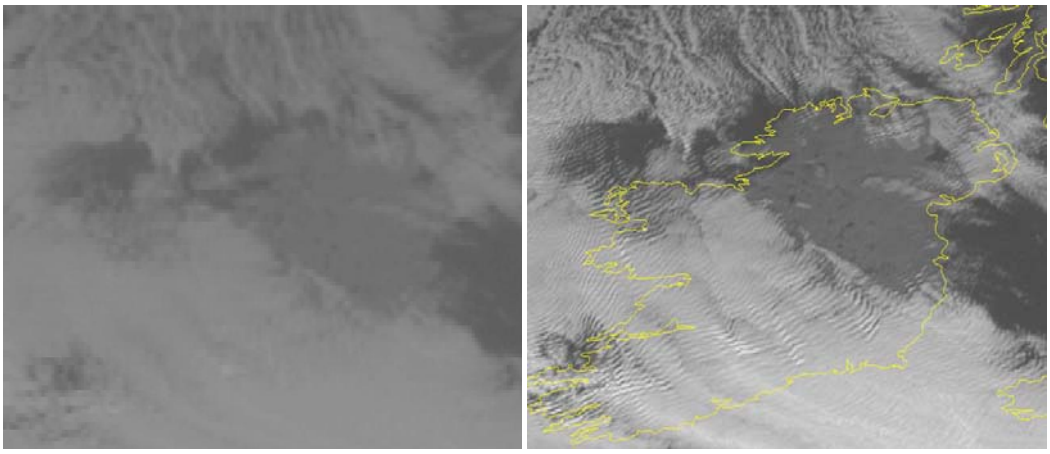


Obr. 5: Příklad snímku pořízeného družicí MSG v kanále HRV, 4. 12. 2002, 12:30 UTC (koordinovaný světový čas)

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

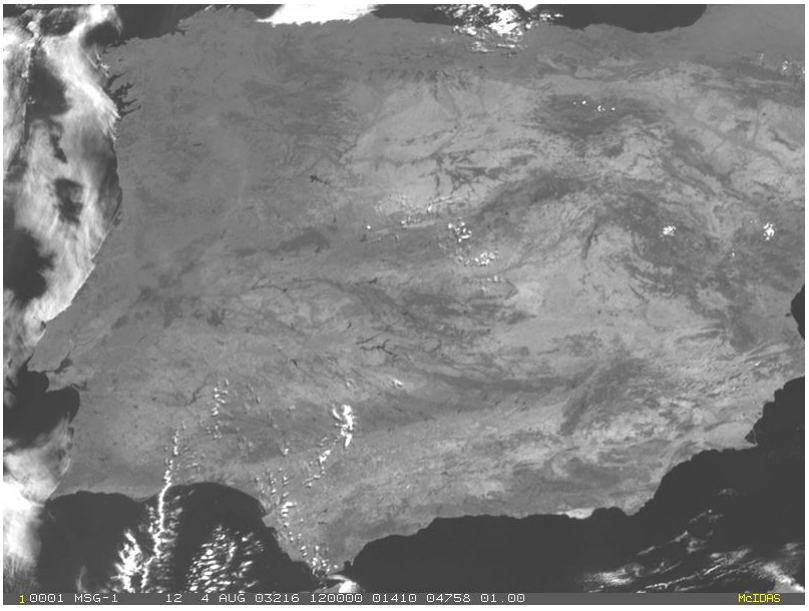
Obrázek 6 ukazuje rozdíl v rozlišení první a druhé generace družic Meteosat, kde druhá generace jasně poskytuje daleko lepší informace z hlediska analýzy snímku.

Výhody detailního zobrazení v kanále HRV (Obr. 7) se využívají zejména k citlivějšímu snímkování mlhy v úzkých údolích, Cb (cumulonimbus), konvekce malého měřítka, rozsahu zalednění, přestřelujících vrcholků, kondenzačních sledů, mezoměřítkových konvekčních systémů, kouře z lesních požárů, rozsahu vypáleného území, prachových a písečných bouří, vulkanických erupcí nebo monitoringu tropických bouří.



Obr. 6: Meteosat 7, VIS kanál, rozlišení 2,5 km, 8. 12. 2003, 11:45 UTC — MSG 1, HRV kanál, rozlišení 1 km, 8. 12. 2003, 11:45 UTC

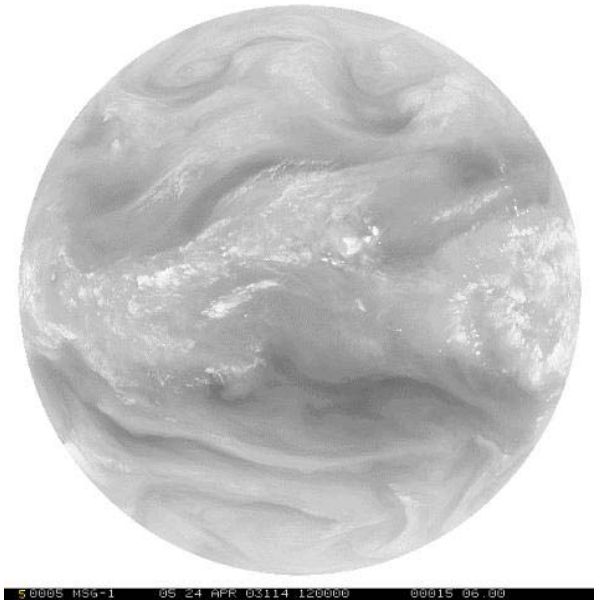
(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)



Obr. 7: Další ukázka snímku zachyceného družicí MSG, kanál HRV, MSG-1, 4. 8. 2003, 12:00 UTC

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

V **kanálech absorpce vodní páry** (WV) nelze sledovat zemský povrch, není vůbec vidět. Záření z povrchu je v atmosféře absorbováno dříve, než dosáhne k její horní hranici. Tato absorpce je silnější v kanále WV 6,2 (Obr. 8). V kanále WV 6,2 je vidět pouze horní část troposféry, nejsilněji je zaznamenáván obsah vodní páry z výšek 7 až 10 km (350 hPa). Kanál WV 7,3 (Obr. 9) se využívá ke zkoumání nižších hladin troposféry, nejsilnější je signál z výšek 4 až 6 km (500 hPa).



Obr. 8: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále WV 6,2

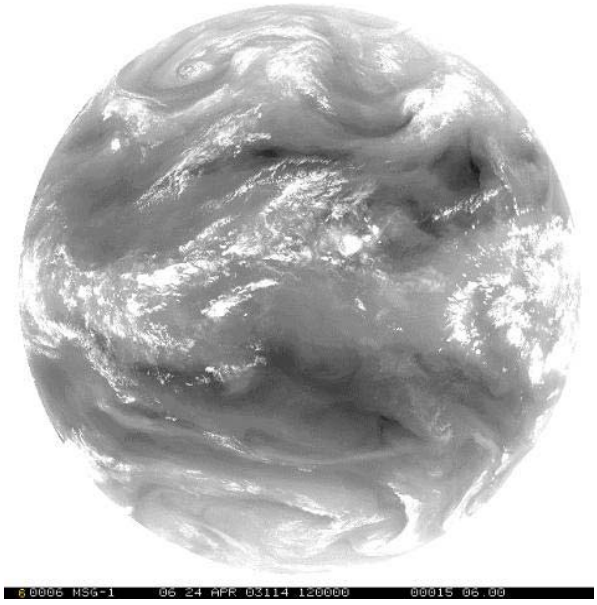
(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

Hlavním využitím těchto kanálů je tedy určování obsahu vodní páry v troposféře. Zvýšený obsah potom indikuje vznik oblačnosti a osy tryskového proudění. Naopak oblasti s nízkým obsahem vodní páry mohou ukazovat na pronikání suchého stratosférického vzduchu do nižších hladin, tedy snížení tropopauzy, anomálie v poli potenciální vorticity nebo oblasti vzniku sekundární cyklogeneze. Oblasti s nízkým obsahem vlhkosti jsou na snímcích tmavší (teplejší), oblasti s velkým obsahem vlhkosti světlejší (chladnější).

Naměřené údaje, které poskytují **tepelné kanály** (IR), se přepočítávají na radiační teplotu. Tato tzv. radiační teplota ovšem nemá žádnou souvislost s teplotou vzduchu. Zdrojem záření zachyceným na těchto snímcích bývá především zemský povrch nebo horní hranice oblačnosti.

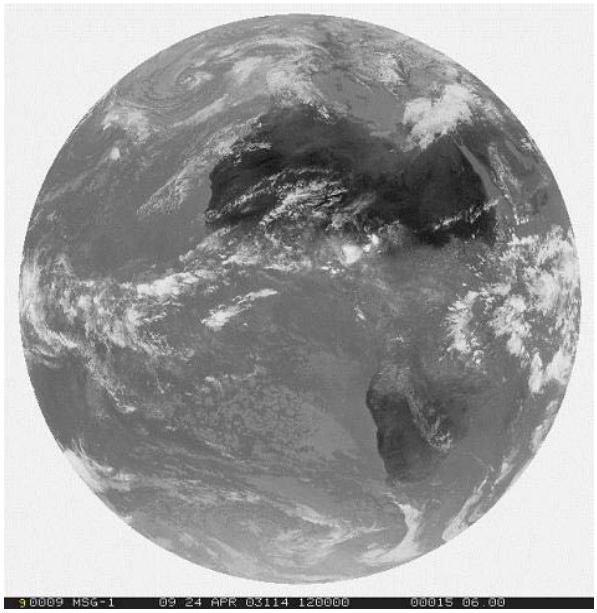
Jako základní tepelný kanál se uvádí kanál IR 10,8 (Obr. 10). V tomto kanále téměř nedochází k absorpci záření a radiační teploty vypočítané z hodnot radiace v tomto kanále nejlépe odpovídají skutečným teplotám povrchu země nebo horní hranice oblačnosti. Studené oblasti se na těchto snímcích zobrazují světle, teplé oblasti tmavě. Nejtmavěji se proto jeví zemský povrch, jehož radiační teplota může v pouštních oblastech dosáhnout až 60 °C. Oblačnost je potom zobrazena v různých odstínech šedé podle výšky, ve které se nalézá její horní hranice. Nízká oblačnost se svou radiační teplotou liší od zemského povrchu jen málo, přece jen však bývá

chladnější. Nejnižší teplotu vykazují vrchní části bouřkové oblačnosti, proto bývají zobrazeny nejjasnějšími bílými odstíny.



Obr. 9: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále WV 7,3

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)



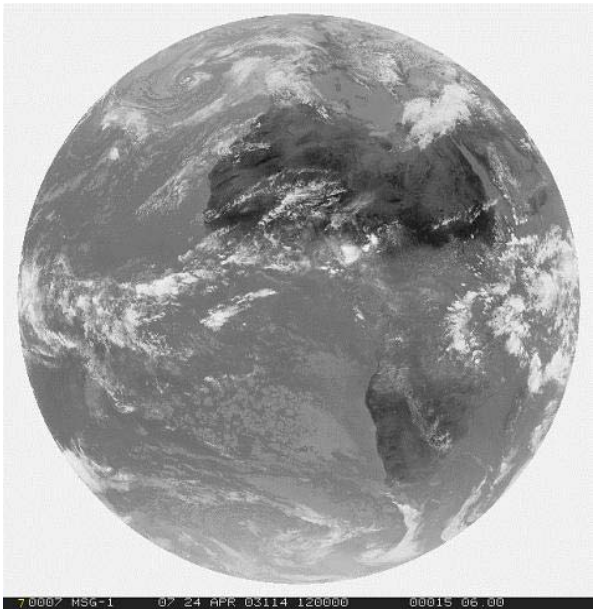
Obr. 10: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále IR 10,8

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

Maximální zobrazení zachycuje vyzařování od povrchu Země a spodní části troposféry. Hlavním účelem je rozpoznání oblačnosti a zemského povrchu a odlišení vysokých tenkých cirrů od zbytku oblačnosti.

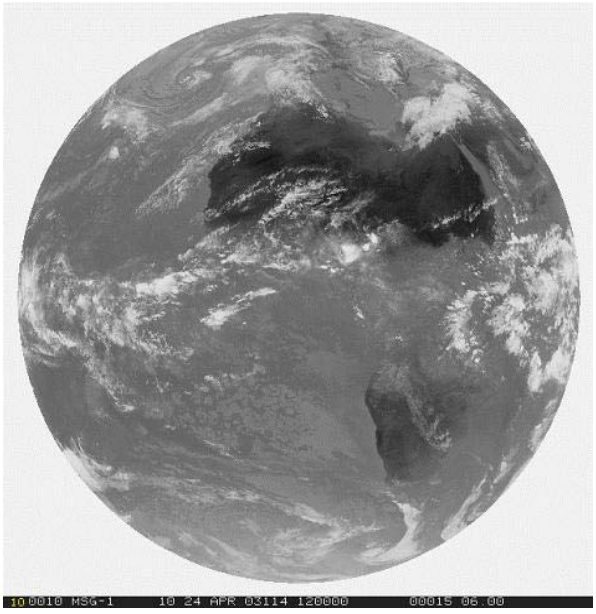
Ostatní infračervené kanály vykazují určitou molekulární absorpci. Absorpce je způsobena především vodní párou a oxidem uhličitým. Vypočítané radiační teploty jsou proto nižší. Vlivem absorpce v atmosféře objekty vypadají, jakoby vyzařovaly méně. Výsledný snímek se tedy jeví chladnější, než je ve skutečnosti.

Kanál IR 8,7 (Obr. 11) se využívá k odlišení vodní a ledové fáze oblačnosti. Ostatní se používají zejména k rozeznání tenkých vysokých cirrů.



Obr. 11: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále IR 8,7

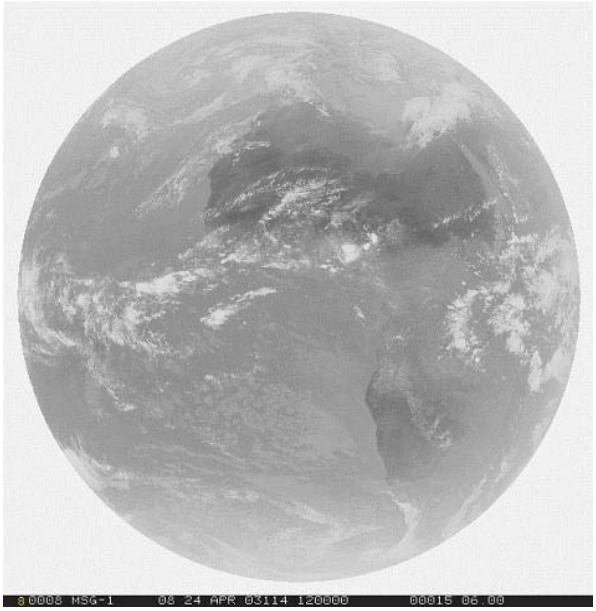
(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)



Obr. 12: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále IR 12,0

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

Snímky z kanálů IR 9,7 (Obr. 13) a IR 13,4 (Obr. 14), které se vyznačují absorpcí ozónem, respektive oxidem uhličitým, se jeví značně chladnější. Jelikož jsou tyto plyny v atmosféře zastoupeny jen ve stopovém množství, dochází pouze k částečnému pohlcení záření. Při studiu snímků zachycených v těchto kanálech narážíme na „limbový efekt". Kvůli němu se zemský disk jeví nejchladnější na svém okraji. To je způsobeno tím, že paprsky na okraji zemského disku procházejí na cestě k družici atmosférou pod malým úhlem a prochází tak atmosférou delší dráhou. Při průchodu delší dráhou daným plynem pak dochází k větší absorpci.

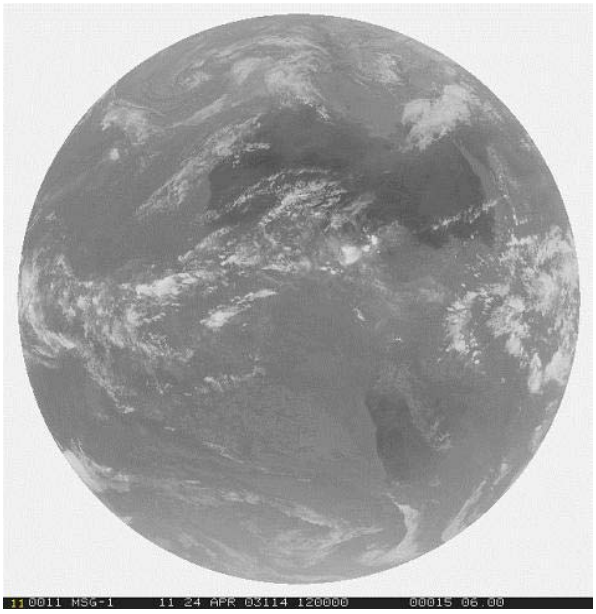


Obr. 13: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále IR 9,7

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

Koncentrace ozónu ve spodní stratosféře je hlavním jevem zachyceným na snímcích pořízených v tomto kanále. Kanál zobrazuje tzv. „bílé pásy“, které nejsou na snímcích z kanálů 9 a 10 vůbec vidět (Obr. 10 a 12). Nacházejí se v oblastech, kde snímky WV vykazují tmavé pásy. Jedná se tedy o místa, ve kterých proniká stratosférický vzduch bohatý na ozón do vrchní troposféry.

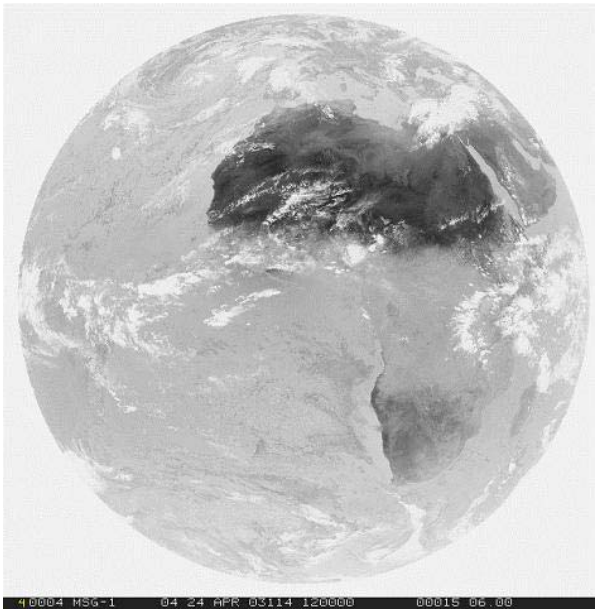
Kanál 11 (Obr. 14) se nachází v okrajové části pásma, které je charakteristické absorpcí plynem CO_2. Tento plyn absorbuje nejvíce záření o vlnových délkách okolo 15 μm. Maximální signál je zachycen v hladinách kolem 850 hPa. Kanál se kromě určení obsahu CO_2 dále používá ke stanovení teplotního profilu troposféry, určení instability a větru.



Obr. 14: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále IR 13,4

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

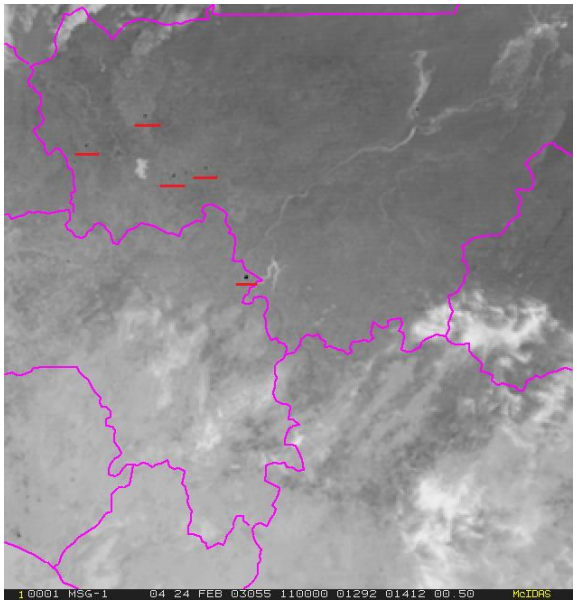
Snímek z kanálu IR 3,9 (Obr. 15) pořízený během části dne, kdy svítí slunce, se může jevit zdánlivě nejteplejší. To způsobuje odražené sluneční záření. Rozdíl v radiační teplotě oproti kanálu IR 10,8 pak může být desítky stupňů. Pro oddělení tepelného a odraženého záření kanálu IR 3,9 se používá algoritmus za využití právě zmíněného kanálu IR 10,8. Odrazivost oblačnosti v kanále IR 3,9 je silně závislá na velikosti oblačných částic. Čím menší jsou částice, tím větší je jejich reflektivita. V noci se tento kanál podobá kanálu IR 10,8. Vykazuje jen slabou absorpci oxidem uhličitým. CO_2 absorbuje záření, což způsobuje zdánlivé ochlazení snímků a potom se zdá, že je povrch chladnější. Tento efekt závisí na teplotě povrchu a vertikálním teplotním gradientu v přízemní vrstvě. Dále potom na výšce oblačnosti a úhlu snímání družice. Nejčastější využití tohoto kanálu spočívá v detekci nízké oblačnosti a mlhy, tenkých cirrů, oblačné fáze, velikosti částic, lesních požárů (Obr. 16) a přechlazených oblačných kapek jak ve dne, tak i v noci. Jako výhradně denní aplikaci lze uvést detekci vícevrstvé oblačnosti, struktury vrcholků oblačnosti a slunečního záření. V noci pak využíváme tento snímek zejména k určení teploty povrchu země a oceánů a k nalezení tepelných ostrovů měst.



Obr. 15: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále IR 3,9 ve dne

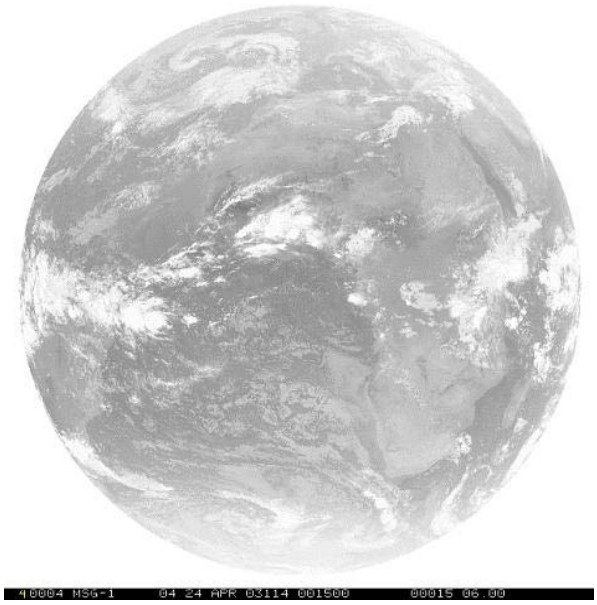
(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

Vodní částice vykazují větší odrazivost než částice ledové. Během dne jsou tedy oblaky obsahující vodní kapičky mnohem tmavší, maritimní Sc (stratocumulus) jsou pak tmavší než pevninské.



Obr. 16: Požáry v Mali a Guinei (černé skvrny zvýrazněné červeným podtržením) zachycené MSG-1, 24. 2. 2003, 11:00 UTC, kanál IR 3,9

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)



Obr. 17: Snímek pořízený družicí MSG ve spektrálním kanále IR 3,9 v noci

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

1.2. Shrnutí

Pásma viditelného světla jsou určena k zobrazování oblačnosti pouze v části dne, po kterou svítí slunce. V tomto pásmu plyny v atmosféře nepohlcují příchozí ani odražené sluneční záření.

Pohlcující spektra vodních par slouží k určení množství vodní páry ve vyšších vrstvách troposféry. V tomto spektrálním pásmu je atmosféra zcela průhledná při velmi suchém vzduchu a neprůhledná, pokud se v místě nachází vodní pára.

Infračervená pásma jsou použita pro snímkování v průběhu dne i noci a využívají se pro určení teploty na vrcholech oblačnosti a na povrchu oceánů. V těchto pásmech se nachází maximum vyzařování zemského povrchu a atmosféry v závislosti na teplotě.

Družice MSG představují vhodný nástroj využívaný pro tvorbu velmi krátkodobých předpovědí. Poskytují vysokou kvalitu získaných snímků a lepší časové rozlišení než družice na polární dráze. Dobrá kvalita meteorologických dat odvozených z těchto snímků přispívá k dalšímu zlepšení předpovědí počasí. Díky stabilní poloze je možné je využít i pro klimatologické studie.

Z hlediska krátkodobé a velmi krátkodobé předpovědi počasí lze vyzdvihnout zejména četnost snímkování (15 minut, 5 minut v režimu Rapid-Scan), vysoké

rozlišení (až 1 km), více spektrálních kanálů (12) i vyšší kvalitu dat (10 bitů). Díky tomu získáme lepší rozlišení zemského povrchu i oblaků, více informací o vertikální struktuře atmosféry, o tropopauze a ozónu.

Z hlediska numerické předpovědi počasí můžeme v souvislosti s MSG jmenovat lepší sledování pohybů v atmosféře, zlepšení odhadu výšky oblačnosti a lepší určení směru a rychlosti větru.

V oblasti klimatických studií přináší MSG zlepšení kalibrace a radiometrické přesnosti a zajištění základních klimatických dat.

Údaje v předcházejících odstavcích čerpají z webových stránek organizace EUMETSAT (http://bruxy.regnet.cz/ok2mnm/MSG-1/, 2009; http://www.chmi.cz /meteo/sat/, 2009; http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index. html, 2009)

2. RGB produkty generované z dat MSG

Družicová pozorování hrají klíčovou roli v porozumění vlivu atmosférických aerosolů na klima. V dnešní době, kdy jsou k dispozici data z několika spektrálních kanálů geostacionárních družic, máme další možnosti získat nové informace, které dále rozvíjejí pochopení různých atmosférických procesů. Jak již bylo zmíněno, Rosenfeld a Lensky (1998) uvedli techniku zkoumání procesu vzniku srážek na základě dat AVHRR polárních družic NOAA. Využívali při ní právě multispektrální informace, které vyzdvihovaly mikrofyziku oblaků. Využívali ale také data přístroje SEVIRI na palubě MSG.

Jejich technika se později využívala v mnoha studiích ke zhodnocení vlivu odlišných aerosolů na oblaky a srážky (viz výše). Multispektrální snímky tedy přinášejí nový nástroj ke studiu atmosféry a složitých procesů, které se v ní nepřetržitě odehrávají, jako jsou intenzivní konvekční procesy, chemické procesy či dlouhodobé klimatické změny. Dobrá znalost produktů RGB ale i jednotlivých kanálů družice MSG dále umožní rychlou orientaci v družicovém snímku a zrychlí výběr adekvátní oblasti pro analýzu snímku s využitím techniky *T-re* profilů, kterými se tato práce zabývá.

2.1. Analýza snímků

Za multispektrální informaci lze považovat kompozitní snímky RGB. Základními RGB kompozitními snímky jsou *Denní snímky v přirozených barvách*, *Denní mikrofyzikální snímky*, *Noční mikrofyzikální snímky*, snímky *Den a noc* a snímky *Vzduchových hmot*.

Denní snímky v přirozených barvách znázorňují vegetaci zeleně, holý povrch hnědě, povrch oceánů a moří černě, vodní oblaky bíle a ledové oblaky tyrkysově.

Denní mikrofyzikální snímky reprezentují mikrostrukturu oblačnosti na základě sluneční odrazivosti s využitím kanálu 3,9 μm.

Noční mikrofyzikální snímky také představují mikrostrukturu oblačnosti, tentokrát ale jako rozdíl jasové teploty (brightness temperature) kanálů 10,8 a 3,9 μm.

Snímky *Den a noc* využívají výhradně tepelné kanály, aby mohly lépe znázornit vlastnosti povrchu Země a oblaků, pouštní prach a vulkanické emise.

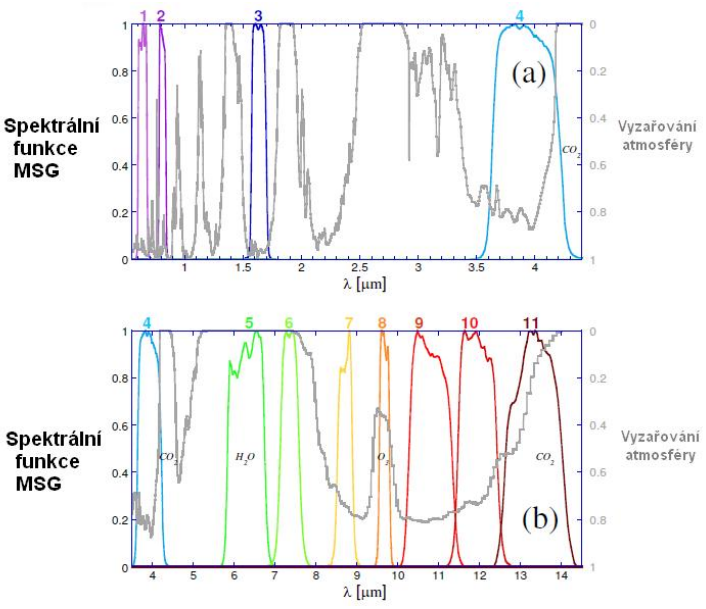
Snímky *Vzduchových hmot* představující charakteristiky střední a vysoké troposféry, využívají tepelné, ozónové a WV kanály.

2.1.1. Zobrazení

V analýze snímků se vychází z několika fyzikálních veličin, a sice z odrazivosti (%) u solárních kanálů a jasové teploty (K) u tepelných kanálů.

Během dne má radiace měřená 4. kanálem MSG (3,9 μm) dvě složky, odraženou solární radiaci a vyzářenou tepelnou radiaci. Komplikaci při užívání tohoto kanálu může představovat absorpce CO_2. Spektrální pásmo tohoto kanálu bylo rozšířeno o větší vlnové délky, aby byl omezen šum. To ale vedlo k překrytí absorpce CO_2 s původní charakteristikou tohoto kanálu.

12 kanálů MSG poskytuje daleko více informací než například 5 kanálů AVHRR. Spektrální funkce 4 solárních kanálů znázorňuje Obrázek 18 a), 8 tepelných kanálů IR znázorňuje Obrázek 18 b). Kanál 4 je solární i tepelný.



Obr. 18: Spektrální funkce jednotlivých kanálů MSG (označené příslušným číslem v horní části obrázku) a křivka znázorňující vyzařování atmosféry (šedá) Solární kanály jsou zobrazeny v části a), tepelné kanály v části b).

(Lensky a Rosenfeld, 2008)

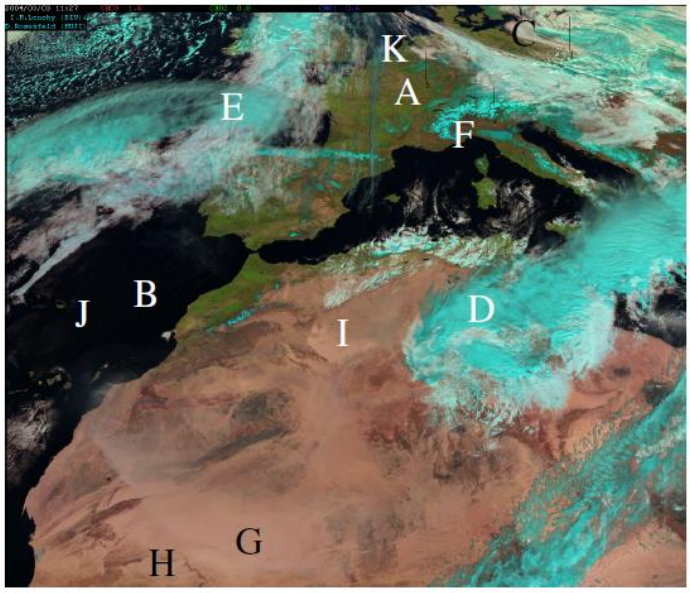
2.1.2. Využití solární odrazivosti

a) Denní snímek v přirozených barvách (*Day natural colors*)

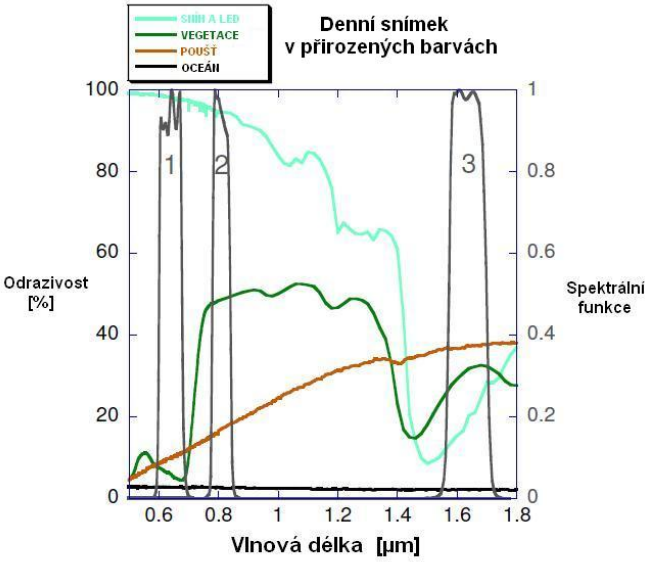
Obrázek 19 představuje kompozitní snímek RGB v přirozených denních barvách pomocí kombinace kanálů 1,6, 0,8 a 0,6 μm. Obrázek 20 zobrazuje spektrální funkci 3 kanálů snímku v denních přirozených barvách a spektrální charakteristiky některých materiálů.

Na těchto barevných schématech (Obr. 19) se vegetace jeví zeleně (A) kvůli její vysoké odrazivosti ve vlnových délkách 0,8 μm (zelená) v porovnání s vlnovými délkami 1,6 μm (červená) a 0,6 μm (modrá). Vodní oblaky tvořené malými částicemi (C) mají velkou odrazivost ve všech třech pásmech a proto se jeví bělavě. Sněhové (F) a ledové (D) oblaky vypadají tyrkysově, protože jsou tvořeny částicemi, které silně absorbují v pásmu 1,6 μm, což způsobuje, že v tomto zobrazení chybí červená barva. Holý zemský povrch (I) je na snímcích hnědý, protože jeho odrazivost je největší právě v pásmu 1,6 μm. Oceány (J) jsou pak zobrazeny černě vzhledem k nízké odrazivosti ve všech třech pásmech.

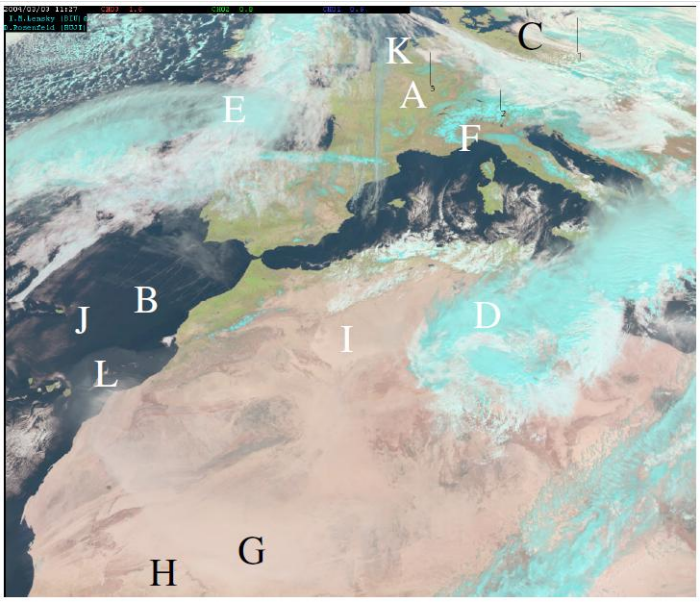
Rozšířený denní snímek v přirozených barvách (Obr. 21) je stejný jako Denní snímek v přirozených barvách, využívá pouze rozšíření k zvýraznění všech tří pásem. Taková úprava rozšiřuje intenzitu jasu daných snímků, mění tedy dynamický rozsah snímků. To umožňuje zobrazení detekce prachu (L), jiných druhů aerosolů a velice tenkých oblaků a kondenzačních stop nad mořem (B).



Obr. 19: Kompozitní Denní snímek v přirozených barvách (vysvětlení písmen viz text výše)
Kombinace kanálů 1,6, 0,8 a 0,6 µm, 3. 3. 2004 *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*



Obr. 20: Spektrální funkce 3 kanálů Denního snímku v přirozených barvách, spektrální charakteristiky některých materiálů *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*



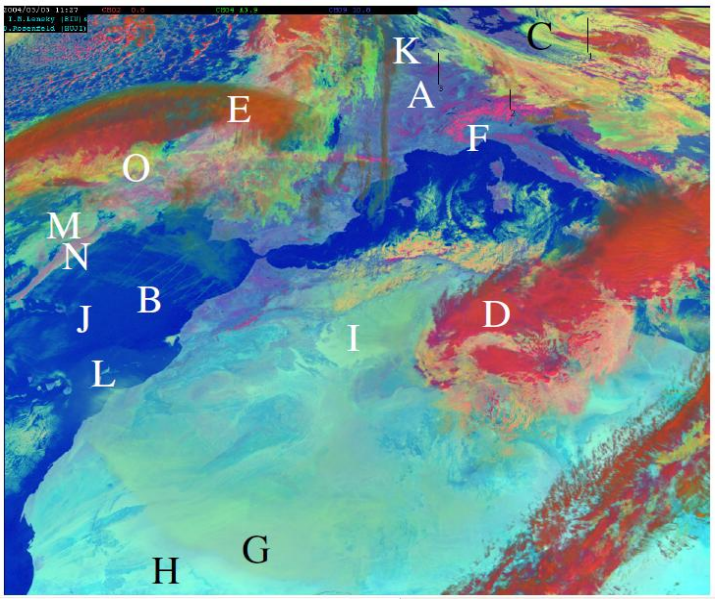
Obr. 21: Rozšířený denní snímek v přirozených barvách (vysvětlení písmen viz text výše) *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*

b) Denní mikrofyzikální snímek (*Day microphysical*)

Barevné schéma Denního mikrofyzikálního snímku využívá toho, že odrazivost v pásmu 0,8 µm (červená) aproximuje optickou mocnost oblaků a množství vody a ledu v oblacích. Solární odrazivost 3,9 µm (zelená) je adekvátním měřítkem pro velikost a fázi oblačných částic. Jasová teplota v pásmu 10,8 µm pak upravuje modré odstíny.

Toto barevné schéma je výhodné zejména pro analýzu oblačnosti, konvekce, mlhy, sněhu a požárů. V tomto barevném znázornění (Obr. 22) vypadají nesrážkové vodní oblaky bíle (C, M), protože kapičky tvořící tuto oblačnost jsou velmi malé. Velké oblačné částice, které jsou ovšem typické pro srážkové oblaky, vypadají na těchto snímcích růžově (N). Jejich solární odrazivost v pásmu 3,9 µm je nízká, chybí zde tedy podíl zelené složky. Oblaky tvořené přechlazenou vodou (O) jsou pak zobrazeny žlutou barvou. Jejich nízká teplota ovlivňuje totiž podíl modré složky. Studená a hustá oblačnost, jejíž vrcholky jsou tvořeny velkými ledovými částicemi (např. vrcholky oblaků Cb), se pak jeví červeně (D). Opticky mohutná oblačnost složená z malých ledových částic v blízkosti jejich vrcholků (E) se jeví oranžově. Tenká oblačnost tvořená jen malými ledovými částicemi, jako např. kondenzační

sledy, vypadá šedo-zeleně (B). Tenká oblačnost složená z velkých ledových částic se jeví tmavě (K).



Obr. 22: Schéma Denního mikrofyzikálního snímku (vysvětlení písmen viz také text výše)

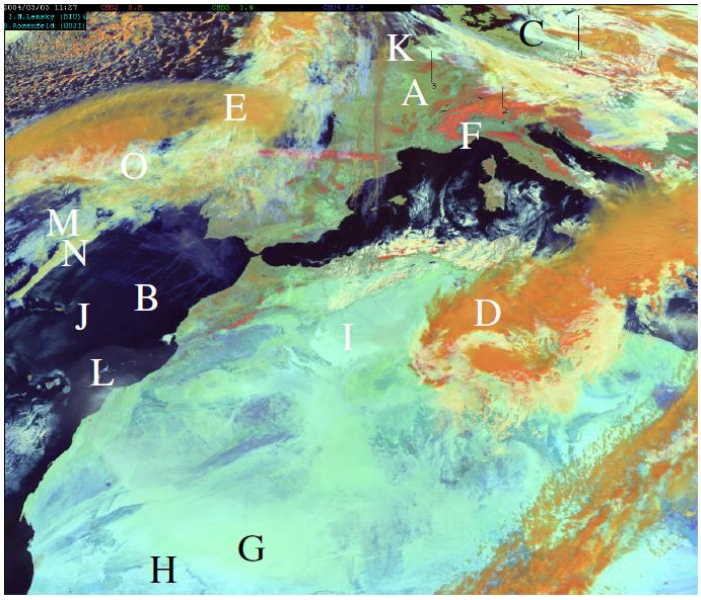
Z takovéhoto snímku je možné určit vodní oblaky (C), kondenzační sledy (B), ledové oblaky (D), ledové oblaky s malými částicemi (E), sníh (F) nebo oheň. *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*

c) Denní solární snímek (*Day solar*)

Schéma Denního solárního snímku (Obr. 23) využívá solární odrazivost v pásmech 0,8, 1,6 a 3,9 μm. Obrázek 24 představuje spektrální funkci tří zmiňovaných kanálů a také spektrální charakteristiky některých vybraných povrchů.

Takové barevné schéma ukazuje vegetaci (A) zeleně, protože v pásmech 0,8 a 1,6 μm dochází k velké odrazivosti. Malé ledové částice (E) vypadají oranžově, zatímco velké ledové krystaly (D) jsou zobrazeny s větším podílem červené složky. Sníh naproti tomu vypadá červeně (F), jelikož silně absorbuje v pásmech 1,6 a 3,9 μm. Sněhové částice jsou obvykle mnohem větší než částice ledových oblaků. Z toho tedy vyplývá, že v zobrazení zasněženého povrchu chybí zelená a modrá barva. Vodní oblaky tvořené malými částicemi (C, M) vykazují velkou odrazivost v pásmu 3,9 μm a vypadají tedy světle žlutě. Pouště jsou zobrazeny jasně

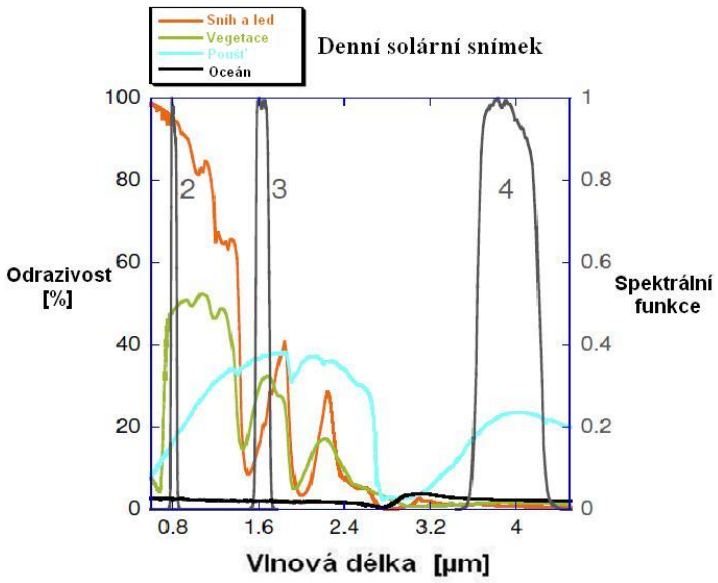
tyrkysově (H), protože mají největší odrazivost v pásmu 1,6 μm a hlavně v pásmu 3,9 μm. Povrch oceánů (J) vypadá na těchto snímcích černě. Příčinou toho je nízká odrazivost ve všech třech pásmech.



Obr. 23: Denní solární kompozitní snímek (vysvětlení písmen viz také text výše)
Umožňuje detekci vegetace (A), vodních oblaků (C), ledových oblaků (D), ledových oblaků tvořených malými částicemi (E), sněhu (F) a požárů.
(Lensky a Rosenfeld, 2008)

Rozsah odraženého slunečního záření od různých ledových částic je větší v pásmu 1,6 μm než v pásmu 3,9 μm. Toho lze dobře využít k odlišení velikosti ledových částic v oblačnosti. Ledové částice, které se vytvářejí postupným mrznutím v oblacích se smíšenou fází, nabývají obvykle mnohem větších rozměrů než ty, které se vytváří depozicí vodní páry v čistě ledových oblacích. Takto lze na snímcích jednoduše odlišit srážkové konvekční oblaky od nesrážkových nebo vrstevnatých ledových oblaků. Také ve vrcholcích oblaků silných konvekčních bouří se mohou objevit jen malé ledové krystalky, protože zde vodní kapky mrznou velice rychle a tvoří se přímo ledová fáze homogenní nukleací.

Tento druh snímku je velice citlivý na mikrostrukturu oblačnosti, nevýhodou je ale to, že úplně chybí údaje o teplotě (tedy vertikálním rozsahu) oblačnosti. Snímek tedy není složen z termálních kanálů družice MSG. Jako hlavní využití těchto snímků lze uvést např. analýzu oblačnosti, konvekce, mlhy, sněhu a požárů.



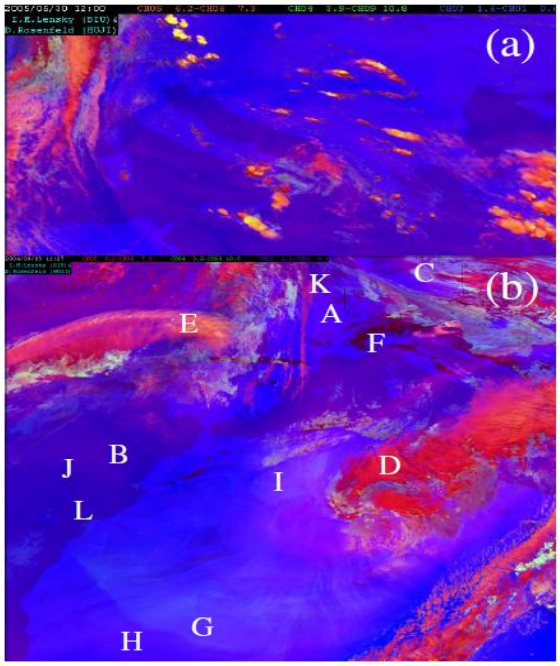
Obr. 24: Spektrální funkce tří kanálů použitých pro Denní solární snímek a spektrální charakteristiky některých vybraných povrchů *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*

d) Snímek Konvekční bouře (*Convective storms*)

Barevné schéma snímku Konvekčních bouří je zobrazeno na Obrázku 25. Rozdíly jasové teploty mezi kanály 6,2 a 7,3 μm ovlivňují zobrazení červené barvy, která udává množství vlhkosti ve středních hladinách troposféry.

Přestřelující vrcholky Cb představují nulový nebo malý kladný rozdíl těchto kanálů, takže se jeví červeně. Vrcholky oblačnosti, která nedosahuje do tropopauzy (D), vykazují malé negativní hodnoty tohoto rozdílu. Povrch Země (A) potom představuje velké negativní hodnoty tohoto rozdílu. V zobrazení těchto dvou posledně zmíněných objektů proto chybí zastoupení červené barvy. Silné konvekční bouře (E) lze jednoduše určit podle jasné žluté barvy u vrcholků oblaků Cb na těchto kompozitních snímcích kvůli rozdílu kanálů 6,2 a 7,3 μm blízkému nule. Silné stoupavé proudy umožňují vznik malých ledových částic ve vrcholcích těchto oblaků homogenním mrznutím kapiček uvnitř oblaku. Výsledkem je velký rozdíl teploty mezi kanály 3,9 a 10,8 μm, což odpovídá zobrazení zelené. Velký negativní rozdíl 1,6 a 0,6 μm způsobený velkou absorpcí ledovými krystalky v pásmu 1,6 μm značně snižuje podíl modré složky na těchto snímcích. Rozdíl mezi kanály 3,9 a 10,8 μm tedy vypovídá o mikrofyzice oblačnosti. Během slunečné části dne je velká odrazivost slunečního záření způsobená malými oblačnými částicemi. Rozdíl mezi

odrazivostí u kanálů 1,6 a 0,6 μm při velkých negativních hodnotách prozrazuje přítomnost ledových oblaků (viz Obr. 25).



Obr. 25: Schéma snímku Konvekčních bouří

a) Silné konvekční bouře jsou na těchto snímcích zobrazeny světle žlutě, což způsobují malé záporné hodnoty rozdílu kanálů 6,2 a 7,3 μm na vrcholcích oblačnosti Cb.

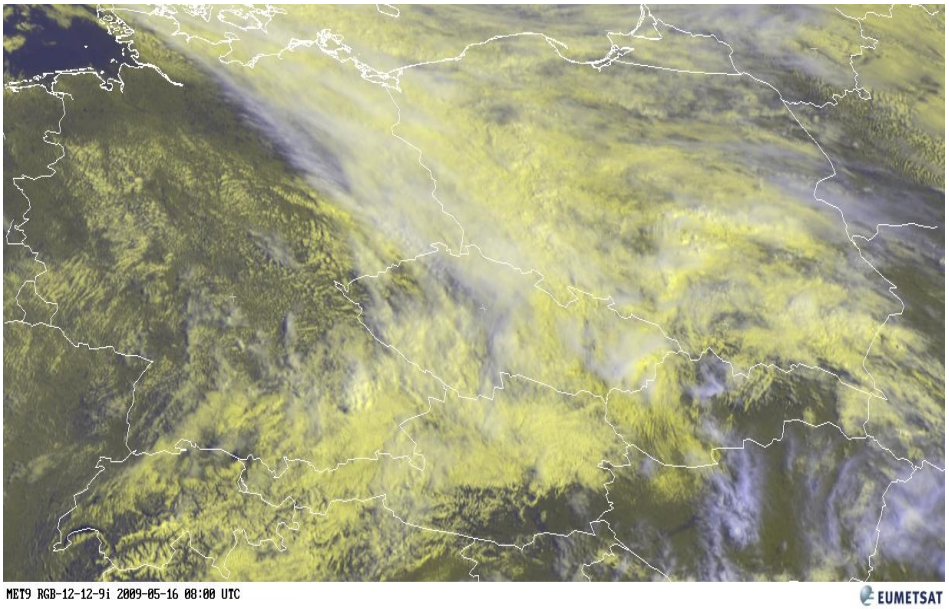
b) Malé ledové krystalky v oblačnosti cirrus (E) nesmí být vyhodnoceny jako oblast intenzivní konvekce *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*

Malé ledové krystalky, které nejsou spojené s kovadlinami Cb, se tvoří v intenzivních updraftech, jako např. v orografických vlnových oblacích vysokých hladin. Jako příklad lze ukázat malý oblak na východním okraji Alp (Obr. 25) napravo od písmene F. Přestože jsou Cb i tenké cirry v horní části tvořeny jen drobnými ledovými krystalky, můžeme pro jejich odlišení využít denní mikrofyzikální snímek.

e) Snímek E-View

Snímky E-View (Obr. 26) jsou sestavovány na základě informací z kanálu HRV a kanálu IR 10,8. Kombinací zmíněných kanálů vzniká produkt zobrazující

oblačnost a zemský povrch velmi detailně. Využívá se zejména k podrobnému zkoumání oblačnosti v Evropě.



Obr. 26: Kompozitní snímek E-View

(http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html, 2009)

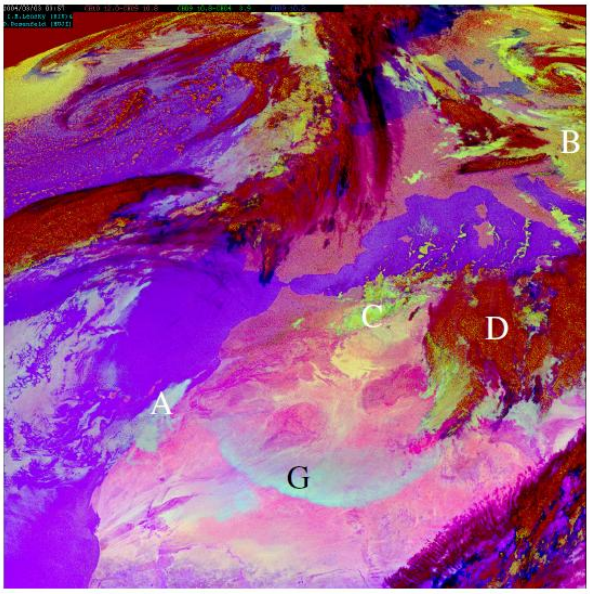
2.1.3. Barevné snímky, které nevyužívají solární odrazivosti

Denní mikrofyzikální snímek vychází ze solární radiace, dá se proto využít pouze v té části dne, kdy svítí slunce. Dva typy snímků, které solární radiaci nevyužívají, přesto ale poskytují stejné barevné zobrazení pro stejné typy oblačnosti jako předchozí, budou popsány v této části textu. Jedná se o Noční mikrofyzikální snímek (Obr. 27) a o snímek Den a noc (Obr. 28a), které využívají pouze tepelné kanály IR.

Podstatou je rozdíl teploty mezi kanály 12,0 a 10,8 μm, který zobrazuje hustotu oblačnost. Je zobrazen červenou barvou jako odrazivost v pásmu 0,8 μm na mikrofyzikálním denním snímku. Teplota zobrazená pomocí kanálu 10,8 μm ovlivňuje obsah modré barvy stejně jako na Denním mikrofyzikálním snímku. Odlišnost je pouze v minimálních a maximálních hodnotách. Kanál 4 (3,9 μm) stejně jako kanál 7 (8,7 μm) je nejvíce citlivý na poloměr oblačných částic. Noční mikrofyzikální snímek proto využívá kanál 4 (3,9 μm), zatímco snímek Den a noc využívá kanál 7 (8,7 μm). Tato skutečnost je ukázána na Obrázku 27.

a) Noční mikrofyzikální snímek (*Night microphysical*)

Rozdíl teploty mezi kanály 10,8 a 3,9 μm ovlivňuje množství zelené barvy na tomto druhu snímku (Obr. 27).



Obr. 27: Noční mikrofyzikální snímek

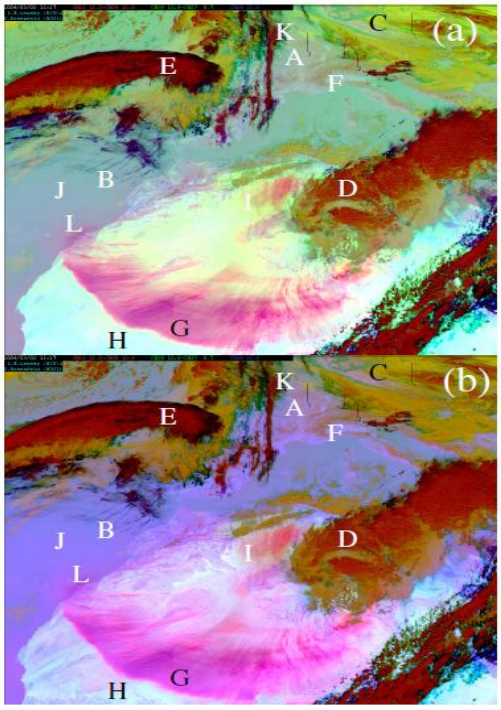
Vodní oblačnost s malými kapičkami vypadá bíle (A), oblačnost tvořená přechlazenou vodou vypadá žlutě (B, C), oblaky Cb s chladnými vršky a ledovými částicemi vypadají červeně (D), detekce prachu (G) je dalším využitím tohoto druhu kompozitního snímku. *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*

Lensky a Rosenfeld (2008) dokázali, jak je rozdíl teplot kanálů 0,8 a 3,9 μm citlivý na velikost částic a využili těchto poznatků k určování srážkových oblaků. Emisivita v oblasti 3,9 μm je mnohem menší pro oblačnost tvořenou malými kapičkami než pro velké kapky. V pásmu 10,8 μm ale vykazují malé i velké kapky vysokou emisivitu, proto velký rozdíl teploty mezi kanály 10,8 a 3,9 μm indikuje oblačnost s malými kapičkami. Tenké noční oblaky nebo mlhy tvořené malými kapičkami jsou na těchto snímcích vyobrazeny bíle (A), chladnější vodní oblaky či mlhy potom více do žluta (B, C). Vodní oblaky, které jsou složeny z větších kapek, bývají zobrazeny s větším podílem červené barvy (Obr. 27). Radiace vyzářená z vrcholků Cb, které mají teplotu obvykle nižší než 220 K, je v pásmu

3,9 μm velice nízká. Takové oblaky jsou na snímcích zobrazeny kropenatě oranžovo-červeně (D).

b) Snímky Den a noc a Pouštní prach (*Day and Night a Desert Dust*)

Snímky Den a noc (Obr. 28a) a Pouštní prach (Obr. 28b) jsou podobně barevné snímky jako dříve zmíněné Noční mikrofyzikální snímky. Jejich citlivost je, jak už název napovídá, zaměřena na detekci oblačnosti ve dne a v noci a na zobrazení prachu. Rozdíl jasové teploty mezi kanály 10,8 a 8,7 μm ovlivňuje obsah zelené složky na těchto snímcích.

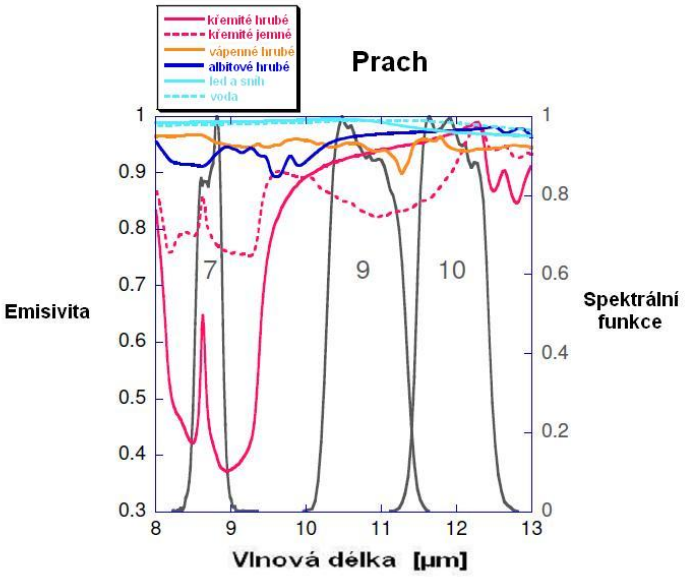


Obr 28: Snímek Den a noc (a) a Pouštní prach (b)

Na snímku Den a noc (a) se jeví pouštní písek bělavě (H), ale písečný prach má jasně vyjádřené růžové odstíny (G). Tento druh snímku je také vhodný pro sledování kondenzačních sledů (B).

Snímek Pouštní prach (b) má podobné barevné schéma jako snímek Den a noc, rozdíl je pouze v tom, že na snímku Den a noc jsou maximální odstíny zelené a modré zaměřeny na mikrostrukturu oblačnosti, ale na snímku Pouštní prach jsou zaměřeny právě na maximální citlivost vzhledem k pouštnímu prachu. *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*

Emisivita velkých částic křemitých minerálů (125–500 μm) je v pásmu 8,7 μm velice nízká (viz Obr. 29), takže rozdíl kanálů 10,8 a 8,7 μm je velký nad pouštním pískem složeným právě z těchto částic (H). Dohromady s rozdílem kanálů 12,0 a 10,8 μm a vysokými teplotami způsobují tyto skutečnosti bělavé zbarvení pouštního písku. Emisivita malých částic křemitých minerálů (0–45 μm) je v pásmu 8,7 μm mnohem větší, důsledkem čehož je malý rozdíl teplot pro kanály 10,8 a 8,7 μm a zobrazení takového povrchu je pak růžové (G). Takovéto barevné zobrazení je také užitečné pro denní a noční sledování kondenzačních stop (B). Podobně jako na denních mikrofyzikálních snímcích je i na těchto snímcích patrné, že vysoké Cb vypadají červeně (E). Kladný rozdíl kanálů 12,0 a 10,8 μm odhaluje hustou oblačnost díky sytě červenému zbarvení, velké ledové částice, které způsobují malé hodnoty rozdílu kanálů 10,8 a 8,7 μm, způsobují zelené zabarvení oblačnosti. Chladné vršky pak přidávají nádech bledě modré. Mohutné vodní oblaky jsou zobrazeny žlutě, větší rozdíl kanálů 10,8 a 8,7 μm způsobuje jasně zelené zbarvení, chladné vrcholky jsou zase jasně modré. Tenké cirry se pak na tomto snímku jeví černě, zatímco oblačnost s malými částicemi zeleně. Zabarvení tenké oblačnosti na těchto snímcích může také ovlivnit charakteristika povrchu, který se nachází pod touto oblačností, a to především svou teplotou a emisivitou.



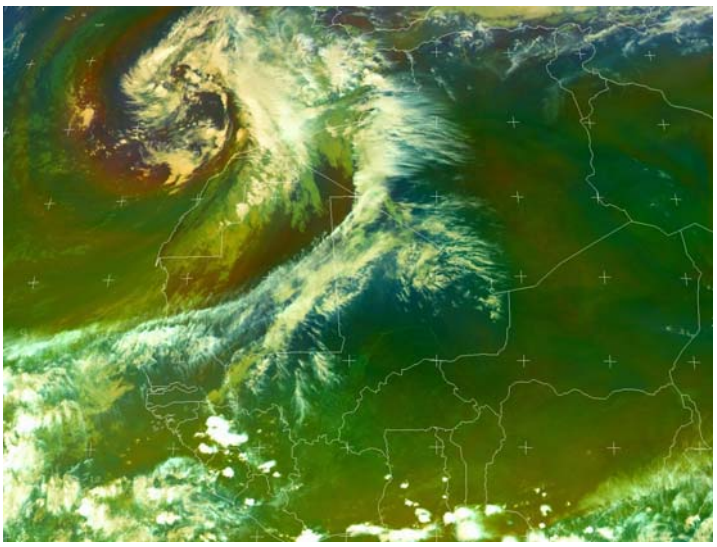
Obr. 29: Emisivita velkých minerálních křemitých částic je nízká v pásmu 8,7 μm, emisivita malých částic (0–45 μm) je mnohem větší. *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*

c) Snímky Vzduchových hmot (*Air mass*)

Kompozitní RGB snímek Vzduchových hmot ukazuje Obrázek 30. Rozdíl kanálů 6,2 a 7,3 μm ovlivňuje množství červené stejně jako na snímcích Konvekčních bouří. Suchá atmosféra vykazuje hodnoty kolem nuly a vlhká atmosféra má hodnoty záporné.

Rozdíl mezi kanály 9,7 (ozón) a 10,8 μm ovlivňuje množství zelené barvy. Polární vzduchová hmota bohatá na ozón má velký záporný rozdíl kanálů 9,7 a 10,8 μm a jeví se tedy modrá. Tropická vzduchová hmota s nižším obsahem ozónu vykazuje malý záporný rozdíl kanálů 9,7 a 10,8 μm a zobrazuje se zeleně. Kanál VW 6,2 μm ovlivňuje inverzně modrou barvu, přičemž vlhká atmosféra se jeví modře. Suchý sesedající stratosférický vzduch spojený s tryskovým prouděním je zobrazen červeně.

Tento druh snímku se hodí především ke studiu rychlé cyklogeneze, analýze tryskového proudění a potenciální vorticity.



Obr. 30: Snímek Vzduchových hmot

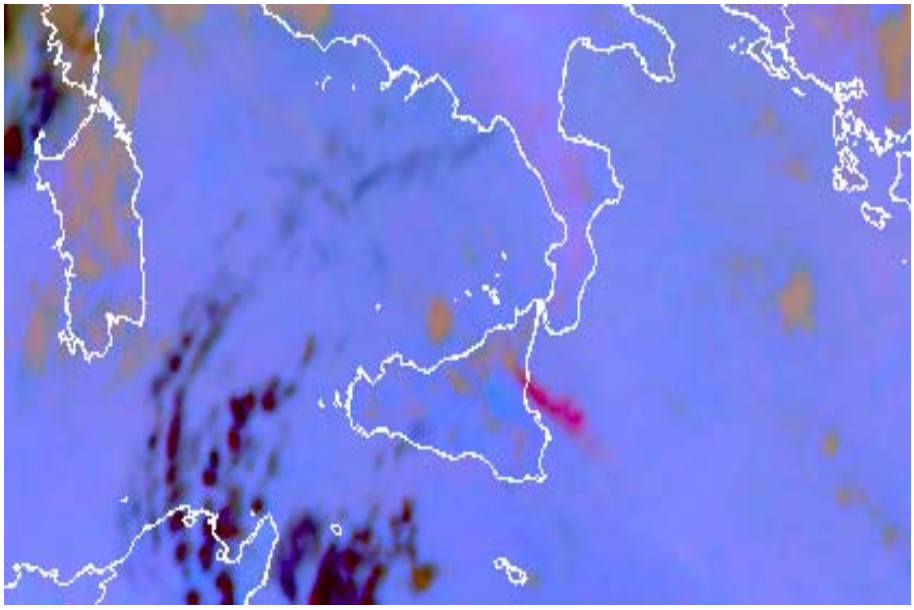
Polární vzduch bohatý na ozón je znázorněn modře, tropický vzduch s nižším obsahem ozónu je na snímku zelený.

(http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/, 2016)

d) Snímek Popel (*Ash*)

Na základě kombinací termálních kanálů IR 8,7, IR 10,8 a IR 12,0 přístroje SEVIRI je sestavován snímek Popel (Obr. 31). Jeho využití spočívá ve sledování popílku a oxidu siřičitého (SO_2), který se dostává do atmosféry během vulkanických erupcí. Toto monitorování je přínosem zejména pro předpovídání a monitorování vulkanických erupcí, klimatologické studie a letecké úřady.

Studená hustá vysoká oblačnost je na těchto snímcích hnědá. Řídké cirry a kondenzační sledy jsou zobrazeny černě. Vulkanické oblaky SO_2 jsou zobrazeny tyrkysovou barvou a sopečný prach červeně až fialově.



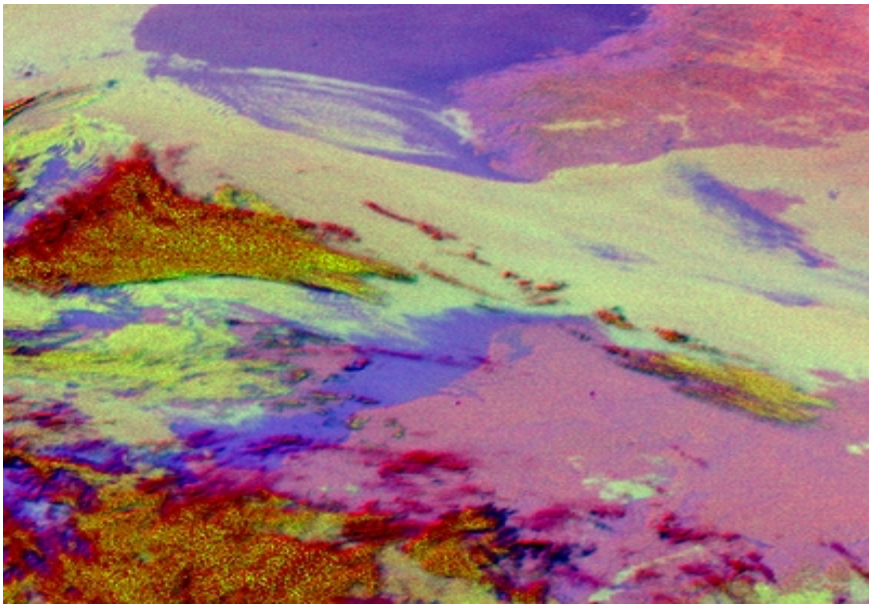
Obr. 31: Snímek Popel

V oblasti Sicílie je patrný oblak sopečného popela, který je prouděním unášen k jihovýchodu. *(http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/, 2009)*

e) Snímek Mlha (*Fog*)

Kombinací tepelných kanálů vzniká i kompozitní snímek Mlha (Obr. 32). V tomto případě se jedná o kanály IR 3,9, IR 10,8 a IR 12,0. Snímek je primárně sestavován za účelem sledování vzniku a vývoje mlhy nebo nízkého stratu v nočních hodinách. Jako druhotné využití lze zmínit základní klasifikaci oblačnosti, sledování vlhkosti v nízkých hladinách a detekci požárů. Využití tohoto snímku je v denních hodinách velmi omezené. Zemský povrch je na těchto snímcích zobrazen fialově.

Studená hustá vysoká oblačnost je na těchto snímcích červená. Řídké cirry jsou zobrazeny jako tmavomodré až černé. Konečně mlha a nízká oblačnost se jeví jako bílá až světle žlutá.



Obr. 32: Snímek Mlha

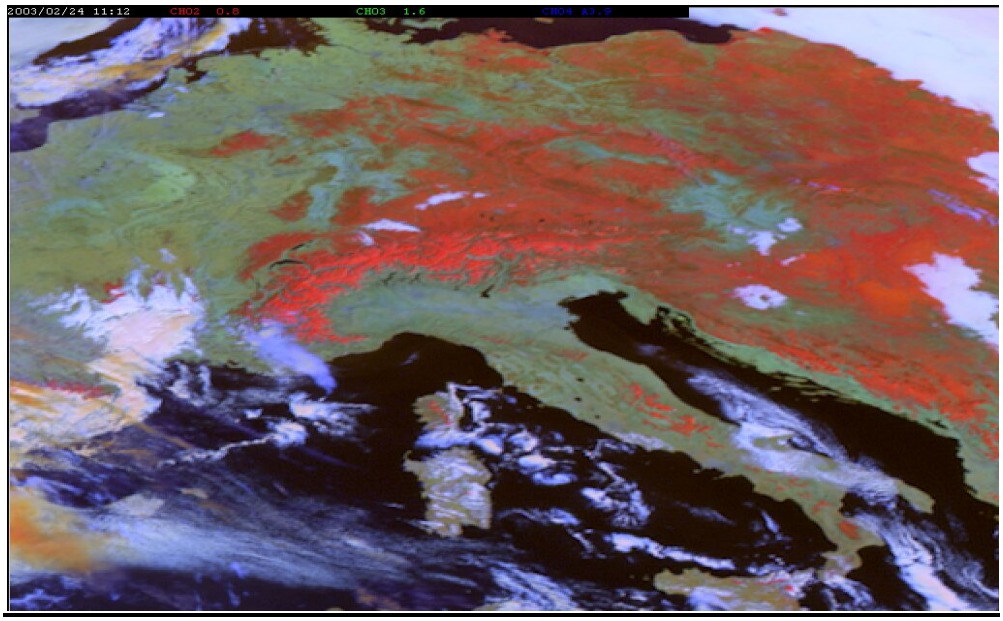
Interpretace barevného schématu viz výše.

(http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/, 2009)

f) Snímek Sníh (*Snow*)

Hlavní využití snímku Sníh (Obr. 33) spočívá v lokalizování a ve sledování sněhu, nízké oblačnosti a mlhy během denních hodin.

Mlha a nízká oblačnost vypadá na těchto snímcích bíle. Sníh je zobrazen červenou barvou, jelikož vykazuje silnou absorpci v kanálech NIR 1,6 a IR 3,9. Oblačnost tvořená malými ledovými částicemi se jeví oranžově, oblačnost složená z velkých ledových částic vykazuje větší podíl červené barvy.



Obr. 33: Snímek Sníh

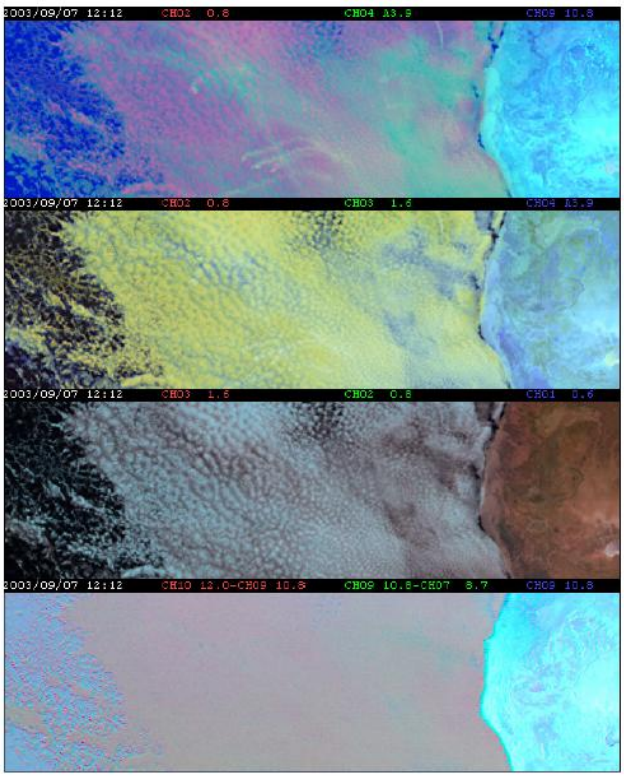
V oblasti Alpského masivu je jasně patrná vrstva ležícího sněhu (červená).

(http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/, 2009)

2.2. Využití kombinací kompozitních snímků RGB

Kromě všech výše zmíněných jednotlivých jevů (např. sníh, popel, mlha) a některých druhů oblačnosti (např. Cb, cirry) můžeme pomocí kombinací RGB kompozitů odlišit i srážkovou a nesrážkovou oblačnost. Hlavním faktorem oblačné mikrostruktury, který ovlivňuje proces vzniku srážek, je velikost oblačných částic. Dráhy lodí plujících po moři představují nejlepší přirozenou laboratoř k odlišení oblačnosti tvořené malými kapičkami, ze které srážky nevypadávají, a oblačnosti s většími kapičkami, ze které vypadává mrholení (Lensky a Rosenfeld, 2008). Obrázky 34 a 35 poskytují jednu z možností, jak sledovat mikrostrukturu oblačnosti v souvislosti s dráhami lodí. Maritimní stratocumulus se totiž zobrazuje rozdílně na odlišných solárních (denních) a termálních (nočních) RGB kompozitních snímcích.

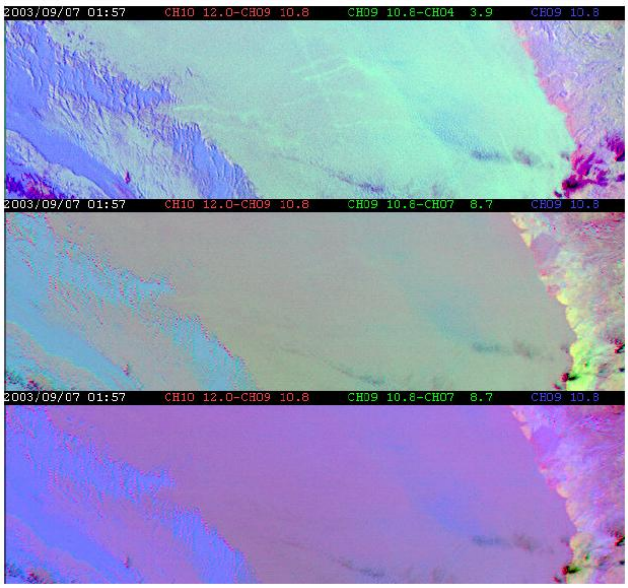
Denní mikrofyzikální snímek je nejcitlivějším nástrojem v oblasti RGB snímků pro určování velikosti oblačných kapiček. Dalším vhodným snímkem je Noční mikrofyzikální snímek. Ostatní snímky jsou citlivé mnohem méně nebo dokonce vůbec.



Obr. 34: Ukázka rozdílného zobrazení jednotlivých kompozitních snímků

> Kanál 3,9 μm na Denním mikrofyzikálním snímku (horní panel) je nejcitlivější kanál vzhledem k mikrofyzice oblačnosti. Využito je zobrazení pomocí lodních stop pod oblačností, které jsou částečně patrné také na Denním solárním snímku (druhý shora). Na Denním snímku v přirozených barvách (třetí shora) a na snímku Den a noc (dole) ovšem tyto stopy pozorovat vůbec nelze. *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*

Stopy lodí pod oblačností slouží k účelu předvedení citlivosti vybraných RGB snímků vzhledem k velikosti oblačné mikrostruktury na nejjednodušším oblaku vůbec, na maritimním stratocumulu. U ostatních druhů oblačnosti je variabilita jejich mikrostruktury mnohem větší a není tak snadno pochopitelná. Mikrostruktura oblačnosti představuje hlavní objekty zobrazené na RGB snímcích a představuje hlavní prostředek pro zobrazení složení oblačnosti velkých měřítek.



Obr. 35: Ukázka rozdílného zobrazení jednotlivých kompozitních snímků

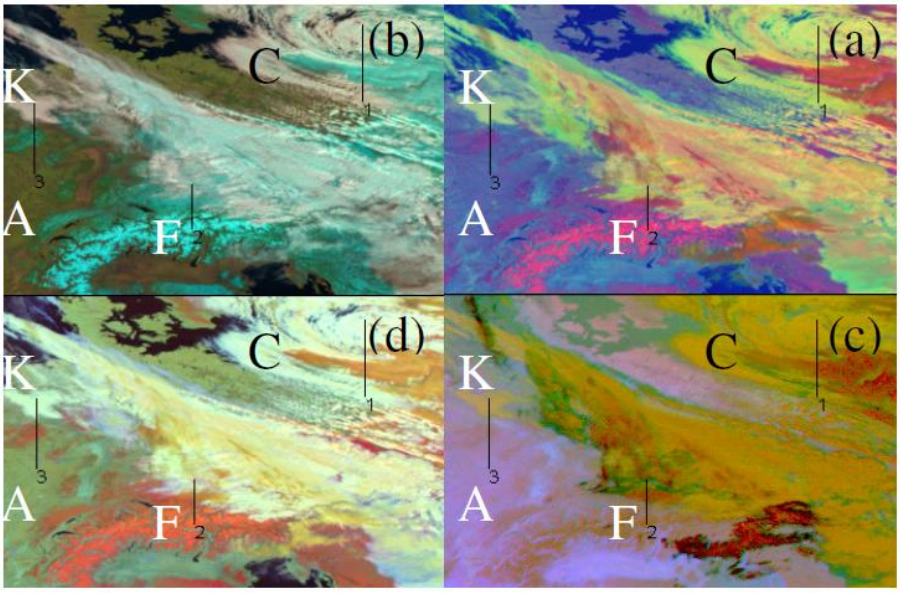
Kanál 3,9 μm na Nočním mikrofyzikálním snímku (horní panel) opět zobrazuje stopy lodí, Snímky den a noc (prostřední) a Prach (spodní) ale tyto stopy nezachycují. *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*

Obrázek 36 představuje čtyři odlišné RGB snímky pro ukázku odlišného zobrazení stejných druhů oblačnosti. Nabízí Denní mikrofyzikální snímek (a), Denní snímek v přirozených barvách (b), Pouštní prach (c) a Denní solární snímek (d). Na těchto snímcích jsou dále znázorněny tři příčné řezy. První je veden hluboce přechlazenými vodními a ledovými oblaky, druhý je veden sněhovými, ledovými a vodními oblaky a třetí potom nad holým povrchem, sněhem a mlhou nebo stratem.

Severní a jižní část prvního řezu je vedena hluboce přechlazenou oblačností, která se vyznačuje vysokou solární odrazivostí. Velký rozdíl kanálů 10,8 a 8,7 μm (teplota kolem 4 °C) prozrazuje přítomnost malých kapiček v těchto přechlazených vodních oblacích. Nižší odrazivost v pásmu 3,9 μm a v kanále 1,6 μm udává obsah ledových částic, které vykazují silnou absorpci. Nejchladnější oblast (-37 °C) vykazuje vysokou odrazivost v pásmu 1,6 μm a 3,9 μm a rozdíl kanálů 10,8 a 8,7 μm kolem 2 °C. To udává výskyt velmi přechlazených řídkých vodních oblaků. Na Obrázku 36 lze tyto přechlazené vodní a ledové oblaky snadno identifikovat podle barevného vyjádření. V části (a) jsou vodní oblaky zobrazeny žlutě (C) a ledové červeně, v části (b) jsou vodní oblaky zobrazeny bíle (C) a ledové fialově,

v části (c) jsou vodní oblaky zobrazeny oranžově (C) a ledové červeně a v části (d) jsou vodní oblaky zobrazeny bíle (C) a ledové oranžově.

Druhý řez na Obrázku 36 je veden přes sníh na jihu (F), ledovou (střed) a vysokou vodní oblačnost (sever). V jižní části druhého řezu odrazivost v kanále 0,8 μm kolísá nad studenými (-10 °C) zasněženými vrcholky Alp a nad méně zasněženými teplejšími (0–5 °C) údolími. Snížené hodnoty odrazivosti v pásmu 3,9 a 1,6 μm představují ledové částice ve vrcholcích oblačnosti s vysokou absorpcí. Teplota těchto částic je -27 °C. Vyšší odrazivost v pásmu 3,9 a 1,6 μm a větší rozdíl mezi kanály 10,8 a 8,7 μm prozrazují přítomnost malých přechlazených kapiček ve vrcholcích oblačnosti. Jejich teplota je také -27 °C. Směrem k severu se rozkládá nižší vodní oblačnost, která vykazuje vyšší teplotu (-10 °C) a vyšší odrazivost ve třech solárních kanálech. Z Obrázku 36 je možné odlišit ledovou a vodní oblačnost i sníh, protože jsou zachyceny odlišnými barvami.



Obr. 36: Denní mikrofyzikální snímek (a), Denní snímek v přirozených barvách (b), Pouštní prach (c) a Denní solární snímek (d), průřez vodními a ledovými oblaky (1), sněhem, ledovými a vodními oblaky (2), holým povrchem, sněhem a mlhou (3) (vysvětlení písmen viz text) *(Lensky a Rosenfeld, 2008)*

V části (a) Obrázku 36 se sníh zobrazuje růžově, ledová oblačnost červeně a vodní oblačnost žlutě. V části (b) se sníh zobrazuje jasně fialově, ledová oblačnost fialově a vodní oblačnost bíle. V části (c) se sníh zobrazuje oranžově, ledová

oblačnost červeně a vodní oblačnost zeleně. V části (d) se sníh zobrazuje červeně, ledová oblačnost oranžově a vodní oblačnost bíle.

Řez číslo 3 na Obrázku 36 je veden přes holý zemský povrch (A) v jeho jižní části, sníh (uprostřed) a mlhu nebo stratus v jeho severní části (K). Vysoké teploty (5–10 °C) a solární odrazivost jsou typické pro holou půdu a povrch pokrytý vegetací. Sníh na povrchu země má vysokou odrazivost v pásmu 0,8 μm a absorbuje solární radiaci v pásmu 1,6 μm a v pásmu 3,9 μm. Mlha a stratus severně od sněhu silně odráží záření ve všech solárních kanálech, to naznačuje přítomnost drobných kapiček. V části (a) Obrázku 36 se holý povrch zobrazuje bíle, sníh růžově a mlha žlutě. V části (b) se holý povrch zobrazuje zeleně, sníh fialově a mlha bíle. V části (c) se holý povrch zobrazuje nachově, sníh červeně a mlha žlutě. V části (d) se holý povrch zobrazuje zeleně, sníh červeně a mlha bíle.

2.3. Shrnutí

Dostupnost velkého množství spektrálních kanálů meteorologických družic, zejména Meteosatu druhé generace (MSG), poskytuje nové možnosti zkoumání oblačnosti, aerosolů a povrchu země. Okamžitý klíč k určení druhů oblačnosti poskytují kompozitní snímky RGB. Různé RGB kombinace představují nástroj pro zkoumání odlišných jevů.

Denní mikrofyzikální snímek se upřednostňuje ke zkoumání mikrostruktury vodních a smíšených oblaků v době, kdy na ně dopadá sluneční záření.

Noční mikrofyzikální snímek umožňuje odvození mikrostruktury oblačnosti během nočních hodin.

Snímek *Pouštní prach* je vhodnou pomůckou k detekci fáze oblačnosti a oblaků pouštního prachu během dne i noci.

Denní snímek v přirozených barvách nejlépe napodobuje reálné barevné zobrazení zemského povrchu, vegetaci zobrazuje zeleně a holý povrch hnědě. Dobře také odlišuje vodní a ledovou oblačnost.

Denní solární snímek je poněkud citlivější na oblačnou mikrostrukturu než *Denní mikrofyzikální snímek*, ale postrádá informace ohledně teploty vrcholků oblačnosti. Má také omezenou schopnost detekovat řídkou oblačnost.

Snímek *Konvekčních bouří* zvýrazňuje velice chladné vrcholky oblačnosti složené z maličkých ledových krystalků. Takové oblaky mohou představovat vrcholky vysokých Cb nebo vrcholky orograficky vznikajících vlnových oblaků.

Orientace v produktech RGB i samostatných kanálech družice MSG poskytne dobrý základ k výběru adekvátní oblasti pro analýzu snímku s využitím techniky *T-re* profilů (viz následující kapitola). Jak se v průběhu práce ukázalo, nestačí vždy jen jeden vybraný druh zobrazení družicového snímku, ale je potřeba je také vhodně kombinovat.

3. *T-re* profily

Silné konvekční bouře se ve střední Evropě objevují obvykle v teplé části roku a v některých oblastech jich zřejmě přibývá (Tolasz et al., 2007; Dotzek et al., 2009). Pozornost věnovaná těmto jevům také roste, protože jejich nebezpečné doprovodné jevy představují velké nebezpečí. Kroupy ničí majetek i infrastrukturu za miliony Eur, stejně tak rychlé povodně. Ty jsou způsobeny silnými srážkami, které spadnou v krátkém čase na relativně malém území, vždy ale mají svou spojitost právě s intenzivní konvekcí (Doswell, 1994). Také tyto rychlé povodně se v některých oblastech objevovaly v posledních dekádách častěji (Tolasz et al., 2007). Tyto události obvykle trvají jen několik desítek minut nebo málo hodin, což z nich ale při jejich intenzitě činí velmi nebezpečné jevy. Každý rok se také v Evropě objevují tornáda (Dotzek, 2003) a jaro roku 2015 jich poměrně hodně přineslo do Německa, jak bylo již zmíněno. Také tornáda jsou vždy spojena s intenzivní konvekcí a s jejich rostoucí četností také roste počet zasažených obydlených oblastí, což z nich činí další nebezpečný atmosférický jev.

Základním rysem a možná i problémem z hlediska předpovědi konvekčních bouří je jejich rychlý vývoj. Takové bouře se mohou pohybovat na velkou vzdálenost a při svém pohybu různě měnit směr i svou strukturu. Byla už zpracována některá kritéria k odhalení konvekčních bouří a obvykle vycházejí z radarových měření (Visser, 2001). Aktuálně (rok 2016) ale nejsou meteorologické radary v České republice schopny odlišit malé či velké kroupy nebo identifikovat tornádo. V takových případech zobrazují z hlediska určení intenzity bouří nebo identifikace jejich doprovodných jevů jen maximální hodnoty odrazivosti srážkových částic. Také z tohoto důvodu je zásadní nějakým dalším způsobem identifikovat probíhající proces silné konvekce a určit intenzitu vznikající bouře.

Silné konveční bouře tedy musí být rozpoznány ještě před zasažením obydlených oblastí, aby bylo dost času na vydání příslušných výstrah. Nowcastingové prostředky hrají v tomto směru podstatnou roli. Nowcasting zaměřený na silné bouře je velmi důležitý zejména v oblasti letectví, outdoorových aktivit, průmyslu i pozemní dopravy (Wilson et al., 1998). V příštích dekádách se navíc očekává další nárůst výskytu silných bouří (Field et al., 2012), takže předpověď jejich vzniku a možných následků je nanejvýš důležitá. V případě

nebezpečí proto roste i potřeba vydávat pro obyvatelstvo i infrastrukturu adekvátní výstrahy (Beswick et al., 2008).

Možnost přesné lokalizace a určení intenzity konvekčních bouří je z hlediska předpovědí rychlých povodní aktuálně stále nedostatečná (Blyth et al., 2014). Omezená je i předpověď vypadávání velkých krup, přestože se tomuto tématu věnuje široká škála literatury (Sokol et al., 2015) a předpovědní metody jsou stále zdokonalovány (Pfeifer et al., 2010).

Na základě družicových dat jsou založeny různé předpovědní a zejména pak nowcastingové metody využívané v různých zemích světa. Mnoho z nich je také dále zkoumáno a rozvíjeno. Na University of Wisconsin-Madison v USA jsou vyvíjeny metody diagnózy a nowcastingu konvekčních bouří s pomocí snímkování oblačnosti družicemi na polární dráze. Zahrnují i veličiny, jako je nárůst instability v atmosféře, nowcasting iniciace konvekce, detekci přestřelujících vrcholků oblačnosti, detekci tvarů tzv. enhanced-V nebo posuzování zesilování či rozpadu již vzniklých bouří. Takové metody se ukázaly být velmi užitečné při vyhodnocení doby a lokality vzniku bouří, jejich intenzity, prostorového určení rapidně se vyvíjejících oblačných elementů, turbulence v oblasti letectví a také pravděpodobnosti bleskových výbojů. Odvozené produkty a snímky generované z různých družicových dat jsou využívány k tvorbě materiálů pro předpověď konvekce nebo k dalšímu ověřování využitelnosti jiných produktů (https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/WSN09_program_booklet.pdf, 2016).

Roberts a Rutledge (2003) dříve vyvinuli metodu nowcastingu inicializace a vývoje bouří s využitím dat družice GOES-8 (Geostationary Operational Environmental Satellites) a dopplerovského radaru (WSR-88D). Technika využívá sledování rychlosti růstu oblaků v definovaném časovém období ve třech různých lokalitách. Počátek vývoje silných bouří v této metodě určují zejména znaky přízemní konvergence proudění, jakou jsou gust fronty a víry v proudění. Dalšími důležitými sledovanými faktory jsou výšky oblačných vrcholků a jejich rychlé ochlazování. Intenzita bouří pak byla vztažena právě k rychlosti ochlazování oblačných vrcholů v raném stádiu jejich vývoje. Tento auto-nowcastingový systém využívá kombinaci prediktorů získaných z meteorologických radarů, družic, přízemního pozorování i předpovědních modelů. Na jejich základě poskytuje předpověď místa výskytu bouře až s hodinovým předstihem. Současné kapacity družic GOES a MSG pak mohou být využity k odhalení počátku mrznutí rostoucích

oblačných vrcholů, což může dále rozšířit teorie Robertse a Rutledge (2003). Možnosti obou družic pak mohou být dále využity v oblasti sledování změn srážkové vody a termodynamické stability (CAPE a CIN – Convective Inhibition – tlumení konvekce) v bezoblačných oblastech ještě před tím, než se v nich začne vyvíjet bouře, dále pak v přízemních oblastech poblíž již existujících bouří (http://www.ssec.wisc.edu/~rabin/paper/eumetsat/paper2_eumetsat.doc, 2016).

Dále byl vytvořen webový systém automatického monitorování konvekčních systémů (http://www.ssec.wisc.edu/~rabin/paper/eumetsat/paper2_eumetsat.doc, 2016). Pomáhá identifikovat a sledovat skupiny oblaků pomocí dat družice GOES a radaru WSR-88D na základě uživatelsky definovaného prahu teploty vrcholů oblačnosti a radarové odrazivosti. Poté co je definována oblast bouře, může uživatel získat další informace týkající se předpovědi jejího dalšího vývoje. Mezi tyto parametry se řadí termodynamická stabilita a střih větru z analýzy RUC (Rapid Update Cycle).

S využitím dat družice MSG je vyvíjen i další automatizovaný systém, který využívá adaptivní určování prahu teploty oblačných vrcholů k odhalení konvekčních systémů (http://www.ssec.wisc.edu/~rabin/paper/eumetsat/paper2_eumetsat.doc, 2016). Sleduje vývoj a rozpad konvekčních systémů a časový vývoj bleskových výbojů spojených s těmito systémy.

Dalšími on-line nástroji, které je možné využít k nowcastingu konvekčních bouří, jsou produkty SAF NWC (Satellite Application Facility on Support to Nowcasting). Tento projekt se zaměřuje na produkci nowcastingových programů, které využívají data z družic MSG, NOAA a EPS (EUMETSAT Polar System). Jejich webové stránky poskytují mnoho různých produktů odvozených z družicových dat včetně jejich detailních popisů a názorných příkladů (www.nwcsaf.org, 2016).

Multispektrální radiace snímaná družicemi v kombinaci s teplotním a vlhkostním polem z numerických předpovědních modelů může být použita k odhadům instability a dostupné vlhkosti pro tvorbu bouří v téměř reálném čase. To je poměrně značná výhoda oproti běžným radiosondážním měřením prováděným obvykle ve dvanáctihodinových intervalech. Kombinace snímků WV, polí větru generovaných z družicových dat a polí větru z výsledků numerických předpovědních modelů může být využita k identifikaci jet-streamů, oblastí maximální vorticity, oblastí výškové divergence a přízemní konvergence, tedy klíčových mechanismů pro vznik konvekčních bouří. Prognostik tak může využít tyto metody k určení

oblasti vhodné pro vznik konvekčních bouří a také k předpovědi potenciální intenzity bouře (http://www.essl.org/cwg/res/pdf/BP-EUMETSAT_20140612.pdf, 2016).

Prognóza silných bouří v České republice dnes může vycházet z indexů instability atmosféry a případně z hodnocení vertikálního střihu větru, které vychází ze sondáže atmosféry. Ta je ale dostupná pouze maximálně jednou za 6 hodin. Tyto informace jsou volně k dispozici např. pod odkazem http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/oa/ptu_grafy.html (2015). K dispozici jsou zde také archivní zobrazení sondáží, které je možné využít pro sledování labilizace nebo naopak stabilizace podmínek v atmosféře. Zjištěný stav atmosféry ale odpovídá pouze času a také jen místu měření, nebo jeho blízkému okolí. Upřesnění lokalizace i časového výskytu bouří na delší období se pak provádí na základě výstupů numerických modelů atmosféry (např. model Aladin či GFS, dostupné pod odkazy http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ov/aladin/results/ala.html#prec?, 2015; http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsavneur.html, 2015), konkrétně z předpovědních polí CAPE a případně MOCON (konvergence vlhkosti v mezní vrstvě) a také předpovědních polí srážek. Některé modely jsou schopny předpovídat také kupovitou strukturu oblačnosti nebo počet bleskových výbojů. Kombinací takových výstupů pak sice může zkušený prognostik určit předpokládanou polohu bouří, i tyto podklady jsou ale k dispozici mnohdy jen s časovým krokem 3 hodiny. Navíc jde stále jen o předpověď, která nebere v úvahu aktuální vývoj meteorologické situace. CAPE, která je prezentovaná v některých dostupných zdrojích, je navíc počítána metodou částice, která vystupuje nikoli ze zemského povrchu, ale z první modelové hladiny (okolo 20 m). Důsledkem toho jsou celkově nízké hodnoty CAPE oproti korektnější metodě, která vychází ze zemského povrchu. Interpretaci takových předpovědních polí je tedy potřeba provádět spíše relativně vůči okolním hodnotám, nikoli vůči nějakým fyzikálně stanoveným prahovým hodnotám.
Z předpovědních polí srážek je možné zjistit celkový srážkový úhrn v určité oblasti za stanovené období, konkrétní trasu bouří nám ale tato pole neposkytují. Pokrytí časového intervalu mezi obdobím platnosti jednotlivých materiálů je tedy založeno na zkušenostech a interpretaci modelových výstupů prognostikem. Aktuální (2016) dostupná radarová data (v intervalu 5 minut) prozatím odhalují pouze srážkově významnou oblačnost a mnohdy tedy bouři rozkryjí až ve stádiu, když už z ní vypadávají srážky. Neumí navíc rozlišit vypadávání velkých a malých krup, případně výskyt tornáda. To je ale i pro potřeby nowcastingu jen omezené množství

informací a je proto velmi vhodné proces předpovědi počasí doplnit nějakým nástrojem, který umí analyzovat i předbouřkové prostředí a poskytne tak upřesnění situace na poli vznikajících bouří ještě před tím, než je identifikuje aktuálně používaná technika. Tuto možnost přináší právě myšlenka mikrofyzikálního rozboru oblačnosti pomocí profilů teploty a velikosti oblačných částic, kterou představili Rosenfeld a Lensky (Rosenfeld a Lensky, 1998).

Jako hlavní prediktory vzniku silných bouří často bývají používány hodnoty CAPE a střih větru ve spodních 6 km troposféry. CAPE představuje množství energie, kterou by měla vzduchová částice, kdyby byla v atmosféře vyzdvižena o určitou vzdálenost ve vertikálním směru (Pokorný a Žák, 2012). Představuje pozitivní vztlakovou sílu působící na vzduchovou částici a je indikátorem míry instability atmosféry, který se využívá k tvorbě předpovědí nebezpečných jevů počasí. Podle Rosenfelda (Rosenfeld et al., 2006) hraje ale také velmi důležitou roli rychlost updraftu, která se, mimo jiné, projevuje také jako důsledek vysokých hodnot CAPE.

Zajímavým nástrojem nowcastingu intenzivních konvekčních bouří a jejich nebezpečných doprovodných jevů vycházejícím z výše uvedených skutečností (Rosenfeld a Lensky, 1998) je využití *T-re* profilů (*T* značí teplotu a *re* efektivní poloměr oblačných částic), které jsou popsány v následující kapitole. Dnes by tato metoda mohla poskytovat další nástroj pro velmi krátkodobou předpověď nebezpečných konvekčních jevů v regionu střední Evropy.

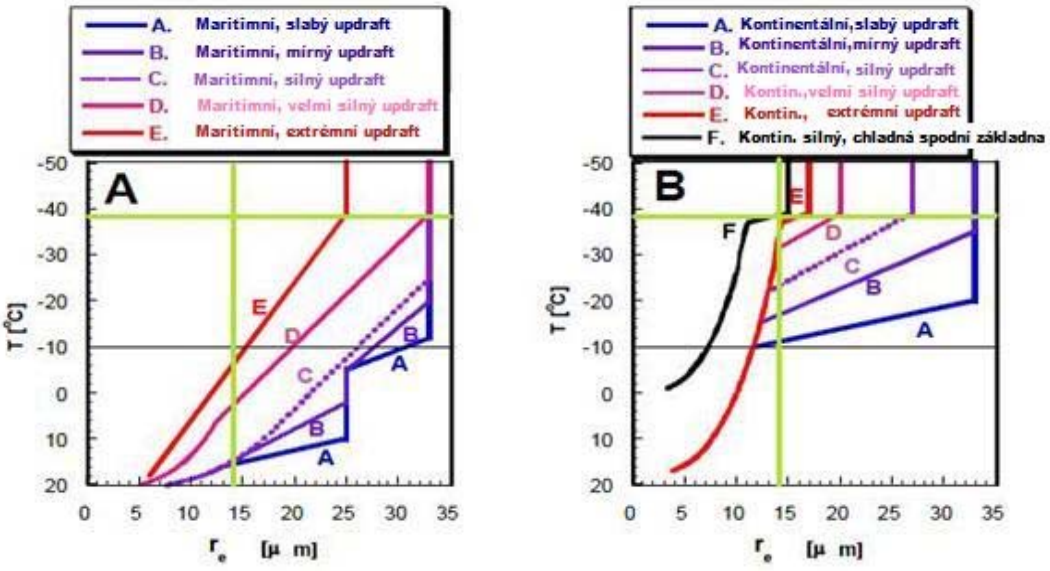
3.1. Metody a data

3.1.1. Podstata teorie *T-re* profilů

Analyzované diagramy teploty (*T*) a poloměru oblačných částic (*re*) odhalují a graficky zobrazují vertikální rozložení velikosti částic v oblačnosti. Tyto diagramy, jak bude vysvětleno dále, pomáhají analyzovat intenzivní stoupavé proudy v oblačnosti a nepřímo pomocí nich předpovídat intenzitu vznikajících bouří. Jsou konstruovány za pomoci speciálního programu z dat nasnímaných meteorologickými družicemi. Předpovídání konvekčních bouří spolu s jejich nebezpečnými

doprovodnými jevy, jako krupobití nebo tornáda, je hlavním cílem popisované metody.

Podle výzkumů Rosenfelda a Lenského (1998) je hlavním předpokladem pro vznik intenzivních konvekčních jevů právě velká rychlost updraftů (výstupných proudů). Pokud se totiž v oblačnosti objevují updrafty s vysokými rychlostmi, pomáhají podporovat tvorbu krup, přispívají k formování tornád a doplňují je silné sestupné pohyby, které vedou k downburstům, intenzivním húlavám atd. Rosenfeld a Lensky (1998) proto vyvinuli koncepční model mikrofyzikálních charakteristik oblačnosti a to teorii vertikálních profilů efektivního poloměru částic v závislosti na rychlosti updraftu (Obr. 37). Jedná se o grafy vyjadřující efektivní poloměr oblačných částic v různých hladinách teploty (označované jako profily *T-re*), pomocí kterých je možné odhadovat právě sílu (rychlost) updraftů uvnitř oblačnosti.



Obr. 37: Koncepční modely *T-re* profilů

A – maritimní oblačnost

B – kontinentální oblačnost

Zvýrazněná teplota -38 °C a velikost částic 14 μm – vysvětlení dále v textu.

(Rosenfeld et al., 2008)

Vliv updraftu na velikost částic je vysvětlován ve zjednodušené formě tak, že vyšší rychlost updraftu zpožďuje narůstání oblačných částic do větších rozměrů a oddaluje tak fázi mrznutí oblačných částic (Rosenfeld et al., 2008). Pokud tedy existuje v oblacích vysoká rychlost updraftu, stoupají oblačné částice vzhůru

tak rychle, že nestihnou narůstat do větších rozměrů (Pokorný a Žák, 2011). Obdržené profily takto razantně rostoucí kupovité oblačnosti tedy ukazují menší částice u vrcholků oblačnosti a přeneseně tak reflektují rychlost updraftů vyvíjejících se v oblačnosti. Intenzita vznikajících bouří je tak podle Rosenfelda důsledkem síly updraftů (Rosenfeld et al., 2008). Rychlost updraftů je tedy přeneseně přímou mírou intenzity vznikajících bouří (Jurkovic et al., 2015). Stanovení rychlosti updraftů bylo vždy poměrně složité, ale jejich role v tvorbě konvekční oblačnosti a srážek je zásadní (Zheng et al., 2015). Updraft jako měřítko probíhajícího konvekčního procesu hraje důležitou roli při identifikaci oblačných buněk, které mají potenciál přerůst do silné a nebezpečné konvekční bouře (Rosenfeld et al., 2008).

Postupně byla metoda Rosenfelda a Lenského (1998) aplikována na různé typy družic během jejich postupného vývoje a dnes by mohla poskytovat další nástroj pro velmi krátkodobou předpověď nebezpečných konvekčních jevů a to nejen v regionu střední Evropy. K získání informací o poloměru oblačných částic a teplotě vrcholů oblačnosti, které se dají k předpovědi intenzity bouří využít, z dat poskytovaných družicí MSG lze vhodně využít program MSG_RGB, který generuje popisované *T-re* profily oblačnosti.

Tento nowcastingový nástroj je v rámci této práce nově testován i pro středoevropský region. Získané grafy jsou pro oblast střední Evropy sestavovány na základě dat získaných z družice MSG. Podle průběhu získaných grafů se následně odhaduje pravděpodobnost vzniku silných bouří nad daným územím. Některé metody založené na síle updraftu jako indikátoru intenzity vznikajících bouří už byly vytvořeny dříve (Rosenfeld a Lensky, 1998; Visser, 2001) a dnes je tedy možné pomocí profilů *T-re* určit sílu updraftu s využitím produktů sestavených ze satelitních měření. CAPE, střih větru i rotace ale samozřejmě zůstávají důležitými faktory při formování konvekčních jevů.

Jak je patrné z Obrázku 37, *T-re* profily oblačnosti se liší podle toho, zda se jedná o oblaky kontinentálního, nebo maritimního původu. Velikost efektivního poloměru oblačných částic v mořských oblacích je větší než v kontinentálním oblaku při jinak stejných podmínkách. Maritimní oblaky totiž vznikají v prostředí, které přirozeně obsahuje větší kondenzační jádra, která jsou pro vznik oblačnosti nezbytná. Jmenovitě se jedná o mořské soli, metabolické produkty fytoplanktonu, nebo přímo kapičky mořské vody. Počet kondenzačních jader v objemu vzduchu je zároveň v porovnání s kontinentálními oblaky menší,

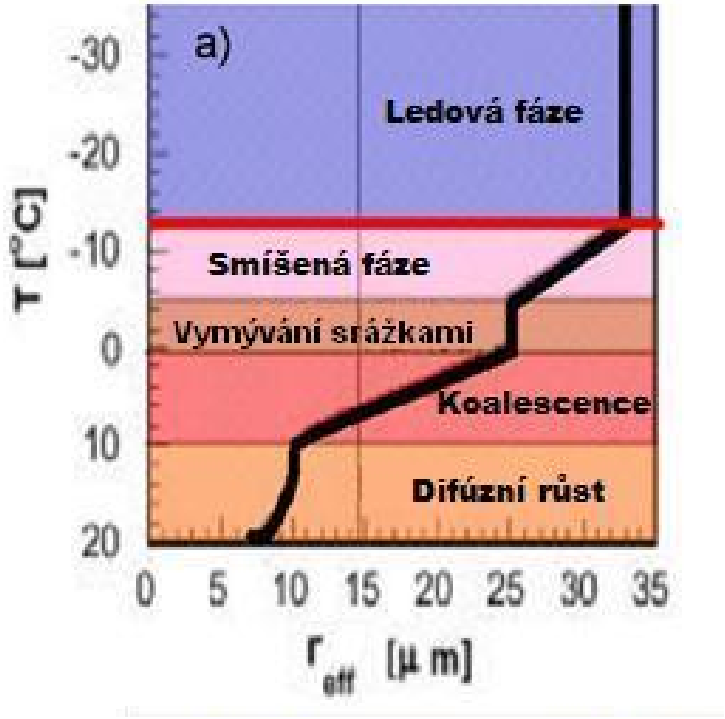
což ve zjednodušeném vysvětlení způsobuje, že na jedno kondenzační jádro připadá větší množství vlhkosti, která vytvoří oblačnou částici. Výše zmíněné skutečnosti potom způsobují rozdílné velikosti kontinentálních a maritimních oblačných částic. To je potřeba při analýze vzít v úvahu, protože silný updraft maritimního oblaku může připomínat jen slabý updraft oblaku kontinentálního.

Kontinentální oblaky navíc vykazují další vlastnosti, které je odlišují od maritimních. Mají totiž obvykle větší zónu difúzního růstu oblačných částic (spojování částic vodní páry na molekulární úrovni). Částice kontinentálních oblaků narůstají v okolí spodní základny s výškou velice pomalu, pokud je v oblačnosti pozorován silný updraft. Tento efekt se ještě více zvýrazňuje s rostoucí rychlostí updraftu.

Další rozdíly v zobrazení profilů *T-re* souvisejí také s tím, zda jde o oblaky vrstevnaté, nebo kupovité. Atmosférické srážky vypadávají z obou zmíněných skupin oblačnosti, ale rychlost stoupavých proudů uvnitř oblaků je jedním z hlavních faktorů, které mají na jejich mikrofyzikální struktuře značný podíl. Díky metodě *T-re* profilů je ale možné tyto dvě skupiny oblaků od sebe odlišit. Ve vrstevnatých oblacích je rychlost stoupavých proudů malá a oblačné částice v nich obvykle rychle rostou do větších rozměrů už v menších výškách. U konvekčních oblaků je tomu naopak, aby z nich částice mohly začít vypadávat ve formě srážek, musí jejich hmotnost narůst tak, aby překonala sílu stoupavých proudů (Tokay a Short, 1996). Právě kvůli přítomnosti silných stoupavých proudů bývají konvekční systémy spojeny se silnými srážkami a silným větrem, kroupami i tornády (Jurkovic et al., 2015). Kvůli svému malému měřítku i poměrně krátké době trvání bývaly ale takové systémy dříve velmi těžko sledovatelné (Shiqiang a Zhemin, 2001), s pomocí *T-re* profilů a aktuálních družicových dat je ale dnes tato situace jednodušší.

Pomocí získaných profilů teploty a velikosti oblačných částic lze dále rozlišit jednotlivé mikrofyzikální oblasti uvnitř oblačnosti (viz Obr. 38) a tím ji poměrně detailně sledovat. Mikrofyzikální profil oblačnosti jako funkci teploty (nebo také výšky) můžeme zjednodušeně vysvětlit následovně. V počáteční fázi vývoje roste oblačná částice u spodní základny oblaku difúzním procesem vodní páry. Následuje nad ní položená zóna kolizního-koalescenčního růstu, na kterou navazuje výše položená třetí oblast, kde již oblačná částice dosáhla takových rozměrů, že se z ní může stát (vnitřní) srážková částice. Čtvrtá oblast pak představuje smíšenou fázi oblačných a srážkových částic, kde dochází k dalšímu zvýraznění

(zrychlení) růstu částic. Nad touto oblastí je pak situována oblast čistě ledových částic, kde se předpokládá, že nad hladinou teploty -38 °C jsou již všechny oblačné částice zmrzlé. Každá tato mikrofyzikální zóna oblačnosti má v profilu *T-re* odlišný sklon křivky, což pomáhá jejímu snazšímu určení (Martins et al., 2007). Hlubší popis mikrofyzikálních zón v oblačnosti poskytuje např. Lensky a Rosenfeld (2005). Hlavním zaměřením této práce je ale zkoumání *T-re* profilů jako grafického nástroje k odhalení intenzity vznikající konvekční bouře.



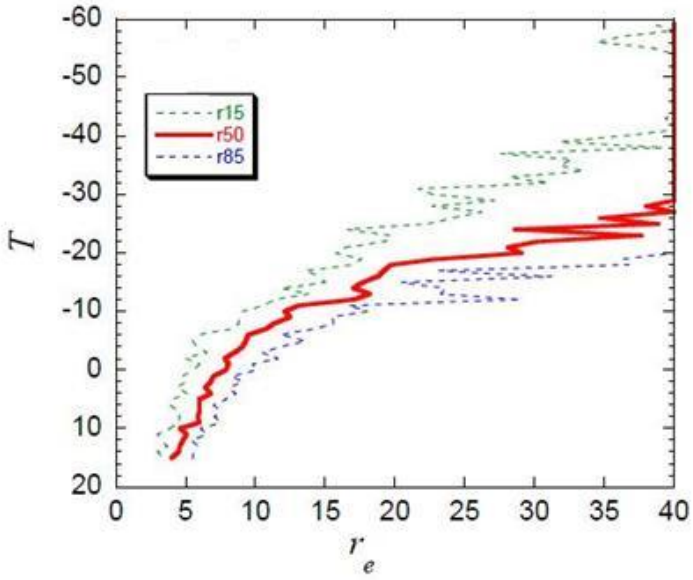
Obr. 38: Mikrofyzikální zóny určené na základě profilů *T-re*

Odspodu: zóna difúzního růstu, zóna koalescence, oblast vymývání srážkami, smíšené fáze a ledové fáze. *(Martins et al., 2007)*

Základem aplikace teorie *T-re* profilů ve střední Evropě je využití snímků z družic MSG ke sledování vývoje teploty a efektivního poloměru částic konvekčních oblaků. *T-re* profily mají některé dále uvedené důležité vlastnosti, které umožňují jejich použití k nowcastingu silných konvekčních bouří. *T-re* vykazují jen malou závislost na čase, poloměr částic závisí téměř výhradně (pro danou oblast) na vlastnostech vzduchové hmoty, např. denní nárůst instability je spojen jen s malým poklesem efektivního poloměru částic pro danou teplotu. Tato změna probíhá v delším časovém měřítku než je životní cyklus jednotlivých oblačných

buněk. Z výzkumů Lenského a Rosenfelda dále vyplývá, že oblaky, které vyrostou až do stádia Cb, mají stejné *T-re* vztahy v nižších hladinách jako ostatní oblaky ze stejné oblasti, které do stádia Cb nedorostly (Lensky a Rosenfeld, 2005). To umožňuje použít vztah *T-re* pro celou zvolenou oblast a nemusíme proto sledovat vývoj teploty a poloměru částic jednotlivých oblaků (Lensky a Rosenfeld, 2005). Data získaná družicemi MSG tak umožňují zkoumat postupný mikrofyzikální vývoj konvekčních buněk, který je podle výzkumů stabilní v čase, dokud nedojde k vypadávání srážek (Lensky a Rosenfeld, 2005).

Na Obrázku 37 a 38 byl *T-re* profil zobrazen pro první představení jako jediná lomená čára získaná z družicových dat, ve skutečnosti ale představuje celou soustavu křivek. Bližší představu o *T-re* profilu poskytuje Obrázek 39.

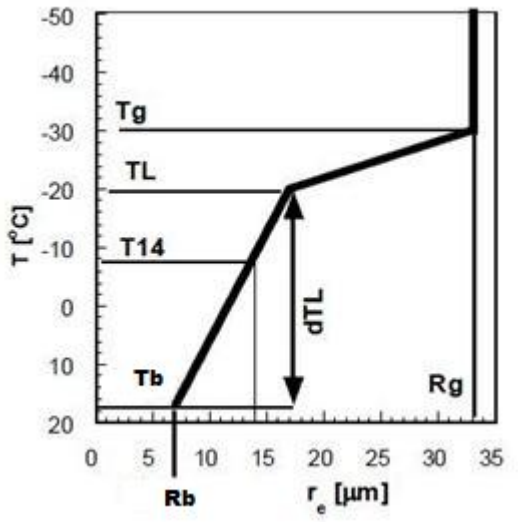


Obr. 39: *T-re* profil, zobrazen je 15. (r15), 50. (r50) a 85. (r85) percentil

(Lensky a Rosenfeld, 2005)

T-re profil, který generuje program MSG_RGB, představuje analýzu 5. až 100. percentilu velikostí oblačných částic v závislosti na teplotě a to po 1 °C teploty, kde menší percentily reprezentují v těchto profilech prudší růst oblačnosti, představují tedy mladší konvekční elementy v dané výšce (hladině teploty). Větší percentily pak představují starší oblačné elementy (Rosenfeld et al., 2009). Starší výzkumy prokázaly, že analýzu pomocí *T-re* profilů lze k předpovědi nebezpečných jevů využít v časovém předstihu až 75 minut před zaznamenáním silného doprovodného jevu (Rosenfeld et al., 2009). Klíčové hodnoty při analýze *T-re* profilů

jsou izoterma -38 °C a poloměr částic 14 μm (Obr. 37), přičemž zmiňovaná izoterma představuje oblast počátku homogenního mrznutí částic a daná velikost částic pak udává práh vzniku srážek, tedy kdy jsou už v oblaku srážkové částice a je možné je detekovat radarem (Rosenfeld a Lensky, 1998). Náhled na analýzu profilů poskytuje Obrázek 40. Nejčastěji bývá analyzován 15. percentil, který reprezentuje razantně rostoucí konvekční oblaky (Rosenfeld et al., 2009). Obecně lze konstatovat, že čím je nižší teplota *Tl* (teplota horní hranice spodní lineární části profilu, reprezentuje horní hranici vrstvy, kde částice rostou převážně difúzním a koalescenčním principem, obvykle bývá u konvekční oblačnosti téměř lineární, na Obr. 40 značena jako TL) a teplota *Tg* (teplota dolní hranice čistě ledové fáze v oblačnosti, nad ní jsou všechny oblačné částice zmrzlé), tím intenzivnější projevy konvekčních bouří lze očekávat (viz Obr. 40). Malý rozdíl *Tl* a *Tg* bývá potom pozorován při extrémních projevech konvekce.



Obr. 40: Analýza *T-re* profilů

TL – teplota horní hranice spodní lineární části profilu, *Tg* – teplota dolní hranice ledové fáze v oblačnosti, *Tb* – teplota spodní základny oblačnosti, *T14* – teplota částic dosahujících poloměru 14 μm *(Rosenfeld et al., 2009)*

Dalším důležitým faktem je poznatek, že oblaky s vysoko položenou spodní základnou produkují obvykle menší částice, tyto částice mají totiž kratší čas k růstu do větších rozměrů. Kovadliny takových oblaků jsou pak většinou tvořeny

jen malými částicemi, pokud se v oblaku vyskytuje silný updraft (Rosenfeld et al., 2008).

Silný updraft lze z profilů *T-re* rozpoznat na základě několika indikátorů:

1) Mrznutí je dosahováno při nižších teplotách (tedy ve větší výšce).
2) Lineární část profilu v jeho spodní části je, pokud možno, co nejdelší.
3) V hladině mrznutí je zaznamenán malý poloměr částic.

Vysoké oblaky s malými částicemi ve své spodní části často produkují kroupy, tornádické bouře mají potom ještě menší rozdíl mezi *Tg* a *Tl* a menší poloměr částic než kroupové oblaky (Rosenfeld et al., 2008). Velikost oblačných částic a její vývoj v určité oblasti vykazuje některé zajímavé vlastnosti, které byly úspěšně ověřeny leteckým průzkumem (Rosenfeld et al., 2006):

1) Vývoj poloměru oblačných částic s výškou pro skupinu oblaků ve zvolené oblasti je stejný, jako vývoj vztahu *T-re* jednoho oblaku z této oblasti.
2) Poloměr částic u horní hranice jednoho oblaku získaný pomocí analýzy družicových snímků je stejný jako uvnitř oblaků ve stejné výšce, dokud nevypadávají srážky, pokud není oblak zakrytý vyšší oblačností, která je tvořena malými částicemi.

Při analýze profilů lze využít dalšího jevu, který byl popsán už v 80. a 90. létech. Pokud bouře s jednotnými hodnotami odrazivosti vrcholků oblačnosti v kanále 3,9 μm začne náhle produkovat malé ledové krystaly vlivem updraftu, dá se předpokládat, že updraft výrazně zesílil. Sklon *T-re* profilu se potom mění, malé částice se objevují i při nižších teplotách (výše) a mrznou homogenně. Pozorování takového jevu má velký význam pro nowcasting. Celý popsaný koncepční model mikrofyzikálních znaků oblačnosti, tedy velikosti částic ovlivněné rychlostí updraftu, odhaluje oblaky, které mají potenciál rozvinout se do silných bouří.

3.1.2. Software

Ke konstrukci a analýze *T-re* profilů byl použit software s názvem MSG_RGB (Lensky, 2009), což je interaktivní software vytvořený pro platformu

Windows, zaměřený na tyto základní cíle:

1) Zobrazení dat z družic MSG ve formátech NATIVE, PGM, MCIDAS a HRIT.
2) Analýza těchto snímků s ohledem na oblačnou mikrofyziku.
3) Provádění multispektrální analýzy pro operativní a vědecké účely.

Software laskavě poskytl přímo jeho autor Dr. Lensky v roce 2009. Poloměr částic se v tomto programu nepřímo odvozuje z dat kanálu 3,9 μm a teplota vrcholků oblačnosti z emisivity v kanále 10,8 μm. Poloměr částic tedy není přímo měřen, ale je počítán ve 2 krocích, přičemž se vychází z odrazivosti ve zmiňovaném kanále. K určení poloměru byly sestaveny převodní tabulky pro zenitový úhel družice, solární zenitový úhel a relativní azimut, podrobný popis principu sestavení *T-re* profilů je ale mimo rámec této práce.

Odrazivost v kanále 3,9 μm určuje v získaných profilech velikost oblačných částic, přičemž vyšší hodnoty odrazivosti reprezentují menší částice. Některé studie prokázaly, že malé krystaly mají velmi vysokou odrazivost (Melani et al., 2003). Hlavní hypotéza metody *T-re* předpokládá, že detekce oblačných buněk pomocí odrazivosti malých částic v kanále 3,9 μm odhalí rychle se rozvíjející silné bouře se silným updraftem uvnitř oblačnosti. Lindsey také potvrzuje, že spojitost mezi odrazivostí v kanále 3,9 μm a sílou updraftu skutečně existuje a je využita v některých metodách nowcastingu (Lindsey et al., 2006). Tato odrazivost tedy může být interpretována jako přímá funkce velikosti částic a tedy i intenzity updraftu uvnitř oblačných systémů.

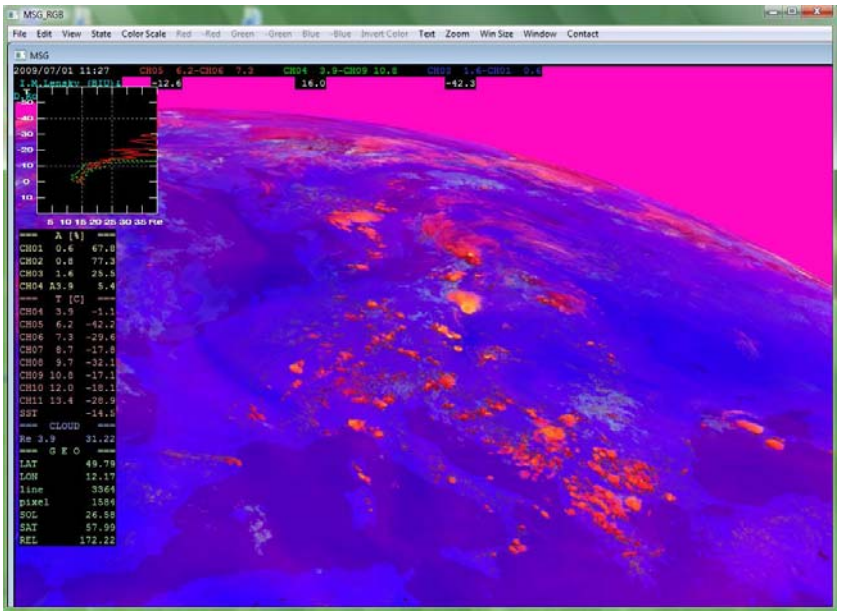
Metoda je ale limitována kvůli dalším vlastnostem zmiňované odrazivosti (Setvák, 1989) jen na denní dobu, kdy je vybraná oblast dostatečně osluněna. Toto omezení zmiňuje i Jurkovic et. al. (2015). To je asi největší slabina v použití metody *T-re* profilů, protože některé silné bouře se vyvíjejí i po západu slunce. V brzkých ranních a pozdních večerních hodinách, kdy je oslunění jen slabé, jsou celé diagramy *T-re* posunuty na stranu menších částic, tedy doleva. To musí být vzato v úvahu při analýze ranních i večerních snímků, aby byla vyloučena špatná interpretace intenzity analyzovaných bouří kvůli nízké poloze slunce nad obzorem. Po osobní konzultaci s prof. Rosenfeldem (2015) bylo zjištěno, že limitní solární zenitový úhel pro využití metody *T-re* profilů je 65 °. Spektrální kanál 3,9 μm nicméně má extrémně užitečnou roli v předpovídání nebezpečných jevů počasí (Setvák,

1989). Podmínkou využití metody *T-re* je analyzování osluněné části oblačnosti (v našich podmínkách tedy zahrnutí jižních stran).

Program může pracovat v interaktivním nebo automatickém módu. Automatický mód představuje postupné otevírání několika souborů po sobě, dále provádí zadané postupy a ukládá výstupy analýzy k dalšímu využití. V interaktivním módu jsou po načtení dat družicové kanály kalibrovány na záření a převedeny na odrazivost a teplotu. Na základě znalostí absorpce CO_2 v daném spektrálním kanále a známého rozložení CO_2 v atmosféře se ještě provádí korekce solární odrazivosti na absorpci CO_2.

Konkrétní údaje pro určité místo (vybrané kurzorem myši) jsou v programu MSG_RGB zobrazeny v postranním okně, jedná se zejména o solární odrazivost (solární kanály), teplotu (termální kanály), povrchovou teplotu moří, efektivní poloměr oblačných částic, zeměpisnou šířku a délku, zenitový úhel, atd. (viz Obr. 41). Program dále umožňuje zobrazení několika přednastavených RGB produktů pomocí rozbalovacího menu, dává ale také možnost nadefinovat si vlastní schémata, nastavení oblasti zobrazení atp. Vytvořen byl ale zejména pro zobrazování *T-re* diagramů vybraných oblastí, což umožňuje studium mikrofyzikálních procesů a následnou předpověď intenzity konvekčních bouří. Jako menší nevýhoda poskytnuté verze programu MSG_RGB se ukázala nemožnost zobrazení hranic jednotlivých států na podkladu družicového snímku, což by pomohlo přesnější lokalizaci sledovaných oblačných elementů.

Program je vytvořen tak, aby prováděl automaticky všechny kalkulace a jeho výstupem byl hotový *T-re* profil vybrané oblasti v grafické podobě. Byl navržen tak, aby svým grafickým výstupem okamžitě poskytl náhled na mikrofyzikální složení oblačnosti a umožnil co nejrychlejší určení intenzity vznikající bouře. Poskytuje také numerický výčet hodnot každé linie představující jednotlivé percentily velikostí oblačných částic v kroku po 1 °C. Tyto hodnoty je pak možné využít k dalšímu statistickému zpracování či jinému výzkumu. V operativním provozu tento tabulkový výpis díky grafické reprezentaci zvolených oblačných systémů ani nepotřebujeme. Konkrétní hodnoty se dají rychle vyčíst ze zobrazených grafů. Daleko rychlejší a jednodušší postup k určení intenzity vznikající bouře se tedy jeví použít profil *T-re* v jeho grafické podobě. Grafy mají dobré rozlišení a dají se zvětšovat bez ztráty ostrosti. Jen uložené snímky grafů pomocí funkce PrintScreen mohou mít omezené rozlišení.



Obr. 41: Příklad zobrazení údajů v programu MSG_RGB pro vybrané místo

V levé horní části je zobrazen i předběžný náhled *T-re* profilu. Barevné schéma Konvekční bouře zobrazuje přestřelující vrcholky cumulonimbů červenou barvou, silné konvekční bouře jsou světle žluté až oranžové. Povrch země a oceánů je modrý.

Existují i další nedávné studie, které využívají *T-re* profilů. Například Sporre et al. (2013) je využíval k určení velikosti oblačných částic v horních partiích oblačnosti v jiném evropském regionu (Skandinávie) pro analýzu vlivu aerosolů na tvorbu kupovité oblačnosti. Zjištěný rozsah velkosti oblačných částic byl nicméně srovnatelný se závěry této práce. Zipori et al. (2015) využil analýzu družicových dat MSG s využitím programu MSG_RGB ke zkoumání vlivu aerosolů na velikost oblačných částic a teplotu jejich mrznutí. Jurkovic et al. (2015) dále využil odrazivost kanálu 3,9 μm družice MSG ke stanovení profilů *T-re* při popisu charakteristik silných konvekčních bouří nad střední Evropu a aplikoval tak teorie Rosenfelda a Lenského (1998) v Maďarsku, Rakousku, Německu apod. Rosenfeld et al. (2013) pak použil stejnou metodologii (Rosenfeld a Lensky, 2008) při studiu mikrostruktury oblačnosti a často se na tuto metodologii odkazuje ve svých dalších pracích. Stejná technika byla využita i při sledování vertikálního vývoje oblačné mikrostruktury v případě jiného výzkumu (Warm rain onset height and aerosol optical depth, Zhu et al., 2015). Ten zmiňuje také základní pravidla využití profilů *T-re*, která jsou využita i v této disertační práci. Zheng a Rosenfeld (2015) studovali

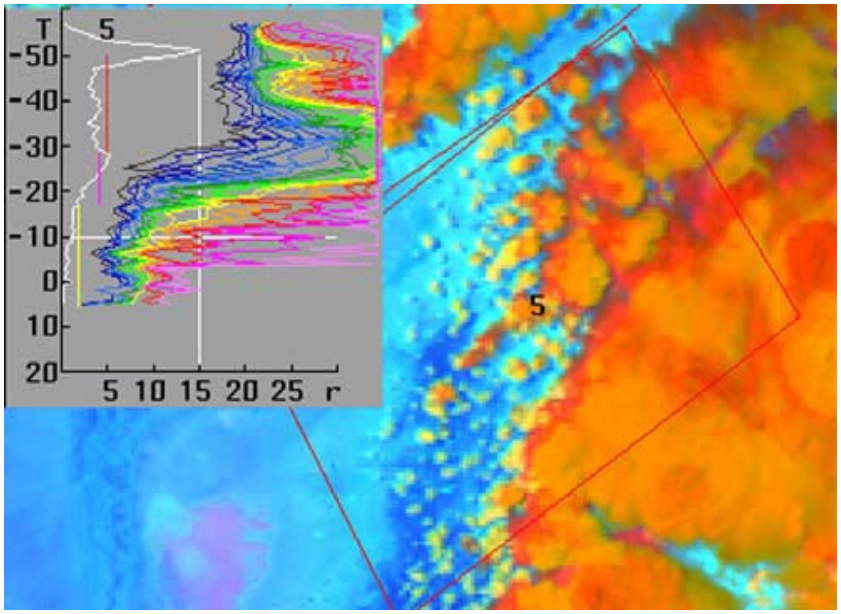
v dalším projektu rychlost updraftů v konvekční oblačnosti s využitím výzkumů Rosenfelda et al. (2014) a Zhenga et al. (2015).

3.1.3. Testování *T-re* profilů

Profily *T-re* byly dříve testovány a úspěšně ověřovány v několika zemích (Lensky a Rosenfeld 2006; Martins et al., 2007; Rosenfeld et al., 2009 apod.), jmenovat můžeme např. Texas, Kalifornii, Brazílii nebo Izrael. Testování probíhalo s použitím různých družic poskytujících mimo jiné informace z kanálů 3,9 nebo 3,7 μm. V Brazílii byl pro ověřování profilů použit speciální skener oblaků, který byl umístěn na palubě letounu. Pomocí měření mikrofyzikálních a termodynamických vlastností oblačných částic získaných na základě výšky a jasové teploty vhodně ověřoval tvary *T-re* profilů získaných analýzou družicových snímků. Takové testování profilů probíhalo v létech 2002 až 2006. Mikrofyzikální struktura oblaků byla dále dokumentována během ledna a února 2000 v Argentině. Speciální proudové letadlo provádělo průlety oblačností a zaznamenávalo mikrofyzikální složení oblačnosti od spodní základny oblaků až do hladiny teploty -45 °C. Následné srovnání pak bylo prováděno pomocí radarových a družicových pozorování a také pomocí měření radiosondami. Testování bylo provedeno také za využití MSG, jak již bylo zmíněno dříve. Tyto informace pocházejí z výše uvedených zdrojů. Data z družice MSG byla též využita při testování v oblasti Středozemního moře (Lensky a Shiff, 2007) a byla využita i v jiných projektech v oblasti střední Evropy (Pfeifer et. al., 2010). Družicová data z MSG jsou pro nás zajímavá, protože pokrývají také naši domovskou oblast, tedy střední Evropu, a umožňují tak sledovat postupný vývoj teploty vrcholků oblačnosti a efektivního poloměru oblačných částic pomocí metody *T-re* v oblasti, která nás velmi zajímá. Geostacionární družice MSG poskytuje data ze zdánlivě stabilní polohy, což je velmi výhodné pro spojité sledování získaných snímků a profilů. Nemusíme tedy přepočítávat nasnímaná data pro různé polohy družice. Také četnost snímání je dnes díky módu Rapid-Scan velmi dobrá a probíhá každých 5 minut. MSG, jak již bylo zmiňováno, přináší některé další benefity, jmenovat můžeme 12 kanálů snímání a rozlišení 1 km v oblasti přímo pod družicí, v oblasti střední Evropy jsou to přibližně 3 km. S novou (třetí) generací družic Meteosat se pak rozlišení ještě zlepší. V případě vlastního testování bylo rozhodnuto vyloučit využití polárních

družic kvůli jejich nepravidelným přeletům a také nekompaktnímu sledování různých geografických oblastí.

Na dvou následujících obrázcích (Obr. 42 a 43) je zobrazeno několik *T-re* profilů včetně příslušných družicových snímků tak, jak vypadají při práci se zmiňovaným programem MSG_RGB. Obrázky názorně představují popsané profily a umožňují odhalit jednotlivé mikrofyzikální zóny v oblačnosti. Při srovnání jednotlivých profilů je možné určit také rozdíl jejich tvarů při odlišné intenzitě konvekce a různých pozorovaných doprovodných jevech konvekčních bouří.



Obr. 42: *T-re* analýza vrcholků Cb

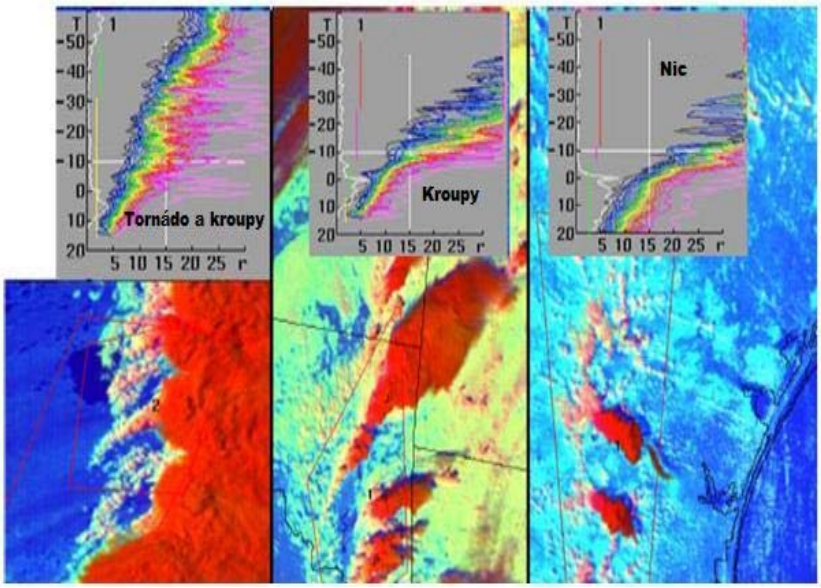
Barevné křivky grafu (černá až fialová) zobrazují 5. až 100. percentil efektivního poloměru oblačných částic po 5 v kroku po 1 °C (totéž platí i pro následující obrázky), světle zelená – medián

Svislé čáry – mikrofyzikální oblasti: žlutá – difúzní růst, růžová – smíšená fáze, červená – ledová fáze.

Led pod -38 °C – červené – velké oblačné částice – heterogenní mrznutí, oranžové – malé částice – homogenní mrznutí. *(Rosenfeld et al. 2008)*

Například Obrázek 42 ukazuje případ, kdy je kovadlina částečně tvořena homogenním mrznutím (oranžová barva) částic, snímek představuje analýzu situace z Nového Mexika, pořídila jej družice NOAA při přeletu dne 8. 6. 1998 ve 22:12 UTC. Na Obrázku 43 jsou srovnány bouře s různými nebezpečnými

doprovodnými jevy, jedná se o analýzu *T-re* profilů oblaků Cb ve třech různých dnech. Levý panel představuje oblaky ze dne 1. 5. 2001 ve 22:09 UTC nad jižní Minnesotou, prostřední zobrazuje oblačnost z 5. 3. 1999 ve 21:32 UTC nad severovýchodní Oklahomou, pravý panel dokumentuje oblačnost z 24. 9. 1998 ve 21:28 UTC v oblasti jihovýchodního Texasu.



Obr. 43: Rozdíl *T-re* profilů pro tornádickou bouři (vlevo), kroupovou bouři (uprostřed) a bouři bez nebezpečných doprovodných jevů (vpravo)

(Rosenfeld et al. 2009)

3.1.4. Data získaná z *T-re* profilů

Výše uvedené principy byly uplatněny při testování dat z družice MSG v teplé části roku (duben–srpen) pro oblast České republiky a jejího okolí. Testování probíhalo nejprve s pomocí archivních dat poskytnutých EUMETSATem, po ověření funkčnosti metody následovalo testování v reálném čase za pomoci dat získaných vlastní přijímací stanicí MSG umístěné na Katedře fyziky atmosféry v pražské Troji. Sledované období pokrývá roky 2005–2013. Sledovány byly takové situace, při kterých byly hlášeny nebezpečné doprovodné jevy konvekčních bouří (pro archivní data) a také kdy byly nebezpečné jevy očekávány (pro data v reálném čase). Záznamy o nebezpečných doprovodných jevech konvekčních bouří byly získány ze stránek ESWD (European Severe Weather Database) http://www.eswd.eu v průběhu několika let (bez dalšího uvádění tohoto odkazu) provozovaných ESSL

(European Severe Storms Laboratory), podle kterých byla stanovena i kritéria pro určení nebezpečných doprovodných jevů. ESWD poskytuje online popis jednotlivých nebezpečných projevů počasí v obecné rovině (http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi?action=showdefinitions&lang=en_0, 2009) a chronologický seznam hlášení nebezpečných jevů spojených s bouřemi, které byly hlášeny z území Evropy.

Sledování a podrobná analýza družicových snímků za pomoci profilů *T-re* probíhala převážně od ranních hodin, kdy slunce dosáhlo dříve zmiňovaného zenitového úhlu 65 °. Tato analýza byla ukončena v podvečerních hodinách, kdy slunce při sklánění se k obzoru opět dosáhlo stejného zenitového úhlu. Z výzkumných důvodů ale proběhla další analýza většiny situací také mimo takto vymezené období, aby bylo zjištěno, jak se profily *T-re* mění při nízké poloze slunce nad obzorem. Pro analýzu byly vybírány takové situace, kdy se oblaky vyvíjely nad střední Evropou (nebo jejím okolí) nebo které do zájmové oblasti postupovaly v převládajícím proudění. Takto vytvořené profily oblačnosti a numerické výpisy sledovaných hodnot teploty a velikosti částic byly uloženy k pozdějšímu zpracování, vyhodnocení a statistické analýze. V pozdější fázi výzkumu po seznámení se s vlastnostmi profilů *T-re* a jejich vztahu k nebezpečnému počasí souvisejícím s konvekčními bouřemi byla už v průběhu analýzy profilů vytvářena vlastní předpověď výskytu nebezpečných bouří a jejich doprovodných jevů. Tato předpověď vycházela zejména z výstupů numerických modelů, sondáže atmosféry a vlastní předpovědní praxe. V úvahu byla brána také předpověď a výstražná služba ČHMÚ (Český hydrometeorologický ústav), případně podobné materiály zahraničních služeb. Klíčovou roli hrály ale vlastní získané profily *T-re*. U každé takto sestavené předpovědi byl zaznamenán čas předpokládaného výskytu nebezpečného jevu a následně byl porovnáván s hlášeními o výskytu těchto jevů. K přesnému určení polohy nejintenzivněji se rozvíjejících oblaků bylo dále v průběhu výzkumu využito např. meteorologického radaru, který ale oproti družicovému snímku zachytí oblačnost spíše až v pozdějším stádiu vývoje, kdy už je spojena s vypadáváním srážek.

Identifikace jednotlivých oblačných buněk nebo jejich shluků vyžaduje dobrou orientaci v družicových snímcích a správnou interpretaci jednotlivých RGB produktů i samotných spektrálních kanálů (Rosenfeld a Lensky, 2008). Mimo jiné i proto je důležité porozumět tématice obsažené v kapitole 1 a 2 této práce.

Pro testování a následný popis výsledků této metody (*T-re*) byly situace rozděleny do dvou základních skupin podle intenzity bouří (respektive intenzity/nebezpečnosti doprovodných jevů bouří, viz dále).

Za účelem odlišení nebezpečných situací obsahuje první skupina takové situace, kdy byly nebezpečné jevy hlášeny, nebo alespoň meteorologický radar zaznamenal maximální odrazivost. Dále je možné řazení v rámci první skupiny do podskupin podle hlášeného počasí v pořadí – tornádo (1), kroupy (2), silný déšť (3) a nálevkovitý oblak (4). Tato čísla jsou použita např. u Obrázků 51–54 a 56–59. Nálevkovitý oblak (z původního funnel cloud) zde podle dostupných fotografií reprezentuje zejména trombu, nebo obecně oblak s vírem ve vertikálním směru ve stádium před dotykem tohoto víru země. Přiřazená čísla indikují intenzitu doprovodného jevu vzhledem k jeho projevům na zemi, kdy je tornádo jako nejintenzivnější jev označeno číslem (1) a intenzita klesá až k číslu (5), které představuje situace bez nebezpečných doprovodných jevů. V rámci každé podskupiny jsou pak situace řazeny chronologicky podle měsíce, kdy se bouře objevila (viz Tab. 2). U některých situací je dále uveden i typický obrázek s *T-re* profilem. V první skupině jsou také popsány nebezpečné doprovodné jevy, které se v daných situacích objevily, a jim příslušné profily *T-r*e s jejich typickými rysy (viz dále).

Druhá skupina potom obsahuje situace, při kterých byly pozorovány bouřky bez nebezpečných doprovodných jevů a dále situace, kdy se ani bouřka nevytvořila, ale byly pozorovány cumulonimby, nebo ještě méně vertikálně vyvinutá oblačnost. Tato skupina bez nebezpečného doprovodného jevu se dále nedělí. Výsledky analýzy této druhé skupiny by mohly být brány jako prahové hodnoty pro přechod právě od takových situací k těm, ve kterých hrozí vznik nebezpečných doprovodných jevů bouří. Vzhledem k tomu, že se v této skupině neobjevují nebezpečné doprovodné jevy, popsány jsou jen příslušné profily *T-r*e s jejich typickými rysy.

Z výzkumných důvodů byly analyzovány ještě některé další situace s výskytem deště z vrstevnaté oblačnosti, aby bylo potvrzeno, že je metoda spolehlivá i v takových situacích a nebude při nich vykazovat rysy typické pro konvekční oblačnost. Takové situace nebyly zařazeny do statistické analýzy, jelikož neměly souvislost s náplní práce. Vykazovaly navíc typické rysy rychle rostoucích oblačných částic (na rozdíl od konvekčních situací) a navíc by posouvaly prahové (přechodové) hodnoty sledovaných prvků více k „bezpečným“ situacím,

což by při následné aplikaci metody na konvekční oblačnost způsobovalo vyvolávání falešných alarmů.

Na přiloženém CD jsou potom pro každou situaci k dispozici všechny analyzované profily. Pro situace analyzované v reálném čase je dále uvedena řada grafických materiálů, jako např. výsledky numerických modelů, termodynamické diagramy apod.

Kapitola 3.2. poskytuje informace o získávání dat z profilů *T-re*, Tabulka 2 v kapitole 4 potom shrnuje základní vlastnosti a sledované veličiny (*re*, *Tl*, *Tg* atd.) vybraných analyzovaných situací, Tabulka 3 pak představuje jejich statistické zpracování.

V následujících částech budou popsány analyzované situace s nebezpečnými doprovodnými jevy a pro srovnání i takové situace, kdy se nebezpečné bouře a s nimi spojené jevy neobjevily.

3.2. Využití *T-re* profilů v Česku a okolí

Výše popsané teorie, opírající se zejména o analýzy vybraných situací z USA a dalších jmenovaných zemí, jsou v rámci této studie ověřovány pro region střední Evropy, nebo jeho blízké okolí. V dalších částech práce budu nadále vycházet zejména z prací, na kterých se podílel prof. Rosenfeld (Rosenfeld a Lensky, 1998; Lensky a Rosenfeld, 2005; Rosenfeld et al., 2006; Lensky a Rosenfeld 2008; Rosenfeld et al., 2008; Rosenfeld et al., 2009 apod.) bez dalšího opakovaného uvádění těchto zdrojů. Byly provedeny zejména analýzy pro konvekční situace, při kterých byly hlášeny silné bouře s nebezpečnými doprovodnými jevy. Vlastní analýzou získané *T-re* profily velmi připomínají profily, které byly získány při testování v USA. Cílem výzkumu bylo ověřit platnost teorií prof. Rosenfelda pro oblasti střední Evropy, v případě jejich potvrzení bychom získali další nástroj využitelný pro nowcasting konvekčních jevů a pro varování před nebezpečnými doprovodnými jevy těchto bouří. V následující části jsou uvedeny analýzy vybraných situací s výskytem silných doprovodných jevů i bez nich provedených v ČR a blízkém okolí jak na základě archivních snímků, tak na datech získaných v reálném čase prostřednictvím vlastní přijímací stanice MSG umístěné na Katedře fyziky

atmosféry Univerzity Karlovy v Praze, jak bylo zmíněno dříve. Uveden je také popis *T-re* profilů, které byly představeny výše a které je možné chápat jako charakteristické rysy mikrofyzikálních vlastností oblačnosti využitelné pro předpověď silných konvekčních bouří.

3.2.1. Situace s výskytem tornáda

Situace z 23. května 2005

V 18 a 19 hodin UTC byly z Polska hlášeny velké kroupy. Poloměr krup nebyl podle ESWD udán, nicméně v 18:00 UTC odtud bylo hlášeno i tornádo.

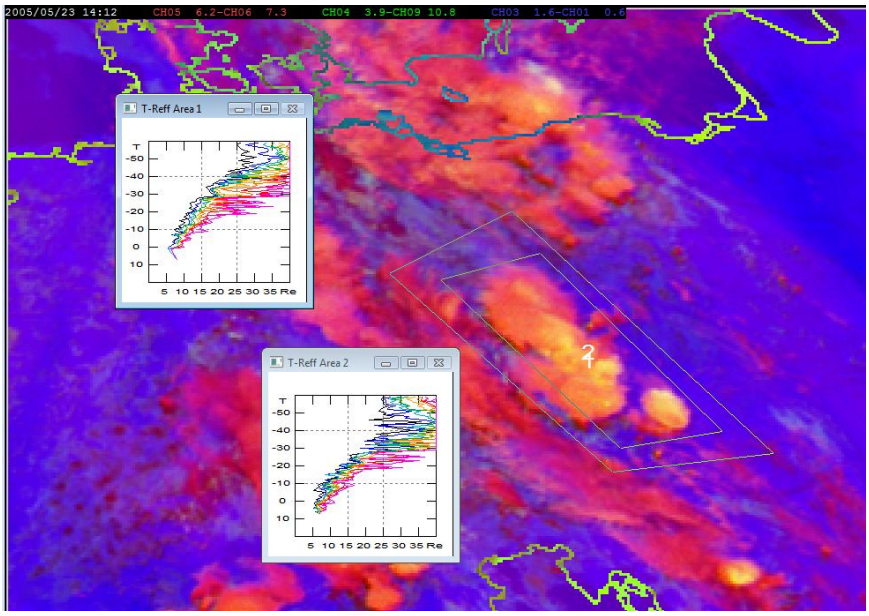
V 16:55 UTC byl z Rakouska hlášen nálevkovitý oblak, spojený s klasickou supercelou. Její pohyb byl zaznamenán od jihojihozápadu k severoseverovýchodu. Toto hlášení potvrzují radarová měření. V okolí Vídně se navíc objevily kroupy s průměrem 2 cm.

Ve 12:12 UTC nevykazuje ještě oblačnost v oblasti Čech významný updraft. Částice narůstají poměrně rychle do větších rozměrů. Oblaky nad Polskem ale ukazují lineární oblast (pomalejší nárůst částic) od 5 °C do -14 °C. Poloměr částic začíná u spodní základny oblačnosti na 7 až 10 μm při teplotě 0 až -5 °C. Celkově vzato je v porovnání s pozorováním z USA spodní základna těchto oblaků mnohem chladnější (v USA 15 °C) a částice u spodní základny jsou větší (v USA 2 až 5 μm). Postupem času se spodní základna posouvá stále do chladnějších hodnot, tedy výš. Podle snímku z 13:57 UTC se už nad Čechami vytvořila oblačnost, která svým spektrem *T-re* velice připomíná charakteristiku oblastí s nebezpečnými projevy počasí. Spodní základna se nachází sice v úrovni -2 °C, tedy dost vysoko, nicméně spodní lineární oblast by mohla být identifikována v rozsahu od -2 do -30 °C a končí u poloměru částic 17 μm. S dalším postupem času se lineární oblast dále rozšiřuje až k -40 °C. Snímky z 15:12 UTC již vykazují větší množství velkých částic při vyšších teplotách. Už se zde také zřejmě projevuje zakrytí cirrovitou oblačností.

Nad Polskem zabírá lineární část grafu rozsah -5 až -20 °C a nachází se vlevo od prahu vzniku srážek (14 μm). Graf *T-re* se už začíná podobat grafům s oblastmi vzniku krup podle Rosenfelda.

Podle rozborů snímků v oblasti ČR můžeme konstatovat, že analýza pomocí *T-re* diagramů může odhalit předpoklady ke vzniku silných konvekčních jevů.

Spektra jsou oproti výzkumu prováděnému v USA posunuta více doprava, tedy obsahují větší částice, a spodní základny více do chladnějších hodnot. Toto posunutí může být způsobeno odlišnými podmínkami při vzniku oblačnosti, jako je jiný charakter povrchu, odlišné teploty při vzniku oblačnosti apod. Celkově by se profily oblačnosti nad střední Evropou více blížily maritimním. Taková oblačnost představuje právě větší oblačné částice a méně prudký sklon profilu *T-re*.



Obr. 44: Analýza z 23. května 2005, 14:12 UTC

Situace z 16. května 2006

Podle hlášení ESWD bylo tento den pozorováno tornádo ve 13:37 UTC v oblasti Bourgogne ve Francii. Dále byly zaznamenány silné nárazy větru přes 26 m/s taktéž ve Francii.

Poblíž města Skrzelczyce v Polsku byly v 16:30 UTC pozorovány kroupy o průměru 2 cm. Po 17:00 UTC se v Polsku objevily nárazy větru místy s deštěm.

V Rakousku ve městě Graz byl pozorován po 15. hodině UTC silný déšť s bouřkou a nárazy větru. Došlo zde k zatopení silnic, sklepů a metra během několika minut. Během 20 minut byly naměřeny srážkové úhrny 22 mm, během 3 minut dokonce 6,3 mm. Dále byly pozorovány kroupy ve městě Leibnitz. Průměr krup byl v době 16:00 UTC až 3 cm. Kroupy zde měly zploštělý tvar připomínající

elipsoid a byly pozorovány v kombinaci se silným deštěm a nárazy větru. Tyto jevy způsobily škody na domech a oknech, pole a louky byly zaplaveny.

Při první analýze oblačnosti z 11 hodin UTC pomocí *T-re* jsou patrné nápadně vysoko položené spodní základny oblačnosti. Oblačnost je na všech třech profilech tvořena velkými částicemi a nevykazuje silné stoupavé proudy v dostatečně mohutné vrstvě. Snad jen v Rakousku je silnější updraft, ovšem jen mezi -10 a -22 °C. Pokud bychom celý profil posunuli dolů a doleva, představoval by podle amerických profilů teoreticky ukázkový profil při výskytu krup. Ke zlomu v grafu dochází při poloměru částic 14 μm a teplotě -22 °C.

Postupem času začínají mít grafy v oblasti Francie strmější tvar, získávají vlastnosti kroupové oblačnosti. V oblačnosti se již začínají objevovat nejmenší částice okolo 3 μm a teplotě 3 °C. Zvětšuje se tak oblast koalescenčního růstu oblačných částic, které do teploty -15 °C narůstají do poloměru 14 μm. Dokonce přesahují izotermu -10 °C ještě před dosažením této hraniční velikosti, což poukazuje na silné výstupné proudy. Po 15. hodině UTC už ale profily *T-re* ukazují další zvedání spodní základny oblačnosti, ve vyšších vrstvách zůstávají i nadále silné výstupné pohyby, resp. poměrně pomalý růst velikosti částic s výškou. Také v oblasti západní hranice Rakouska dostávají profily charakter intenzivních výstupných proudů, zejména ale ve spodní vrstvě.

Ve 14:00 UTC se i v Polsku vyvinula oblačnost, podle jejíhož profilu *T-re* lze předpokládat silné srážky doprovázené kroupami. Lineární oblast profilu můžeme identifikovat od -10 do -30 °C, poloměru 14 μm je dosaženo kolem -14 °C. Později se i tady oblačnost rozpadá a přestává vykazovat znaky silných výstupných pohybů.

Celkově jsou ale *T-re* profily opět slabě odlišné od profilů z oblasti USA. Profily jsou užší a výše položené. Zároveň jsou posunuty doprava, tedy obsahují větší částice již od spodních vrstev.

Situace z 26. května 2007

Hlášení ESWD pro tento den opět začínají až od 15:50 UTC, přitom intenzivní konvekce je z družicových snímků patrná již v dopoledních hodinách. Analýza profilů *T-re* bude kvůli pozdějším hlášením zaměřena na pozdější termíny.

Od 15:50 jsou z Německa hlášeny kroupy, maximální průměr činí 3 cm, přičemž průměrná hodnota je 2,5 cm. Vypadávání krup bylo pozorováno po dobu

5 minut. V 17 a 18 hodin UTC byly z Německa dále hlášeny silné nárazy větru. Jejich rychlost dosahovala 25 m/s. V 17:30 UTC bylo v Německu (Heyroth, Borler) pozorováno tornádo. Jeho intenzita byla klasifikována jako F1T3. Délka stopy, kterou toto tornádo zanechalo, byla 11 km, průměrná šířka 125 metrů a maximální šířka dokonce 200 m. V pozdějších hodinách (18:00–20:30 UTC) byly dále v Německu hlášeny kroupy o průměru 3 cm, respektive 2 cm. Po 19. hodině UTC se pak v Německu vyskytl prudký déšť s úhrnem 22,3 mm během jedné hodiny.

Ve Francii byl zaznamenán v 16:26 a v 17 hodin UTC silný déšť. Během 1 hodiny spadlo 31 mm srážek, respektive během 30 minut spadlo 20 mm srážek.

V ČR byly na stanici Doksany pozorovány v 17 hodin UTC kroupy o průměru 2 cm.

Intenzivní projevy bouří (kroupy, nebo i tornádo) byly dále zaznamenány v Polsku, Rakousku, Litvě i Lotyšsku.

Na pomezí Francie a Německa se už ve 12 hodin UTC objevují významné profily *T-re* oblačnosti. Oblačnost se postupem času nasouvá dále nad Německo. Profily vycházejí z -2 °C a 7 μm. Silnější výstupné pohyby lze odečíst až do hladiny -25 °C s poloměrem částic 15 μm. Potom se graf sklání více doprava a oblačné částice rychle narůstají na 30 μm při -32 °C. Už z takového profilu by bylo možné očekávat vypadávání krup z oblačnosti, pokud ho porovnáme s profily získanými při měřeních v USA. V následující hodině se sice snižuje počátek profilu až k teplotě 8 °C, horní hranice oblasti koalescenčního růstu se zároveň posouvá na -20 °C. Postupně se ale zase zvedá k -27 °C a 20 μm. Od 14:00 UTC se oblačnost začíná výrazně plnit velkými oblačnými částicemi ve vertikálně mohutné vrstvě a to od -12 °C výše. Po 14:30 UTC dochází k výraznému zesílení updraftu ve spodní vrstvě a profil *T-re* se začíná více narovnávat, čili zvětšuje se jeho strmost. Smíšená fáze začíná v hladině -22 °C při poloměru částic 12 μm. Rozdíl *Tl* a *Tg* je poměrně malý, činí 6 °C. Postupně (15:12 UTC) stoupá horní hranice spodní přímé části (updraftu) až k -35 °C a částice mají v tomto místě poloměr 20 μm. Po 16. hodině UTC už profily ukazují na velice silné projevy uvnitř oblačnosti. Oblasti silných updraftů můžeme najít až do hladiny teploty -30 °C, kdy poloměr částic nepřesahuje 15 μm. Z takového profilu by už bylo možné předpovídat velice silné doprovodné jevy bouří. V dalších hodinách výstupné pohyby slábnou a v oblačnosti převládají velké částice.

Také v oblasti Polska a pobaltských republik se objevují profily naznačující silné doprovodné jevy bouří už ve 12 hodin UTC. Vycházejí z 5 °C a 7 μm, lineární spodní část sahá až k 15 μm a -27 °C. Postupně se oblast updraftu rozšiřuje do větších výšek k -30 °C a 18 μm. Do 13:15 UTC se jakoby střídají periody slábnutí a opětovného sílení updraftů. Ve 14:27 UTC ale pozorujeme velmi výrazný updraft v oblačnosti, kdy částice narůstají na 15 μm až ve výškách kolem -38 °C. To už je velice výrazná indikace velmi silného updraftu. Počátek profilu vychází ze 7 μm a 5 °C. Opět je tedy počátek chladnější a s většími částicemi než v USA. Ještě v 15:42 UTC je pozorován takto výrazný profil *T-re*. Potom už výstupné pohyby slábnou a adekvátní zobrazení profilu se objevuje jen ve vyšších hladinách.

V oblasti Čech a česko-polského pomezí je ve 13:42 UTC pozorován význačný profil *T-re*. Počátek profilu leží v oblasti teploty 5 °C při poloměru 7 μm, což jsou stejné hodnoty, jako u výše zmíněné oblasti v Polsku. To potvrzuje teorie (Lensky a Rosenfeld, 2005), že jeden profil může být dobře reprezentativní pro větší oblast se stejnou vzduchovou hmotou. Smíšená fáze potom začíná při -20 °C a 15 μm. Už z těchto hodnot by se dalo očekávat, že budou při bouřkách vypadávat z oblačnosti kroupy. Postupem času (14:12 UTC) se prodlužuje zóna koalescence až k hodnotám -25 °C a 18 μm. *Tg* je potom -28 °C, patrný je tedy jen velice malý rozdíl *Tl* a *Tg*. To je dalším ukazatelem silných doprovodných jevů bouří. Od 15 hodin UTC jsou již profily nesouvislé a nelze je proto adekvátně vyhodnotit. Potvrzuje se nicméně to, že tyto profily plní funkci předpovědního nástroje s přibližně 2 hodinovým předstihem oproti hlášení nebezpečných jevů.

Vypadávání krup je obvykle spojeno s pozdější fází životního cyklu kupovité (bouřkové) oblačnosti. V době, kdy profily vykazují znaky silných updraftů, převládají v oblačnosti výstupné pohyby. Někdy se proto až v pozdějších stádiích, když už *T-re* profily nejsou „zajímavé“, začínají v oblačnosti projevovat silné sestupné proudy, s nimiž je spojováno vypadávání srážek, v případě silných bouří tedy často i krup.

Situace z 25. června 2006

V Německu se tohoto dne objevilo tornádo v 16:30 UTC. Jeho intenzita byla zařazena do kategorie F1T3 a zanechalo stopu o šířce 300 m a délce 3 km. Postupně byly z Německa hlášeny kroupy o průměru 1,5 až 3 cm. Dále byl zaznamenán silný

déšť s úhrny kolem 50 mm za hodinu i silné nárazy větru. Tyto nárazy větru byly doprovázeny silným deštěm a kroupami o průměru 1 cm. Zaznamenané nárazy větru dosahovaly rychlosti až 35 m/s. Škody byly způsobeny hlavně na lesích a polích s obilím, jeden člověk byl zraněn. Situace byla jednoznačně spojena s konvekčními oblaky. Dohlednost se v dešti pohybovala jen kolem 100 m.

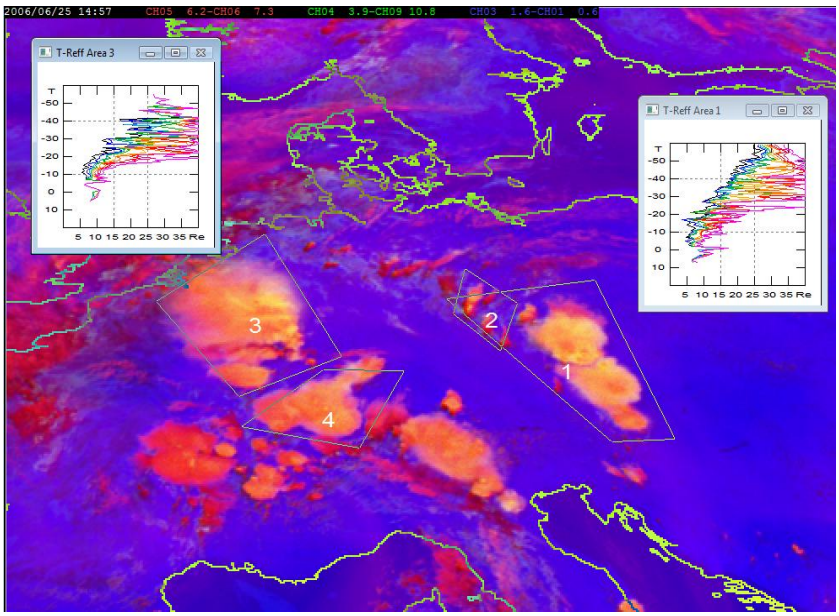
Pro ČR byly hlášeny velké kroupy v okolí Soběslavi v jižních Čechách. Zaznamenány byly kolem 16 hodin UTC, ale velikost krup nebyla bohužel uvedena.

Už ve 12:42 UTC vykazuje oblačnost v oblasti Čech znaky intenzivních výstupů a připomíná svým profilem oblačnost, ze které vypadávaly kroupy. Spodní základna vykazuje teplotu 7 °C a obsahuje částice o poloměru 8 μm. *Tl* je -10 °C a *Tg* je -24 °C. Postupem k 13. hodině UTC se zvětšuje zóna koalescenčního růstu částic a profil je strmější. Zvětšují se tedy předpoklady k vzniku silných doprovodných jevů. Profil pokračuje dál až do *Tl* -20 °C a *rl* (poloměr částic příslušné hladině o teplotě *Tl*) 13 μm ve 13:27 UTC. To již podle zjištění Rosenfelda představuje jistou pravděpodobnost vypadávání krup. Ve 13:57 UTC a později se již *T-re* profil nápadně podobá tornádickým profilům pozorovaným v USA. Jsou jen poněkud méně strmé a vycházejí z nižších teplot. Vykazují tou dobou jenom malý rozdíl *Tl* a *Tg*, což je dalším předpokladem ke vzniku extrémních jevů doprovázejících konvekční oblačnost. Ve 14:27 UTC můžeme pozorovat ještě strmější profil *T-re*, výstupné pohyby tedy dále nabírají na intenzitě. Postupně se ale začínají objevovat větší částice v oblačnosti.

V oblasti západního Německa se zpočátku (13 hodin UTC) vyvíjí oblačnost, jejíž profil *T-re* poukazuje na možnost vzniku krup. Počátek profilu vychází z poloměru 5 μm a teploty 10 °C. Zóna koalescence sahá až do -13 °C při poloměru částic do 14 μm. Ve zbytku grafu potom rychle narůstají částice do větších velikostí. Už v této fázi je možné předpokládat vznik intenzivních doprovodných jevů. Snímek ze 14:27 UTC už svým profilem ale náramně připomíná oblačnost, s níž byla v USA spojena tornáda. Profil je sice méně strmý, nicméně poloměru 14 μm dosahují částice při teplotě -25 °C, což poukazuje na velmi silný updraft v oblačnosti. Podle dalších profilů se zdá, že updrafty přechodně slábly, ale pak nabraly na ještě větší intenzitě.

Analýza oblasti označené Area 1 na Obrázku 45 opět velmi dobře zobrazuje intenzivní updraft ve velké části oblačnosti, oblačné částice jen pomalu narůstají do větších velikostí. Získaný tvar profilu *T-re* tedy odpovídá výskytu krup, které byly hlášeny z jižních Čech, a to až s hodinovým předstihem. V tomto konkrétním případě

je tedy podpořen předpoklad o využití profilů *T-re* pro účely nowcastingu nebezpečných doprovodných jevů konvekčních bouří. Ve spodní části oblasti Area 3 je potom patrný silný updraft až do hladiny kolem -23 °C.



Obr. 45: Analýza z 25. června 2006, 14:57 UTC

Situace z 21. června 2011

Přes střední Evropu přecházel k západu frontální systém. Podle záznamů z databáze ESWD se v Německu ve 13:20 UTC objevily nárazy větru, které porazily několik stromů. Ve 13:35 UTC se poblíž Heidelbergu objevilo tornádo intenzity F1. Zanechalo stopu dlouhou 700 metrů a širokou 50 metrů. Zraněni byli 2 lidé. Poškozeny byly střechy, garáže, stromy atd. Po 15. hodině UTC byl spatřen nálevkovitý oblak. Zabíral 30 procent podoblačného rozestupu od země. Další byl spatřen v 17:35 UTC, tentokrát o délce 15 % vzdálenosti spodní základny ostatních oblaků od země. Podobný byl viděn i po 18. hodině UTC.

V ČR se objevilo v 15:09 UTC tornádo poblíž Pardubic. Intenzita byla určena jako F1T3. Zanechalo za sebou stopu dlouhou 9 km. Postupovalo od západoseverozápadu k východoseverovýchodu. Poškozeno bylo minimálně 15 staveb a mnoho stromů. Vše bylo zdokumentováno fotografiemi i videem (*http://www.tornada.cz/clanky/tornada-v-cesku/pardubice-tornado-21.6.2011/,* 2011). Při tornádu se objevil také silný déšť.

Analýza zaměřená na ČR začíná v 11:57 UTC. Spodní základna vykazuje teplotu 2 °C a poloměr částic tam činí 9 μm. Graf se plynule prohýbá k -18 °C s poloměrem částic 22 μm. Toto prohnutí dále přechází k -25 °C s poloměrem částic 35 μm. Ve 12:27 UTC vykazuje spodní základna 5 °C a částice mají poloměr 10 μm. Ke zlomu profilu dojde při -9 °C a 12 μm. Smíšená fáze dále pokračuje k -27 °C a 27 μm. Postupně se graf jakoby napřimuje od 3 °C a 9 μm k -27 °C a 23 μm. Kolem 15 hodin UTC má graf spodní zónu jen k -12 °C a 12 μm. Až kolem 16 hodin UTC spodní lineární část grafu nabírá rozsah kolem 20 °C.

Podle tvaru grafů by se na první pohled dalo uvažovat spíše o kroupách, tornádu nic výrazně nenasvědčuje.

Situace z 23. července 2010

V pátek ráno zasáhla severovýchodní Čechy (Trutnov) slaběji vyvinutá squall line. Húlava se přibližovala poměrně rychle od jihozápadu, první hrom byl zaznamenán ve 3:53 UTC (při teplotě 20,7 °C a jižním větru kolem 2,5 m/s). Ve 4:08 UTC začaly vypadávat srážky, nad západním obzorem došlo k několika silným výbojům. Čelo bouřky přešlo ve 4:11 UTC doprovázené výrazným zesílením srážek (maximální intenzita 91 mm/h) a utišením větru. Silné srážky trvaly do 4:35 UTC, pak výrazně zeslábly. Konec srážek je zaznamenán po 5:00 UTC, do 5:15 byly ještě slyšitelné hromy. Teplota po bouřce poklesla na 18,5 °C. Celkem spadlo 6,6 mm srážek. Kolem 14 hodin UTC se objevily také bouřky u Českého Těšína.

V Rakousku pak byly bouře doprovázeny i kroupami o velikosti až 5 cm. Škody na domech a autech byly vyčísleny na 4 miliony Eur. V 15:35 UTC potom změřili velikost krup dokonce na 6 cm.

Stejně velké kroupy jsou potom hlášeny ze Slovenska kolem 15:40 UTC. Nejvíce škod napáchaly v zemědělství. Po 17. hodině UTC se objevují na Slovensku nárazy větru.

Z Francie (Bannoncourt, oblast Lorraine) je dokonce kolem 16:15 UTC hlášeno tornádo. Tornádo bylo plně potvrzeno a zdokumentováno videozáznamy. Délka stopy, kterou po sobě zanechalo, byla 500 metrů, šířka potom 30 metrů. Pohybovalo se od západu na východ.

V Německu a Itálii jsou po 15. hodině UTC zaznamenány nárazy větru, 25 m/s. V Itálii bylo také zaznamenáno Tornádo (Santa Maria la Longa) kolem 16:30 UTC. Dále zaznamenali v 16:40 UTC kroupy. Jednalo se o čirý led, velikost krup byla až 7 cm a hmotnost 36 g. Poničena byla hlavně auta, stromy a obilí.

Velké kroupy byly pozorovány kolem 18. hodiny UTC také v Maďarsku, doplňující informace ale nejsou poskytnuty.

Ranní snímky lze kvůli slabému oslunění použít až od 4:12 UTC. Evidentně, vzhledem k charakteristikám kanálu 3,9 μm, dochází ke zkreslení profilů *T-re*. Metodu nelze proto použít k předpovědi silných bouří v takto brzkých ranních hodinách. Profily nicméně potvrzují silný updraft. Počátek mají v teplotě 10 °C při poloměru částic 2 μm. Křivka oblasti koalescence dále stoupá do hladiny teploty -19 °C, kde částice dosahují poloměru 9 μm. Podle profilů není patrná čistě ledová fáze. Postupně (4:57 UTC) se poloměr částic ve spodní vrstvě oblačnosti zvětšuje na 6 μm, přičemž horní hranice koalescenční vrstvy zůstává přibližně stejná. Po 5. hodině UTC se spodní základna zvedá a částice se zvětšují.

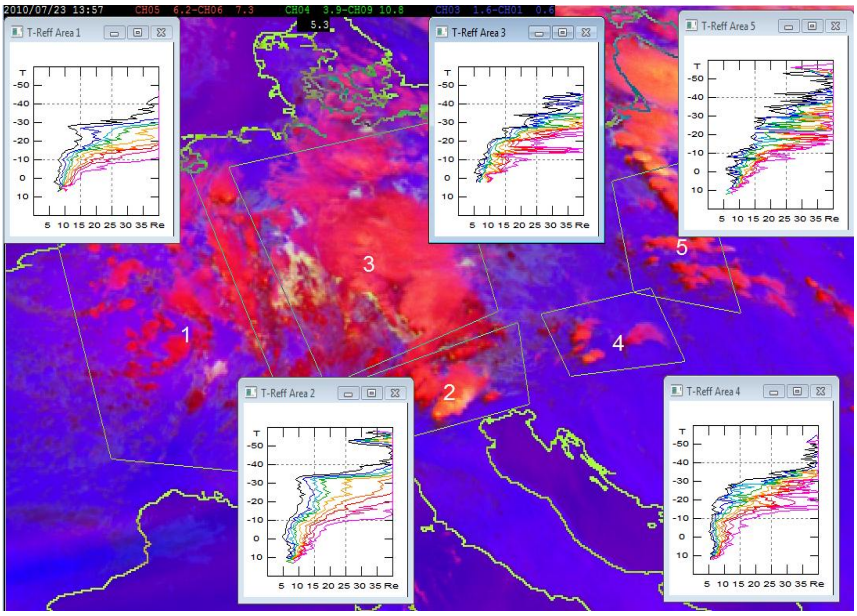
V Německu už v 10:27 UTC zobrazují profily *T-re* takové křivky, podle kterých se dá předpokládat silný updraft. Profil začíná při teplotě 11 °C a poloměru 8 μm. Křivka se potom láme v hladině -23 °C při 14 μm. V rozmezí 34 °C narostly tedy částice jen o 6 μm. Ledová fáze není v tomto období zaznamenána. V 10:57 UTC se zvětšil poloměr částic ve spodní hladině na 9 μm a horní hranice oblasti koalescence přitom vykazuje -19 °C při zachování poloměru částic. V 11:42 UTC se oblast koalescence rozšiřuje až do hladiny -28 °C a v této výšce je poloměr částic 20 μm. Profil je stále bez čistě ledové fáze. Ve 12:42 UTC se mění horní hladina koalescenční oblasti zpět na -20 °C a poloměr částic činí 14 μm. Ve 13:27 UTC se zřejmě opět projevuje regenerace konvekce, počátek se posunul do 6 °C a 10 μm, zóna koalescence sahá až do výšky odpovídající teplotě -25 °C s poloměrem částic 22 μm. Profily v dalším období podobně pulzují, po 14:30 UTC se ale poloměr oblačných částic opět zmenšuje (15 μm) a stoupá do hladin kolem -28 °C. Objevuje se už také oblast čistě tuhé fáze oblačných částic. Základna oblačnosti má teplotu 8 °C a částice poloměr 6 μm. Z profilů lze předpokládat přítomnost velmi silných updraftů a následně vznik silných doprovodných konvekčních jevů. Vzhledem k rozložení oblačnosti nelze přesně

oddělit oblačnost nad Německem a Rakouskem. Zostřování profilů *T-re* lze tedy zřejmě přisuzovat zesilující konvekci v Rakousku.

Ve Francii se už po 11. hodině UTC objevuje oblačnost, jejíž *T-re* profil svým tvarem připomíná profily oblačnosti, z níž v USA vypadávaly kroupy. Teplota základny je 6 °C a poloměr částic 9 μm. Nedá se přesně určit zlom ve sklonu křivky, protože je velmi zaoblená. Při poloměru částic 14 μm je teplota -10 °C. Ve 12:27 UTC ale pozorujeme rozšíření oblasti koalescence ve vertikálním směru do hladiny -20 °C při poloměru 15 μm. Stále není z grafu patrná ledová fáze. Na dalších snímcích se ale profily vrací do podoby popsané po 11:00 UTC. Ve 13:42 UTC se opět profil vertikálně rozšiřuje do -30 °C při 15 μm. Opět se ale jedná o jediný profil, po kterém projevy updraftů opět slábnou. Ve 14:42 UTC vychází profil z 5 °C a 8 μm. Oblast koalescence pak sahá do hladiny -25 °C a 17 μm. Vytvořila se už také ledová fáze, rozdíl *Tl* a *Tg* je jen 2 °C. V 15:57 UTC se už oblast koalescence rozšířila až do -30 °C a 15 μm. Tady už by se dalo uvažovat o velmi silných doprovodných jevech konvekčních bouří, updraft je zde velice silný. Jedná se ale pouze o krátký interval mezi časem pozorování takového profilu a samotným hlášením tornáda.

V oblasti severní Itálie se začíná objevovat oblačnost vhodná pro analýzu až kolem 12 hodin UTC. Spodní základna má teplotu 12 °C a poloměr částic činí 7 μm. Oblast smíšené fáze začíná při teplotě -7 °C a 9 μm. Ve spodní vrstvě je velmi silný updraft, poloměr částic se moc nemění. Profily vykazují několik zlomů. Postupně jsou až do hladiny -30 °C poloměry částic menší než 15 μm. Podobně jako u Francie se ale extrémní profily objevují jen s malým předstihem před samotným hlášením události.

V Maďarsku se už po 11. hodině UTC objevují profily s velmi silným updraftem sahajícím do poměrně velké výšky. Vychází z 10 °C a 7 μm a zasahuje až do hladiny -20 °C při poloměru 12 μm. Ve 12:12 UTC potom sahá až do -25 °C při 14 μm. Poté už updrafty podle profilů slábnou. Vykazují i velký rozdíl *Tg* a *Tl*. Po 15. hodině UTC se znovu objeví podobně intenzivní profil, jako byl zaznamenán dříve. Počátek je při teplotě 12 °C a 3 μm. Oblast koalescence sahá až do hladiny -30 °C při poloměru do 15 μm. To je na evropské poměry velmi intenzivní profil. Po 16. hodině UTC se profil jeví ještě intenzivnější, ale podle křivek není možné přesně určit hranice jednotlivých zón. Podle celkového tvaru a polohy tohoto profilu bych ale uvažoval o velice silných projevech bouří (i tornádu).



Obr. 46: Analýza z 23. července 2010, 13:57 UTC

Situace z 29. července 2013

Podle zpráv z veřejných médií se během setkání motocyklistů v Bechyni objevilo tornádo, které rozházelo zaparkované motocykly a několik jich zdvihlo do výšky. Záznamy databáze ESWD popisují nebezpečné doprovodné jevy bouří až po 20. hodině UTC. Jedná se o velmi silný déšť s úhrnem 40,3 mm za hodinu v Olešnici v Orlických horách, na dalších místech tohoto kraje pak 37 mm za hodinu. Zpráva je potvrzena hlášením meteorologické služby. V Královéhradeckém kraji byl dále nahlášen poškozující úder blesku. Zničena byla elektrická infrastruktura. Další silné srážky byly zaznamenány v Libereckém kraji, úhrny dosáhly 44,5 mm za 2 hodiny, přičemž během 1 hodiny spadlo 39,3 mm. Středočeský kraj zaznamenal 49,8 mm srážek za 3 hodiny, 41,9 mm během jedné hodiny. Podobné srážkové úhrny se pak ještě opakovaly na dalších místech. O život přišel jeden člověk.

Poškozující údery bleskem se také objevily po 20. hodině UTC v sousedním Polsku, dále pak silný vítr. Zaznamenali také tornádo o intenzitě F1T3 (oblast Wschowa) a to ve 21 hodin UTC. Poničeny byly stromy, střechy i elektrické vedení.

V oblasti střední Evropy se během dne objevují výrazné konvekční buňky. Oblačnost dále přichází od jihozápadu. Kolem 12 hodin UTC se spodní základna pohybuje v hladině 10 °C při poloměru 6 µm. První zlom profilu je patrný při teplotě -8 °C a 8 µm, další potom při -18 °C a 20 µm. Profil dále volně ubíhá k -30 °C

a 40 µm. Po 12. hodině UTC je spodní základna při 6 °C a 6 µm a spodní část grafu roste až k -15 °C a 9 µm. Další zlom leží v hladině -20 °C při 25 µm, graf dále ubíhá k -35 °C a 40 µm. Po 13. hodině UTC je graf celkem lineární. Začíná v 5 °C a 7 µm, pokračuje přes -8 °C a 12 µm k -25 °C a 20 µm. Ubíhá dál k -35 °C a 40 µm. Kolem 14. hodiny UTC je dosahováno poloměru 15 µm při -20 °C, spodní základna má teplotu 8 °C při 7 µm. Ve 14:42 UTC je už 15 µm dosahováno při -23 °C. Po 15. hodině UTC vykazuje základna 7 °C a poloměr činí 5 µm. Zlom profilu je v -32 °C a 17 µm. Celkově se zostřuje konvekce a výstupné proudy, zejména ve spodní vrstvě. Později se ale už projevuje vliv poklesu slunce k obzoru.

3.2.2. Situace s výskytem krup

Situace z 20. dubna 2012

Situace byla analyzována v reálném čase. U takových situací uvádím i další údaje, jako např. oficiální popis situace, předpověď počasí, výstrahy apod. poskytované Českým hydrometeorologickým ústavem i popis dalších předpovědních materiálů.

Předpověď počasí pro Českou republiku na 20. 04. 2012:

Situace: Nad západní a střední Evropou se bude udržovat rozsáhlá oblast nízkého tlaku vzduchu.

Počasí: Polojasno až skoro jasno, ráno místy mlhy. Během dne postupně oblačno a na většině území přeháňky, ojediněle bouřky. Nejvyšší teploty 14 až 18 °C, v 1000 m na horách kolem 9 °C. Slabý proměnlivý vítr 1 až 4 m/s.
Tlaková tendence: slabý až mírný vzestup.

Podle záznamů ESWD se ve 12:30 UTC na Vysočině objevily kroupy o průměru až kolem 2 cm, které doprovázely bouřku.

Ve 12:40 a těsně před 13. hodinou UTC jsou pak zaznamenány stejně velké kroupy v Německu. Obě události byly ale poměrně vzdáleny od ČR, nacházely se na severu Německa.

Předpověď CAPE modelu Aladin na 6:00 UTC nezobrazuje zvýšené hodnoty pro oblast ČR. Na 12 hodin UTC se pro ČR objevují hodnoty do 1000 J/kg náhodně kdekoliv po republice, v Krkonoších i vyšší. Pro Německo a Polsko jsou zobrazeny hodnoty kolem 1000 J/kg na většině území, v Polsku navíc hodnoty kolem 1500 J/kg

zhruba uprostřed území. Na 18 hodin UTC se už souvislá oblast vyšších hodnot CAPE v ČR značně rozpadá. Podobně i pro Německo a Polsko, udržují se tam ale jednotlivá jádra kolem 1500 J/kg. Na první pohled nic nenaznačuje vzniku silné konvekce.

Předpověď srážek z modelu ALADIN na 6 hodin UTC udává silnější srážky na Bavorsko a pomezí Německa a Rakouska. Na 12 hodin UTC už zabírají popisované předpovídané srážky větší oblast, posouvají se navíc dále na východ. Od západu už částečně zasahují do ČR. Naprosto nevýrazné bodové oblasti se objevují na Vysočině. Předpověď srážek na 18 hodin UTC už se silnějšími srážkami zabírá většinu zobrazené části Německa, Polska i Rakouska, dále se objevují na Slovensku. Zobrazená předpověď má charakter konvekčních srážek. V ČR zabírá srážková oblast jih a jihozápad republiky. Dále se srážky táhnou po severozápadní a severní hranici, přes západ Vysočiny a část středních Čech. Slabé srážky jsou předpovídány lokálně i na Moravě.

Podle sondáže atmosféry z 6 hodin UTC z Prahy-Libuše je Faustův index -2,4 a teplota konvekce 15,8 °C.

Radarové odrazy na 7 hodin UTC ukazují srážkový pás v prostoru kolem naší jihozápadní hranice. Částečně již zasahují od západu i do naší republiky. Zobrazení je zatím zelené (20–28 dBZ) a jen západně od nás se objevují 2 naoranžovělé oblasti (36–40 dBZ). Ve 12:30 UTC se zobrazuje poblíž Jihlavy jedno oranžové jádro (44–48 dBZ), ostatní srážky na severu a jihu Čech jsou zelené až naoranžovělé, kolem Prahy pouze zelené. Jedno oranžové jádro je také vidět v Polsku. Ve 13:30 UTC se už objevuje oranžové jádro u Prahy, dále několik jader na Vysočině. Červené oblasti (52–56 dBZ) jsou pak západně od Svitav. Je možné, že se v této oblasti také objevilo několik málo bílých pixelů (60 dBZ). V Německu a Polsku jsou patrná jednotlivá oranžová jádra. Ve 14:30 UTC srážky postupují k severovýchodu a kolem Svitav se pohybují červená jádra. Na Vysočině a západně od ní až po Kolín jsou patrné oranžové oblasti.

Už v 10 hodin UTC jsou na jihu a ve středu Čech zaznamenány blesky. Ve 12:40 UTC je jejich značný počet registrován na jihu Vysočiny, několik jich je i na severu Čech. Dále jsou patrné v Polsku a na severu Německa. Ve 14:30 UTC je na Vysočině zaznamenána další bohatá blesková aktivita, dále v Německu a Polsku i na jejich hranici a také na východě Rakouska.

Podle analýzy profilů *T-re* v 7 hodin UTC má oblačnost vysoko položenou spodní základnu, až kolem -4 °C s poloměrem částic kolem 7 μm, koalescenční oblast ale končí kolem -18 °C s poloměrem částic 11–12 μm. *Tg* je potom -28 °C při poloměru kolem 35 μm. Značnou část oblačnosti už zabírá ledová fáze. Ve 12:30 UTC je zobrazen význačný profil. Teplota spodní základny činí -4 °C a poloměr částic 6–7 μm. *Tl* činí -22 °C při poloměru 13 μm. Dál ubíhá smíšená fáze poměrně rychle doprava.

Podle posledního profilu by se již dalo o kroupách uvažovat, zatím spíše s menší velikostí. Tento odhad vychází z porovnání s profily v USA. Jak již bylo dříve zmíněno, bude nejspíš potřebné přizpůsobit objektivní kritéria středoevropským podmínkám.

Situace z 22. května 2010

Hlášení z fóra stormchaserů (http://report.bourky.cz/?page=search, 2011):

Po 8. hodině UTC je východně od Brna pozorován bouřkový oblak, oblačné buňky se objevují téměř po celé jižní Moravě. Před 9:00 UTC byla zaznamenána silná přeháňka doprovázená dokonce krupkami. V 9:12 UTC v Olomouci poprvé zahřmělo a rozpršelo se. V okolí Přerova jsou potvrzena bouřková jádra, v 9:43 UTC byla zaznamenána další bouřka v oblasti Moravy. Na Zlínsku se objevila kolem 10. hodiny UTC také bouřka. Po 11:00 UTC je v Brně pozorována aktivní buňka, jsou v ní ale pouze výboje, místní srážky žádné. Na Přerovsku se vyskytla intenzivní přeháňka s bouřkou. Kolem 12:30 UTC je z Českého Brodu hlášeno krupobití, silný déšť a intenzivní bouřka. Po 14:00 UTC v Třinci padaly i kroupy velikosti kolem 5 mm, doprovázené byly intenzivní bouřkou. Bouřka se vyvinula také v oblasti česko-polských hranic a postupovala přímo na Třinec. Na Karlovarsku se vytvořila v odpoledních hodinách bouřka a postupovala na jih do Plzeňského kraje. Blesky byly údajně skryté za dešťovou clonou, přesto bylo slyšet velmi mnoho hromů. Déšť byl chvílemi velmi intenzivní a pršelo i po bouřce. Srážkový úhrn byl hlášen kolem 5 mm. Tolik z fóra stormchaserů.

V Polsku v okolí města Lubcza padaly podle ESWD kolem 11:00 UTC kroupy o maximálním průměru 15 mm. Vrstva napadaných krup však činila 5 cm. Jednalo se o čirý led. Během odpoledne jsou z Polska hlášena další pozorování krup,

kdy kolem 13. hodiny UTC narůstá jejich průměr na 20 mm. V 15:00 UTC je už zaznamenáno vypadávání krup o průměru 25 mm.

Kolem 13:10 UTC se na Ukrajině v oblasti Mykolayiv objevil nálevkovitý oblak. Pozorování bylo potvrzeno fotografiemi a videozáznamem. Délka oblaku představovala 40 % vzdálenosti země a okolní základny oblačnosti. Ke stejné události pak došlo také v Polsku kolem 14:30 UTC.

Už podle analýzy snímku v 7:57 UTC je patrný silný updraft v oblačnosti nad ČR. Profil je velice strmý ve své spodní části. Teplota základny je 5 °C a poloměr částic 8 μm. Až do teploty -18 °C se poloměr částic mění pouze na 9 μm. To svědčí o velice silných výstupných pohybech, které brání rychlému narůstání efektivního poloměru oblačných částic. Další průběh daného profilu představuje nárůst velikosti částic směrem k vršků oblačnosti. Vršek oblačnosti se pohybuje kolem izotermy -30 °C. Do 8:57 UTC oblačnost dále roste do výšky, přičemž její vrchní část tvoří velké částice, spodní část profilu se nijak výrazně nemění. V 9:42 UTC už vykazuje profil oblačnosti silný updraft ve větším vertikálním rozsahu. Rozdíl *Tl* a *Tg* je 10 °C. Při srovnání s profily z USA by se již daly očekávat kroupy. V 9:57 UTC vykazuje spodní základna 0 °C a *rg* (poloměr částic v hladině odpovídající *Tg*) zůstává kolem 9 μm. Další snímky už naznačují převážné slábnutí updraftů, přestože by se v některých termínech dalo uvažovat o lehké regeneraci vzestupných pohybů. Profily se dále posouvají do větších rozměrů částic u základny oblačnosti. Na snímku ze 13:42 UTC je znovu naznačen silnější updraft, když poloměr částic ve spodní části oblačnosti činí 11 μm při teplotě 2 °C. Profil se začíná sklánět doprava při poloměru 17 μm a teplotě -20 °C.

V Polsku se v 7:57 UTC objevuje nesouvislý profil, některé údaje z něj ale je možné získat. Je na něm ale naznačen silný updraft hlavně ve spodní části oblačnosti. Spodní základna vykazuje teplotu 5 °C a poloměr částic je 8 μm. Koalescenční zóna sahá až do -19 °C a poloměr částic v ní je 9 μm. Výše následuje jen oblast smíšené fáze, čistě tuhá fáze zatím ještě nevznikla. Ta je patrná až ze snímků v 9:12 UTC. Rozdíl *Tl* a *Tg* je tu 10 stupňů. Ani další grafy nebyly souvislé, proto byla tato oblast přechodně analyzována spolu s oblastí Moravy. Podle snímku z 9:27 UTC už ale můžeme určit poloměr částic u základny 7 μm, vykazují přitom teplotu 7 °C. Ke zlomu dochází při -19 °C a poloměru 11 μm. Graf se dále volně sklání vpravo. Po 10. hodině UTC se rozšiřuje oblast koalescence až k -25 °C při 12 μm a rozdíl *Tl* a *Tg* klesá na 5 °C. Profily z pozdějších snímků ukazují slábnutí

updraftů. Postupně se střídavě lehce zmenšuje a opět zvětšuje rozsah spodní části profilu, která naznačuje updraft ve spodní části oblačnosti. Dále není patrné žádné zostření průběhu profilu. Zesílení updraftů a pronikání do vyšších vrstev je potom patrné na snímcích z 16:57 UTC, z této doby už ale není hlášeno žádné význačné počasí.

Nad Ukrajinou se v 9:42 UTC objevuje oblačnost se slabým až středním updraftem. Počátek profilu je při teplotě 3 °C a 9 μm. Ke zlomu profilu dojde při -23 °C a 15 μm. Při -29 °C a 38 μm vzniká čistě tuhá fáze. Rozdíl *Tl* a *Tg* je jen 6 stupňů. Další snímky už neprokazují zesilování updraftů. Pro oblast Ukrajiny by se dalo uvažovat o profilu indikujícím silné konvekční jevy až po 16:00 UTC. Z této doby také ale nejsou známa žádná hlášení o význačném počasí.

Situace z 27. května 2010

Podle databáze ESWD byly z Rakouska hlášeny kolem 15 hodin UTC kroupy o průměru 1,5 až 3,5 cm. Jednalo se o ledové agregáty.

Na Slovensku se tou dobou objevil silný déšť.

V Polsku se objevil silný déšť kolem 17 hodin UTC.

V ČR byl v 17:30 UTC zaznamenán nálevkovitý oblak o délce poloviny vzdálenosti spodní základny oblačnosti od země. Doprovázel bouřku, oblačnost rotovala.

Analýza začíná v 9:27 UTC. Už tehdy se objevuje významný profil *T-re*, spodní základna je ale poměrně vysoko. Nachází se kolem 2 °C při 7 μm. Koalescenční zóna pak stoupá k -22 °C s 15 μm. Oblast smíšené fáze dál stoupá k -29 °C při poloměru částic kolem 28 μm. Dále už je patrná čistě ledová fáze. Postupně mírně roste teplota spodní základny. Po 10:00 UTC činí její teplota 3–4 °C a poloměr částic zde zůstává konstantní 7 μm. Koalescenční zóna se protáhla k -24 °C při 15 μm. V 10:27 UTC se celý graf poněkud zaobluje a nedají se zřetelně rozpoznat zlomové body. V 10:42 UTC se zlom nejspíš nachází při -10 °C s 8 μm, což by ale znamenalo slábnutí updraftu ve spodní části oblačnosti. Mizí čistě ledová fáze. Kolem 13:00 UTC dostáváme profily s hodnotami velmi podobnými těm kolem 10:00 UTC (-22 °C a 15 μm). Hodnoty u spodní základny zůstávají konstantní. Ve 13:42 UTC se poměrně výrazně zostřuje updraft ve spodní části, když *Tl* činí -20 °C při 9 μm. Poloměru 25 μm je dosaženo při 26 °C. Horní část oblačnosti

se postupně začíná zaledňovat, *Tg* činí -30 °C při *rg* 30 μm. Grafy zůstávají poměrně konstantní.

Situace z 10. května 2011

Podle databáze ESWD hlásí Německo v 19:38 UTC velké kroupy, ovšem bez udání velikosti. Vytvořily ale vrstvu silnou až 20 cm a doprovázel je silný déšť. Ten způsobil místní záplavy. Před 20. hodinou UTC je odtud nahlášen výskyt krup o velikosti 2 až 3,5 cm.

Analýza ukazuje ve 14:57 UTC na pomezí Francie a Německa nesouvislý graf ve spodní části oblačnosti, který ale sahá až k hladině -29 °C při 16 μm. Spodní základna má teplotu 5 °C a poloměr částic činí 5–6 μm. Smíšená fáze dále stoupá k -40 °C s poloměrem částic 27 μm. Rozdíl *Tl* a *Tg* tu činí 11 °C a poloměru 15 μm je dosaženo při -22 °C. Postupně se *Tg* posouvá výše až na -48 °C s 29 μm. Poloměr částic 15 μm se v 16:12 UTC posouvá až k -27 °C, v 17:12 UTC dokonce až k -29 °C. Už samotný vzhled snímků napovídá silné konvekci a kroupy se dají s jistotou očekávat.

Situace z 20. května 2011

Podle databáze ESWD se v Horní Cerekvi objevil krátce po 14. hodině UTC silný déšť. Ten doprovázel bouřku a způsobil zaplavení sklepů. Blesky udeřily do domů, poškozena byla i přehrada na místním vodním toku. V 15 hodin UTC hlásí silný déšť okres Hradec Králové, způsobil vyplavení sklepů a zatopení polí.

Německo hlásilo kolem 14:40 UTC silný déšť s úhrnem 40 mm za 45 minut. V 15:00 UTC potom hlásilo kroupy s průměrem 2 cm, totéž v 15:30 UTC. V 15:20 UTC se objevil další silný déšť. V 15:45 UTC to bylo 15 mm za 15 minut, k tomu kroupy o průměru 1 cm. 3 cm velké kroupy se ještě objevily před 16. hodinou UTC. Místy se objevil silný vítr, který lámal stromy. Kolem 16:30 je opět hlášen silný déšť. Před 17:00 UTC to bylo 30 mm za 36 minut. Silný déšť byl zaznamenán i kolem 19 hodin UTC.

Samotná analýza začíná v 10:57 UTC na pomezí ČR a Německa, kdy spodní základna oblačnosti vykazuje teplotu 6 °C a poloměr částic se pohybuje kolem 10 μm. Koalescenční zóna stoupá k -20 °C s 11 μm. Graf ubíhá dál k -27 °C

a 33 μm. Po 12:00 UTC se celá spodní část sklání doprava a 15 μm je dosaženo při -17 °C. *Tg* je -35 °C při 30 μm. Kolem 13:30 UTC se začíná zmenšovat poloměr částic na 7 μm u základny při 3 °C. Zbytek grafu je poměrně stabilní a výrazně se nemění. Postupně se *Tg* posouvá k -40 °C s 30-35 μm. Ve 14:57 UTC se objevuje téměř lineární část grafu od 5 °C a 8 μm do 32 °C a 19 μm. Rozdíl *Tl* a *Tg* tak činí 11 °C a graf jasně vyjadřuje intenzivní konvekci. Poloměru 15 μm je dosaženo kolem -20 °C.

Situace z 2. května 2012

Situace byla analyzována v reálném čase.

Předpověď počasí pro Českou republiku na 02. 05. 2012:

Situace: Nad střední Evropou se bude udržovat nevýrazné pole nižšího tlaku vzduchu. Večer začne Čechy od jihozápadu přecházet studená fronta.

Počasí: Jasno nebo skoro jasno, postupně polojasno až oblačno. Ojediněle, večer na západě Čech místy, přeháňky nebo bouřky. Nejvyšší teploty 27 až 31 °C, na západě kolem 25 °C, v 1000 m na horách kolem 23 °C. Mírný jižní až jihovýchodní vítr 2 až 5 m/s, v bouřkách přechodně zesílí.

UPOZORNĚNÍ: Na západě Čech se mohou v bouřkách vyskytnout intenzivní srážky. Tlaková tendence: slabý až mírný pokles.

Podle hlášení ESWD se na území ČR v oblasti Vysočiny objevují ohlášené údery blesků. Kolem 17:50 UTC došlo k zapálení a zničení dřevníku. V 18:00 UTC jsou z Vysočiny v několika dalších lokalitách hlášeny silné nárazy větru. Jednalo se o 4 nahlášené události, bohužel ale nebyla udána ani přibližná rychlost větru. V 18:46 UTC je opět z Vysočiny hlášen úder blesku, který poškodil vegetaci. Konkrétně se jednalo o zapálení lesa. V 19:32 byl potom znovu na Vysočině po úderu blesku poškozen dům.

Z Německa z oblasti Saska je v 18:00 UTC hlášen silný déšť, který způsobil lokální záplavy. Krátce na to jsou hlášeny škody způsobené úderem blesku, poškozena byla elektrická síť. V Sasku-Anhaltsku se objevují 2,5 cm velké kroupy. Stejná oblast následně hlásí silný déšť a sesuvy půdy, které omezily provoz na dálnici A38. Po 18:30 UTC se znovu objevují kroupy s průměrem až kolem 2 cm. Po 19. hodině UTC se v Německu objevují další poškození domů blesky

s následnými požáry, poškození auta a komínů. Objevuje se také další silný déšť a sesuvy půdy.

Předpověď CAPE na 12:00 UTC ukazuje hodnoty kolem 2500 J/kg v oblasti západních Čech. Jedná se o jedno izolované jádro, jinak jsou v Čechách hodnoty nižší. Na Moravě potom zobrazuje izolované hodnoty kolem 2000 J/kg. V Německu podél krušných hor jsou patrné hodnoty kolem 3500 J/kg. Hodnoty kolem 3000 J/kg se potom táhnou Polskem kolem severní a severovýchodní hranice s ČR. Na 18:00 UTC se hodnoty v Čechách zmenšují pod 2000 J/kg, ve Slezsku ale vyšplhaly ke 3000 J/kg. Hodnoty přes 3000 J/kg se udržují v Německu a v Polsku.

Předpověď srážek podle modelu ALADIN na 12:00 UTC předpokládá jen nevýrazné maloplošné srážky na jihu Čech a severovýchodě naší republiky. Na 18:00 UTC se již objevují předpovědi srážek (přeháňky) v západní části ČR a částečně i v severovýchodní části republiky. Významnější předpovídané srážky jsou situovány severozápadně Krušných hor.

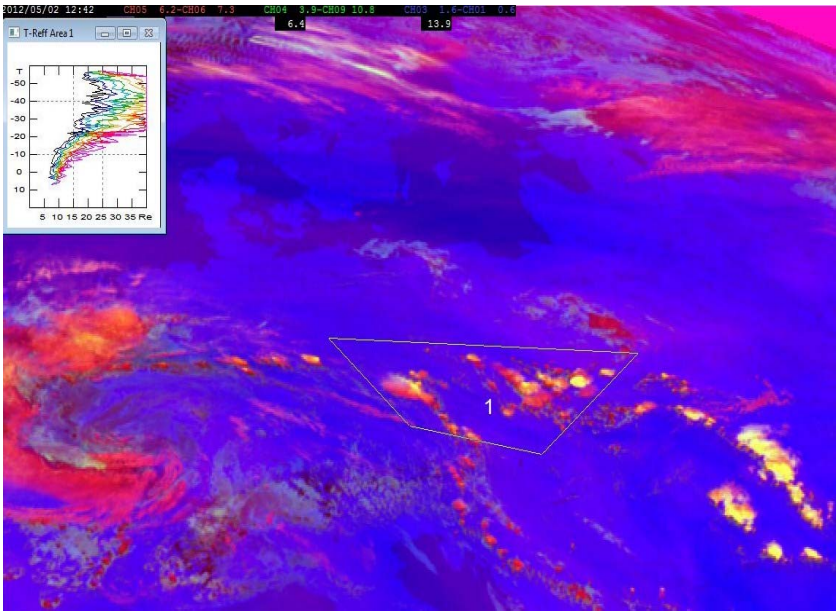
Podle sondáže atmosféry z 6:00 UTC je Faustův index -3,1 a teplota konvekce 29,5 °C.

Radarové odrazy už ve 12:00 UTC ukazují čáru oranžových odrazů (48 dBZ) od Soběslavi po Příbram. Jedno podobné jádro je také východně od Brna. Několik dalších i silnějších se objevuje od Jeseníků po Ostravu. U Hranic na Moravě se objevuje bílé jádro znázorňující velmi intenzivní konvekci (60 dBZ).

Vlastní analýza pomocí *T-re* profilů před polednem zatím neukazuje nic konkrétního. Až kolem 11:12 UTC se již začínají formovat profily, které se dají k analýze využít. Teplota spodní základny je zatím 2 °C a částice mají poloměr 8–9 μm. Koalescenční zóna stoupá do hladiny s teplotou 15 °C a oblačné elementy mají v tomto místě poloměr kolem 15 μm. Ledová fáze překračuje *re* 40 μm. V 11:42 UTC už dostáváme profily oblačnosti, které odpovídají silněji vyvinuté konvekční oblačnosti. Vrchol koalescenční vrstvy stoupá k -18 °C, *Tg* se nachází kolem -30 °C. U takového profilu by se již dalo uvažovat o kroupách. Z těchto hodin ale nejsou známy žádné nahlášené doprovodné jevy bouří. To se ale také ukázalo u mnoha podobných situací. Dalo by se možná předpokládat, že lidé zřejmě z pracovních důvodů obvykle nemají čas sledovat počasí. Ve 12:12 UTC se teplota spodní základny pohybuje kolem 4 °C a velikost částic zatím zůstává nezměněna. *Tl* bychom našli kolem -18 °C s poloměrem částic 19 μm. *Tg* se ale posunula

na -40 °C a částice v této hladině dosahují poloměru 32 µm. Ještě ve 12:42 UTC se profil poněkud napřimuje, v dalších termínech se ale oblačnost začíná rozpadat. Po 14. hodině UTC ale dostáváme profily s teplotou spodní základny kolem 3 °C a s poloměrem částic 6 µm. Koalescenční zóna pak sahá k -20 °C při 13 µm. *Tg* je pak -30 °C a *rg* kolem 23 µm. Rozdíl *Tl* a *Tg* tedy poklesl na 10 °C. Grafy se navíc v dalších hodinách ještě více napřimují.

O existenci silné konvekce ve střední Evropě tedy nemůže být pochyb. Dokumentují to samotná hlášení ESWD a družicové snímky v RGB zobrazení Konvekčních bouří (např. Obr. 47).



Obr. 47: Analýza z 2. května 2012, 12:42 UTC

Situace z 3. května 2012

Situace byla analyzována v reálném čase.

Předpověď počasí pro Českou republiku na čtvrtek 03. 05. 2012:

Situace: Studená fronta postupuje přes naše území zvolna k severovýchodu.

Počasí: Oblačno až polojasno. Místy přeháňky nebo bouřky, na jihozápadě území bouřky ojediněle. Nejvyšší teploty 19 až 23 °C, na východě území kolem 25 °C, v 1000 m na horách kolem 15 °C, na severovýchodě kolem 19 °C. Mírný západní vítr 2 až 6 m/s, v bouřkách přechodně zesílí.

UPOZORNĚNÍ: V bouřkách se mohou ojediněle vyskytnout intenzivní srážky.

Podle hlášení ESWD byly v Polsku hlášeny velké kroupy už od 11:30 UTC. Měly průměr 2 cm a byly zdokumentovány fotografiemi i videem. Další informace nebyly zveřejněny. Krátce po 12:00 UTC už byly zaznamenány kroupy z čistého ledu s průměrem 2,5 cm. Ve 12:30 UTC je dále z Polska hlášen silný déšť, nebyla ale udána jeho intenzita. Ve 14:00 UTC přišlo z Polska hlášení o kroupách s průměrem 2 cm, které na zemi vytvořily vrstvu silnou kolem 10 cm. Znovu se jednalo o čistý led. Ve 14:30 UTC potom byla hlášena podobná situace, kdy kroupy o průměru 2 cm vytvořily na zemi souvislou vrstvu. Kroupy byly ve tvaru elipsoidu. Velké kroupy potom hlásí Polsko i v 15:00 UTC. Velikost byla udána jako 3 cm v průměru. Pořízena byla fotodokumentace i videozáznam. Kroupy byly z čirého ledu. Následovalo hlášení kolem 15:30 UTC. Velikost krup byla zaznamenána 2 cm v průměru. Potvrzeny byly také videozáznamem.

Dále lze zmínit silný déšť na sousedním Slovensku kolem 18:10 UTC. Naměřeno bylo 22 mm srážek za půl hodiny.

Bohužel nebyly hlášeny žádné jevy z ČR.

Předpovědi CAPE z modelu ALADIN na 12:00 UTC ukazovaly vyšší hodnoty kolem 2700 J/kg na oblast Vysočiny a zvýšené hodnoty se dále táhly přes střední Čechy na sever. Další výrazné hodnoty přes 3500 J/kg se zobrazovaly v těsné blízkosti hranic ČR na severovýchodě, dále potom v Polsku severně od Slovenska. V 18:00 UTC už jsou oblasti vyšších hodnot CAPE více izolované. Na území ČR je maximum kolem 2500 J/kg ve východních Čechách. Několik oblastí s hodnotami přes 3000 J/kg se udržuje nad Polskem, na Slovensku je to potom v okolí města Prievidza.

Předpovědi srážek z modelu Aladin na 12:00 UTC naznačují významnější srážky na naší jihozápadní hranici a dále v okolí Benešova. Další srážky jsou předpovídány pro Bavorsko a severozápadně od ČR. Na 18:00 UTC zabírají srážkově významné předpovědi zejména západ, severozápad a sever Čech, dále Jeseníky, východní Čechy a Beskydy. V okolí je to zejména oblast, která od severu přiléhá k ČR, dále je to západně a severozápadně od ČR.

Podle půlnoční sondáže atmosféry je Faustův index 6,3 a teplota konvekce 27,2 °C.

Radarové odrazy ukazují už v 11:30 UTC silnou konvekci na jižní Moravě a v Krkonoších (červené odrazy). V okolí Poličky se už objevují bílá jádra. Ta se v 11:45 UTC objevují i ve zmiňované oblasti z Jižní Moravy. Další červené

odrazy se začínají tvořit v okolí Sedlčan a Havlíčkova Brodu. Celkově postupují odrazy směrem k severu. V okolí Poličky a Hlinska se znovu ukazují bílá jádra ve 12:00 UTC. Situace se opakuje také ve 12:15 UTC, navíc sílí intenzita odrazů u Velkého Meziříčí a Sedlčan. V dalších minutách (do 13:00 UTC) se objevují četné rudé oblasti v oblasti Vysočiny. Ve 13:45 UTC zaznamenáváme u Havlíčkova brodu další bílá jádra a ve 14:45 UTC a v 15:00 UTC se objevují také u Prostějova.

Podle samotné analýzy oblačnosti se už kolem 8:45 UTC objevuje v oblasti ČR poměrně silný updraft v oblačnosti. Teplota spodní základny oblačnosti je 6 °C s poloměrem částic 4 μm. Updraft je patrný až do výšek s teplotou -22 °C (*Tl*), kde se pomalu zmírňuje a částice začínají narůstat rychleji. Při této teplotě mají částice poloměr 9 μm. *Tg* v tomto případě ještě není dosaženo. V 9:00 UTC se už zřejmě začíná vytvářet oblast čistě tuhé fáze oblačných částic a to kolem teploty -35 °C při poloměru částic 33 μm. Rozdíl *Tl* a *Tg* činí 13 °C. V dalších sekvencích se *Tl* začíná zvolna přesouvat k -24 °C, to je ale doprovázeno nárůstem poloměru částic na 12–13 μm. V odpoledních hodinách se posouvá teplota spodní základny ke 3–4 °C a roste poloměr částic u spodní základny na 7–8 μm. *Tl* se pohybuje kolem -33 °C s částicemi o poloměru 18 μm a *Tg* činí -40 °C při poloměru částic 23 μm. Rozdíl *Tl* a *Tg* tedy postupně klesl na 7 °C.

Podle tvaru profilů *T-re* a jejich pozice vzhledem ke sledovaným hodnotám by se už od ranních hodin daly očekávat přinejmenším kroupy. V pozdějších termínech, kdy updrafty zasahují do výrazně vyšších hladin, by mohly nastat situace s vypadávání velkých krup, vyloučit by se nedala ani slabá tornáda.

Situace ze 4. května 2012

Situace byla analyzována v reálném čase.

Předpověď počasí pro Českou republiku na pátek 4. 5. 2012:

Situace: Nad střední Evropou se udržuje nevýrazné tlakové pole.

Počasí: V Čechách polojasno až oblačno, ojediněle přeháňky, k večeru ubývání oblačnosti. Na Moravě a ve Slezsku oblačno až zataženo s deštěm nebo přeháňkami, ojediněle bouřky, odpoledne od jihozápadu ustávání srážek a ubývání oblačnosti. Nejvyšší teploty 18 až 22 °C, v 1000 m na horách kolem 14 °C. Mírný západní vítr 2 až 6 m/s, v bouřkách přechodně zesílí.

Tlaková tendence: slabý pokles.

Ze záznamů ESWD se opět dozvídáme, že z ČR nikdo nehlásil žádné významné jevy počasí.

Bohatší záznamy přicházejí z oblasti Polska. Ve 14 hodin UTC je zaznamenán silný déšť, který zaplavil 30 hektarů obilí. Konkrétní intenzita ale zmíněna nebyla. Ve stejnou dobu je hlášen úder blesku. Ten měl za následek zranění dobytka, poškození staveb a elektrického vedení, způsobil také požár. O hodinu později v 15:00 UTC je zaznamenán další silný déšť, souvislost měl s kupovitou oblačností a způsobil lokální záplavy. V 15:40 už jsou hlášeny také kroupy. Průměr činil 2 cm a jednalo se o eliptický tvar krup z čistého ledu. V 17:30 UTC se ještě objevila bouřka se silným větrem, poškozeno bylo 6 střech. Všechna hlášení byla potvrzena.

Předpověď CAPE z modelu ALADIN na 06:00 UTC udává hodnoty do 1000 J/kg ve východní části republiky. Na 12:00 UTC se oblast zmenšuje a hodnoty zvolna klesají. V 18:00 UTC se v oblasti jižních Čech a středních Čech objevují hodnoty kolem 1600 J/kg. Pro Polsko se na 12:00 UTC objevují hodnoty až kolem 4000 J/kg a k 18:00 UTC zvolna klesají.

Podle předpovědi srážek z modelu ALADIN na 6:00 UTC by se daly silné srážky očekávat na pomezí Rakouska a Slovenska, Rakouska a Maďarska a severně od ČR. Na 12:00 UTC se ke zmiňovaným oblastem přidává také východ a severovýchod ČR. Pro 18:00 UTC se celá srážková oblast posouvá dál směrem k východu. Na jihu Čech se objevují další srážkové oblasti s menší intenzitou.

Podle sondáže atmosféry z Prahy-Libuše je Faustův index -2,1 a teplota konvekce 17,7 °C.

Podle radarových odrazů se jedná spíše o rozsáhlejší oblast deště. V 11:45 UTC se před touto oblastí objevuje jedno jádro kolem Orlických hor, spíše na polské straně.

Vlastní analýza z 6:45 UTC ukazuje teplotu spodní základny 2 °C s poloměrem částic kolem 8 μm. Silnější vzestupné proudy sahají přibližně do -24 °C (*Tl*) s poloměrem částic kolem 17 μm. Už v zóně koalescence se ale profil sklání doprava, tedy stoupavé proudy slábnou. *Tg* zaznamenáme při teplotě -35 °C s částicemi o poloměru 35 μm. Rozdíl sledovaných teplot *Tg* a *Tl* činí 11 °C, uvnitř oblaku je ale poměrně velký rozptyl velikosti částic. Celkově je analyzovaná oblast spíše severně od ČR. Postupně (7:15 UTC) se zmenšuje zóna koalescence a výrazně se zvětšuje oblast smíšené fáze. Spodní část má teplotu -14 °C s částicemi

o poloměru 8 μm, horní hranice sahá do -40 °C s částicemi 28 μm. Rozdíl sledovaných teplot se zvětšuje na 26 °C. V průběhu dne se i tato oblast postupně odshora zmenšuje.

Profil je celkově posunut výše a zobrazuje velký rozptyl částic, než tomu bylo v jiných silných konvekčních situacích. Podle zobrazených profilů by se už dalo usuzovat na výskyt krup. Silná konvekce s menším vertikálním rozsahem zde ale jistě probíhá.

Situace ze 7. května 2013

Hlášení ESWD uvádí, že ve 14:25 UTC se v Německu objevil nálevkovitý oblak. Oblak zaujímal polovinu vzdálenosti mezi spodní základnou okolních oblaků a zemí. Pořízena byla foto i videodokumentace. Ve 14:30 UTC přišel silný déšť, poničil obilí a způsobil lokální záplavy. Další silný déšť s lokálními záplavami přišel v 15:30 UTC. Podobná situace se opakuje i v 16:00 a 16:40 UTC. Poničena byla auta i další majetek. V 17 hodin UTC byly nahlášeny velké kroupy bez dalších doplňujících informací. Po 18:00 UTC se také objevil nálevkovitý oblak.

Polsko hlásí ve 14:30 UTC silný déšť. Ve 14:50 UTC přišel další silný déšť a způsobil lokální záplavy. Ve 14:50 UTC se také objevily až 3 cm velké kroupy a nárazy větru.

V 15:16 a 15:26 UTC jsou velké kroupy hlášeny také z Rakouska. Velikost dosahovala až 3 cm.

Poblíž Liberce v ČR byl v 15:50 UTC pozorován nálevkovitý oblak. Další informace nejsou známy. V jižních Čechách se kolem 16:00 UTC objevil silný déšť s úhrnem 39,4 mm za 2 hodiny, resp. 47,7 mm za 4 hodiny.

Radarové odrazy ukazují kolem 8:00 UTC spíše pásy deště (zelené) v severní části republiky. Na jihu se ale objevuje první kupovité jádro (oranžové). Odrazy postupují k severozápadu. Kolem 9. hodiny UTC se i ve středních Čechách objevují oranžová jádra. Prozatím se zvolna rozpadají. V 11:00 UTC se už objevují bouřky, konkrétně na severozápadě středních Čech i v Německu, na jihu rostou nová jádra. Ve 12:00 UTC už velká část západní poloviny Čech zaznamenává četné bouřky. Od jihu se další objevují na Moravě i Vysočině. Ve 14 hodin UTC přicházejí také do východních Čech. Jednotlivé bouřky se takto přesouvají přes republiku. Ve večerních hodinách je patrná slábnoucí bouřková aktivita.

Analýza je zaměřena na ČR a její nejbližší okolí. V 5:45 UTC je teplota spodní základny 8 °C při poloměru částic 6 μm. Horní hranice koalescenční zóny je v hladině -19 °C s poloměrem částic 12 μm. Oblast smíšené fáze stoupá k -40 °C při poloměru částic 33 μm. Nad touto oblastí již začíná čistě ledová fáze. Rozdíl *Tl* a *Tg* činí 21 °C a silnější updraft se dá předpokládat jen ve spodní části oblačnosti. V 7 hodin UTC se už horní hranice koalescenční zóny posouvá do hladiny -22 °C a částice tam nabývají poloměru 14 μm. Graf dále ubíhá téměř lineárně k teplotě -45 °C při poloměru 35 μm. V 8:30 UTC se posouvá spodní základna do 5 °C při poloměru 7–8 μm. Horní hranice koalescenční zóny už dosahuje -28 °C při 14 μm. Zde už lze uvažovat o silném updraftu, který by mohl přinést přinejmenším velké kroupy. Spodní část grafu je téměř lineární. V dalších časech updraft poněkud slábne, částice dosahují kolem -30 °C větších velikostí, konkrétně poloměru 18–20 μm. Zatím není zřejmě vyvinuta plně ledová fáze. Postupně se začíná část grafu nad -20 °C sklánět více doprava. Výstupné proudy nad touto hladinou začínají slábnout. K dalšímu oživení dochází po 13:00 UTC. To už teplota spodní základny dosahuje přibližně 6 °C a poloměr částic 11 μm. Koalescenční zóna ale sahá k -28 °C při poloměru 17 μm. Zřejmě zde registrujeme růst a rozpad jednotlivých buněk, který se odráží v proměnlivém tvaru zóny smíšené fáze. Po 14:00 UTC dostáváme čistě ledovou fázi se spodní hranicí kolem -46 °C a poloměrem 33 μm. Tato hranice se v grafu postupně ale spíše snižuje k -35 °C a poloměr částic se tam blíží 30 μm. *Tl* se stále pohybuje kolem -23 °C při poloměru 15 μm. Postupně se projevuje zapadající slunce.

Situace z 8. května 2013

Situace byla analyzována v reálném čase.

Předpověď počasí pro Českou republiku na 08. 05. 2013:

Situace: Nad střední Evropou se bude udržovat nevýrazné tlakové pole.

Počasí: Oblačno, přechodně až polojasno. Postupně místy přeháňky nebo bouřky, večer srážky již jen ojediněle. Nejvyšší teploty 20 až 24 °C, na severovýchodě až 26 °C, v 1000 m na horách kolem 17 °C. Mírný jihovýchodní až jižní vítr 2 až 6 m/s v bouřkách přechodně zesílí.

UPOZORNĚNÍ: V bouřkách se mohou ojediněle vyskytnout kroupy a přívalové srážky. Tlaková tendence: setrvalý stav.

Podle databáze ESWD se ve 13:00 UTC v Polsku objevily kroupy o průměru 3 cm. Jednalo se o kroupy s kroužky. Pořízen byl videozáznam i fotodokumentace. Totéž se opakovalo také ve 14:30 UTC. Kroupy byly doprovázeny silným deštěm, který zatopil několik sklepů. Toto hlášení přišlo kolem 15:00 UTC. Kroupy o průměru 2 cm jsou hlášeny také kolem 19:00 UTC.

Ve Slaném v ČR byl ve 13:50 UTC zaznamenán nálevkovitý oblak, respektive dva malé nálevkovité oblaky. Doba trvání úkazu byla 10 minut. V 15:00 UTC jsou dále hlášeny kroupy o průměru 0,5 cm a silný déšť. Napršelo 39 mm za 75 minut, vše se odehrálo během bouřky. V 16:00 UTC přišel další silný déšť v Moravskoslezském kraji. Vytopil několik sklepů, odplavil několik aut.

Předpovídané hodnoty CAPE z modelu ALADIN na 6:00 UTC udávají přibližně 600 J/kg na Vysočinu a do severních Čech. Na 12:00 UTC jsou nejvyšší hodnoty (2500 J/kg) počítány do severních Čech, odtud se k jihu táhne pás 2000 J/kg. Na ostatním území jsou hodnoty nižší. Vysoké hodnoty se také objevují v Polsku. Na 18:00 UTC překračují hodnoty 1500 J/kg v západních Čechách, v Německu a v Polsku.

Předpovídané srážkové úhrny z modelu ALADIN na 12:00 UTC jsou nejvyšší v severních Čechách, jižní polovině republiky, na západě a na severovýchodě. Pro 18:00 UTC k tomu přibývá také centrální část republiky.

Podle sondáže atmosféry z 12:00 UTC je Faustův index -4,1 a teplota konvekce 20,9 °C.

Radarové odrazy ukazují kolem 8:00 UTC spíše pásy deště (zelené) v severní části republiky. Na jihu se ale objevuje první kupovité jádro (oranžové), odrazy postupují k severozápadu. Kolem 9:00 UTC se i ve středních Čechách objevují oranžová jádra. Prozatím se zvolna rozpadají. V 11 hodin UTC se už objevují bouřky, konkrétně na severozápadě středních Čech i v Německu, na jihu rostou nová jádra. Ve 12:00 UTC už velká část západní poloviny Čech zaznamenává četné bouřky. Od jihu se další objevují na Moravě i Vysočině. Ve 14:00 UTC přicházejí také do východních Čech. Jednotlivé bouřky se takto přesouvají přes republiku. Ve večerních hodinách je patrná slábnoucí bouřková aktivita.

Analýza je zaměřena na ČR a její nejbližší okolí. V 5:45 UTC je teplota základny 8 °C při 5 μm. Koalescenční zóna sahá do -12 °C při 7 μm a graf tam končí. Kolem 8:30 UTC se objevují náznaky výše se rozvíjející konvekce, ale grafy zatím nelze využít. V 10 hodin UTC se spodní základna drží kolem 8 °C

při poloměru 8 μm. Horní hranice je kolem 11 °C při 11 μm. Kolem 11:00 UTC se už projevuje silnější updraft sahající do větších výšek. Teplota u základny činí 7 °C při 9 μm. Koalescenční zóna sahá do -15 °C při 10 μm. Dále graf ubíhá prudce doprava, částice rychle rostou do větších rozměrů. Ve 13:00 UTC bychom mohli najít ledovou fázi kolem -22 °C při 35 μm. Snímek z 15:30 UTC ukazuje téměř lineární graf od 0 °C při 7 μm do -40 °C při 22 μm. Takový profil připomíná tornádické bouře z USA, má však alespoň o 15 °C chladnější spodní základnu. Další snímek má podobný profil, ale výrazně se posouvá k menším hodnotám poloměru částic. Vzhledem k časovým údajům se nejspíš jedná o vliv zapadajícího slunce.

Situace z 9. května 2013

Situace byla analyzována v reálném čase.

Předpověď počasí pro Českou republiku na 09. 05. 2013:

Situace: Nad Německem se vlní studená fronta, která začne ovlivňovat počasí i u nás. Před ní k nám proudí teplý vzduch od jihu.

Počasí: Skoro jasno až polojasno. V Čechách od západu přibývání oblačnosti, místy přeháňky nebo bouřky. Na Moravě a ve Slezsku srážky jen ojediněle. Nejvyšší teploty 22 až 26 °C, na západě Čech kolem 20 °C. V 1000 m na horách kolem 18 °C, v Krušných horách kolem 15 °C. Mírný jižní až jihozápadní vítr 2 až 6 m/s se večer v Čechách bude měnit na západní a v bouřkách přechodně zesílí.

UPOZORNĚNÍ: V bouřkách se mohou ojediněle vyskytnout kroupy a přívalové srážky. Tlaková tendence: slabý pokles.

Databáze ESWD uvádí v 11:32 UTC nálevkovitý oblak pro Prahu. Totéž ve 12:50 UTC. Z Ústeckého kraje jsou hlášeny ve 14:45 velké kroupy. Průměr měly 2 cm a jednalo se o eliptické kroupy s kroužky. Další nálevkovitý oblak byl spatřen kolem 15:00 UTC ve středních Čechách a další také kolem 19:00 UTC.

V Německu se po 16. hodině UTC objevil silný déšť, nárazy větru a 2 cm velké kroupy.

Hodnoty CAPE z modelu ALADIN udávají na 6:00 UTC hodnoty do 1000 J/kg pro sever Čech a Vysočinu. Na 12:00 UTC se už objevují hodnoty přes 2200 J/kg pro oblast středních Čech, Krkonoše a Vysočinu. Hodnoty přes 2200 J/kg jsou i nad Polskem a Německem. Na 18:00 UTC zůstávají hodnoty přes 2000 J/kg pro jih, střed a východ Čech. Vysoké hodnoty zůstávají nad Polskem.

Předpověď srážek z modelu ALADIN na 12:00 UTC udává srážky kolem Krušných hor a ojediněle na jihu Čech. Na 18:00 UTC se táhne pruh srážek od Šumavy po Krkonoše.

Sondáž atmosféry z 6:00 UTC udává Faustův index -4,2 a teplotu konvekce 21,9 °C.

Radar zobrazuje v 7 hodin UTC jádro (oranžové) v severozápadních Čechách. Postupovalo k severovýchodu. Kolem 9:00 UTC naskakují další jádra na Šumavě a u Příbrami. Barevně dosahují až červené barvy. Některá jádra se po zeslábnutí slévají do větších oblastí. Postupně se objevují i poměrně četná jádra na Vysočině. Kolem 14 hodin UTC se u Loun objevuje dokonce bílá barva v radarových odrazech. K večeru se spíše objevují od Tábora po Krkonoše.

Z analýzy je patrný pruh oblačnosti táhnoucí se ve směru Krušných hor, zatím spíše nad Německem. V 6:15 UTC je oblačnost převážně tvořena velkými částicemi (nad 15 μm) ve vyšších výškách. Jedná se nejspíš o střední patro oblačnosti. Kolem 10:30 UTC začíná být patrná konvekce. Teplota spodní základny je 5 °C při 10 μm. Horní hranice zóny koalescence činí -17 °C s poloměrem částic 15 μm. Smíšená fáze dál ubíhá k -23 °C, kde činí poloměr částic 32 μm. Čistě ledová fáze se zatím ještě netvoří. Na grafech se dále nic významně nemění, celkově se asi o 4 °C posouvají výše. Před 16:00 UTC se trochu zostřuje updraft, spodní základna má 3 °C při 7 μm. Koalescenční zóna sahá k -20 °C při 10 μm. *Tg* činí -21 °C při poloměru částic 22 μm.

Situace z 12. června 2010

V sobotu 12. června 2010 jsou očekávány silné bouřky především na Moravě a ve Slezsku (případně v jižních a severovýchodních Čechách).

Po 15. hodině UTC jsou v okolí Olomouce a Tábora pozorovány mohutné oblaky Cb. Po 16. hodině UTC jsou na Šumpersku zaznamenány bouřky, místy i s přívalovými srážkami. Na Táborsku se pravděpodobně vytvořila supercela. Oblačnost vykazovala ve spodní části náznaky rotace a nejspíš se objevila i tromba.

Po 17. hodině UTC v jižních Čechách zaznamenali kroupy o průměru 3 cm a velmi silný déšť.

Podle ESWD byly na jižní Moravě hlášeny velmi silné nárazy větru kolem 18:30 UTC. Padající strom dokonce způsobil škody na majetku včetně plynového

vedení. Kolem 19:30 UTC je z okolí Přerova hlášen silný déšť, který mimo jiné vytopil několik sklepů. Vítr potom dále způsobil zranění několika lidem. Jeden člověk přišel o život. Kolem 20:00 UTC byl na Zlínsku zaznamenán také silný vítr, který poškodil střechy domů, některé úplně odnesl.

Kolem 18:30 UTC pozorovali silný vítr také v Rakousku. Ten zdvihal částice písku a prachu, zhoršoval tím dohlednost a dále byl doprovázen silným deštěm. Poškodil střechy a komíny. Po dalších 15 minutách byla naměřena rychlost větru 25 m/s a měla souvislost s postupující húlavou.

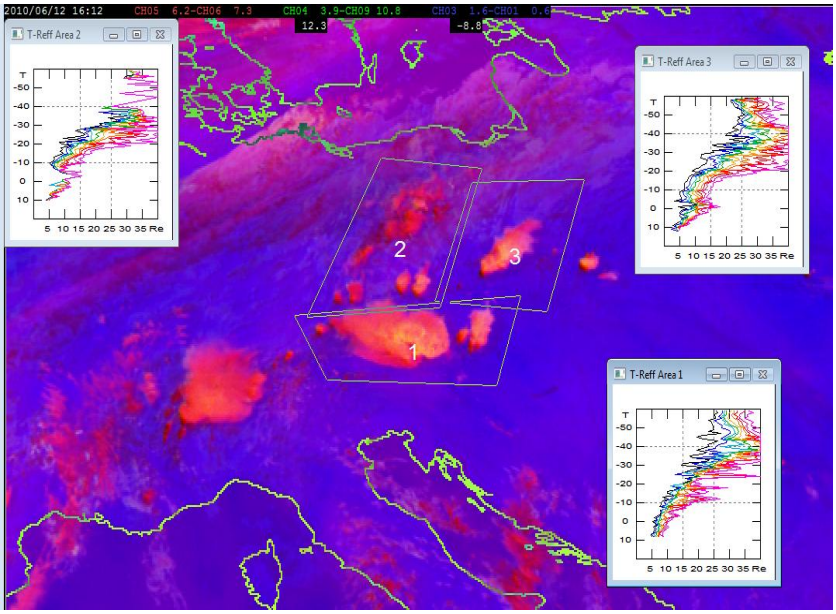
V Polsku kolem 18:40 UTC zaznamenali vypadávání krup. Jejich průměr byl až 10 cm. Kroupy byly hranaté a porézní. Kroupy byly svou velikostí přirovnávány k softbalovému míčku. Dále byly hlášeny kroupy o velikosti 4 cm, opět hranaté nebo zploštělé. Kolem 19:30 UTC se ještě objevovaly kroupy o velikosti 4 cm a kolem 20:30 UTC kroupy o velikosti 3 cm.

Kolem 19:00 UTC se na Slovensku objevily nárazy větru 26 m/s v souvislosti s konvekčními jevy. Vítr snižoval dohlednost vířením prachu a písku, postupně ho doprovázel slabý až mírný déšť.

Už ve 14:27 UTC se nad Rakouskem vyvíjí oblačnost se silným updraftem. Profil začíná při 9 °C a 6 μm, což je v dobré shodě s Rosenfeldem et. al. (2008) a dalšími autory (Rosenfeld a Lensky, 1998; Rosenfeld et. al. 2009). Koalescenční zóna sice končí už pří -8 °C a 8 μm, ale smíšená fáze stoupá celkem strmě dál až do -28 °C a 18 μm. Ve 14:57 UTC je už updraft ve spodní části silnější a zasahuje vertikálně mohutnější oblast. Rozsah je od -9 °C a 6 μm do -16 °C a 8 μm. Smíšená fáze potom sahá do -40 °C a 34 μm. V 15:12 UTC je už zóna koalescence rozšířena až do -33 °C a 22 μm. Rozdíl *Tl* a *Tg* je teď už jen 7 °C. Bouřková oblačnost se začíná odsouvat k východu až severovýchodu a podle profilů *T-re* updrafty slábnou. Profily ukazují větší částice, sklon profilů už není tak strmý. V oblasti se pak začínají rozvíjet nové mladší oblaky, které způsobují „regeneraci“ profilů, opět roste jejich strmost a zmenšuje se tedy poloměr oblačných částic. Tyto oblaky zasahují oblast jižních Čech. Teplota ve spodní části je 11 °C a poloměr klesá až na 3 μm. Zóna koalescence sahá k teplotě -30 °C při poloměru částic 16 μm. Tuhá fáze potom vychází z -37 °C a 32 μm. Rozdíl *Tg* a *Tl* je tedy 7 °C. Do 17:12 UTC se sice oblast koalescence ještě rozšiřuje výš, v dalších snímcích už ale v oblačnosti roste počet velkých částic.

Pro oblast Slovenska nejsou dlouho k dispozici kompaktní profily oblačnosti, velké části jich chybí. V 16:12 UTC je už ale možné určit počátek profilu na 12 °C a 3 µm. Oblast koalescence potom sahá do -26 °C a 17 µm. Zóna smíšené fáze je potom rozpoznatelná do hladiny -38 °C a 29 µm. Takový profil už odpovídá silnému updraftu. Až do 17:12 UTC jsou opět profily neúplné, v tomto termínu ale sahá silný updraft až k -40 °C při poloměru částic 15 µm. To naznačuje dokonce velmi silný updraft.

V Polsku je zpočátku patrná oblast koalescence od 0 °C a 7 µm. Sahá do -20 °C a 13 µm, odtud až do -33 °C a 38 µm sahá zóna smíšené fáze. Podle dalších snímků nenabírají updrafty nijak intenzivně na své síle.



Obr. 48: Analýza z 12. června 2010, 16:12 UTC

Profily na Obrázku 48 ukazují, že velká část oblačnosti obsahuje částice s menším poloměrem než 15 µm a to do výšky s teplotou -20 °C. Spodní část oblačnosti tedy zabírá silný updraft, za zmínku stojí hlavně profil Area 1, na kterém je patrný dlouhý téměř lineární růst grafu. Profily *T-re* na Obrázku 48 svými vlastnostmi velmi připomínají profily obdržené Rosenfeldem při výskytu bouří doprovázenými kroupami, které byly ukázány na Obrázku 42 a 43, tedy indikují vysokou pravděpodobnost výskytu silných doprovodných jevů v bouřích, potvrzují tak např. výskyt krup v jižních Čechách.

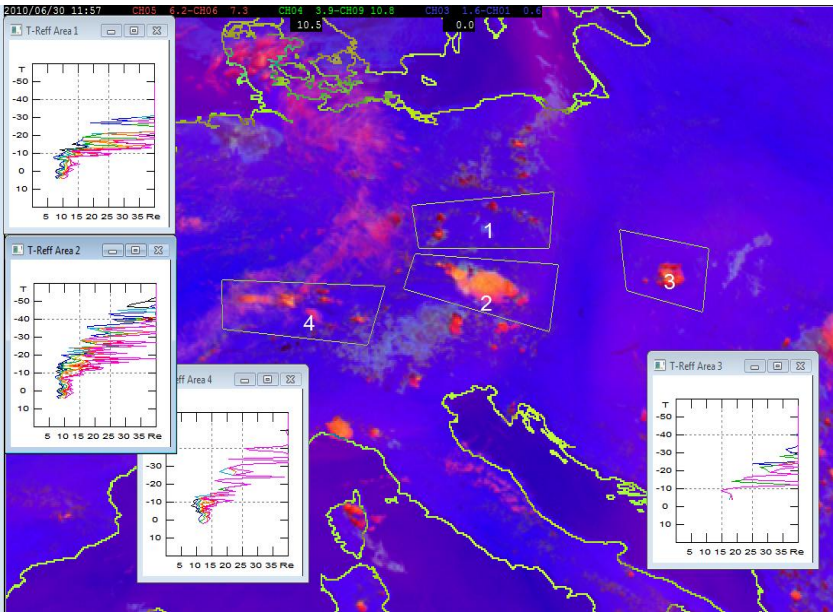
Situace z 30. června 2010

Střední Evropa byla pod vlivem oblasti nízkého tlaku, ve které postupovaly studené fronty směrem k jihovýchodu. Už od rána byla pozorována intenzivní konvekce, po poledni se objevily bouřky ve východních Čechách. Na Náchodsku se rozvinuly bouřky kolem 12 hodin UTC, na Liberecku zaznamenali po 11:30 UTC bouřku s krupkami o velikosti 0,2–0,5 cm, na Karlovarsku potom kroupy dosahovaly velikosti 1 cm, čas nebyl udán. Na Slovensku v okolí Rožňavy vypadávaly kroupy o velikosti 2 cm a po 15:00 UTC se v Německu objevily kroupy o velikosti 3 cm doprovázené nárazy větru.

V 10:12 UTC se v oblasti ČR a Rakouska objevuje konvekční oblačnost s profilem od 0 °C a 9 µm do -15 °C a 11 µm. Updraft postupně zasahuje i vyšší vrstvy, jedná se ale už o oblast smíšené fáze a profil se sklání doprava. Oblast koalescence se postupně rozšiřuje do výšky -18 °C a 12 µm. Ve 13:27 UTC od 5 °C do -18 °C poloměr částic v celé vrstvě činí 9 µm. Updrafty ještě zesilují po 15. hodině UTC, není ale hlášeno žádné význačné počasí.

Slovensko nelze spolehlivě analyzovat, profily nejsou kompaktní.

Nad Německem se objevuje oblačnost se silnými updrafty do hladiny -18 °C při poloměru částic 9 µm. Postupně (14:57 UTC) sahá spodní zóna do hladiny -25 °C při 15 µm.



Obr. 49: Analýza z 30. června 2010, 11:57 UTC

Z Obrázku 49 je jasně patrné, že některé získané profily nejsou zcela vhodné k analýze. Na Obrázku 49 se jedná zejména o profily oblastí označených Area 3 a Area 4, na zbývajících profilech (oblasti Area 1 a 2) je pak evidentně updraftem ovlivněna menší část oblaku, než tomu bylo u dvou předchozích situací. Větší část oblaku zaujímá oblast smíšené fáze a oblačné částice narůstají do větších velikostí už při nižších teplotách než na předešlých obrázcích, nicméně podle profilu Area 2 se dá výskyt bouří doprovázených kroupami předpokládat. Profil Area 1 pak mohl být využit k předpovědi krup na Liberecku.

Situace z 19. července 2007

Kolem 18. hodiny UTC byly v západních Čechách zaznamenány kroupy. Podle svědectví bouře doprovázená blesky lámala stromy a ničila elektrické vedení. Vlivem přívalových dešťů byly zatopeny sklepy v některých obcích. Na jižní Moravě naměřili toho dne tropických 35,2 °C. V Táboře byly kolem 18. hodiny UTC zaznamenány také velké kroupy, nicméně jejich průměr nebyl publikován.

V Německu byly v 15:00 UTC pozorovány kroupy o průměru kolem 3 cm. Podle hlášení se jednalo o čirý led. Padání krup bylo pozorováno po dobu asi 60 minut. Dále se objevil na dobu 15 minut silný déšť s úhrnem 34,3 mm. Podobně silný déšť byl zaznamenán i ve Švýcarsku.

Po 17:00 UTC byly kroupy pozorovány ve Francii (silná bouřka), Švýcarsku (průměr 2 cm) a Polsku. V 18:29 UTC byly ve Švýcarsku pozorovány kroupy dokonce o průměru 4,5 cm, padaly po dobu 3 minut a jednalo se o kroupy s kruhy uvnitř. Po 20. hodině UTC zaznamenali kroupy v Polsku (průměr 4,5 cm), Rakousku (4 cm) i Německu (2 cm).

Po 12:30 UTC se začalo tvořit jádro oblačnosti, ze které se postupně vyvinula bouře, která postupně přecházela ČR. Hned od počátku vykazuje profil *T-re* silný updraft v nízkých hladinách. Poloměr částic narůstá jen velmi pomalu od 5 do 13 μm při teplotách od 11 do -19 °C. Směrem do nižších teplot už velikost částic roste poměrně rychle. Už z tohoto profilu by se ale daly předpovídat silné doprovodné jevy bouře, přinejmenším výskyt krup. Postupem času je jasně patrné zesilování updraftu v oblačnosti, poloměr částic je téměř konstantní 6–7 μm a to od 9 do -19 °C. V dalších profilech (15:04 UTC) se posouvá horní hranice počátku smíšené fáze až do -25 °C při poloměru oblačných částic 8 μm. S dalším postupem času

(17:00 UTC) se již začíná ztrácet spodní část profilu a částice v zóně koalescence narůstají rychleji a to na 14 μm při -28 °C. V 18:09 UTC se profil vyplňuje velkými částicemi od 17 μm už od spodní části. Až do teploty -10 °C by se ještě dalo uvažovat o silnějších výstupných pohybech, postupně ale updrafty slábnou a velikost částic v oblačnosti dále narůstá.

Tento případ by mohl potvrzovat hypotézu, že *T-re* profily mohou indikovat nebezpečné doprovodné jevy bouří nebo jejich extrémní intenzitu několik (2) hodin dopředu. V době, ve které byly totiž v ČR pozorovány kroupy, nevykazují už profily nic závažného.

Nad Německem se už v dopoledních hodinách (8:00 UTC) vyskytovala oblačnost s velice zajímavým profilem. Tento profil naznačuje silné výstupné pohyby, podle kterých se dají předpokládat silné doprovodné jevy vznikajících bouří. Profil začíná na poloměru částic 7 μm při teplotě 8 °C. *Tl* je -30 °C při poloměru částic 12 μm. Zóna smíšené fáze tedy začíná při velice nízké teplotě. *Tg* je potom -32 °C, což představuje jen velmi malý rozdíl *Tl* a *Tg*. Takto malý rozdíl je podle prof. Rosenfelda dalším příznakem intenzivních projevů bouří, jak bylo již zmíněno dříve. Podle profilů z 8:29 UTC se zdá, jakoby se ztrácela jejich spodní část a teplota spodní základny se měnila až na teplotu -2 °C. Průběh profilu v oblasti koalescenčního růstu částic se sklání více doprava, zmenšuje nepatrně svoji intenzitu ve spodní části. Nadále je ale spodní část výrazně intenzivní vzhledem k výstupným pohybům, které zpomalují růst oblačných částic v dolní části oblačnosti. Teplota koalesčenční oblasti se pohybuje (9:30 UTC) od -2 do -28 °C a poloměr částic od 7 μm do 12–13 μm. Profil z 9:34 UTC naznačuje intenzivní projevy či výstupné pohyby. Je ale opět posunut do vyšších hladin a znovu začíná při větších velikostech oblačných částic. Při zkoumání profilů z dalších termínů ale znovu profily oblačnosti sahají až k 10 °C u základny oblačnosti. Změny počátků grafu by mohly mít souvislost s výběrem velikosti oblasti, která je analyzována pomocí *T-re* profilu. V 10:04 UTC se smíšená fáze začíná objevovat už od poloměru částic 10 μm. Teplota je v tomto bodě -28 °C. Profil vychází už z teploty 10 °C, takže oblast difúzního a koalescenčního růstu má rozsah 38 °C. To je vertikálně velice mohutná oblast intenzivního updraftu v oblačnosti. Oblačné částice v této oblasti narůstají jen o 3 μm. Tento profil tedy ve své spodní části možná i přesahuje intenzitou tornádické profily pozorované v USA. Rozdíl *Tl* a *Tg* potom činí 7 °C. Profil oblačnosti v dané oblasti si zachovává svou intenzitu přibližně do 11:30 UTC.

Potom začíná postupně klesat hladina, do které dosahuje silný updraft, a profil začíná snižovat svůj sklon.

Na pomezí Francie a Německa představuje rozbor oblačnosti v 10:34 UTC také silný updraft. Profil vychází ze 7 μm a 6 °C, smíšená fáze potom začíná v 10 μm a -22 °C. Ve 13:04 UTC dokonce vychází počátek profilu ze 6 μm a 10 °C. Je tedy patrné, že vlivem silného updraftu nestíhají oblačné částice vůbec narůstat do větších velikostí. K tomu dochází až nad izotermou -20 °C, kde pravděpodobně updraft slábne. *Tg* je v tomto případě -25 °C, tedy rozdíl *Tl* a *Tg* je opět relativně malý. Po 13:30 UTC se profil začíná sklánět doprava, výstupné pohyby tedy ztrácejí na intenzitě a oblačné částice dosahují rychleji větších rozměrů. Kolem 15. hodiny UTC ale pravděpodobně dochází opět k regeneraci konvekčních systémů a updrafty nabírají na intenzitě. Koalescenční zóna teď sahá od 7 μm a 10 °C až do 8 μm a -23 °C. Spodní část profilu je teď téměř kolmá, což svědčí o velmi prudkých updraftech od spodní základny oblaků. Tyto konvekční systémy vykazují silnou intenzitu až do 17:00 UTC. Potom se spektrum jejich částic posouvá směrem do větších velikostí poloměru částic (13 μm) a konvekce slábne.

Na jihu Německa se začínají kolem 13 hodin UTC rozvíjet další konvekční buňky. Při analýze ze 14:00 UTC připomínají profily oblačnost, která byla spojována s vypadáváním krup. *Tl* je -10 °C a *rl* činí 10 μm. V 15 hodin UTC profily zobrazují silně rozvinuté a intenzivní výstupné pohyby. Poloměr částic u základny činí 7 μm a teplota 10 °C, v počátku smíšené fáze potom 10 μm a -17 °C. V 16 hodin UTC už profil o málo zmírnil svůj sklon, rozsah koalescenčního růstu zůstal zachován. V následujících termínech se celá spodní část posouvá do větších rozměrů částic (10 μm). Horní hranice updraftu je patrná kolem -23 °C. Později dochází ještě k dalšímu posunutí profilů doprava a následně už ke slábnutí výstupných proudů. Profily postupně přestávají být význačné.

Při analýze této situace je velice zajímavé, že intenzivní doprovodné jevy bouří jsou hlášeny až v (relativně) pozdních hodinách. Profily jsou totiž celkem intenzivní už v dopoledních či poledních hodinách, kroupy ale byly hlášeny až v pozdním odpoledni. Profily je opět možné považovat za nástroj k určení intenzivních výstupných pohybů, následně je tedy možné uvažovat o význačných doprovodných jevech vznikajících bouří.

Situace z 1. července 2009

Podle hlášení ESWD se ve 14:25 UTC v Německu objevil silný déšť. Na letišti Schönefeld museli kvůli vodě na chvíli dokonce uzavřít dráhy. Zaplaveny byly i sklepy a ulice. Kolem 14:46 UTC jsou nahlášeny z Německa kroupy o průměru 2 cm. V Německu je dále hlášen déšť o intenzitě 68,2 mm za jednu hodinu, z další oblasti potom 35 mm za půl hodiny. Kolem 15:30 UTC se objevily další kroupy o velikosti 2 cm. Kolem 16. hodiny UTC je zaznamenán déšť s intenzitou 55,1 mm za hodinu. V 16:27 UTC byl spatřen nálevkovitý oblak. Zaujímal 40 % vzdálenosti mezi zemí a okolní spodní základnou oblačnosti. Pořízena byla videodokumentace i fotografie. I v dalších hodinách je hlášen velmi silný déšť, úhrny přesahovaly i 70 mm za hodinu.

Polsko hlásí kolem 17 hodin UTC kroupy o průměru 4 cm. Objevily se v bouřce se silnými nárazy větru.

Analýza začíná v 10:57 UTC a je zaměřena na pomezí ČR a Německa. Teplota spodní základny činí 8 °C při poloměru částic 11 μm. První zlom je patrný při -12 °C a 15 μm. Graf poté dále ubíhá do -24 °C při 38 μm. Koalescenční zóna stoupá do -22 °C s poloměrem částic 13 μm. *Tg* činí -40 °C a *rg* 38 μm. Grafy pro pomezí ČR a Německa se nadále velmi nemění. Postupně se spíše napřimuje křivka koalescenční oblasti a zvětšuje se tak rozdíl *Tl* a *Tg*. Podle tohoto profilu se dají předpokládat kroupy.

Situace z 15. srpna 2010

Nad Evropou se rozprostírala oblast nízkého tlaku vzduchu s frontálním systémem. Jak je patrné ze záznamů ESWD, konvekce byla ten den skutečně velmi silná.

Od 14:47 UTC je z Německa hlášen silný déšť a vyplavené sklepy. Podobné události se opakovaly i později. V Německu byl zaznamenán silný déšť také kolem 16:00 UTC. V německém Arendsee se kolem 17. a 18. hodiny UTC objevil silný déšť s úhrnem vždy 30 mm za 45 minut. Hlášeno bylo i několik dalších podobných událostí. Německý Neustelitz hlásil kolem 19:00 UTC také silný déšť. Vytopeny byly některé sklepy.

Praha zaznamenala velké kroupy 3–5 cm kolem 19. hodiny UTC. Pořízeny byly videozáznamy i fotografie. Tyto kroupy byly označeny jakou kusy ledu s kroužky uvnitř. Zcela jistě se jednalo o supercelu.

Ve 14:30 UTC je z Polska hlášen silný déšť v bouřce, poškodil 7 střech. V 16 hodin UTC je hlášen silný vítr a kroupy o velikosti 2 cm. Poškozeno bylo několik budov, stromy i elektrické vedení. V Polsku se objevil i silný vítr kolem 17:00 UTC. Porazil několik stromů, které zranily 3 lidi. Zřejmě podobná událost byla zaznamenána i kolem 17:30 UTC. V 18:00 UTC je z Polska hlášen další silný vítr. Vítr se objevil na pozadí bouřky a poničil střechu.

V Rakousku zaznamenali nálevkovitý oblak. K situaci došlo krátce po 16:00 UTC. Oblak zabíral desetinu vzdálenosti mezi spodní základnou oblačnosti a zemí.

Na Slovensku se objevoval silný vítr od 15 hodin UTC. Porazil několik stromů jen pár metrů před projíždějícím autobusem. V 15:00 UTC také zaznamenali velké kroupy. Jejich velikost byla 2 cm. Nebyla ale udána informace o případných škodách.

Silnou konvekci potvrzuje i analýza družicových snímků pomocí *T-re* profilů. Nad Rakouskem se kolem 15:12 UTC pohybuje spodní základna oblačnosti kolem hladiny s teplotou 5 °C a poloměr částic činí 6 μm. Spodní koalescenční zóna sahá přibližně do výšky s teplotou -10 °C a poloměr částic zde činí 10 μm. Graf dále ubíhá vpravo, zatím neindikuje nic významného. V další půlhodině se ale poloměr částic u základny oblaku začíná zmenšovat na 4–5 μm a koalescenční zóna se rozšiřuje a v grafu se napřimuje. Sahá už do -13 °C s poloměrem částic 12 μm. V dalších krocích se intenzita konvekce odhadovaná podle grafů dále zostřuje, zároveň se ale začíná projevovat pokles slunce k obzoru a *T-re* profily přestávají být využitelné. Silnější projevy konvekce jsou také patrné z grafu v 15:12 UTC nad severní Itálií, odtud ale nebylo žádné nebezpečné počasí hlášeno.

3.2.3. Situace s výskytem silného deště

Situace z 31. května 2011

Hlášení ESWD uvádí silný déšť z Německa a Rakouska, vše po 20:00 UTC. Kolem 21:00 UTC zmiňuje silný déšť také hlášení z České republiky.

Analýza samotná začíná kolem 8:30 UTC. Nad naším územím je prozatím jasno, ale nad západní Evropou je patrný pás frontální oblačnosti. Před frontou se začíná tvořit kupovitá oblačnost v okolí naší západní hranice. Profil ještě není zcela konzistentní, nicméně odhadovaná spodní základna oblačnosti leží v hladině teploty 0 °C s poloměrem částic 8 μm. Spodní lineární zóna končí kolem -20 °C při 16 μm. Postupně poloměr částic u základny přesahuje 10 μm. Ze samotných snímků jsou patrné Cb, ale profily nedávají souvislé průběhy. Po 13:00 UTC evidentně dochází k zostření updraftů, velikosti poloměru kolem 12 μm je dosahováno už kolem -20 °C. Evidentně se také objevuje čistě ledová fáze ve vrcholcích oblačnosti. Částice ve spodní základně se vrací k poloměru 7 μm v hladině teploty 2 °C. *Tg* činí -34 °C a *rg* 35 μm. V pozdějších hodinách se profily rozpadají.

3.2.4. Situace s výskytem nálevkovitého oblaku

Situace z 24. června 2013

Situace byla analyzována v reálném čase.

Předpověď počasí pro ČR na 24. 6. 2013:

Situace: Frontální rozhraní bude zvolna ustupovat ze střední nad východní Evropu a k nám začne proudit od severozápadu chladný a vlhký vzduch.

Počasí: Zataženo až oblačno, zpočátku místy, postupně od jihozápadu na většině území déšť nebo přeháňky, místy i vydatné srážky. Na východě ojediněle i bouřky. Nejvyšší teploty 14 až 18 °C, na východě až 21 °C, v 1000 m na horách kolem 11 °C, v Jeseníkách a Beskydech kolem 16 °C. V Čechách slabý západní vítr 1 až 4 m/s, na Moravě a ve Slezsku mírný severozápadní až severní 3 až 7 m/s, místy s nárazy kolem 15 m/s.

Tlaková tendence: setrvalý stav.

Podle databáze ESWD byl na Slovensku po 16:00 UTC pozorován silný vítr přes 28 m/s, který polámal stromy. Další se objevil i po 18. hodině UTC a poškodil elektrická zařízení a vedení. Po 19:00 UTC byl zaznamenán srážkový úhrn i přes 50 mm/h a způsobil lokální povodně.

V Polsku zaznamenali nálevkový oblak v 16:30 UTC, zaujímal 35 % vertikální vzdálenosti mezi spodní základnou okolní oblačnosti a zemí. Po 21:00 UTC také zaznamenali silný déšť. To je ale mimo čas použitelnosti snímků.

Předpověď CAPE z modelu ALADIN udává na 12:00 UTC zvýšené hodnoty (500 J/kg) na naší hranici se Slovenskem. V 18:00 UTC jsou hodnoty již na menší oblasti a celkově slábnou.

Předpověď srážek z modelu ALADIN udává na 6:00 UTC nejvýznamnější srážky do oblasti Novohradských hor a na severovýchodní část republiky, nejsilnější na horách. Na 12:00 UTC se již oblast srážek rozšiřuje na většinu našeho území, nejsilnější úhrny zůstávají na horách (včetně Vysočiny) a v jejich okolí. V 18:00 UTC přibývají další srážky hlavně na západě Čech.

Podle sondáže atmosféry z Prahy-Libuše v 6 hodin UTC je Faustův index -7 a teplota konvekce 17,2 °C.

Podle vlastní analýzy se teplota spodní základny pohybovala kolem -2 °C při poloměru částic 7 μm. Graf se láme kolem -25 °C při poloměru 13 μm. Spodní lineární část tedy zabírá rozsah 22 °C, vše při záporných teplotách. Graf dále ubíhá k -35 °C při poloměru 35 μm.

Situace z 19. července 2013

Podle databáze ESWD byl po 14. hodině UTC hlášen silný vítr v oblasti Rakouska. Podobná situace byla i po 16:00 UTC.

U Pasova v Německu byl sledován nálevkovitý oblak po 14:30 UTC. Sahal od spodní základny do 30 % vzdálenosti směrem k zemi. Doba trvání byla 5 minut.

Analýza ukazuje pozvolnou tvorbu kupovité oblačnosti. Před 13:00 UTC ještě nedosahuje výraznějšího rozsahu. Spodní základna má teplotu 8 °C a poloměr částic 9 μm. Profil narůstá do hladiny -4 °C s poloměrem 12 μm. Spodní základna se postupně zvedá k -4 °C a poloměr částic klesá na 7 μm. Koalescenční zóna sahá k -12 °C s poloměrem částic 12 μm.

Z družice jsou patrná jednotlivá jádra kupovité oblačnosti kolem ČR.

Situace z 9. srpna 2011

Podle databáze ESWD byl v Říčanech u Prahy pozorován v 19:15 UTC nálevkovitý oblak. Délkou zaujímal 35 % vzdálenosti mezi ostatními oblaky a povrchem země. Byla také pozorována rotace oblačného systému (http://www.tornadaaboure.wz.cz/tornado.jpg, 2011; http://www.tornadaaboure.wz.cz/Storm03.jpg, 2011).

Zdá se, že už kolem poledne v 9:42 UTC se rozvíjí konvekce se silnými stoupavými proudy. Oblačnost ale zatím neroste příliš do výšky. Teplota částic u základny oblaků je 2 °C při poloměru částic 10 μm. Objevuje se nejspíš jen koalescenční zóna, *Tl* činí -20 °C při stále stejné velikosti částic. Od 10:27 UTC se objevují ve vrcholcích oblaků ledové částice, tvar profilů se ale významně nemění. Po 12. hodině UTC roste teplota spodní základny k 5 °C. Spodní část grafu zůstává po celou dobu velmi strmá, což odhaluje velmi silné stoupavé proudy, které ale sahají jen do hladiny o teplotě -20 °C. Ve 13:12 UTC dochází k rozšíření spodní zóny do hladiny kolem -24 °C a poloměr částic tam činí 13 μm. Konvekce tedy nabírá na síle a oblaky mají vyšší horní hranici. Po 15:00 UTC se již projevuje pokles slunce k obzoru.

3.2.5. Situace bez výskytu nebezpečného doprovodného jevu

Situací bez nebezpečného doprovodného jevu bylo analyzováno celkem 17, uvádím zde ale pouze popis 4 z nich. Ty jsou také zmíněny v Tabulkách 2 a 3. U ostatních situací, kdy se objevily bouřky bez nebezpečných doprovodných jevů, jsou sledované hodnoty velmi podobné, nebo dokonce stejné, jakou u 4 zde popisovaných situací. Nejsou zde proto podrobně popsány. Odečtené hodnoty sledovaných veličin (*Tl*, *Tg* atd.) při situacích s bouřkou bez nebezpečných doprovodných jevů by se daly považovat za práh hodnot pro přechod do stavu s nebezpečnými jevy, tedy jako hranice hodnot těchto veličin. Tyto situace jsou totiž z hlediska konvekce stále význačné. Další analyzované situace bez nebezpečných jevů, zejména ty, kdy se ani bouřky nevyskytly a šlo spíše o přeháňky, byly také analyzovány, ale hodnoty veličin při těchto situacích nemohou být do statistických výpočtů vůbec zahrnuty. Data z těchto situací totiž posouvají statistické hodnoty mnohem více do oblasti situací bez nebezpečných jevů a vzdalují je tak od těch výše

zmíněných prahových (přechodových) hodnot, které jsem chtěl v průběhu práce najít. Zvýšily by také směrodatnou odchylku vypočítávaných hodnot a mohou tak vyvolávat falešné alarmy při praktickém využití metody *T-re* k nowcastingu. Tyto „bezpečné“ situace vykazují jen menší vertikální rozsah oblačnosti a oblačné částice při nich rychle rostou do větších rozměrů v menších výškách než v situacích, které zde budou dále zmíněny.

Situace z 23. dubna 2013

V databázi ESWD se pro tento den neobjevují žádné záznamy. Podle pozorování meteorologických stanice se na severovýchodě republiky vyskytovaly bouřky. Nad střední Evropou se pohybovala tlaková níže, od jihozápadu se nasouval výběžek vyššího tlaku vzduchu.

Už v ranních hodinách (6:45 UTC) je patrný silnější updraft zejména ve spodní části oblačnosti. Teplota spodní základny se pohybuje kolem 3 °C s poloměrem částic 6 μm. Koalescenční zóna zasahuje až k -27 °C při poloměru 12 μm. Výše je graf nesouvislý. Později (9:15 UTC) se vršek koalescenční zóny sklání k -27 °C s poloměrem částic 22 μm. Spodní základna se zároveň přesunula k -8 °C při 7 μm. Poloměru částic 15 μm je dosaženo při -20 °C. Grafy mají poměrně lineární, přitom dosti skloněný průběh. Ten plynule přechází až k -40 °C při 25 μm. Kolem 11:45 UTC dochází k viditelnému zostření updraftu v oblačnosti. Spodní základna indikuje 3 °C a 7 μm. Ke zlomu dochází při -13 °C a 8μm. Graf dále ubíhá k -16 °C a 17 μm. Dál zvolna stoupá výš. Postupně se opět ochlazuje spodní základna. Poloměr částic 15 μm se ale stále drží na -20 °C. Ve 14:30 dostáváme profil s téměř lineárním průběhem od 3 °C při 7 μm až do -20 °C a 16 μm, další část pokračuje do -40 °C při 28 μm. V 15:30 UTC je už průběh od 0 °C s 8 μm do -26 °C při 15 μm. Pokračuje dále do -38 °C při 23 μm. V podstatě nebyla zaznamenána tvorba čistě ledové fáze a nejdelší lineární část grafu představovala rozdíl teploty 27 °C.

Situace z 12. května 2013

Na Moravě se objevoval občasný déšť, od západu přecházely pásy přeháněk. V nich se místy objevovaly TCu (towering cumulus – cumulus congestus) a Cb,

ojediněle také bouřka. Databáze ESWD neuvádí žádné silné doprovodné jevy konvekčních bouří.

V 6:20 UTC spodní základna vykazuje teplotu -2 °C a poloměr částic 8 μm. Spodní část grafu stoupá k -20 °C s 10 μm. Graf dále ubíhá volně doprava k -25 °C a 28 μm. Updraft tedy nezasahuje do velkých výšek a spodní základna je celkem chladná. Po 8:00 UTC se tvoří ledová fáze při -25 °C a 30 μm. Kolem 9:30 UTC se přidává updraft i ve vyšších patrech oblačnosti od -15 °C do -28 °C, vše při velikostech částic nad 15 μm. V 11:00 UTC dostáváme profil s teplotou základny 1 °C při poloměru částic 9 μm. Koalescenční zóna sahá k -18 °C při 16 μm. Smíšená fáze se dále sklání k -28 °C při 35 μm. Kolem 11:45 UTC se hranice koalescenční zóny zvedá až k -22 °C s poloměrem částic 15 μm. Velikosti 35 μm je dosaženo při -32 °C. Po 12:30 UTC je už *Tl* -25 °C a poloměr částic 14 μm. Updraft tedy zesiluje. Během odpoledne se v této hladině poloměr částic dále snižuje ke 13 μm. Po 15. hodině UTC se už celkově snižuje rozsah oblasti koalescence. Updraft slábne a i podle družicových snímků je patrný rozpad oblačnosti. Rozsah koalescenční zóny činí tedy 25 °C při velikostech poloměru částic do 15 μm.

Situace ze 7. června 2013

Předpověď počasí pro Českou republiku na 07. 06. 2013:

Situace: Nad střední Evropou se bude udržovat nevýrazné tlakové pole.

Počasí: Polojasno až oblačno, na severovýchodě zpočátku až zataženo. Během dne postupně místy přeháňky nebo bouřky. Večer ustávání srážek. Nejvyšší teploty 20 až 24 °C, v 1000 m na horách kolem 16 °C. Slabý severní až severovýchodní vítr 1 až 4 m/s, v bouřkách přechodně zesílí.

UPOZORNĚNÍ: V bouřkách se ojediněle vyskytnou intenzivní srážky.

Tlaková tendence: setrvalý stav, postupně slabý pokles.

Databáze ESWD pro tento den ve střední Evropě neudává žádné silné doprovodné jevy bouří.

Předpověď CAPE z modelu ALADIN na 6:00 UTC udává do oblasti ČR hodnoty kolem 200 J/kg. Na 12:00 UTC se už nad naší republikou objevují hodnoty přes 1700 J/kg. Vyšší hodnoty má také Polsko, Slovensko a Německo. V 18:00 UTC mají hodnoty přes 2200 J/kg prakticky všechny okolní státy včetně ČR.

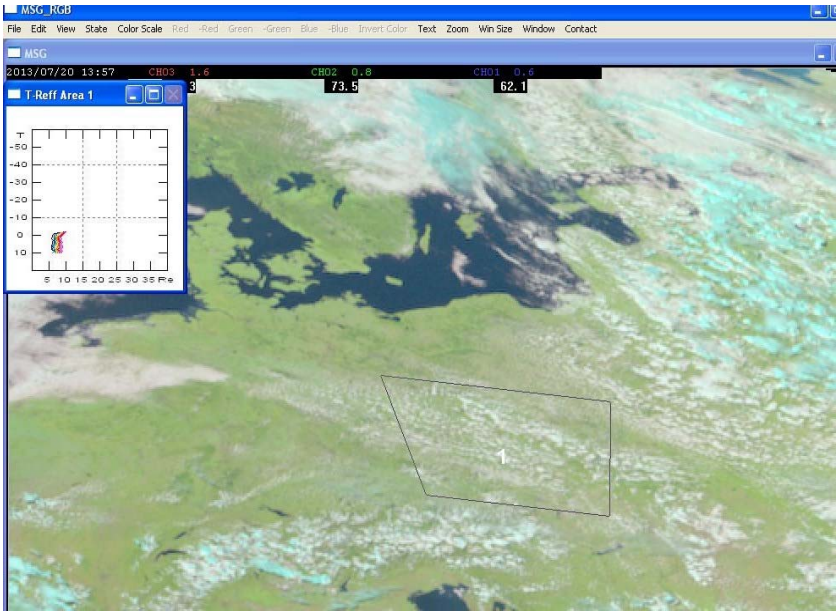
Předpověď srážek z modelu ALADIN na 6:00 UTC udává do oblasti severovýchodu ČR slabší přeháňky. Ve 12:00 UTC se už objevují na většině hor a částečně také uvnitř republiky a kolem ní. Pro 18:00 UTC se objevují četné přeháňky na našem území i v jeho okolí.

Radarové odrazy ukazují už v 10:15 UTC v okolí Liberce přeháňky. Srážky se posouvají k jihozápadu, sílí a zvětšuje se jejich oblast. Postupně se objevují i v dalších oblastech.

Analýza z 6:15 UTC ukazuje poměrně silný updraft, jedná se ale pouze o oblačnost s malým vertikálním rozsahem. Spodní základna je v hladině teploty 5 °C a poloměr částic tam činí 9 μm. Kolem -17 °C při 10 μm se profil láme a pokračuje do -20 °C s 18 μm. V 9:40 UTC se objevuje zpětné prohnutí profilu doleva. Teploty se pohybují od 15 °C do -22 °C a poloměr částic od 15 μm přes 10 μm po 12 μm. Více typické profily se objevují po 12:45 UTC. Spodní základna má teplotu 4 °C a poloměr částic 8 μm, koalescenční zóna sahá s různými intenzitami updraftu do -13 °C s 15 μm. Potom se prohnutě sklání doprava. Kolem 14 hodin UTC je poloměru 15 μm dosaženo při -18 °C.

Situace z 20. července 2013

V dopoledních hodinách (9:27 UTC) se ve střední Evropě objevuje slabá konvekce. Spodní základna je v hladině teploty 9 °C a poloměr částic činí 8 μm. Horní hranice se nachází kolem -9 °C při poloměru 11 μm. Po 13:00 UTC se horní hranice zvedá k -11 °C při poloměru kolem 13 μm (Obr. 50).



Obr. 50: Analýza z 20. července 2013, 13:57 UTC

Odlišného barevného schématu (Denní přirozené barvy) je zde (Obr. 50) záměrně užito proto, že ve snímku typu Konvekční bouře není ještě nic zobrazeno vzhledem k malému vertikálnímu rozsahu oblačnosti. Vegetace je zde zobrazena zeleně, vodní oblaky s malými částicemi bíle, sníh a ledové oblaky tyrkysově, holý povrch země hnědě a oceány tmavě modře až černě.

4. Výsledky

Analyzováno bylo celkem 52 situací se silnou konvekcí v prostoru střední Evropy a blízkém okolí. 33 z nich bylo spojeno s nebezpečnými doprovodnými jevy. 11 situací z celkového počtu bylo analyzováno v reálném čase s tvorbou vlastní předpovědi, resp. vydáním výstrahy. Z celkového počtu situací mělo 24 zaznamenán výskyt nebezpečného doprovodného jevu na území ČR. 17 situací z celkového počtu, které se vyskytly nad území ČR, byly bez nebezpečného doprovodného jevu. Jak bylo již zmiňováno dříve, analyzováno bylo z výzkumných důvodů ve skutečnosti více situací (přibližně dalších 20), jejichž zařazení ale neodpovídalo zvoleným kritériím této práce a nebyly proto uvažovány v dalším statistickém zpracování.

Příslušné hodnoty sledovaných veličin u vybraných situací jsou uvedeny v Tabulce 2. Hodnoty veličin byly získány z numerického výpisu v programu MSG_RGB, lze je ale také jednoduše odečíst ze získaných grafů *T-re*, což je v praktickém využití v reálném čase mnohem rychlejší. Situace jsou v Tabulce 2 řazeny podle typů nebezpečných jevů a v každé kategorii následně chronologicky podle měsíce jejich výskytu. *Tl* a *Tg* v grafu ve skutečnosti představují zlomové hodnoty na křivce 15. percentilu, tedy vertikální souřadnici těchto zlomových oblastí, jež jsou v grafech *T-re* poměrně dobře odhalitelné. Během výzkumu vyšlo najevo, že je velmi důležité posuzovat každý profil jako celek se všemi jeho vlastnostmi, abychom byli schopni vydat relevantní předpověď intenzity vznikající bouře. Jakákoliv samostatně zmíněná hodnota některé veličiny (např. *Tl* nebo *Tg*) bez znalosti dalšího průběhu nebo vzhledu profilu oblačnosti nemůže podat kompletní informaci o struktuře a intenzitě vznikající bouře pro tvorbu předpovědi. Taková samostatná hodnota některé veličiny může ale představovat počáteční impulz k odlišení běžné a nebezpečné meteorologické situace. Jak bude patrné dále, může přispět také k odlišení některých konkrétních případů nebezpečných doprovodných jevů bouří.

DATUM	MĚSÍC	ZEMĚ	JEV	DALŠÍ JEV	INTENZITA / POPIS JEVU	ČAS HLÁŠENÍ (UTC)	PŘEDPOVĚĎ NEBEZPEČNÉHO JEVU (UTC)	*re* (µm)	*re základny* (µm)	*re vrcholu* (µm)	*Tl* (°C)	*Tg* (°C)	*T14µm* (°C)
23. května 2005	5	PL	TOR	GR		1800	1300	6-38	6	38	-28	-38	-28
16. května 2006	5	FR	TOR	GR	3 cm	1337	1212	4-38	4	38	-15	-33	-15
26. května 2007	5	D	TOR	GR	F1T3 - 11 km x 200 m, 3 cm	1550	1212	6-33	6	33	-35	-48	-35
25. června 2006	6	D	TOR	GR	F1T3 - 3 km x 300 m, 3 cm	1630	1242	7-28	7	28	-28	-42	-28
21. června 2011	6	CZE	TOR		F1T3 - 9km	1509	1342 (GR)	9-40	7	40	-20	-38	-15
23. července 2010	7	FR	TOR		0,5 km x 30 m, 5 cm	1600	1112	7-40	7	40	-25	-30	-30
23. července 2010	7	IT	TOR	GR	7 cm	1630	1042	6-40	6	40	-20	-30	-25
29. července 2013	7	CZE	TOR	RA	F1T3, 50 mm/h	po 2000	1157	6-36	6	36	-30	-40	-20
20. dubna 2012	4	CZE	GR		2 cm	1230	1230	6-33	6	33	-22	-30	-22
22. května 2010	5	CZE	GR		0.5 mm	1100-1500	0757	8-40	8	40	-12	-32	-17
27. května 2010	5	CZE	GR	FC	3,5 cm, 50 %	1730	1342	7-40	7	40	-24	-31	-27
10. května 2011	5	D	GR	+RA		1935	1457	5-29	5	29	-32	-40	-28
20. května 2011	5	D	GR	+RA	60 mm/h, 2 cm	1400-1700	1227	7-38	7	38	-27	-35	-20
20. května 2011	5	PL	GR	+RA	2,5 cm	1400-1800	1227	7-38	7	38	-27	-35	-20
2. května 2012	5	D	GR		2,5 cm	1800	1142	5-32	5	32	-30	-38	-22
3. května 2012	5	PL	GR		2-3 cm	po 1100	0845	6-28	6	28	-28	-40	-28
4. května 2012	5	PL	GR	FC	2 cm	po 1400	0715	6-38	6	38	-20	-32	-25
7. května 2013	5	PL	GR	FC	3,5 cm, 50 %	po 1400	0715	7-32	7	32	-25	-38	-29
8. května 2013	5	CZE	GR	FC	3 cm, 33 mm/h	1350	1100	4-32	5	32	-36	-38	-28
9. května 2013	5	PL	GR		3 cm	po 1500	0630	7-20	7	20	-15	-38	-20
12. června 2010	6	PL	GR		3-10 cm	1840	1427	6-35	6	35	-29	-35	-29
30. června 2010	6	CZE	GR		0,2-1 cm	1330	1142	4-30	5	30	-25	-31	-27
30. června 2010	6	D	GR		3 cm	1500	1257	6-33	6	33	-15	-41	-25
30. června 2010	6	SVK	GR		2 cm		1257	5-33	5	33	-12	-36	-17
19. července 2007	7	D	GR	+RA	3 cm	1500	0804	7-32	7	32	-20	-38	-27
19. července 2007	7	CZE	GR			1800	1339	7-33	7	33	-25	-38	-27
19. července 2007	7	PL	GR			2000	1204	7-33	7	33	-25	-38	-27
1. července 2009	7	D	GR	FC	4 cm, 40 %	1627	1242	11-38	11	38	-12	-24	-12
15. srpna 2010	8	CZE	GR		3-5 cm	1900	0927	6-35	6	35	-18	-38	-20
31. května 2011	5	CZE+A+D	+RA			po 2000	1442	6-33	7	33	-20	-33	-22
24 června 2013	6	PL	FC		35 %	1630		7-35	7	35	-25	-35	-25
19. července 2013	7	A	FC		30 %	1400-1600		7-12	7	35	-12	-30	-15
9. srpna 2011	8	CZE	FC		35 %	po 1900		8-40	8	40	-22		-22

Situace bez nebezpečného jevu

23. dubna 2013	4	CZE						8-30	8	30	-20	-30	-25
12. května 2013	5	CZE						9-40	9	40	-22		-24
7. června 2013	6	CZE						10-40	10	40	-18	-31	-18
20. července 2013	7	CZE						8-18	8	28	-10		-12

CZE - Česká republika
A - Rakousko
PL - Polsko
D - Německo
SVK - Slovensko
FR - Francie
IT - Itálie

TOR - tornádo
GR - kroupy
+RA - silný déšť
FC - nálevkovitý oblak

Tab. 2: Situace s nebezpečnými jevy i situace bez nebezpečných jevů, hodnoty *re* (µm), *re základny* (µm), *re vrcholu* (µm), *Tl* (°C), *Tg* (°C) a *T14µm* (°C)

Nebezpečné jevy v Tabulce 2 jsou členěny následovně:

TOR – tornádo (1)

GR – kroupy (2)

+RA – silný déšť (3)

FC – nálevkovitý oblak (4)

Situace bez nebezpečného jevu (5)

Jevy počasí v pořadí tornádo (1), kroupy (2), silný déšť (3), nálevkovitý oblak (4) a situace bez nebezpečného jevu (5) jsou očíslovány podle nebezpečnosti daného jevu, jak uvádí kapitola 3.1.4. U každého jevu je také zmíněna doplňující informace (intenzita, velikost krup atp.), pokud byla na stránkách ESWD zmíněna. Dále jsou uvedeny informace o čase a místu výskytu, v případě analýzy prováděné v reálném čase také čas předpovědi očekávaného nebezpečného jevu. Analyzované veličiny podle *T-re* profilů oblačnosti v Tabulce 2 jsou:

re (μm) – efektivní poloměr částic od základny k vrcholu oblačnosti.

re základny (μm) – efektivní poloměr částic u spodní základny oblačnosti.

re top (μm) – efektivní poloměr částic u vrcholu oblačnosti.

Tl (°C) – teplota horní hranice spodní lineární části grafu *T-re*, obvykle představuje horní hranici vrstvy, ve které rostou oblačné částice převážně difúzně a koalescenčně.

Tg (°C) – teplota hladiny, nad kterou se objevují pouze ledové částice, jedná se tedy o horní hranici smíšené fáze vody v oblačnosti.

T14μm (°C) – teplota hladiny, kde oblačné částice dosahují poloměru 14 μm, ten je udáván jako práh vzniku srážkových částic zjistitelných meteorologickým radarem.

Poloměr částic v oblasti spodní základny oblačnosti dává informaci o počátku vývoje oblačnosti. Čím menší tento poloměr je, tím intenzivnější nebezpečný jev se obvykle vyvíjí. Je ale nutné přihlédnout k dalším sledovaným veličinám (např. *Tl* a *Tg*), což potvrzuje Tabulka 3.

Poloměr částic u vrcholků oblačnosti naopak představuje informaci o velikosti částic v nejvyšším bodě oblačnosti. Pomáhá odhalit intenzitu updraftu dosahujícího vrcholků oblačnosti. Menší částice ve vrcholcích oblačnosti většinou

indikují silnější updrafty převládající v oblačných buňkách, větší částice pak indikují spíše slabší nebo slábnoucí stoupavé proudy v oblačnosti.

JEV	STATISTICKÁ VELIČINA	*re základny* (µm)	*re vrcholu* (µm)	*Tl* (°C)	*Tg* (°C)	*T14µm* (°C)	*Tl-Tg* (°C)
TOR	**PRŮMĚR + SO**	6.1 ± 0.9	36.6 ± 4	-25.1 ± 6.1	-37.4 ± 5.8	-24.5 ± 6.8	12.3 ± 4.1
TOR	**MEDIÁN**	6	38	-26.5	-38	-26.5	11.5
TOR	**MODUS**	6	40	-28	-38	-28	10
TOR	**10. PERCENTIL**	5.4	31.5	-31.5	-43.8	-31.5	8.5
TOR	**90. PERCENTIL**	7	40	-18.5	-30	-15	18
GR	**PRŮMĚR + SO**	6.5 ± 1.3	33.4 ± 4.5	-22.8 ± 6.7	-35.5 ± 4.1	-23.7 ± 4.7	12.7 ± 6.5
GR	**MEDIÁN**	6	33	-25	-38	-25	12
GR	**MODUS**	7	33	-25	-38	-27	8
GR	**10. PERCENTIL**	5	29	-30	-40	-28	6
GR	**90. PERCENTIL**	7	38	-12	-31	-17	23
+RA	**PRŮMĚR + SO**	7 ± 0	33 ± 0	-20 ± 0	-33 ± 0	-22 ± 0	13 ± 0
+RA	**MEDIÁN**	7	33	-20	-33	-22	13
+RA	**MODUS**	0	0	0	0	0	0
+RA	**10. PERCENTIL**	7	33	-20	-33	-22	13
+RA	**90. PERCENTIL**	7	33	-20	-33	-22	13
FC	**PRŮMĚR + SO**	7.3 ± 0.5	36.7 ± 2.4	-19.7 ± 5.6	-32.5 ± 2.5	-20.7 ± 4.2	14 ± 4
FC	**MEDIÁN**	7	35	-22	-32.5	-22	14
FC	**MODUS**	7	0	0	0	0	0
FC	**10. PERCENTIL**	7	35	-24.4	-34.5	-24.4	10.8
FC	**90. PERCENTIL**	7	39	-14	-30.5	-16.4	17.2
BEZ NEBEZP. JEVU	**PRŮMĚR + SO**	8.8 ± 0.8	34.5 ± 5.5	-17.5 ± 4.6	-30.5 ± 0.5	-19.8 ± 5.2	
BEZ NEBEZP. JEVU	**MEDIÁN**	8.5	35	-19	-30.5	-21	
BEZ NEBEZP. JEVU	**MODUS**	8	40	0	0	0	
BEZ NEBEZP. JEVU	**10. PERCENTIL**	8	28.6	-21.4	-30.9	-24.7	
BEZ NEBEZP. JEVU	**90. PERCENTIL**	9.7	40	-12.4	-30.1	-13.8	

GR - kroupy
TOR - tornádo
+RA - silný déšť
FC - nálevkovitý oblak

Tab. 3: Statistické zpracování hodnot *re základny* (µm), *re top* (µm), *Tl* (°C), *Tg* (°C), *T14µm* (°C) a rozdílu *Tl – Tg*

Nula znamená, že nebyla nalezena žádná adekvátní hodnota, prázdná pole nebyla počítána (rozdíl *Tl* a *Tg* u kategorie bez nebezpečného jevu je irelevantní, protože čistě ledová fáze v oblačnosti s hodnotou *Tg* se téměř nikdy nevytváří).

Znalost teploty spodní základny oblačnosti nepřímo pomáhá ke zlepšení předpovědi konvekce a srážek (Zhu, 2014). Pomáhá odhalit horní hranici mezní vrstvy a směšovací poměr vodní páry, což navíc zpřesňuje výpočet CAPE (Zhu et al., 2014).

Teplota na vrcholu spodní lineární části grafu a teplota ve spodní oblasti hladiny, nad kterou se objevuje jen ledová fáze vody, přináší informaci o intenzitě vznikající bouře ve středních hladinách troposféry. Čím nižší jsou tyto teploty (čím výše jsou dosaženy nad zemí), tím intenzivnější jev můžeme očekávat. Podobně

můžeme uvažovat i nad rozdílem teplot *Tl* a *Tg*. Čím je menší jejich rozdíl, tím intenzivnější jev se dá očekávat a naopak, jak znovu potvrzuje Tabulka 3.

Teplota hladiny, kde částice dosahují poloměru 14 μm, je teplota srážkového prahu. Vyšší hladiny (nižší teplota) dosažení této velikosti částic indikují silnější updraft v oblačnosti. Nepřímo tak lze dedukovat, že s klesající teplotou *T14μm* vzniká silnější bouře (viz Tab. 3).

Tabulka 2 podle očekávání ukazuje, že samostatně vyjádřená hodnota některé z výše uvedených veličin nemůže sama o sobě poskytnout úplnou informaci o vznikající bouři, ale může indikovat hodnoty veličin, od kterých je možné očekávat bouři s nebezpečnými doprovodnými jevy. Není ale striktně dána hodnota veličin pro přechod mezi jednotlivými nebezpečnými jevy. Tyto mikrofyzikální charakteristiky se mění jednak s ročním obdobím, ale závisí také na vzduchové hmotě, ve které se bouře vyvíjí. Detailnější informace o těchto hodnotách (průměr a směrodatná odchylka), přináší Tabulka 3. Výše uvedené skutečnosti potvrzují nutnost analyzovat profil oblačnosti jako celek a nutnost vidět všechny souvislosti nad i pod jednou zvolenou hodnotou jedné konkrétní veličiny.

Z hodnot *re základny* (μm), *Tl* (°C), *Tg* (°C), *T14μm* (°C) a *Tl – Tg* (°C) byly vypočteny vybrané základní statistické veličiny (viz Tab. 3). Jedná se o průměr a směrodatnou odchylku (PRŮMĚR + SO), medián (MEDIÁN), modus (MODUS), 10. a 90. percentil (10. a 90. PERCENTIL) pro každou kategorii situací s výskytem nebezpečného jevu i situace bez nebezpečných jevů uvedené v Tabulce 2.

Průměr, přesněji aritmetický průměr, představuje součet všech hodnot souboru vydělený jejich počtem.

Směrodatná odchylka je používanou mírou statistického rozptylu. Jedná se o kvadratický průměr odchylek hodnot znaku od jejich aritmetického průměru. Vypovídá o tom, jak moc se od sebe navzájem liší typické případy v souboru zkoumaných čísel. Je-li malá, jsou si prvky souboru většinou navzájem podobné, velká směrodatná odchylka naopak signalizuje velké vzájemné odlišnosti. Směrodatná odchylka je nejužívanější míra variability.

Medián je hodnota, jež dělí řadu vzestupně seřazených výsledků na dvě stejně početné poloviny. Pro nalezení mediánu daného souboru stačí hodnoty seřadit podle velikosti a vzít hodnotu, která se nalézá uprostřed seznamu.

Modus je hodnota, která se v daném statistickém souboru vyskytuje nejčastěji, je to tedy hodnota znaku s největší relativní četností.

10. percentil je míra indikující hodnotu, pod kterou spadá 10 % hodnot z daného statistického souboru.

90. percentil je míra indikující hodnotu, pod kterou spadá 90 % hodnot z daného statistického souboru.

Analýza veličin *re základny*, *Tl*, *Tg* a *T14μm* ukázala, že tyto hodnoty poměrně dobře odlišují bouře s nebezpečnými doprovodnými jevy od těch, které jimi doprovázeny nejsou. Navíc od sebe dovedou ve většině případů odlišit jednotlivé nebezpečné jevy. Například pro situaci s výskytem tornáda bylo zjištěno, že poloměr částic u spodní základny oblačnosti je 6,1 ± 0,9 μm, u silného deště 7,0 ± 0 μm a v situacích bez nebezpečného jevu činí 8,8 ± 0,8 μm. Je ale stále mnohem rychlejší a jednodušší posoudit grafický výstup programu, tedy *T-re* profil oblačnosti, než dodatečně počítat statistické veličiny z odečtených prvků jednotlivých grafů. V následující části budou zmíněny některé základní vlastnosti nebezpečných bouří i těch bouřek, při kterých se nebezpečné jevy nevyskytovaly.

4.1. Situace bez nebezpečných doprovodných jevů

Při situacích s bouřkou bez nebezpečných jevů, přesto konvekčně výrazných (a proto uvažovaných jako mezních situací), obvykle tloušťka koalescenční zóny nepřesahuje rozsah 20 °C, jak je možné odvodit z Tabulky 3. V oblasti zóny koalescenčního růstu jsou sice obvykle poloměry částic do 14 μm, kolem -20 °C nebo i dříve oblačné částice ale poměrně rychle zvětšují svůj průměr. Poloměr kolem 30 μm je obvykle dosahován pod hladinou s teplotou -30 °C. Teplota spodní základny se často pohybuje mezi 10 °C a 0 °C. Menší výjimku mohou tvořit bouřky bez nebezpečných doprovodných jevů, kdy Cb zasahují např. až do hladiny s teplotou -40 °C. Z diagramů je ale patrné prohnutí celého grafu, obvykle se neobjevuje dlouhá lineární část v průběhu profilu *T-re*. Je nutné si uvědomit, že nebezpečné doprovodné jevy jsou spojeny s velkým vertikálním rozsahem updraftu uvnitř oblačnosti a nízkými teplotami vrcholků oblačnosti. Pokud tedy máme v oblačnosti silný updraft, který ale nezasahuje do vysokých hladin s nízkou teplotou, nebezpečné bouře se nevyvinou. V situacích, kdy se jedná pouze o déšť,

se s výše uvedenými hodnotami ani nesetkáváme, grafy ubíhají rychle k větším částicím (doprava) už v nižších hladinách.

Jako prahové hodnoty mezi „bezpečnými“ a nebezpečnými bouřemi bychom mohli zmínit *re základny* 8,8 ± 0,8 μm, *Tl* -17,5 ± 4,6 °C, *Tg* -30,5 ± 0,5 °C a *T14μm* -19,8 ± 5,2 °C (viz Tabulka 3). Situace, které by měly menší poloměr částic u základny oblačnosti a nižší zmíněné sledované teploty, mají potenciál přerůst do bouří s nebezpečnými doprovodnými jevy. Vysoké hodnoty směrodatných odchylek jsou způsobeny zejména situací z 20. července 2013, která byla zahrnuta do statistických výpočtů. Jedná se o typickou situaci bez nebezpečných jevů s vyššími sledovanými teplotami, které právě zmiňovanou směrodatnou odchylku zvětšují.

Počítání rozdílu *Tl* a *Tg* u této kategorie jevů by bylo zcela irelevantní, protože čistě ledová fáze v oblačnosti s hodnotou *Tg* se téměř nikdy nevytvořila, jak bylo zmíněno i u Tabulky 3.

4.2. Situace s nebezpečnými doprovodnými jevy

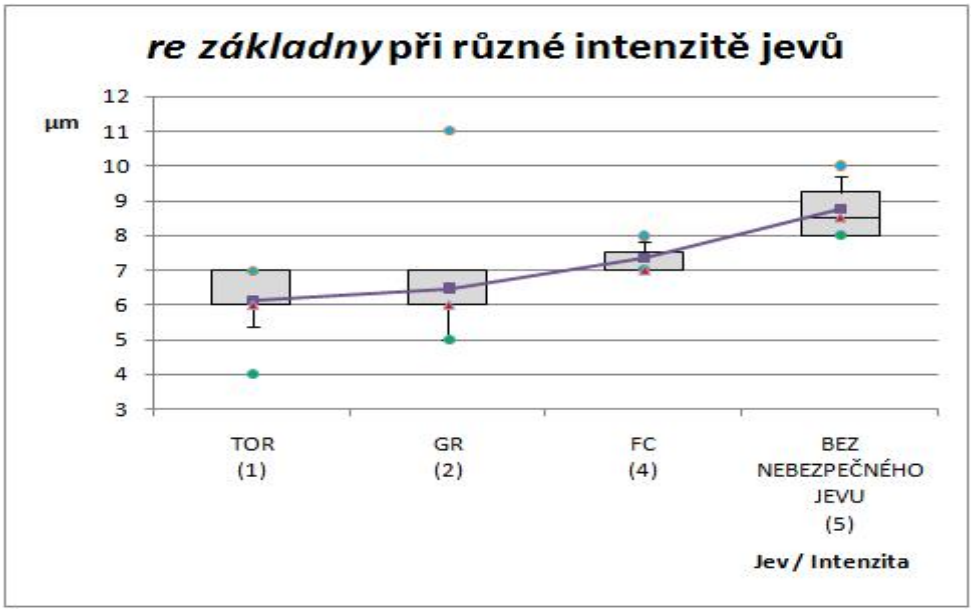
Při situacích s nebezpečnými doprovodnými jevy zasahují diagramy do větších výšek (hladin s nižšími teplotami) než u předchozích situací. Obvykle mají strmější spodní část grafu a téměř lineární průběh alespoň ve spodní části diagramu. Velikost poloměru 14 μm je často dosahována až kolem hladiny -20 °C nebo i při nižší teplotě. Oblačnost obsahuje také čistě ledové částice, které se objevují i nad hladinou -40 °C. V takových výškách dochází k homogennímu mrznutí a také z tohoto důvodu jsou zde velikosti často jen do 35 μm v poloměru. Poloměr částic do 14 μm obvykle zasahuje vrstvu o tloušťce kolem 30 °C nebo i s větším vertikálním rozsahem.

V případě výskytu krup o velikosti 2–3 cm byl ještě kolem -22 °C (*Tl*) poloměr částic 9 μm.

V situaci s kroupami o velikosti 3 cm a deštěm s intenzitou 40 mm/2 h byla horní hranice koalescenční zóny v hladině teploty -28 °C při poloměru částic 14 μm.

Při výskytu ještě větších krup (4 cm) byla horní hranice koalescence posunuta až k teplotě -30 °C při poloměru částic 14 μm.

Tabulka 3 ukazuje průměrné hodnoty a směrodatné odchylky sledovaných veličin při situacích s jednotlivými nebezpečnými doprovodnými jevy bouří i těch situací, kdy se doprovodné jevy neobjevily. Je z ní jasně patrné, že poloměr částic u spodní základny oblačnosti klesá s rostoucí intenzitou vznikajících bouří (jejich doprovodných jevů) a stejné pravidlo platí i pro hodnoty veličin *Tl*, *Tg*, a *T14 μm*. Názornou interpretaci výše uvedených skutečností poskytují box-ploty na Obrázcích 51–54. Spodní část boxů v případě *re základny* (Obrázek 51) představuje první kvartil, prostřední tmavá čára uvnitř boxu s červeným trojúhelníkem značí medián, fialový čtverec značí průměr a horní strana box-plotu představuje 3. kvartil. Horní a dolní vous značí 90% a 10% percentil, modrý a zelený bod jsou maximum a minimum. V případě teplot *Tl*, *Tg*, a *T14 μm* představuje spodní strana box-plotu hodnotu 3. kvartilu, prostřední tmavá čára uvnitř boxu s červeným trojúhelníkem značí medián, fialový čtverec značí průměr a horní strana box-plotu představuje 1. kvartil. Horní a dolní vous značí 10% a 90% percentil, modrý a zelený bod jsou maximum a minimum. Vertikální osa box-plotů se zmíněnými teplotami je cíleně převrácena, aby zobrazení box-plotu korespondovalo se zobrazením *T-re* profilů (nižší teploty jsou tedy výš). Zobrazení průměru a mnohdy i mediánu pak jasně ukazuje pokles teplot i poloměru částic s rostoucí intenzitou nebezpečných doprovodných jevů konvekčních bouří. Rozdíl teplot *Tl* a *Tg* uvedený v Tabulce 3 také klesá s rostoucí intenzitou zmiňovaných jevů. Např. v situacích s výskytem nálevkovitého oblaku byl zjištěn rozdíl *Tl* a *Tg* 14,0 ± 4,0 °C, v případě silného deště 13,0 ± 0,0 °C, při výskytu krup 12,7 ± 6,5 °C a v případě tornáda 12,3 ± 4,1 °C. Kromě obecně stanovených pomocných hodnot (*Tl*, *Tg*, *14μm* atd.) je ale nutné posuzovat celkovou tloušťku oblasti s malými částicemi (do 14 μm), celkovou mohutnost oblačnosti i sklon profilů v jednotlivých částech.

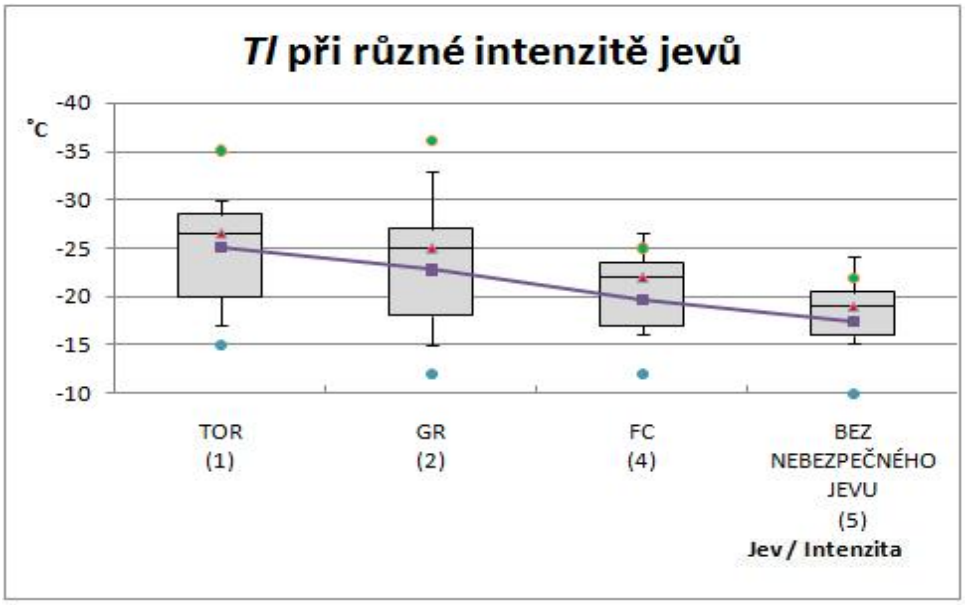


Obr. 51: *re základny* při různé skupině / intenzitě jevů

Patrný pokles poloměru částic s rostoucí intenzitou doprovodného jevu (bouře).

Číslo 1 bylo přiřazeno nejintenzivnějšímu jevu (tornádo) a intenzita jevů klesá k číslu 5 (viz kap. 3.1.4.). Silný déšť (3) není zobrazen, neboť byl zaznamenán jen jeden případ.

Spodní strana box-plotu zobrazuje hodnotu 1. kvartilu, prostřední tmavá čára uvnitř boxu s červeným trojúhelníkem značí medián, fialový čtverec značí průměr a horní strana box-plotu představuje 3. kvartil. Horní a dolní vous značí 90% a 10% percentil, modrý a zelený bod jsou maximum a minimum.



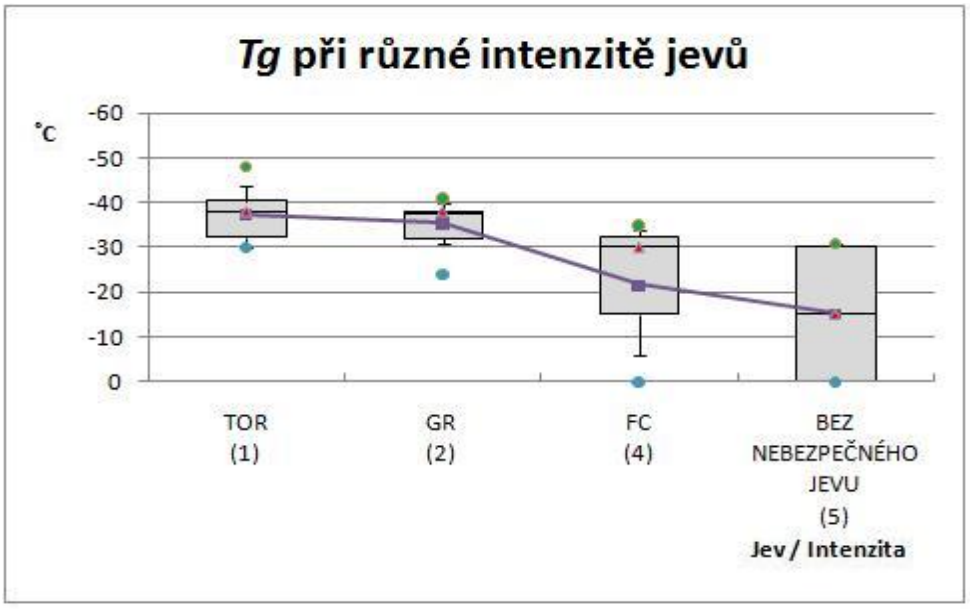
Obr. 52: *Tl* při různé skupině / intenzitě jevů

Patrný pokles *Tl* s rostoucí intenzitou doprovodného jevu (bouře).

Vertikální osa je cíleně převrácena, aby zobrazení box-plotu korespondovalo se zobrazením *T-re* profilů.

Číslo 1 bylo přiřazeno nejintenzivnějšímu jevu (tornádo) a intenzita jevů klesá k číslu 5 (viz kap. 3.1.4.). Silný déšť (3) není zobrazen, neboť byl zaznamenán jen jeden případ.

Spodní strana box-plotu zobrazuje hodnotu 3. kvartilu, prostřední tmavá čára uvnitř boxu s červeným trojúhelníkem značí medián, fialový čtverec značí průměr a horní strana box-plotu představuje 1. kvartil. Horní a dolní vous značí 10% a 90% percentil, modrý a zelený bod jsou maximum a minimum.



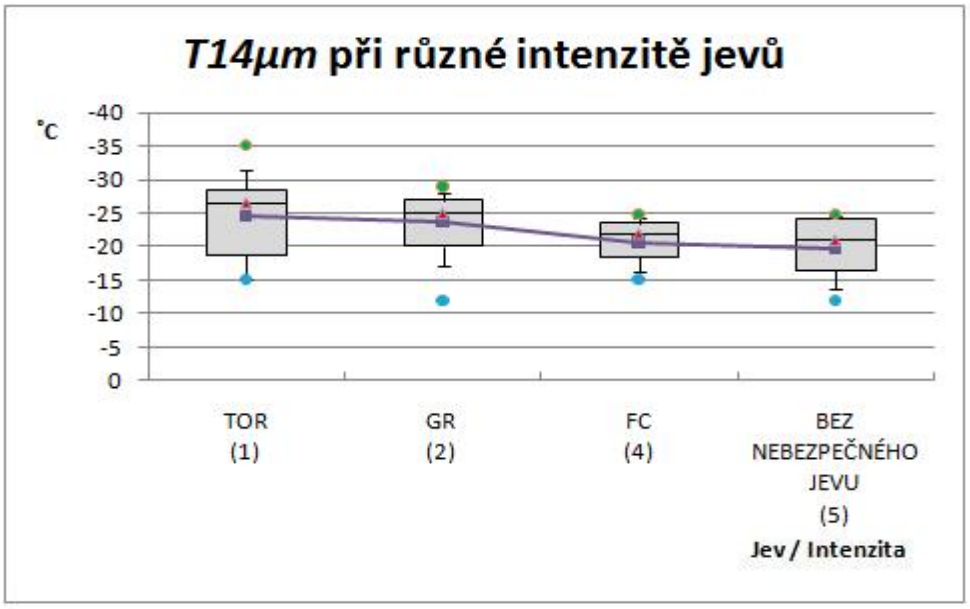
Obr. 53: *Tg* při různé skupině / intenzitě jevů

Patrný je pokles *Tg* s rostoucí intenzitou doprovodného jevu (bouře).

Vertikální osa je cíleně převrácena, aby zobrazení box-plotu korespondovalo se zobrazením *T-re* profilů.

Číslo 1 bylo přiřazeno nejintenzivnějšímu jevu (tornádo) a intenzita jevů klesá k číslu 5 (viz kap. 3.1.4.). Silný déšť (3) není zobrazen, neboť byl zaznamenán jen jeden případ.

Spodní strana box-plotu zobrazuje hodnotu 3. kvartilu, prostřední tmavá čára uvnitř boxu s červeným trojúhelníkem značí medián, fialový čtverec značí průměr a horní strana box-plotu představuje 1. kvartil. Horní a dolní vous značí 10% a 90% percentil, modrý a zelený bod jsou maximum a minimum.



Obr. 54: *T14μm* při různé skupině / intenzitě jevů

Patrný pokles *T14μm* s rostoucí intenzitou doprovodného jevu (bouře).

Vertikální osa je cíleně převrácena, aby zobrazení box-plotu korespondovalo se zobrazením *T-re* profilů.

Číslo 1 bylo přiřazeno nejintenzivnějšímu jevu (tornádo) a intenzita jevů klesá k číslu 5 (viz kap. 3.1.4.). Silný déšť (3) není zobrazen, neboť byl zaznamenán jen jeden případ.

Spodní strana box-plotu zobrazuje hodnotu 3. kvartilu, prostřední tmavá čára uvnitř boxu s červeným trojúhelníkem značí medián, fialový čtverec značí průměr a horní strana box-plotu představuje 1. kvartil. Horní a dolní vous značí 10% a 90% percentil, modrý a zelený bod jsou maximum a minimum.

Na zjištěné hodnoty sledovaných veličin byla dále aplikována korelační analýza. Ta představuje statistickou metodu, pomocí které se studuje těsnost lineárního vztahu mezi dvěma proměnnými. V prvním kroku byla vytvořena korelační matice (Tabulka 4), která je sestavena z korelačních koeficientů pro všechny dvojice proměnných.

Míra korelace závisí na hodnotě korelačního koeficientu R, který může nabývat hodnot od -1 až po +1. Při hodnotě R = 0 vztah mezi proměnnými není, při hodnotě R = +1 se jedná o přímkový vztah přímé úměry, při hodnotě R = -1 se stoupající hodnotou x naopak klesá hodnota y. Vzhledem k našim výsledkům

korelačních koeficientů, které byly vyšší než 0,92, usuzujeme na silnou lineární závislost mezi sledovanými veličinami (viz Tab. 4).

	re základny (µm)	Tl (°C)	Tg (°C)	T14µm (°C)
re základny (µm)	1.00			
Tl (°C)	0.92	1.00		
Tg (°C)	0.93	1.00	1.00	
T14µm (°C)	0.92	0.97	0.98	1.00

Tab. 4: Korelační koeficienty (R) pro všechny páry sledovaných veličin (*re základny* (µm), *Tl* (°C), *Tg* (°C) a *T14µm* (°C)) – podbarveno zeleně
Hodnoty korelačního koeficientu reprezentují silnou lineární vazbu všech sledovaných veličin, protože jsou blízko 1.

Zjištěná lineární korelace jednotlivých sledovaných veličin (Tab. 4) ukazuje, že s rostoucí intenzitou bouří (nebezpečných doprovodných jevů) klesá *T14µm* a úměrně tedy i *Tl* a *Tg*, stejně jako *re základny*. Korelační analýza tedy potvrzuje předem stanovená základní pravidla (Rosenfeld et al., 2008; Rosenfeld et al., 2009). S rostoucí intenzitou jevu dochází k celkovému posunu profilů doleva (k menším hodnotám *re*) a k jejich protažení výše (k nižším sledovaným teplotám).

Ze znalosti lineární závislosti veličin můžeme zjistit model závislosti těchto veličin. Výsledkem trendu tohoto modelu je ale jenom matematická předpověď. Tento trend předpovídá budoucí vývoj na základě vývoje minulého. Každá předpověď má ovšem svoji spolehlivost. Spolehlivost znamená, do jaké míry můžeme předpovědi věřit. Následně byl vypočten koeficient determinace (R^2), který vyjadřuje tuto spolehlivost (viz Tab. 5). Koeficient determinace nabývá hodnot 0–1, kde 1 je 100% spolehlivost. Pro naše data vyšel R^2 vždy větší než 0,84, tedy spolehlivost modelu regresní funkce je vždy vyšší než 84 procent.

	re základny (µm)	Tl (°C)	Tg (°C)
Tl (°C)	0.8494		
Tg (°C)	0.8679	0.9982	
T14µm (°C)	0.8524	0.9446	0.9608

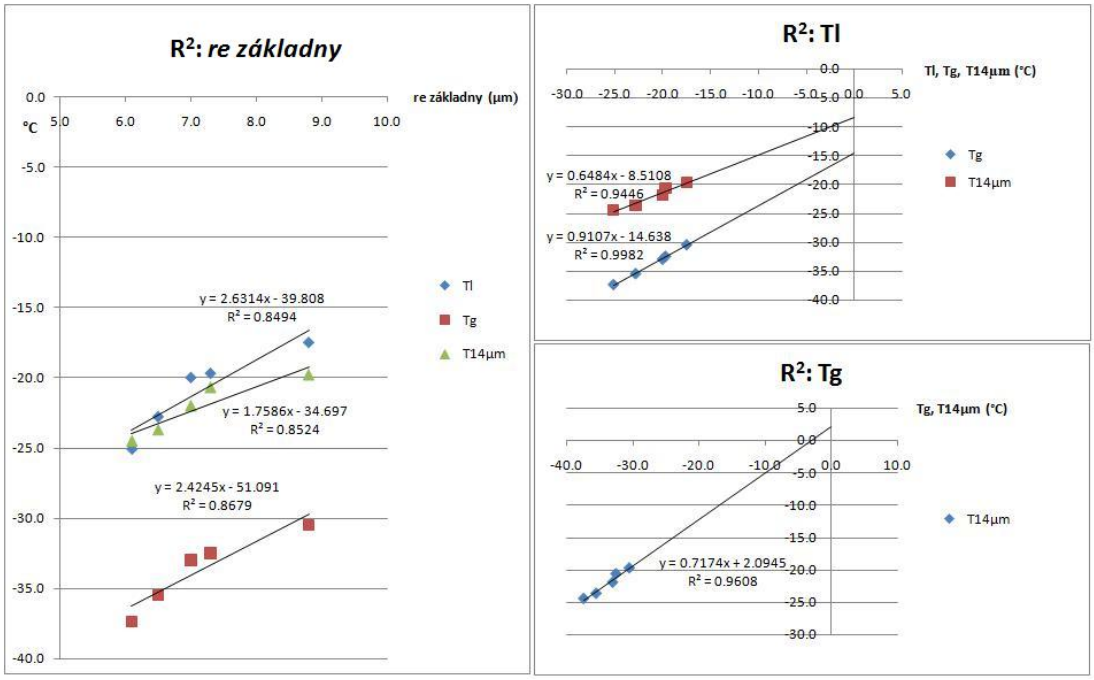
Tab. 5: Koeficienty determinace (R^2) pro všechny páry sledovaných veličin (*re základny* (µm), *Tl* (°C), *Tg* (°C) a *T14µm* (°C))

Hodnoty koeficientu determinace reprezentují spolehlivost přímkové funkce dvou zvolených veličin. Všechny hodnoty R^2 překračují 84%, rovnice tedy popisuje korelaci dvou zvolených veličin s přesností větší než 84%.

Zkoumané výše popsané vztahy lze graficky znázornit (viz Obr. 55), což umožní sledovat závislost jednotlivých veličin, jejich trendové funkce a míru spolehlivosti. Stejným způsobem pak byly vytvořeny trendové funkce pro grafy na Obrázcích 56–59, které zaznamenávají závislost zvolené proměnné na intenzitě nebezpečného jevu, trendovou funkci a R^2. Spolehlivost těchto jednotlivých modelů je potom vyšší než 90 procent.

Jednotlivé grafy a modely funkcí, bez ohledu na vypočtené R^2, nelze ale brát jako samostatně závazné a o intenzitě daného případu nelze usuzovat jen na základě jedné veličiny. Modely fungují pouze pro jednotlivé konkrétní vztahy a dávají pravděpodobný výsledek, ten se však může lišit od toho, když porovnáváme všechny jevy dohromady. Vzhledem k náročnosti pozorování, zaznamenávání hodnot měřených veličin atd. je velmi složité vytvořit celkový model pro posouzení intenzity jevu.

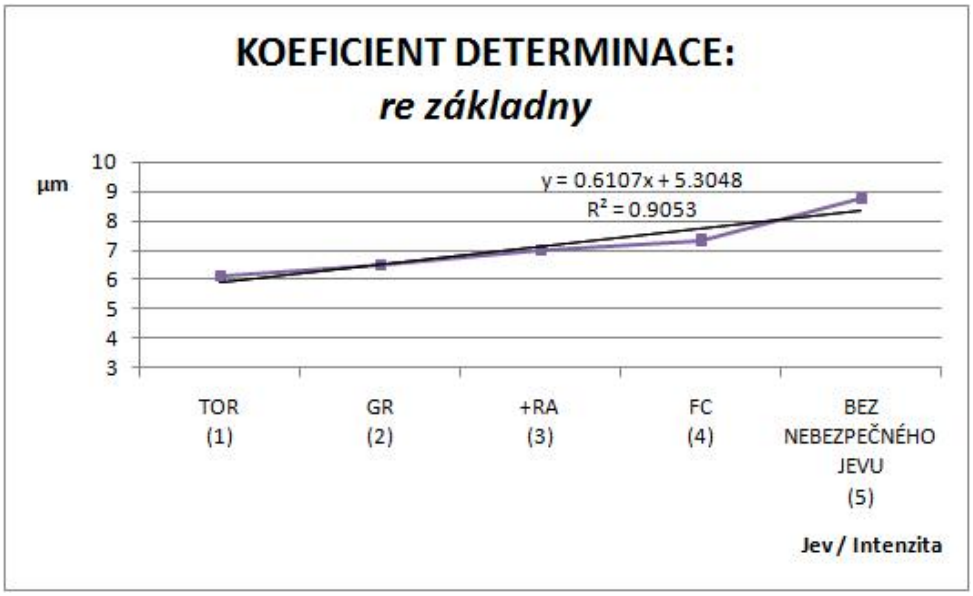
Lineární závislost *re základny* a zkoumaných teplot ale umožňuje zjednodušit popis profilů *T-re*. V ideálním případě je možné jednotlivé části profilů rozdělit na přímky ohraničené právě sledovanými teplotami *Tl* a *Tg* (viz Obr. 40). Graf je potom ve skutečnosti nerostoucí funkcí kvůli inverznímu zobrazení hodnot na vertikální ose, které je voleno z toho důvodu, aby se shodovalo se skutečným průběhem teploty v troposféře. Jak bylo již zmíněno, příznakem silné konvekční bouře je právě dlouhá a lineární nebo téměř lineární spodní část profilu do bodu zlomu reprezentovaného *Tl*.



Obr. 55: Koeficienty determinace (R^2) *re základny* (μm) a ostatních sledovaných veličin *T-re* profilů – *Tl* (°C), *Tg* (°C) a *T14μm* (°C)

Korelační matice (Tab. 4) zobrazuje korelační koeficienty (R) pro všechny páry sledovaných veličin. Všechny páry jsou ve významné lineární korelaci, protože R je větší než 0,92. Koeficient determinace potvrzuje, že význačná hladina korelace je větší než 84%. Lineární koeficienty jsou statisticky významné na hladině 0,05. Grafy na Obr. 55 zobrazují lineární korelaci všech párů sledovaných veličin, kde horizontální osa představuje jednu zvolenou hlavní veličinu a vertikální osa představuje druhou párovou veličinu. Korelace je vyjádřena rovnicí přímky a R^2 představuje vhodnost (spolehlivost) takového modelu.

Tato analýza představuje zpracování nezávislého vzorku dat, které má potvrdit dříve odvozené vztahy (Rosenfeld et. al., 2008; Rosenfeld et. al., 2009), jež doporučuje sám Rosenfeld et. al. (2008). Potvrzuje také platnost popisované metodologie při nowcastingu silných konvekčních bouří.



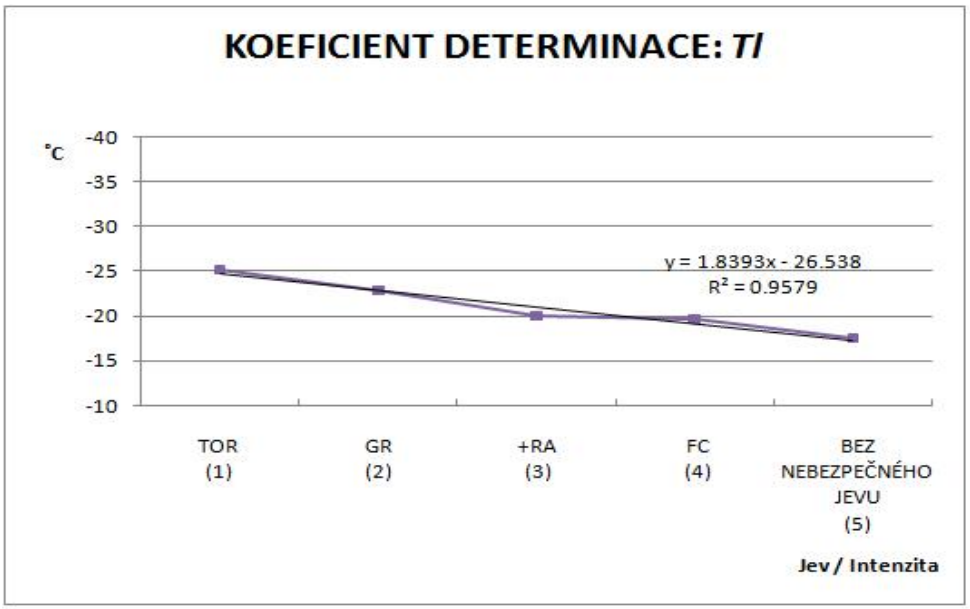
Obr. 56: Koeficient determinace *re základny* a intenzity bouří (jejich doprovodných jevů)

Číslo 1 bylo přiřazeno nejintenzivnějšímu jevu (tornádo) a intenzita jevů klesá k číslu 5 (viz kap. 3.1.4.).

Veličinu *re základny* uvažujeme jako průměrnou hodnotu pro každou skupinu jevů. S ohledem na vysokou hodnotu R (korelačního koeficientu) můžeme tvrdit, že závislost *re základny* na intenzitě nebezpečného jevu je lineární. Rovnice přímky popisuje data s přesností 90,5 procenta, což vyjadřuje koeficient determinace (R^2). Významná lineární korelace byla tedy nalezena na hladině 90,5 %.

Z odečtených hodnot z grafu (Obr. 56) bychom mohli podle rovnice přímky posoudit intenzitu jevu. Např. nechť *re základny* = 6, potom výpočtem můžeme dojít k závěru, že se jedná o tornádo. To by ovšem byl částečně špatný závěr. Pro některé případy by byl sice výsledek správný, pro některé ale ne. Z Tabulky 2 lze odečíst, že hodnota *re základny* = 6 se objevuje jak pro výskyt tornáda, tak pro kroupy apod. Správný závěr z tohoto příkladu tedy je, že při *re základny* = 6 je pravděpodobným očekávaným jevem tornádo. Musíme ale vzít v úvahu všechny sledované veličiny, nelze jev posuzovat jen na základě jedné proměnné. Pro situaci z 26. května 2007 vychází analogickým postupem všechny sledované veličiny správně na tornádo. Pro situaci z 22. května 2010 je ale takový postup nespolehlivý. Při jeho aplikaci totiž vychází analogickým postupem postupně předpověď výskytu nálevkovitého

oblaku, dále situace bez nebezpečného jevu, kroupy a opět situace bez nebezpečného jevu. Správný výsledek je ale pouze kroupy.

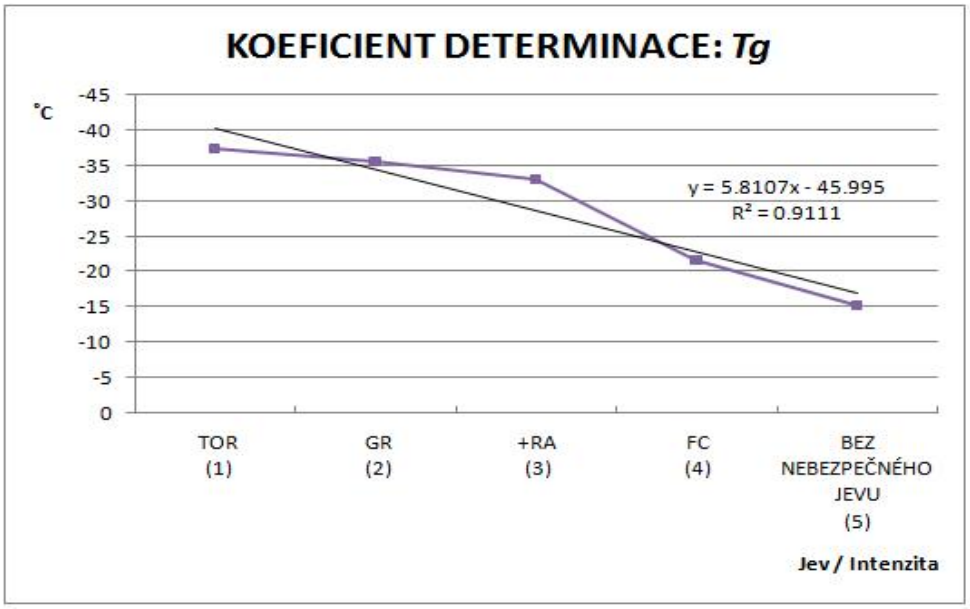


Obr. 57: Koeficient determinace *Tl* a intenzity bouří (jejich doprovodných jevů)

Vertikální osa je cíleně převrácená, aby zobrazení box-plotu korespondovalo se zobrazením *T-re* profilů.

Číslo 1 bylo přiřazeno nejintenzivnějšímu jevu (tornádo) a intenzita jevů klesá k číslu 5 (viz kap. 3.1.4.).

Tl uvažujeme jako průměrnou hodnotu pro každou skupinu jevů. S ohledem na vysokou hodnotu R (korelačního koeficientu) můžeme tvrdit, že závislost *Tl* na intenzitě nebezpečného jevu je lineární. Rovnice přímky popisuje data s přesností 95,8 procenta, což vyjadřuje koeficient determinace (R^2). Významná lineární korelace byla tedy nalezena na hladině 95,8 %.

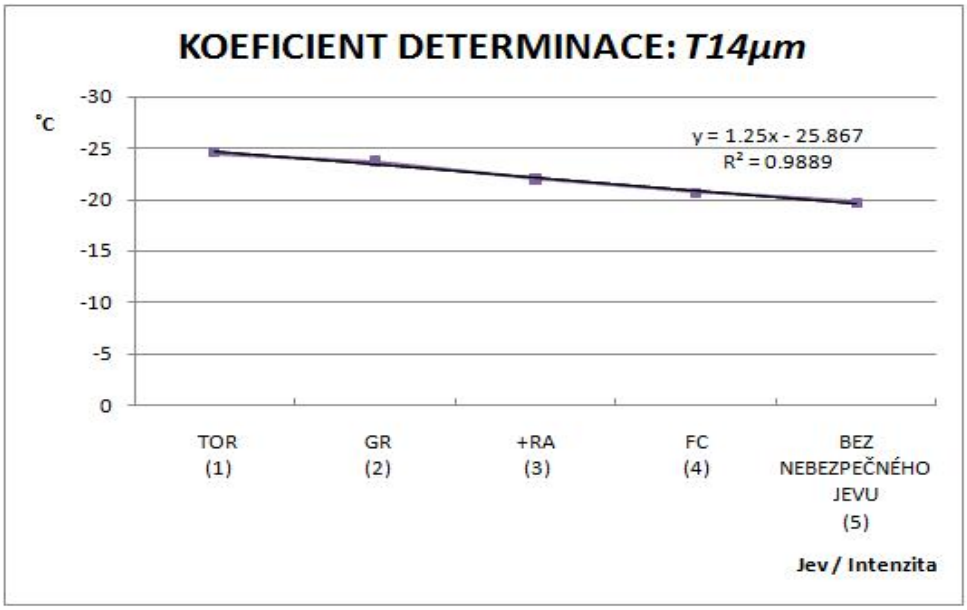


Obr. 58: Koeficient determinace *Tg* a intenzity bouří (jejich doprovodných jevů)

Vertikální osa je cíleně převrácená, aby zobrazení box-plotu korespondovalo se zobrazením *T-re* profilů.

Číslo 1 bylo přiřazeno nejintenzivnějšímu jevu (tornádo) a intenzita jevů klesá k číslu 5 (viz kap. 3.1.4.).

Tg uvažujeme jako průměrnou hodnotu pro každou skupinu jevů. S ohledem na vysokou hodnotu R (korelačního koeficientu) můžeme tvrdit, že závislost *Tg* na intenzitě nebezpečného jevu je lineární. Rovnice přímky popisuje data s přesností 91,1 procent, což vyjadřuje koeficient determinace (R^2). Významná lineární korelace byla tedy nalezena na hladině 91,1 %.



Obr. 59: Koeficient determinace *T14μm* a intenzity bouří (jejich doprovodných jevů)

Vertikální osa je cíleně převrácená, aby zobrazení box-plotu korespondovalo se zobrazením *T-re* profilů.

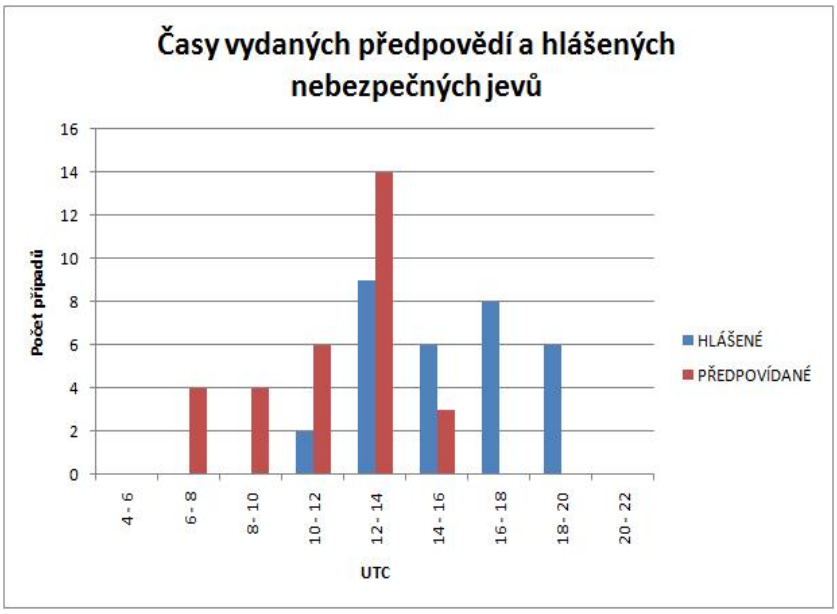
Číslo 1 bylo přiřazeno nejintenzivnějšímu jevu (tornádo) a intenzita jevů klesá k číslu 5 (viz kap. 3.1.4.).

T14μm uvažujeme jako průměrnou hodnotu pro každou skupinu jevů. S ohledem na vysokou hodnotu R (korelačního koeficientu) můžeme tvrdit, že závislost *T14μm* na intenzitě nebezpečného jevu je lineární. Rovnice přímky popisuje data s přesností 98,9 procent, což vyjadřuje koeficient determinace (R^2). Významná lineární korelace byla tedy nalezena na hladině 98,9 %.

Obecně lze konstatovat, že v porovnání s podmínkami v USA začínají středoevropské profily při nižších teplotách (o 10 °C) a proto obvykle i zlomové hodnoty (*Tl* a *Tg*) jsou v grafech poněkud výše. Také poloměry částic jsou jiných rozměrů, obvykle o 3–5 μm větší než v USA. Proto je dobré tento posun brát při posuzování profilů *T-re* v úvahu.

Obrázek 60 zobrazuje graficky počet hlášených (modrá) a předpovídaných nebezpečných situací (červená) v daném časovém období. Téměř 30 procent hlášených případů spadá do období 12–14 UTC a téměř stejné procento do období 16–18 UTC. Předpověď nebezpečného jevu byla ve většině případů (45 procent)

formulována pro období 12–14 UTC, což je v dobré shodě s dobou hlášení nebezpečných jevů. Další období bylo mezi 10. a 12. hodinou UTC.

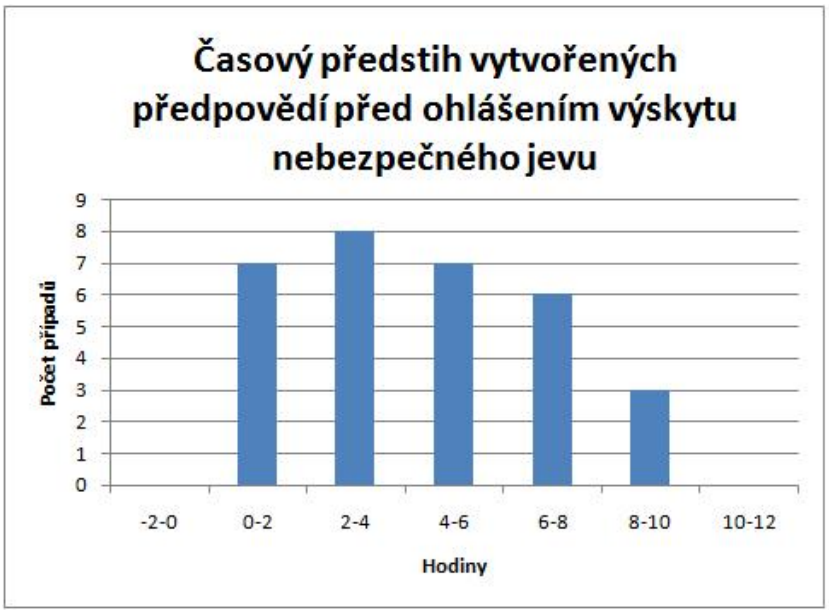


Obr. 60: Časy vydaných předpovědí a hlášených nebezpečných jevů

Předpovědní využitelnost metody *T-re* byla statisticky ověřena také pomocí času hlášení nebezpečného jevu v databázi ESWD a vlastní předpovědí vytvořenou kontinuálním sledováním profilů *T-re*. Z Obrázku 61 je evidentní, že nejčastější předstih předpovědi před samotným hlášením nebezpečného jevu je 2–4 hodiny (nezaměňovat s časem prvního výskytu jevu) dle zvoleného časového intervalu. Celkem 68 procent předpovědí bylo dokonce formulováno 2–8 hodin před hlášením nebezpečných jevů. Celkově tedy získáváme dobrý předstih k podniknutí preventivních opatření proti následkům nebezpečných doprovodných jevů.

Jurkovic et al. (2015) ukázal na schopnost profilů *T-re* detekovat silný updraft v oblačnosti 10–20 minut před vypadáváním krup z oblačnosti. Jurkovic et al. (2015) také potvrzuje, že vertikálně mohutné konvekční oblaky spojené se silnými updrafty jsou obvykle tvořeny malými oblačnými částicemi o poloměru 15–20 µm i nad hladinou -30 °C a částicemi o poloměru 30 µm nad hladinou -40 °C. Také zmiňuje základní tvary profilů *T-re* a další vlastnosti silných konvekčních bouří v Evropě (Jurkovic et al., 2015). Bouřky bez nebezpečných jevů podle něj obvykle mají hodně rozdílné rozložení velikosti částic v závislosti na teplotě (výšce), velké

částice s poloměrem větším než 35 μm jsou často objeveny i pod hladinou -20 °C (Jurkovic et al., 2015).



Obr. 61: Časový předstih vytvořených předpovědí před ohlášením výskytu nebezpečného jevu (nezaměňovat s časem prvního výskytu jevu)

Formování krup o velikosti přibližně 1 cm totiž obvykle nezabere více než 1 hodinu. Pro větší kroupy by se tedy mohl čas indikace profilem *T-re* a jejich vypadávání blížit ke 2 hodinám.

Velké časové rozdíly mezi očekávaným výskytem jevu a jeho hlášením mohou být také způsobeny nepřesným měřením množství a druhu srážek spadlých na zem.

Na základě fyzikálních principů, ze kterých daná metoda (*T-re*) vychází, se v průběhu výzkumu neobjevily žádné chyby v předpovědích nebezpečných bouří a těch situací, kdy se nebezpečné jevy vůbec neobjevily. Pro tyto dvě základní skupiny totiž profily *T-re* vykazují naprosto odlišné charakteristické znaky. Nezkušený synoptik (v oblasti *T-re*) by pouze mohl chybně interpretovat jednotlivé vyvíjející se nebezpečné jevy, ale dvě výše uvedené základní skupiny bouřek (bouří) metoda odliší spolehlivě.

5. Diskuse

Je jednoznačně evidentní, že nelze absolutně přesně vyjádřit přechodový práh hodnot *T* a *re* mezi jednotlivými nebezpečnými jevy konvekčních bouří. Je naprosto nezbytné analyzovat tloušťku vrstvy s malými částicemi o poloměru do 14 μm, celý vertikální rozsah oblačnosti i tvar celého získaného profilu *T-re* v jeho jednotlivých částech jako celek a dodatečně také hodnoty klíčových veličin, jako jsou *re základny*, *Tl*, *Tg*, a *T14μm*. Průměrné hodnoty *Tl* a *T14μm,* stejně jako *re základny* a *Tg,* uvedené v Tabulce 3 pro každý nebezpečný doprovodný jev ale mohou být považovány za přibližné přechodové hodnoty mezi danými jevy. Prediktory bouří založené na družicovém snímání oblačnosti jsou považovány minimálně za tak dobré, jako jsou běžně užívaná sondážní měření atmosféry. Jednoznačně jsou ale k dispozici jak v lepším časovém, tak i prostorovém rozlišení (Rosenfeld et al., 2008). Každé nové družicové snímání může samozřejmě vést po přepočítání prediktorů k mírné modifikaci předpovědí, to ale umožňuje pružně reagovat na aktuální vývoj oblačnosti. Pokud aplikujeme metodu *T-re* na multispektrální snímání geostacionárními družicemi, dostaneme typické rysy bouřkové oblačnosti ještě před tím, než případné indikátory nebezpečných doprovodných jevů zaznamenají meteorologické radary. Tím dostáváme oproti radarovým měřením dodatečný časový předstih detekce bouřkové oblačnosti, přestože prostorové rozlišení družic je v porovnání s radarem horší (Rosenfeld et al., 2008).

Obecně můžeme říci, že získané profily oblačnosti z oblasti střední Evropy začínají při nižších teplotách v porovnání s profily získanými např. v USA. Rozdíl činí přibližně 5–10 °C a nižší bývají i hodnoty *Tg* a *Tl*. Také poloměr částic napříč profilem se liší, bývá o 3–5 μm větší. Rozdíly mohou plynout z různých snímkovacích přístrojů na palubě různých družic a také z odlišného prostorového rozlišení, nejen z odlišných fyzikálních vlastností různých vzduchových hmot na různých kontinentech.

V některých případech indikovaly profily oblačnosti silný updraft už od dopoledních hodin, nebezpečné jevy byly ale hlášeny až odpoledne. V závislosti na povaze nebezpečného jevu může jedním ze zdůvodnění být jejich hlášení lidmi až v době, když už většinou nejsou v práci.

Pro všechny situace s nebezpečným jevem platí, že poloměr oblačných částic u základny oblačnosti činí 6,1–7,3 μm (průměrně), jak ukazuje Tabulka 3. Situace

s výskytem tornáda, které jsou z námi sledovaných jevů považovány za nejnebezpečnější, ukazují také nejmenší průměr těchto částic, z hlediska mediánu spolu s výskytem krup také hodnoty nejmenší. Malý poloměr částic u základny oblačnosti s hodnotami 6 μm a menším je tedy považován za indikátor možnosti vzniku tornáda. Z práce dále vyplývá, že malé hodnoty *Tl* a *T14μm* indikují větší intenzitu doprovodných jevů a totéž můžeme ve většině případů říci i o hodnotách *Tg*.

Statistické zpracování hodnot sledovaných veličin přináší přechodové hodnoty a další uvedená kritéria, která ale v některých případech nepopisují situaci vznikající bouře tím nejlepším způsobem. Jako zásadní se tedy jeví vyhodnocení profilu *T-re* v grafické podobě jako celku, protože ne každá bouřka bude mít stejné hodnoty v jednotlivých bodech grafu stejně tak, jako žádné tornádo není stejné. Situace musí být analyzovány komplexně vzhledem k vertikálnímu rozsahu updraftu i celkové výšce, kterou oblačnost dosáhne. Statistické hodnoty sledovaných veličin jsou někdy až moc zobecněné a nemusí tak vždy spolehlivě odlišit jednotlivé nebezpečné jevy vznikajících bouří.

Podle Doswella (2014) je navíc člověkem tvořená předpověď nebezpečného jevu daleko úspěšnější ve srovnání se současnými automatizovanými systémy. Některé závěry v souladu s výsledky této práce uvádí i Sporre et al. (2014), který jasně zmiňuje, že oblačnost s větším vertikálním vývojem přináší značně vyšší srážkové úhrny ve srovnání s méně vyvinutou oblačností. Jeho studie navíc potvrzuje, že meteorologické parametry nebo vertikální rozsah oblačnosti ovlivňují množství spadlých srážek daleko více než například obsah aerosolů.

Tabulka 2 přináší přehled podobných projevů bouří uspořádaných do jednotlivých kategorií podle jejich intenzity a projevu. Je z ní patrné, že každá bouře má poněkud odlišné mikrofyzikální charakteristiky i když je spojena s podobnými doprovodnými jevy. Je proto důvod předpokládat, že i bouře s jedním identickým sledovaným parametrem může mít poněkud odlišné doprovodné jevy.

Zdůrazněme, že všechny hodnoty sledovaných veličin (jako *Tl, T14μm* atd.) mohou být získány díky dobrému rozlišení *T-re* profilů přímo odečtením z grafů a není je proto při praktickém využití metody nutné vyhledávat v numerickém výpisu. Dobré rozlišení profilů také minimalizuje lidskou chybu při tvorbě předpovědí nebezpečných doprovodných jevů konvekčních bouří. Metoda jako

taková s užitím dat družice MSG se tedy i v podmínkách střední Evropy jeví jako spolehlivá a velmi užitečná.

Po aplikaci třetí generace družic Meteosat můžeme očekávat ještě lepší prostorové i časové rozlišení družic a tedy i efektivnější využití plného potenciálu metody *T-re* profilů oblačnosti. Výhodou bude zejména desetiminutové snímání celého zemského disku, nové snímací technologie přinesou možnost zobrazení reálných barev oblačnosti, zpřesní se informace o rychlých procesech vodního cyklu v atmosféře a zároveň se očekává zpřesnění předpovědí nebezpečných bouří. Počítá se také se zlepšením získávání informací v oblasti mikrofyziky atmosféry, sledování bleskových výbojů apod. Více informací ohledně třetí generace družic METEOSAT je dostupných na http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/MeteosatThirdGeneration/MTGServices/index.html (2015).

Závěr

Základem výše popsaných teorií je družicové snímání oblačnosti v různých spektrálních kanálech, z jehož dat je možné sestavit vertikální profily mikrofyzikálního složení oblačnosti, které byly testovány např. v USA. Tato práce potvrzuje jejich využitelnost i pro střední Evropu a získáváme tak užitečný nástroj nowcastingu konvekčních bouří a jejich silných doprovodných jevů. Zkvalitnění předpovědi těchto nebezpečných meteorologických jevů může ochránit nejen majetek, ale také lidské životy.

Analýza vybraných situací byla provedena jak na archivních družicových snímcích, které byly vybrány podle toho, zda se vyskytovaly v oblasti střední Evropy nebezpečné doprovodné jevy konvekčních bouří, tak i na smících pořizovaných v reálném čase, kdy byly simultánně sestavovány vlastní předpovědi k ověření praktického využití metody *T-re* profilů. Využitelnost teorie *T-re* profilů pro daný region střední Evropy je na základě získaných výsledků analýzy zcela průkazná. Metoda vertikálních profilů oblačnosti spolehlivě odliší ty situace, za kterých hrozí poškození majetku či zdraví od situací, ve kterých atmosférické jevy nepředstavují větší nebezpečí. Za tímto účelem proběhla také analýza situací, kdy se sice bouřky objevily, nebyly ale doprovázeny nebezpečnými jevy. Takto vybrané situace byly klasifikovány jako přechodový stav mezi běžnými a nebezpečnými bouřkami a na základě jejich charakteristik byly stanoveny hraniční hodnoty sledovaných veličin. Ukázalo se, že ale závisí na vlastnostech konkrétní vzduchové hmoty, jaké bude specifické mikrofyzikální složení oblačnosti. Ne každá bouřka, přestože může být doprovázena stejnými jevy, vykazuje identické mikrofyzikální rysy. Vertikální profily z oblasti střední Evropy ukázaly teplotní i velikostní (poloměr částic) posun oproti měřením provedeným v jiných částech světa.

Použitý program MSG_RGB představuje z hlediska použití jednoduchý nástroj rychlé analýzy oblačných systémů, který je schopen odhalit oblačnost, jež má tendenci přerůst v bouře s nebezpečnými doprovodnými jevy v předstihu nejčastěji 2–4 hodiny před jejich samotným ohlášením (nezaměňovat s jejich vznikem). Vypadávání silných srážek nebo i krup je totiž obvykle spojeno s pozdější fází životního cyklu kupovité (bouřkové) oblačnosti. V době, kdy profily vykazují znaky silných updraftů, převládají v oblačnosti výstupné pohyby. Právě tehdy je díky

*T-r*e profilu oblačnosti možné provést předpověď intenzity updraftu a nepřímo tak i intenzity vznikající bouře. V některých situacích, když už *T-re* profily nebyly význačné, se začaly v oblačnosti projevovat silné padavé sestupné proudy, s nimiž bylo spojeno vypadávání srážek (i krup).

Výzkum mimo jiné prokázal, že na profil oblačnosti je nutné pohlížet jako na celek a že není možné intenzitu bouře nebo jejího doprovodného jevu posuzovat jen podle některé vybrané veličiny. Jediná zvolená veličina, jako např. *Tl* nebo *Tg*, bez znalosti dalších souvislostí totiž nemůže poskytnout úplnou informaci o probíhajícím atmosférickém procesu, přestože byla zjištěna silná korelace sledovaných veličin. Konkrétní hodnota jednotlivé veličiny nicméně může představovat vodítko pro odlišení silných konvekčních bouří a slabších projevů konvekce. Ne každý oblak, který se např. ve spodní části vyvíjí poměrně razantně, má totiž předpoklady a podmínky k tomu, aby se z něj vytvořila silná konvekční bouře.

Po krátkém seznámení s místními specifiky umožňuje tento nástroj poskytnout prognostikům užitečnou pomůcku v oblasti nowcastingu silných konvekčních bouří a přispět tak k větší přesnosti vydávaných předpovědí. Také meteorologické výstrahy by byly s použitím tohoto programu přesnější a včasnější, což by přispělo k lepší ochraně majetku i zdraví obyvatel. Program MSG_RGB navíc představuje nástroj ke studiu vlivu atmosférických aerosolů na tvorbu oblačnosti (Rosenfeld a Lensky, 1998) a jejich roli v předpovídání nebezpečných jevů počasí. Dále umožňuje klimatologické studie v oblasti mikrofyzikální struktury oblačnosti s využitím satelitních dat prakticky z celého světa. Potenciál tohoto nástroje tedy není jen v oblasti předpovědi počasí, ale i v dalších meteorologických aplikacích.

Seznam použité literatury

Aktuální aerologická měření. *Chmi.cz* [online]. ©2015. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/oa/ptu_grafy.html

Aktuální radarová data. *Radar.bourky.cz* [online]. ©2015. Dostupné z: http://radar.bourky.cz/

Best Practice Document. *Essl.org* [online]. ©2016. Dostupné z: http://www.essl.org/cwg/res/pdf/BP-EUMETSAT_20140612.pdf

Beswick, K.M., W. Gallagher, A.R. Webb, E.G. Norton, F. Perry, 2008: Application of the Aventech AIMMS20AQ Airborne Probe for Turbulence Measurements during the Convective Storm Initiation Project. *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 5449–5463.

Blyth, A.M., L.J. Bannett, C.G. Collier, 2014: High-Resolution Observations of Precipitation from Cumulonimbus Clouds. *Meteorol. Appl.*, 22, 79–85.

Brázdil, R., K. Chromá, P. Dobrovolný, Z. Černoch, 2012: The Tornado History of the Czech Lands, AD 1119–2010. *Atmos. Res.*, 118, 192–204.

Brooks, H.E., 2012: Severe Thunderstorm and Climate Change. *Atmos. Res.*, 123, 129–138.

Cusack, C., 2014: Increased Tornado Hazard in Large Metropolitan Areas. *Atmos. Res.*, 149, 255–262.

Databáze pozorování bouřek. *Bourky.cz* [online]. ©2011. Dostupné z: http://report.bourky.cz/?page=search

Definice nebezpečných jevů podle ESWD. *Eswd.eu* [online]. ©2009. Dostupné z: http://www.eswd.eu/cgi-bin/eswd.cgi?action=showdefinitions&lang=en_0

Digitální příjem družicových snímků. *Bruxy.regnet.cz* [online]. ©2009. Dostupné z: http://bruxy.regnet.cz/ok2mnm/MSG-1/

Dostupné produkty Near Real-time. *Eumetsat.org* [online]. ©2009 a 2016. Dostupné z: http://oiswww.eumetsat.org/IPPS/html/MSG/RGB/

Doswell C.A. III, 1994: Flash Flood-Producing Convective Storms: Current Understanding and Research. Report of the Proceedings of the U.S.-Spain Workshop on Natural Hazards (Barcelona, Spain, 8–11 June 1993), 97–107.

Doswel, C.A.III, 2014: Severe Convective Storms in the European Social Context. *Atmos. Res.*, 158–159, 210–215.

Dotzek N., 2003: An Updated Estimate of Tornado Occurrence in Europe. *Atmos. Res.*, 67–68, 153–161.

Dotzek N., P. Groenemeijer, B. Feuerstein, A.M. Holzer, 2009: Overview of ESSL's Severe Convective Storms Research Using the European Severe Weather Database ESWD. *Atmos. Res.*, 93, 575–586.

Družice EUMETSAT. *Eumetsat.org* [online]. ©2009. Dostupné z: http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/index.html

Družicové oddělení ČHMÚ. *Chmi.cz* [online]. ©2009. Dostupné z: http://www.chmi.cz/meteo/sat/

EUMETSAT. *Eumetsat.int* [online]. ©2009. Dostupné z: http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/index.html

European Severe Weather Database. *Eswd.eu* [online]. ©2009. Dostupné z: http://www.eswd.eu

Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Elbi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.K. Platner, S.K. Allen, M. Tignor, P.M. Midgley, 2012: *Managing the Risks of Extreme Events and Disaster to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, USA, 582 pp.

Holzer, A.M., 2001: Tornadoes Climatology of Austria. *Atmos. Res.*, 56, 203–211

Jurković, P.M., N.S. Mahović, D. Počakal, 2015: Lightning, Overshooting Top and Hail Characteristics for Strong Convective Storms in Central Europe. *Atmos. Res.*, 161–162, 153–168.

Kanály MSG. *Eumetsat.org* [online]. ©2009. Dostupné z: http://oiswww.eumetsat.org/WEBOPS/msg_interpretation/index.html

Lensky, I., 2009: User Guide for MSG_RGB. Osobní komunikace.

Lensky, I. a D. Rosenfeld, 2005: The Time-Space Exchangeability of Satellite Retrieved Relations between Cloud Top Temperature and Particle Effective Radius. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 2887–2894.

Lensky, I. M. a D. Rosenfeld, 2008: Clouds-Aerosols-Precipitation Satellite Analysis Tool (CAPSAT). *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 6739-6753, doi:10.5194/acp-8-6739 -2008.

Lensky, I. a S. Shiff, 2007: Using MSG to Monitor the Evolution of Severe Convective Storms over East Mediterranean Sea and Israel and Its Response to Aerosol Loading. *Adv. Geosci.*, 12, 95–100.

Lindsey, D.T., D.W. Hiller, L. Grasso, J.A. Knaff, J.F. Dostalek, 2006: GOES Climatology and Analysis of Thunderstorms with Enhanced 3.9 μm Reflectivity. *Monthly Weather Review*, 134, 2342–2353.

Martins, J.V., A. Marshak, L.A. Remer, D. Rosenfeld, Y.J. Kaufman, R. Fernandez-Borda, I. Koren, V. Yubko, P. Artaxo, 2007: Remote Sensing the Vertical Profile of Cloud Droplet Effective Radius, Thermodynamic Phase and Temperature. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 7, 4481–4519.

Melani, S., E. Cattani, V. Levizzani, M. Cervino, F. Torricella, 2003: Radiative Effects of Simulated Cirrus Clouds on top of a Deep Convective Storm in MSG SEVIRI channels. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 83, 109–122.

Meteosat třetí generace. *Eumetsat.int* [online]. ©2015. Dostupné z: http://www.eumetsat.int/website/home/Satellites/FutureSatellites/MeteosatThirdGeneration/MTGServices/index.html

Munich RE. *Munichre.com* **[**online]. ©2016. Dostupné z: https://www.munichre.com/en/reinsurance/magazine/topics-online/2016/04/thunderstorms-over-germany/index.html

Nowcasting Thunderstorm Intensity from Satellite: A Review. *Sec.wisc.edu* **[**online]. ©2016. Dostupné z: http://www.ssec.wisc.edu/~rabin/paper/eumetsat/paper2_eumetsat.doc

NWC SAF. *Nwcsaf.org* [online]. ©2016. Dostupné z: www.nwcsaf.org

Pfeifer M., W. Yen, M. Baldauf, G. Craig, S. Crewell, J. Fischer, M. Hagen, A. Huhnerbein, M. Mech, T. Reinhardt, M. Schroder, A. Seifert, 2010: Validating Precipitation Forecast Using Remote Sensor Synergy: A Case Study Approach. *Meteorol. Zeit.*, 19, 601–6017.

Pokorný M. a M. Žák, 2011: T-re Plots Generated from MSG Data in Severe Storms Forecasting – Testing in Central Europe. WDS'11 Proceedings of Contributed Papers: Part III, Matfyzpress, Praha. ISBN 978-80-7378-186-6, 88–92.

Pokorný M. a M. Žák, 2012: Využití T-re profilů pro nowcasting intenzivních konvekčních jevů ve střední Evropě. *Meteorologické Zprávy*, 3/65, 83–89.

Pokorný M. a M. Žák, 2016: Analysis of the Central European Severe Storms using T-re Plots derived from MSG Data. *Meteorologický časopis*, 19, 11–21.

Prognózy modelu GFS. *Wetterzentrale.de* [online]. ©2015. Dostupné z: http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsavneur.html

Předpovědi modelu Aladin. *Chmi.cz* [online]. ©2015. Dostupné z: http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ov/aladin/results/ala.html#prec?

Roberts R.D. a S. Rutlege, 2003: Nowcasting Storm Initiation and Growth Using GOES-8 and WSR-88D Data. *Weather and Forecasting*, 18, 562–584.

Rosenfeld, D., B. Fischman, Y. Zheng, T. Goren, D. Giguzin, 2014: Combined Satellite and Radar Retrievals of Drop Concentration and CCN at Convective Cloud Base. *Geophys. Res. Let.*, 41, 3259–3265.

Rosenfeld, D. a I. Lensky, 1998: Satellite-Based Insights into Precipitation Formation Processes in Continental and Maritime Convective Clouds. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 2457–2476.

Rosenfeld, D., G. Liu, X. Yu, Z. Zhu, J. Dai, X. Xu, Y. Yue, 2013: High Resolution (375m) Cloud Microstructure as Seen from The Satellite NPP/VIIRS Satellite Imager. *Atmos. Chem. Phys. Discus.*, 13, 29845–29894.

Rosenfeld, D., W.L. Woodley, G. Kelman, J.H. Golden, 2009: Short-Term Forecasting of Severe Convective Storms Using Quantitative Multi-Spectral Satellite Imagery: Results of the Early Alert Project. Osobní komunikace, článek poskytl D. Rosenfeld.

Rosenfeld, D., W.L. Woodley, T.W. Krauss, V. Makitov, 2006: Aircraft Microphysical Documentation from Cloud Base to Anvils of Hailstorm Feeder Clouds in Argentina. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45, 1261–1281.

Rosenfeld, D., W.L. Woodley, A. Lerner, G. Kelman, D.T. Lindsey, 2008: Satellite Detection of Severe Convective Storms by Their Retrieved Vertical Profiles of Cloud Particle Effective Radius and Thermodynamic Phase. *J. Geophys. Res.*, 113, D04208, doi: 10.1029/2007JD008600.

Setvák, M., 1989: Convective Storms – The AVHRR Channel 3 Cloud Top Reflectivity as a Consequence of Internal Processes. Proc. 5th WMO Conference of Weather Modification and Applied Cloud Physics, Beijing, China. WMO/TD 269, 109–112.

Shiqiang, F. a T. Zhemin, 2001: On the Helicity Dynamics of Severe Convective Storms. *Advances in Atmospheric Sciences*, 18, 67–86.

Sokol, Z., V. Bližňák, P. Zacharov, K. Skripniková, 2015: Nowcasting of Hailstorms Simulated by the NWP Model COSMO for the Area of the Czech Republic. *Atmos. Res.*, 171, 66–76.

Sporre, M. K., E. Swietlicki, P. Glantz, M. Kulmala, M, 2013: A Long-Term Satellite Study of Aerosol Effects on Convective Clouds in Nordic Background Air. *Atmos. Chem. Phys.*, 14, 2203–2217.

Taylor, J.W., T.W. Choularton, A.M. Blyth, Z. Liu, K.N. Bower, J. Crosier, M.W. Gallagher, P.I. Williams, J.R. Dorsey, M.J. Flynn, L.J. Bennett, Y. Huang, J. French, A. Korolev, P.R.A. Brown, 2016: Observations of Cloud Microphysics and Ice Formation During COPE. *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 799–826.

Tokay, A. a D.A. Short, 1996: Evidence from Tropical Raindrop Spectra of the Origin of Rain from Stratiform versus Convective Clouds. *J. Appl. Meteor.*, 35, 355–371.

Tolasz, R., et al., 2007: *Atlas podnebí Česka – Climate Atlas of Czechia.* Český hydrometeorologický ústav, Praha, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 256 pp. ISBN 978-80-86690-26-1.

Tornáda. *Tornada.cz* [online]. ©2010. Dostupné z: http://www.tornada-cz.cz/

Tornáda. *Tornada.cz* [online]. ©2011. Dostupné z: http://www.tornada.cz/clanky/tornada-v-cesku/pardubice-tornado-21.6.2011/

Tornáda a bouře v ČR. *Tornadaaboure.wz.cz* **[**online]. ©2011. Dostupné z: http://www.tornadaaboure.wz.cz/tornado.jpg, http://www.tornadaaboure.wz.cz/Storm03.jpg

Visser, P.J.M., 2001: The Storm-Structure-Severity Method for the Identification of Convective Storm Characteristics with Conventional Weather Radar. *Meteorol. Appl.*, 8, 1–10.

Wilson, J.W., N.A. Crook, C.K. Mueller, J. Sun, M. Dixon, 1998: Nowcasting Thunderstorms: A Status Report. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79, 2079–2099.

World Meteorological Organization Symposium on Nowcasting and Very Short Term Forecasting. *Wmo.int* [online]. ©2016. Dostupné z: https://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/WSN09_program_booklet.pdf

Zheng, Y. a D. Rosenfeld, 2015: Linear Relation between Convective Cloud Base Height and Updrafts and Application to Satellite Retrievals. *Geophys. Res. Let.*, 42, doi:10.1002/2015GL064809.

Zheng, Y., D. Rosenfeld, Z. Li, 2015: Satellite Inference of Thermal and Cloud-Base Updraft Speeds Based on Retrieved Surface and Cloud-Base Temperatures. *J. Atmos. Sci.*, 72, 2411-2428.

Zhu, Y., D. Rosenfeld, X. Yu, Z. Li, 2015: Separating Aerosol Microphysical Effects and Satellite Measurement Artifacts of the Relationship between Warm Rain Onset Height and Aerosol Optical Depth. *J. Geophys. Res.*, 120, 7726–7736.

Zhu, Y., D. Rosenfeld, X. Yu, G. Liu, J. Dai, X. Xu, 2014: Satellite Retrieval of Convective Cloud Base Temperature Based on the NPP/VIIRS Imager. *Geophys. Res. Let.*, 41, doi:10.1002/2013GL058970.

Zipori, A., D. Rosenfeld, O. Tirosh, N. Teutsch, Y. Erel, 2015: Effects of Aerosol Sources and Chemical Compositions on Cloud Drop Sizes and Glaciation Temperatures. *J. Geophys. Res.*, 1–52, doi:10.1002/2015JD023270.

Zpráva IPCC: Globální oteplování – fakta a prognózy. *Gnosis9.net* [online]. ©2010. Dostupné z: http://gnosis9.net/view.php?cisloclanku=2007020004

Seznam tabulek

Tab. 1: Kanály MSG a jejich základní charakteristiky 14
Tab. 2: Situace s nebezpečnými jevy i situace bez nebezpečných jevů..... 114
Tab. 3: Statistické zpracování hodnot *re základny* (μm), *re top* (μm), *Tl* (°C), *Tg* (°C), *T14μm* (°C) a rozdílu *Tl – Tg*..... 116
Tab. 4: Korelační koeficienty (R) pro všechny páry sledovaných veličin 125
Tab. 5: Koeficienty determinace (R^2) pro všechny páry sledovaných veličin 126

Seznam použitých zkratek

AVHRR – Advanced Very High Resolution Radiometer – přístroj pro snímkování oblačnosti

CAPE – Convective Available Potential Energy – dostupná konvekční potenciální energie

Cb – cumulonimbus

CIN – Convective Inhibition – tlumení konvekce

CO_2 – oxid uhličitý

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČR – Česká republika

dBZ – decibely radarové odrazivosti

EPS – EUMETSAT Polar System – družice EUMETSATu na polární dráze

ESSL – European Severe Storms Laboratory – Evropská laboratoř silných bouří

ESWD – European Severe Weather Database – Evropská databáze nebezpečných jevů počasí

EUMETCast – systém distribuce družicových dat a produktů

EUMETSAT – European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites – Evropská organizace pro využití meteorologických družic

GERB – přístroj určený pro měření celkového záření na horní hranici atmosféry

GFS – Global Forecasting System – jeden z numerických předpovědních modelů

GOES – Geostationary Operational Environmental Satellites – geostacionární družice NOAA

HRV – High Resolution Visible – kanál s vysokým rozlišením v oblasti viditelného světla

IR – Infra Red – infračervené záření

K – Kelvin

MCP – řídící jednotka družice MSG

MOCON – konvergence vlhkosti v mezní vrstvě

MSG – Meteosat Second Generation – druhá generace družic společnosti EUMETSAT

NIR – Near Infra Red – blízké infračervené záření

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

NWP – Numerical Weather Prediction – numerická předpověď počasí

re – efektivní poloměr částic

re top – efektivní poloměr částic u vrcholu oblačnosti

re základny – efektivní poloměr částic u spodní základny oblačnosti

RGB – barevné snímky vzniklé skládáním informací z jednotlivých družicových kanálů

RUC – Rapid Update Cycle

SAF NWC – Satellite Application Facility on Support to Nowcasting – Zařízení pro aplikaci družicových pozorování k podpoře nowcastingu

S&R – systém pro sběr nouzových signálů v dosahu družice

Sc – stratocumulus

SEVIRI – Spinning Enhanced Visible and Infra Red Imager – snímkovací radiometr družice MSG

SO_2 – oxid siřičitý

T14μm – teplota hladiny, kde oblačné částice dosahují poloměru 14 μm

TCu – Towering cumulus – cumulus congestus

Tg – teplota hladiny, nad kterou se objevují pouze ledové částice

Tl – teplota horní hranice spodní lineární části grafu *T-re*

T-re – graf, kde *T* představuje teplotu a *re* efektivní poloměr oblačných částic

USA – Spojené státy americké

UTC – Coordinated Universal Time – koordinovaný světový čas

VIS – Visible – oblast viditelného světla

WV – Water Vapor – vodní pára