



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ  
FAKULTA**  
Univerzita Karlova

## **DISERTAČNÍ PRÁCE**

Jan Mejsnar

**Velmi krátkodobá předpověď srážek pro teplou polovinu roku**

Katedra fyziky atmosféry

Vedoucí disertační práce: doc. RNDr. Zbyněk Sokol, CSc.

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Meteorologie a klimatologie

Praha, 2018

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 24. 5. 2018

podpis

**Název práce:** Velmi krátkodobá předpověď srážek pro teplou polovinu roku

**Autor:** Jan Mejsnar

**Katedra:** Katedra fyziky atmosféry

**Vedoucí disertační práce:** doc. RNDr. Zbyněk Sokol, CSc., Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i.

**Abstrakt:** Současné systémy velmi krátkodobé předpovědi srážek primárně využívají extrapolaci pozorované radarové odrazivosti. Využil jsem extrapolaci a studoval limity předpovědí s využitím konceptu dekorelačního času (DCT). Použil jsem údaje z dvou radarů pokrývajících území České republiky z teplých částí čtyř let a spočítal DCT v závislosti na vybraných podmínkách popisujících stav atmosféry. Zjistil jsem, že průměrné DCT pro extrapolaci je 45,4 minut. Průměrné zvýšení DCT v porovnání s persistentní předpovědí je 13,4 minut. Nicméně v závislosti na meteorologických podmínkách může DCT vzrůst nebo klesnout o více než 40%. Také jsem zkoumal vývoj DCT během dvou vybraných konvektivních událostí. Zjistil jsem, že DCT se může výrazně měnit v čase, což je důsledek změny charakteru atmosféry během konvektivní události.

**Klíčová slova:** srážky, konvekce, velmi krátkodobá předpověď, extrapolace, předpověditelnost

**Title:** Precipitation nowcasting for the warm part of the year

**Author:** Jan Mejsnar

**Department:** Department of Atmospheric Physics

**Supervisor:** doc. RNDr. Zbyněk Sokol, CSc., Institute of Atmospheric Physics CAS

**Abstract:** Current precipitation nowcasting systems primarily use the extrapolation of observed radar reflectivity. I used the extrapolation and studied limits of the forecast using the concept of the decorrelation time (DCT). I used data from two radars covering the territory of the Czech Republic from warm parts of four years and calculated DCT in dependence on several selected conditions describing the state of the atmosphere. I found that the mean DCT for the extrapolation is 45.4 minutes. On average the increase of the DCT in comparison when the persistence forecast is employed is 13.4 minutes. However, in dependence on current conditions the DCT may increase or decrease in more than 40 %. I also explored time evolution of the DCT during two storm events. I found that the DCT may significantly change in time, which is the consequence of changing character of the atmosphere during the storm development.

**Keywords:** precipitation, convection, nowcasting, extrapolation, predictability

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své práce Zbyňku Sokolovi. Dále bych rád poděkoval ČHMÚ za radarová data.

# Obsah

Úvod	1
<b>1. Velmi krátkodobá předpověď srážek pro teplou polovinu roku</b>	<b>2</b>
1.1. Srážky a jejich předpověď	2
1.2. Předpověď srážek pro teplou polovinu roku	3
1.3. Velmi krátkodobá předpověď srážek	5
1.4. Výstrahy	7
<b>2. Radarová data</b>	<b>8</b>
2.1. Meteorologické radary, použitá data	8
2.2. Radarové odhady srážek	10
2.3. Pohybová pole	11
2.4. Extrapolované předpovědi radarových odhadů srážek	15
<b>3. Předpověď srážek</b>	<b>17</b>
3.1. Deterministická kvantitativní předpověď	17
3.2. Pravděpodobnostní předpověď, tvorba ensemblů	17
3.3. Statistický postprocessing	19
3.4. Prostorový krok předpovědi	20
3.5. Blending předpovědí	21
<b>4. Předpověditelnost</b>	<b>24</b>
4.1. Verifikace předpovědí, verifikační statistiky	24
4.2. Model optimální trajektorie	25
4.3. Dekorelační čas DCT	28
4.4. Metodika výpočtu DCT	29
4.4. Persistentní předpověď, +DCT a +DCT/DCT	31
<b>5. Meteorologické charakteristiky</b>	<b>32</b>
5.1. Přehled použitých meteorologických charakteristik	32
5.2. Charakteristiky konvekce	34
5.3. Obecné charakteristiky	36
5.4. Synoptický typ, přechody front, směr pohybového pole	36
5.5. Trendy	38
5.6. Vztahy mezi charakteristikami	38

<b>6. Závislost DCT na meteorologických charakteristikách</b>	<b>41</b>
6.1. Rozdíly mezi PK, SK a MP	41
6.2. Vliv meteorologické situace na korelační koeficienty	43
6.3. Vliv meteorologické situace na CSI	45
6.4. Změny DCT PK v čase	46
6.5. Závislost DCT PK, +DCT PK a +DCT/DCT na met. charakteristikách	47
6.6 Podrobnější příklady závislosti DCT na met. charakteristikách	50
<b>7. Případové studie</b>	<b>58</b>
7.1. Případ 22. 6. - 5. 7. 2009	58
7.2. Případ 15. 8. 2010	63
<b>8. Plošné DCT</b>	<b>65</b>
8.1. Geografie České republiky	65
8.2. Metodika výpočtu GDCT	66
8.3. GDCT v České republice	67
8.4. Radarové odhady srážek pro různé meteorologické podmínky	71
8.5. Mapa četnosti výskytu konvektivních jader	75
8.6. Závislost GDCT na meteorologických charakteristikách	76
8.5. Závislost +GDCT na denní době	78
8.6. Závislost GDCT na délce použité předpovědi	79
<b>Závěr</b>	<b>81</b>
<b>Seznam použité literatury</b>	<b>84</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>92</b>
<b>Seznam obrázků</b>	<b>93</b>
<b>Seznam použitých zkratk</b>	<b>95</b>
<b>Příloha 1</b>	<b>96</b>

# Úvod

**V teplé polovině roku jsou převažujícím typem srážek ve střední Evropě konvektivní srážky.** Ty jsou velmi variabilní v prostoru i čase. Konvektivní srážky mohou být intenzivní a způsobit významné škody, proto je předpověď konvektivních srážek důležitá. Pro velmi krátkodobou předpověď se často používá extrapolace aktuálního stavu, taková předpověď je většinou „lepší“ než výstupy z modelů. Společným znakem většiny extrapolačních metod je využití radarových dat, které jsou klíčové pro monitoring konvektivních jevů včetně srážek.

Téma mé dizertační práce je **Velmi krátkodobá předpověď srážek pro teplou polovinu roku.** V práci se věnuji krátkodobé předpovědi srážek na 120 minut a to na základě dat z meteorologických radarů. Nejdůležitější část práce se zabývá předpověditelností srážek za různých meteorologických podmínek.

Práce je rozdělena do **8 kapitol.** V prvních třech kapitolách se věnuji základním pojmům z oblasti předpovídání srážek a meteorologickým radarům. Zároveň zde prezentuji některé testovací výpočty. V kapitole 4 uvádím verifikační statistiky včetně dekorelačního času (DCT). V kapitole 5 představuji vybrané charakteristiky atmosféry. Těžiště práce leží v kapitole 6, v které ukazuji, jak se kvalita předpovědi srážek, vyjádřená pomocí DCT, liší v závislosti na aktuální meteorologické situaci. V kapitole 7 se věnuji vybraným konvektivním událostem, přívalovým srážkám a bleskovým povodním v červnu a červenci 2009 a dále 15. 8. 2010, kdy se vyskytlo několik supercel včetně silného krupobití. V poslední osmé kapitole je prezentován vliv meteorologických charakteristik na plošný dekorelační čas (GDCT), tedy jak se liší předpověditelnost srážek pomocí radarových dat napříč Českou republikou.

# 1. Velmi krátkodobá předpověď srážek pro teplou polovinu roku

Předpověď srážek je jedním z ústředních témat meteorologie. Srážková pole nejsou spojitá, jako třeba pole teplotní, a jejich předpověď je výrazně obtížnější. Tato obtížnost je výrazná především v letním období, kdy často dochází **k rozvoji konvektivních srážek**, jejichž vývoj bývá velmi rychlý a velmi lokalizovaný, a proto obtížně predikovatelný.

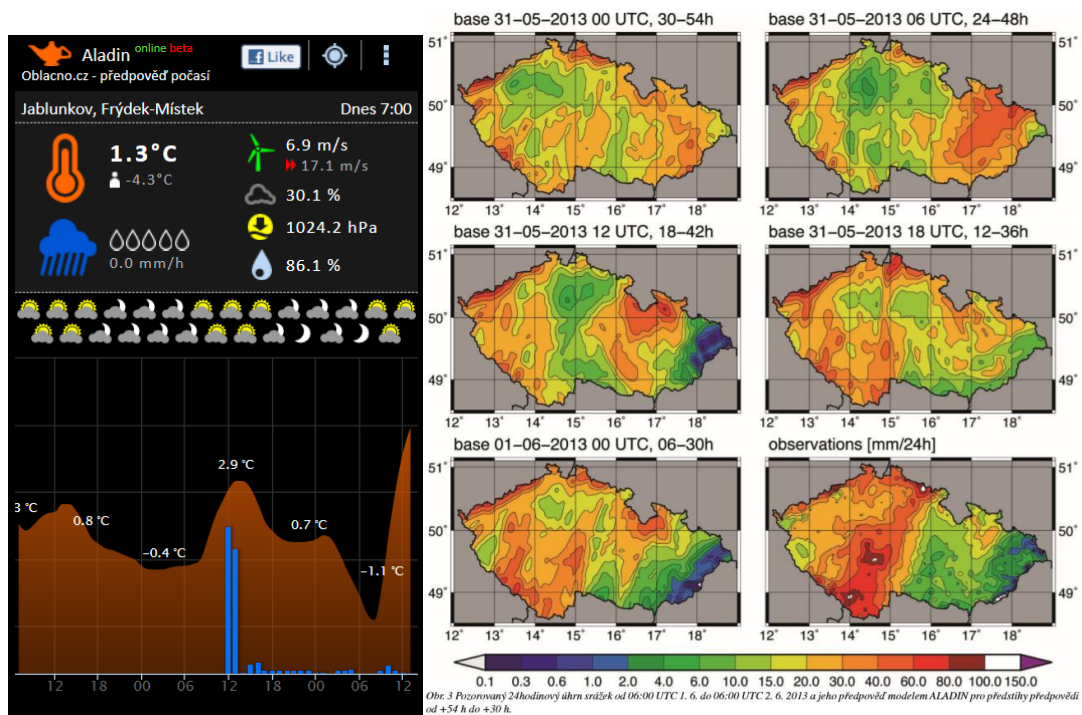
## 1.1. Srážky a jejich předpověď

Při předpovídání srážek se postupně nabízejí tyto otázky: 1) **Jaké srážky** lze očekávat v příštích hodinách?, 2) Jaké varianty srážek lze očekávat a s jakou pravděpodobností?, 3) **Jak vyhodnotit kvalitu předpovědi?**, 4) Jak se kvalita předpovědi liší během dne, roku, podílu konvekce na srážkách v dané chvíli,... 5) Jak se kvalita předpovědi liší v rámci České republiky?, 6) Jaká je kvalita předpovědi během výrazných konvektivních událostí, např. během bleskových povodní.

Základním nástrojem pro měření srážek jsou **srážkoměry**. Měření srážkoměrů má systematické chyby (např. Atlas podnebí Česka; Ptáček, 2014). Srážkoměrů existuje mnoho typů. V posledních letech dochází k rozvoji srážkoměrů s on-line přenosem dat. Kromě srážkoměrů jsou prostředkem pro měření srážek také metody dálkové detekce, např. meteorologické radiolokátory nebo meteorologické družice.

Pro běžného uživatele je předpověď počasí **série piktogramů v novinách** nebo **v mobilních aplikacích**, případně nějaká animace. Předpověď srážek na následující dny může být v podobě jednoho údaje pro jeden kraj (2-6 mm v Jihomoravském kraji), v podobě předpovědí hodinových sum srážek pro konkrétní místo (obr. 1 vlevo) nebo např. v podobě **map předpovědí** 3-hodinových, 6-hodinových nebo 24-hodinových (obr. 1 vpravo) **úhrnů srážek**.



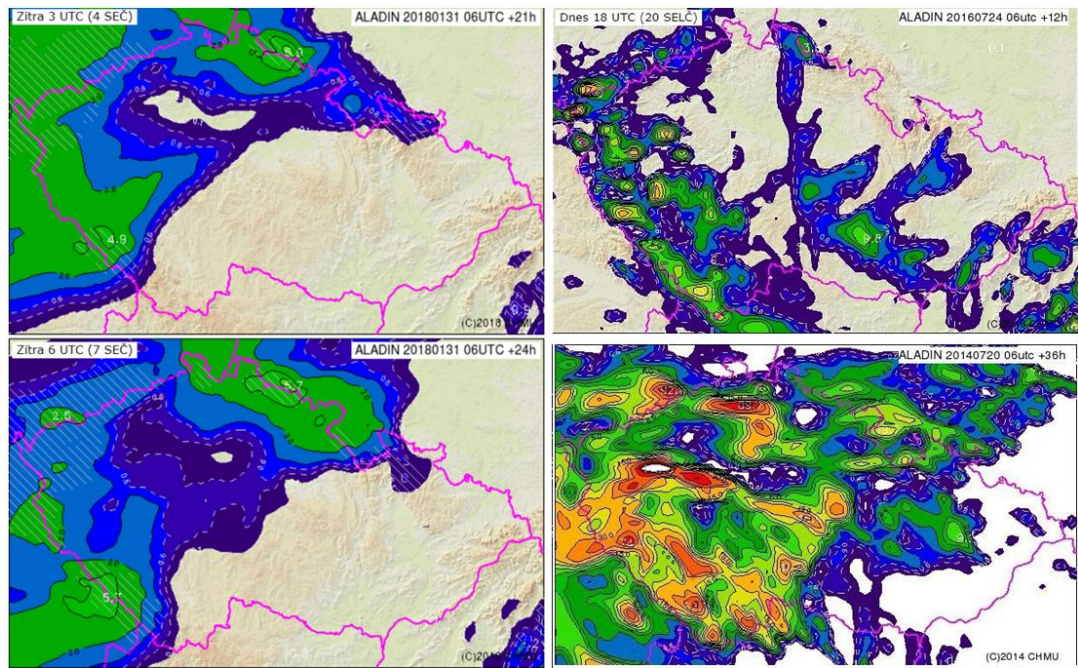


**Obr. 1 (vlevo)** Předpověď aplikace numerického modelu ALADIN pro Jablunkov. Předpovědi hodinových úhrnů srážek reprezentují modré sloupce. ([http://aladinonline.androworks.org/#search\\_place\\_box](http://aladinonline.androworks.org/#search_place_box)); **(vpravo)** Předpověď 24-hodinových úhrnů srážek od 1.6.2013 6:00UTC do 2.6.2013 6:00 UTC. 5 běhů modelu ALADIN po 6 hodinách (31.5. 0:00 až 1.6. 0:00). Model postupně zlepšuje lokalizaci a intenzitu srážek povodní 2013. Šestý obrázek vpravo dole představuje skutečné srážky (převzato z Brožková a kol., 2013).

## 1.2. Předpověď srážek pro teplou polovinu roku

V teplé polovině roku jsou převažujícím typem srážek ve střední Evropě konvektivní srážky. Ty jsou velmi variabilní v prostoru i čase. Vývoj konvektivních oblaků, a případných s nimi spojených srážek, probíhá velmi rychle. **Délka trvání izolovaných konvektivních bouří** se pohybuje v řádu několika **desítek minut**, v případě **organizované konvekce** pak v délce až **několika hodin**. Proto je kvantitativní předpověď konvektivních srážek velmi obtížná.

Součástí výzkumu předpovědních metod je i studium předpověditelnosti silných konvektivních srážek a s tím související nejistoty předpovědních metod. Vzhledem k nejistotě předpovědi srážek je třeba kromě vlastní předpovědi kvantifikovat i její nejistotu.



**Obr. 2** Předpověď vícehodinových úhrnů srážek. Vlevo příklad srážek v zimě z vrstevnaté oblačnosti. Vpravo příklad předpovědi konvekce a velmi silné konvekce v letních měsících.

V **zimních měsících** převládají **srážky z vrstevnaté oblačnosti** (obr. 2 vlevo). V **letních měsících** převládají **srážky z konvektivní oblačnosti**. Začátek, postup a konec srážek z vrstevnaté oblačnosti je v porovnání s organizovanou i neorganizovanou konvekcí lépe předpověditelný. Začátek neorganizované konvekce se předpovídá nejhůře. Jakmile srážky z konvektivní oblačnosti jednou vzniknou, pak se zpravidla extrapolačními metodami předpovídá jejich postup a výskyt v dalších oblastech.

V případě **neorganizované konvekce**, což je často případ nevýrazných tlakových polí, anticyklonálních situací, východních situací, případně situací s výrazným denním chodem, dochází k událostem, kdy místa beze srážek leží jen pár kilometrů od míst s přívalovými srážkami (obr. 2 vpravo) a spolehlivá **předpověď konkrétního místa je v současnosti nemožná**.

V teplé polovině roku mohou významné srážkové události nastat ve spojitosti s konvektivními jevy (např. Müller a Kakos, 2004; Soukalová, 2002; Šálek a kol.(2), 2002; Šálek a kol., 2012), s povodňovými srážkami z rozsáhlé vrstevnaté oblačnosti (Daňhelka a Šercl, 2011; Šálek a kol.(1), 2002) nebo v kombinaci s obojím (Brožková a kol., 2013; Novák a Kyznarová, 2013)

**Základním nástrojem** pro předpověď srážek jsou numerické modely předpovědi počasí (**NWP**). Předpověď srážek v letních měsících je zároveň úzce svázána s využitím indexů jako prekurzorů konvekce (Zacharov a Řezáčová, 2005), využitím teplotních profilů (Pokorný a Žák, 2012) nebo využitím indexu CAPE (Sulan a kol., 2004). Popis nástrojů pro předpověď silné konvekce v Českém hydrometeorologickém ústavu (dále ČHMÚ) je uveden v Šopko (2016).

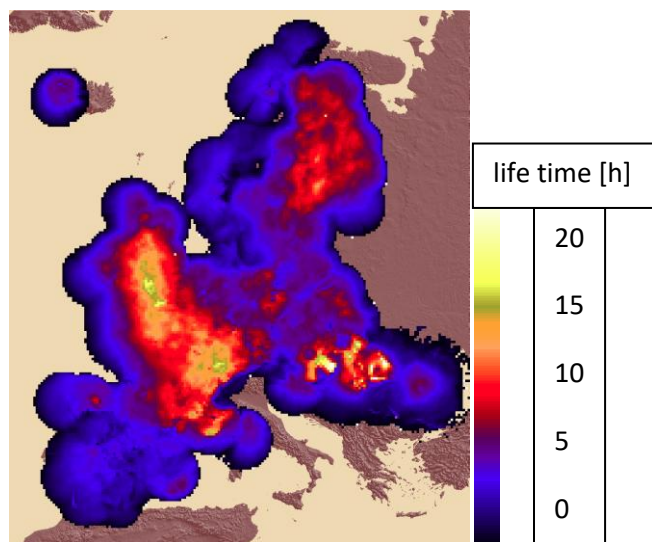
V neposlední řadě se předpověď srážek z konvektivní oblačnosti prolíná s využitím **družicových snímků** a výskytem přestřelujících vrcholů (Radová a kol., 2015; Valachová, 2015) nebo s využitím **detekce bleskové aktivity** (Novák a kol., 2009; Novák, 2012; Valachová, 2015).

### 1.3. Velmi krátkodobá předpověď srážek

Pro velmi krátkodobou předpověď srážek s délkou předpovědi do několika hodin se zpravidla využívají metody založené na **extrapolaci aktuálního pole radarové odrazivosti** (např. Bellon a kol., 2010; Berenguer a Sempere-Torres, 2014; Foresti a Seed, 2014; Germann a Zawadzki, 2002; Mejsnar a Sokol, 2017; Novák a kol., 2007; Novák a kol., 2009; Sokol a kol., 2009), případně jejich kombinace (**blending**) s numerickými modely pro předpověď počasí (**NWP**) (např. Haiden a kol., 2011; Ridal a kol., 2011; Scheufele a kol., 2014; Wilson a kol., 1998). Extrapolační metody nemodelují vývoj srážek a omezují se na prosté přesunutí naměřených dat podél Lagrangeových trajektorií, které jsou vypočteny z časové posloupnosti polí radarové odrazivosti.

Délka předpovědi, pro kterou jsou extrapolační metody lepší než NWP, se v jednotlivých studiích liší a obvykle se pohybuje **od 2 do 6 hodin** (Berenguer a

Sempere-Torres, 2014 (obr. 3); Germann a Zawadzki, 2004; Novák a kol., 2009; Wilson a kol., 1998). Existují také sofistikovanější metody, které kombinují data z více zdrojů s různými empirickými pravidly, např. COALITION přístup (Nisi a kol., 2014). Přehled současného stavu nowcastingu srážek je v Foresti a kol. (2014) a v Sun a kol. (2014).



**Obr. 3** Průměrný life time (DCT) pro období od června 2012 do května 2013 s využitím Evropské sloučené radarové informace (převzato z Berenguer a Sempere-Torres, 2014).

**Společným znakem většiny nowcastingových metod je využití radarových dat,** které jsou klíčové pro monitoring konvektivních jevů včetně srážek. Radarová data jsou také vhodná pro zkoumání variability výskytu bouří a konvektivních buněk v čase a prostoru a ke stanovení předpověditelnosti těchto bouří, protože poskytují plošná i prostorová data s vysokým plošným a časovým rozlišením.

## 1.4. Výstrahy



**Obr. 4** Příklad mapy výstrah z 25. 6. 2013 (třetí vlna povodní 2013). Srážkové a hydrologické jevy dosahují extrémního stupně nebezpečí (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/om/zpravy/index.html>).

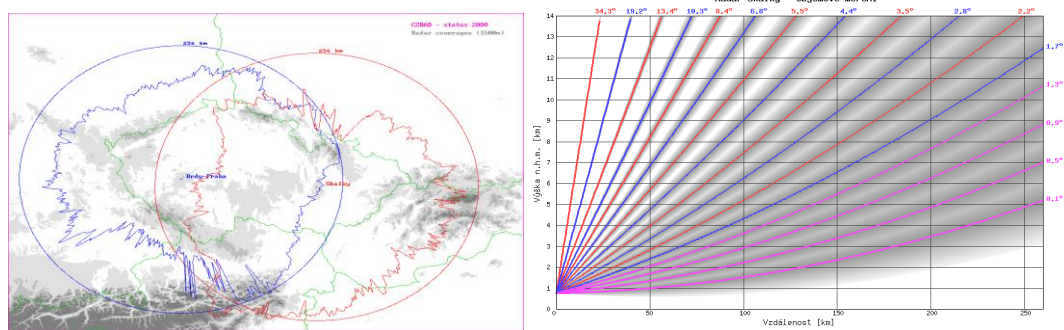
Předpověď srážek se používá jako jeden ze vstupů do Systému integrované výstražné služby (SIVS). **Systém výstrah** před jednotlivými meteorologickými jevy je založen na výstrahách pro okresy, případně kraje a povodí (obr. 4). Otázkou je rozšíření pro jednotlivé typy výstrah až na úroveň obcí - případně individuálních zákazníků. **Možnosti predikce přívalových povodní** v podmínkách České republiky popisuje Březková a kol. (2015).

## 2. Radarová data

Měl jsem k dispozici radarová data z měsíců **květen až září, z let 2009 až 2012** (celkem 88128 termínů) z meteorologických radarů Brdy a Skalky. Pro všechny termíny, které splňovaly podmínku minimálních srážek v oblasti, jsem spočetl pohybové pole a pomocí Lagrangeových trajektorií stanovil předpovědi pro délky předpovědi 10, 20 až 120 minut.

Při použití dat z dvou českých radarů už nelze předpovídat na celém území České republiky déle než na 120 minut. Proto jsem se věnoval **nowcastingu jen na první dvě hodiny**. Nowcasting radarových odhadů srážek je ale v ČR „lepší“ než předpovědi numerických modelů i ve třetí předpovědní hodině (Novák a kol., 2009).

### 2.1. Meteorologické radary, použitá data



**Obr. 5 (vlevo)** Poloha radarů, jejich dosah (kružnice) a průměrná teoretická dostupnost hladiny 1500 m.n.m. pro nejnižší elevační úhel. Nejhorší dostupnost je za nejvyššími pohořími. Čím vzdálenější oblast, tím jsou nejnižší elevační úhly ve vyšší hladině. ([http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info\\_czrad/index.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_czrad/index.html)); **(vpravo)** Schéma objemového měření radaru v roce 2010. Čtyři nejnižší paprsky (fialové elevační úhly) se měřily každých 5 minut. Ostatní paprsky (modré a červené křivky) se měřily jen jednou za 10 min. Sloučením všech měření se získal jeden kompletní desetiminutový scan.

České meteorologické radary jsou radary s Dopplerovským měřením (Fyzika oblaků a srážek; Novák a kol., 2008; Novák a Kráčmar, 2001). V roce 2015 proběhla obnova radarů (Novák a Kyznarová, 2016).

Měl jsem k dispozici radarová data z 20 letních měsíců (květen až září, 2009 až 2012), z 0, 10 až 50 minuty z každé hodiny s horizontálním rozlišením 1 km x 1 km (celkem 88 128 termínů). Použil jsem sloučenou radarovou informaci z meteorologických radarů **Brdy a Skalky**, provozovaných ČHMÚ.

Data byla kontrolována standardním způsobem prováděným v ČHMÚ. **Kontrola naměřených dat** spočívá v odstranění pozemních odrazů Dopplerovským filtrem, redukci nemeteorologických artefaktů (Novák a Kráčmar, 2002) a umělých signálů v polích odrazivosti - WIFI interference (Žejdlík a Novák, 2010). Radary jsou umístěny v nejvyšších partiích vrchovin, což zajišťuje, že blokování radarových paprsků okolní krajinou je minimální a významně neznehodnocuje kvalitu dat.

Zkontrolovaná data jsou interpolována do hladiny 2 km nad mořem (Constant Altitude Plan Position Indicator (**CAPPI2km**)). Použitím maximální hodnoty v oblasti překryvu jednotlivých radarů je vytvořen kompozitní snímek v oblasti 728 km na 528 km.

V celé práci používám **čas UTC**, který je o 2 hodiny posunutý oproti letnímu středoevropskému času. Pro stanovení limitů radarové extrapolace je kompozit CAPPI2km dostačující, průměrná výška maximální odrazivosti jednotlivých konvektivních jader je 2 až 2.7 km, v závislosti na délce života buněk (Kyznarová a Novák, 2009). Další kompozit ZMAX (maximální odrazivost v daném sloupci) jsem použil pro výpočet pohybových polí. Jiné radarové produkty jsem nepoužil, originální data jednotlivých elevačních úhlů a jiné vertikální hladiny jsem neměl k dispozici.

Kromě celého souboru jsou **zvláště zkoumány 2 případy silných konvektivních srážek**. Na vybraných situacích lze znázornit vývoj délky předpověditelnosti v závislosti na meteorologickém vývoji situace. **První** vybrané období je **22. 6. - 5. 7.**

**2009. Druhým** případem je **15. 8. 2010**, kdy se vyskytlo několik supercel včetně silného krupobití v Praze.

## 2.2. Radarové odhady srážek

Pro přepočítání radarové odrazivosti na intenzitu srážek je používán **Marshall-Palmerův vztah**

$$Z = 200R^{1.6}, \quad (1)$$

kde  $Z$  je hodnota odrazivosti v  $\text{mm}^6/\text{mm}^3$  a  $R$  jsou srážky v  $\text{mm}/\text{h}$ . Pro verifikaci byly vyřazeny termíny, kdy průměrné odhady intenzit srážek na oblasti odvozené z radarové odrazivosti v nadmořské výšce 2 km (produkt CAPPI2km) byly nižší než 0.01  $\text{mm}/\text{h}$ . Tato podmínka odfiltrovala situace bez významné srážkové oblačnosti nebo pouze s nemeteorologickými cíli a slabými meteorologickými cíli. Průměrná intenzita srážek na oblasti pro 37526 takto vybraných termínů byla 0.14  $\text{mm}/\text{h}$ . Přepočteno na jedno letní období květen-září se jedná o průměrné srážky 230 mm, což je hodnota pod klimatickým normálem na oblasti (Atlas podnebí Česka).

**K adjustaci radarových dat** se používají **srážkoměrná data**. V případě využití srážkoměrných dat je potřeba stanovit interpolační schémata pro kombinaci srážkoměrných a radarových dat a jejich vážení (Sokol a kol., 2003; Zacharov a kol., 2004). Srážkové úhrny je možné statisticky korigovat (Sokol a Řezáčová, 2001). Statistické modely výrazně zlepšují denní srážkové úhrny ve srovnání s přímo vypočtenými radarovými odhady srážek. Aktuální provozní způsob kombinace radarových a srážkoměrných dat v ČHMÚ je MERGE 2 (Novák a Kyznarová, 2016).

Plošné rozložení krátkodobých srážek s využitím radarových dat je studováno v Bližňák a Sokol (2008), odhady srážek mohou být zpřesněny i s pomocí družicových dat (Bližňák a Sokol, 2011). V posledních době dochází k rozvoji on-line srážkoměrů, které zpřesňují provozní odhady srážek.

To, že radar srážky podceňuje, nemá zásadní vliv na výsledky prediktability. **Záměrně nebyla použita srážkoměrná data** k adjustaci radarových dat a to



z následujících důvodů. Srážkoměrná měření jsou nehomogenně rozložena na zájmové oblasti a jejich využití by vnášelo do verifikace nové druhy chyb. V neposlední řadě i výše uvedené studie použily pouze radarová data.

### 2.3. Pohybová pole

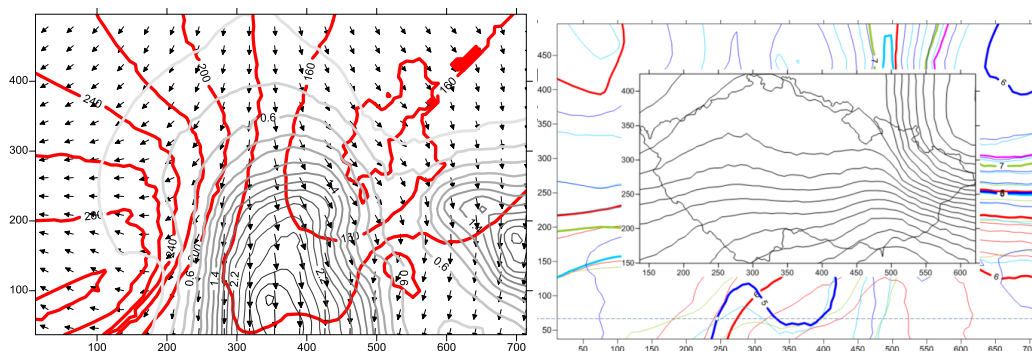
Extrapolace radarových dat přináší tyto otázky: jaká jsou vstupní data pro výpočet pohybových polí, jak se vypočítá pohybové pole a extrapolace, případně jak se všechna pole interpolují.

Pohybová pole jsou obecně dvojího typu. Buď se pohybové pole určí na základě shody mezi dvěma radarovými poli ve dvou po sobě následujících termínech (např. Rinehart a Garvey, 1978; Turner a kol., 2004). Tato shoda se posuzuje např. minimalizací střední absolutní chyby nebo maximalizací korelačního koeficientu mezi navrženým posunutým radarovým polem z prvního termínu a radarovým polem z druhého termínu.

Druhým přístupem je sledování jednotlivých individuálních srážkových buněk (Kober a Tafferner, 2009; Kyznarová a Novák, 2009; Zahraei a kol., 2012).

Použil jsem první přístup pomocí metody **COTREC** (Novák a Kyznarová, 2013), která v několika krocích minimalizuje střední absolutní chybu pro celou oblast a poté pro menší a menší čtverce v dané oblasti. Pro všechny termíny bylo touto metodou spočteno pohybové pole. Pro výpočet pohybových polí se použilo porovnání polí maximálních odrazivostí (ZMAX) z času T a T-10 min.

Testovací výpočty ukázaly, že právě rozdíl 10 min. (COT10) dává pro zvolenou metodu lepší výsledky než pohybové pole určené na základě polí odrazivostí z časů T a T-5 min. (COT5), případně T a T-15 min. (COT15) a T a T-20 min. (COT20).



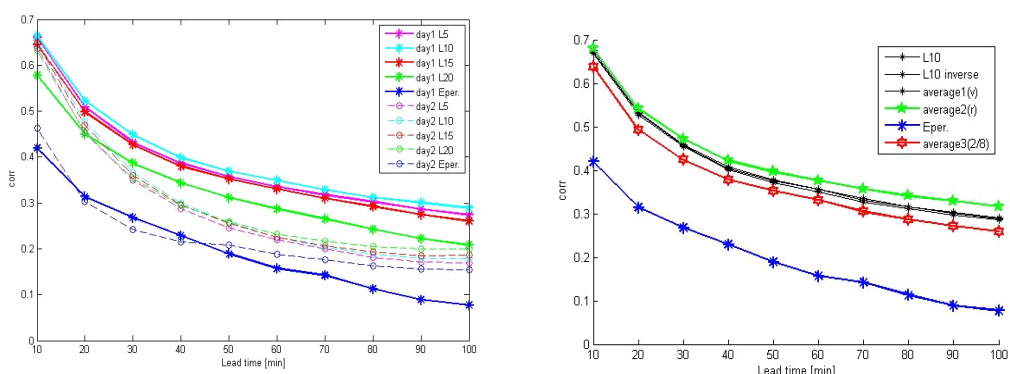
**Ob. 6 (vlevo)** Příklad pohybového pole spočtené metodou COTREC. Šedé linie jsou izotachy. Červené izočáry dělí vektorové pole podle směru spočteného pole; **(vpravo)** Průměrná rychlost pohybového pole pro červenec 2010. Vysoká rychlost polí v SV kvadrantu je způsobena nadprůměrnou četností situací s nemeteorologickými cíly v této oblasti (interference s vysílači poskytovatelů internetového připojení).

	2010/06			2010/07		
	celá oblast	jen ČR		celá oblast	jen ČR	
COT5	7,36	7,32	0,04	3,96	3,62	0,34
COT10	7,18	7,24	-0,06	4,32	4,1	0,22
COT15	6,35	6,33	0,02	4,15	3,99	0,16
COT20	5,29	5,24	0,05	3,96	3,82	0,14

**Tab. 1** Průměrné rychlosti pohybového pole [m/s] pro celou výpočetní doménu a pouze pro plochu ČR pro červen a červenec 2010 pro 4 různé časové diference vstupních polí.

Testovací výpočty z 300 termínů z června a července 2010 měly prokázat, zda je oprávněné používat časový rozdíl 10 min. mezi radarovými poli použitými pro výpočet pohybového pole. Tu část **června 2010**, která nebyla postižena výpadkem dat, lze charakterizovat častým výskytem srážkových cílů. **Pohybová pole byla dobře určena**, průměrná rychlost pohybového pole je stejná uvnitř i vně ČR (tab. 1), rozdíly mezi COT5 (vstupní pole z časů T a T-5min.) a COT10 jsou minimální. COT5 dokáže lépe postihnout rychlý vývoj situace. COT15 a COT20 už dávají značně pomalejší pohybová pole.

Naproti tomu v **červenci 2010** bylo v průměru méně srážkových cílů, pohybová pole se tedy **počítala hůře** a uvnitř a vně ČR se více lišila (tab. 1 a obr. 6).



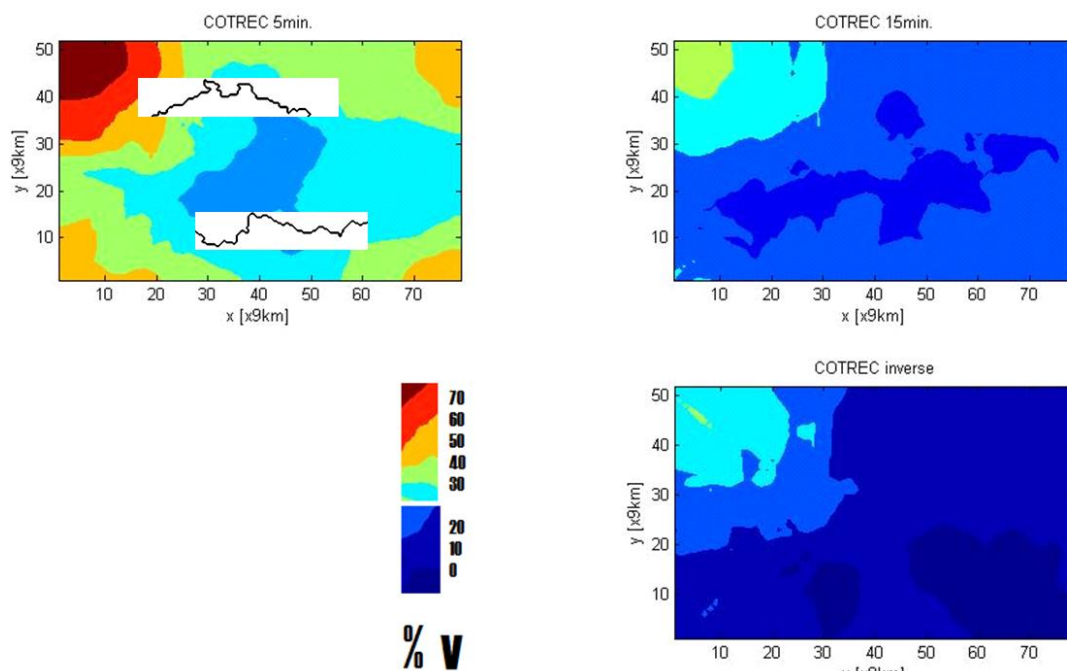
**Obr. 7 (vlevo)** Korelační hodnoty předpovědí na 10-100 minut s využitím COT5, COT10, COT15 a COT20 pro dva testovací konvektivní dny. Modrá čára je persistentní předpověď, na ose x je předpovědní čas (Lead time); **(vpravo)** Korelační hodnoty předpovědí na 10-100 minut s využitím COT10, inverzní COT10 a několika průměrů pro jeden testovací konvektivní den.

Při **vyhodnocení předpovědí pomocí korelačních koeficientů** dosahuje nejvyšších hodnot **zpravidla COT10**. Pro den1 (obr. 7 vlevo) je COT10 (tyrkysová) nejlepší ve všech předpovědních časech. Ve dni2 jsou korelační koeficienty celkově nižší, jen o málo vyšší než persistentní předpověď a s rostoucím předpovědním časem dosahuje nejvyšších korelačních hodnot robustní COT20 (zelená čárkovaná).

Tyto i další testovací výpočty odpovídají vlivu vstupních dat, prahů odrazivosti, velikostí „cotrecovských“ obdélníků, interpolace a hlazení výstupů, které zkoumali pro Jižní Koreu Bellon a kol. (2010) a Lee a kol. (2010).

Další možností testování bylo použít metodu COTREC na stejná dvě pole radarové odrazivosti, ale v obráceném pořadí. Toto pohybové pole by mělo být stejné, jen vynásobené (-1), v praxi tomu tak ale nemusí být. Jako **inverzní COTREC (COTinv)** jsem tedy vzal výpočet pohybového pole z polí T-X a T místo T a T-X. Hodnoty korelačních koeficientů pro předpovědi s použitím COT10, COT10inv a s použitím průměrného pohybového pole  $(COT10+COT10inv)/2$  jsou velmi blízké sobě (3 černé čáry na obr. 7 vpravo; average1). Pokus **průměrovat** přímo extrapolované

předpovědi využívající COT10 a COT10inv místo průměrování pohybových polí přinesl „rozmazání“ předpovědí srážkových polí a výsledná korelace je pak vyšší (zelená čára na obr. 7 vpravo). Pokus vzít mediánové pohybové pole z 8 různých polí (COT5,10,15,20 a inverzní COT5,10,15,20) naopak korelační koeficienty zmenšilo (červená čára).



**Obr. 8** Průměrný relativní rozdíl průměrné rychlosti pohybového pole mezi COT10 a COT5 (vlevo nahoře), COT15 (vpravo nahoře), COT10inv (vpravo dole) pro jednotlivé body domény pro 10 konvektivních dnů. Hranice ČR naznačeny pro COT5.

Pohybové pole spočtené pomocí COT10 a COT10inv se liší, a to především v oblastech bez srážkových cílů. V takových oblastech je totiž pohybové pole určeno interpolací z oblastí, v kterých srážkové cíle potřebné pro výpočet pohybového pole byly k dispozici. Do těchto oblastí pak můžu pro dlouhé předpovědní časy extrapolovat srážkové cíle se značnými rozdíly. Rozdíly mezi COT10 a COT10inv pro 73 hodin z 10 dní se silnou konvekcí se v hodnotách průměrné rychlosti liší o 10-20% (obr. 8 c)). Rozdíly mezi COT10 a COT15 jsou 20-30% (obr. 8 b)). Rozdíly mezi COT5 a COT10 jsou nejvyšší (obr. 8 a)), na území ČR je průměrný rozdíl v rychlosti spočteného pohybového pole až 50%. V těchto 10 dnech probíhala konvektivní aktivita spíše ve východní polovině domény. **V předpovědní**

**praxi** se používají i data z radarů v sousedních zemích, spočtená pohybová pole mají tedy na okrajích oblasti menší chyby, než pokud jsou použita pouze data z radaru Brdy a Skalky.

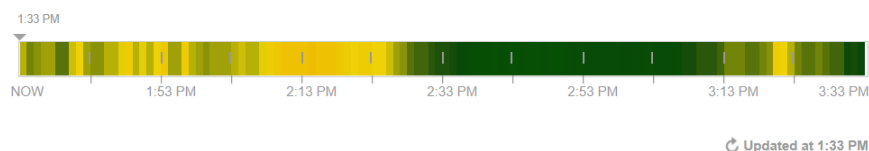
#### 2.4. Extrapolované předpovědi radarových odhadů srážek

Pohybová pole spočtená metodou COTREC jsem použil k předpovědi radarového echa v hladině CAPPI 2km pomocí Lagrangeových trajektorií pro délky předpovědi 10, 20 až 120 minut za předpokladu, že radarové měření je podél trajektorie v čase konstantní. Lagrangeovy trajektorie byly počítány zpětně. Pro výpočet předpovědi v čase  $T_k$  pro bod  $A_k$  v předpovědní oblasti bylo použito **pohybové pole ( $u, v$ )** určené metodou COTREC z termínů  $T$  a  $T-10$  min., které **je považováno za konstantní v čase**. Z bodu  $A_k$  se vypočetla trajektorie do bodu  $A_{k-1}$  vztahem  $A_{k-1} = A_k - \Delta t(u_k, v_k)$ , kde  $\Delta t=10$  min.,  $(u_k, v_k)$  jsou složky pohybového pole v bodě  $A_k$ . Bod  $A_{k-1}$  je bod, ve kterém se trajektorie nachází v čase  $T_k-10$  min. **Opakováním postupu se z bodu  $A_k$  dostaneme až do bodu A**, který odpovídá bodu trajektorie v čase  $T$ . Hodnotu pole v bodě A přiřadíme do bodu  $A_k$ . Při výpočtu konkrétních hodnot pohybového pole v bodech  $A_k$  používáme bilineární interpolaci.

Takto získané extrapolované předpovědi lze využít jak pro plošné předpovědi srážek, jako např. v rámci projektu **INCA** (Integrated nowcasting in Central Europe), kdy byla v ČHMÚ vyvinuta jednoduchá vizualizace extrapolovaných srážkových polí na následujících 60 minut (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/inca-cz/short.html>).



## Rain for at least 120 min



**Obr. 9** Aplikace MinuteCast od Accuweather znázorňuje předpověď intenzity srážek minutu po minutě na příští 2 hodiny (<https://www.accuweather.com/en/us/new-york-ny/10007/minute-weather-forecast/349727>).

Další možností je předpovídat pro jednotlivá místa intenzitu srážek minutu po minutě (např. na obr. 9). V následujících letech lze očekávat velký rozvoj komerčních aplikací, které budou individualizované pro jednotlivé zákazníky a které jim budou radit, kolik minut mají k dispozici, než skončí nebo začne pršet. Jednou z výzev verifikace předpovědí bude vyhodnocování kvality komerčních i nekomerčních předpovědí.

### 3. Předpověď srážek

Předpovědi lze jednoduše rozdělit na deterministické a pravděpodobnostní. **Deterministickou** předpověď rozumím standardní předpověď, která jednoznačně určuje **kde, kdy a jak přesně** budou v příštích hodinách vypadávat srážky. Taková předpověď je žádaná a snadno uchopitelná. Druhou možností je **pravděpodobnostní předpověď**.

#### 3.1. Deterministická kvantitativní předpověď

Spočítal jsem deterministickou předpověď na 120 minut pro velkou část domény pokryté radarem, **vyhodnocovat budu obdélníkovou oblast** (červená hranice na obr. 26). Oblast je velká přibližně jako ČR a její velikost a poloha byla volena s cílem, aby jen omezené množství termínů nebylo možné spočítat extrapolací, protože počáteční body trajektorií leží mimo oblast s radarovými daty, tj. vně dosahu radarů.

Deterministická předpověď je standardně využívána při extrapolaci radarové odrazivosti v řadě předpovědních systémů (Bellon a kol., 2010; Berenguer a Semper-Torres, 2014; Foresti a kol., 2014; Germann a Zawadzki, 2002).

#### 3.2. Pravděpodobnostní předpověď, tvorba ensemblů

Především v konvektivní sezoně má deterministická předpověď velké problémy s praktickým využitím, protože místa intenzivních srážek jsou situována blízko míst, v kterých jsou srážky nulové. Jedním z řešení je deterministické předpovědi prostorově či časově hladit, což znamená předpovídat shlazená pole. Po takovém shlazení dávají některá verifikační kritéria vyšší hodnoty, jiná naopak nižší. V praxi se deterministická předpověď interpretuje s „nejistotou“, tj. předpovídá se, že srážky se mohou vyskytnout i v místech bez předpověděných srážek, ale v blízkosti předpovídaných srážek.

Dalším řešením nedostatků deterministické předpovědi je **pravděpodobnostní interpretace předpověď**, tedy vlastně používání pojmů jako: na většině území přeháňky (50%+ pro konkrétní lokalitu), místy bouřky (tedy 50%-, nebo ještě méně), velmi pravděpodobně se do roku 2050 oteplí o tolik až tolik stupňů (90-100%).

Obecně existují tři možnosti tvorby pravděpodobnostní předpovědi. První možností je **metoda analogů**, kdy z dostatečně velké databáze historických situací, podle zvolených kritérií, vyberu situace, které jsou aktuálnímu termínu nejpodobnější. Kritéria mohou být jednoduchá jako velikost plochy se srážkami, směr proudění, část dne či počet srážkových buněk. Ensembl předpovědí je potom historický vývoj vybraných situací. Použití metody analogů dává smysl při použití velké databáze situací (Foresti a kol., 2015; Panziera a kol., 2011) a pro rozsáhlé oblasti s využitím více radarů (Atencia a Zawadski, 2015). Takové situace se lépe klasifikují.

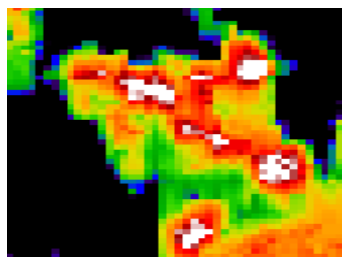
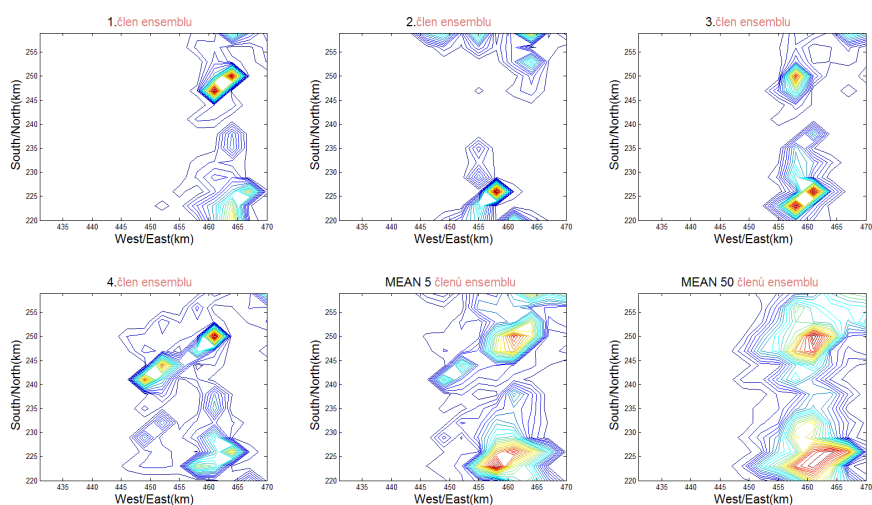
Druhou jednodušší možností pravděpodobnostní předpovědi je **metoda Local Lagrangien**. Jako pravděpodobnostní předpověď srážek v konkrétním bodě bereme hodnoty deterministické předpovědi z okolí tohoto bodu (Germann a Zawadski, 2004). Velikost okolí, které bereme v úvahu, a váha okolí roste s délkou předpovědi a může záviset i na dalších parametrech (Atencia a Zawadski, 2014). Metoda je velmi jednoduchá na použití, jejím výstupem jsou pravděpodobnosti různých intenzit srážek v daném bodě nebo mapy pravděpodobností překročení stanoveného úhrnu srážek.

Třetí rozsáhlou skupinou je **využití statistických vztahů** mezi srážkovými poli v čase a prostoru (např. Atger, 2003; Berenguer a kol., 2011; Bowler a kol., 2006; Foresti a kol., 2016; Germann a kol., 2009). Porovnáním této metody s předchozími dvěma se věnují např. Atencia a Zawadzki (2015) a Sokol a kol., (2017).

Jednotliví členové takto spočteného ensmbly předpovědí na 30 min. zachovávají podobnou strukturu (ukázka na obr. 10). Průměrováním členů ensmbly se získá zhlazené pole (obr. 10 vpravo dole). Skutečný vývoj v tomto příkladu lokálních přívalových srážek (obr. 10 vlevo dole) neodpovídá ani jednomu členu ensmbly,



nová jádra výrazné konvektivní aktivity se objevila 20 km západně od oblastí, do kterých jsou předpovídána.



**Obr. 10** Ukázka pravděpodobnostní předpovědi na 30 min. v oblasti 40km\*40km v okolí Moravské Třebové. 4 členové ensmbly, průměr 5 členů (MEAN 5) a průměr 50 členů (MEAN 50). Skutečná odrazivost (výřez vlevo dole) v čase T+30 min. není předpovězena žádným členem ensmbly.

### 3.3. Statistický postprocessing

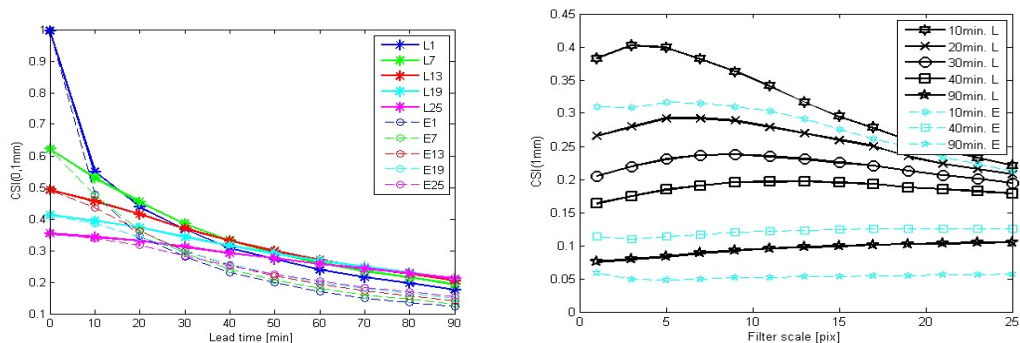
Každá předpověď má chyby. Systematické chyby předpovědí lze opravit pomocí experta/expertního systému („v těchto oblastech model vždy nadhodnocuje ranní minimální teploty, snižme je“). Expertní systém může být založen na statistickém postprocessingu, kdy hledáme **vztahy mezi předpovídanými a skutečnými poli** a snažíme se odstranit systematické chyby (Germann a Joss, 2001; Sokol, 2003; Sokol, 2007; Sokol a kol., 2013).

Předpovědi srážek pomocí extrapolace radarové odrazivosti mají také systematické chyby. Jednou z nich je nedostatečné vystihnutí denního chodu a **nástupu a zániku konvektivní aktivity**. Další systematickou chybou je opomíjení orograficky podmíněné srážkové aktivity. V Alpách jsou např. používány matrice, které zohledňují **lokalitu a nadmořskou výšku** (Haiden a kol., 2011; Mandapaka a kol., 2012; Nisi a kol., 2014). Česká pohorí nedosahují takové nadmořské výšky jako Alpy a vyskytují se na hranici nebo vně mé verifikační domény. Vlivem orografie se zabývám pouze v kapitole 8 v souvislosti s GDCT.

### 3.4. Prostorový krok předpovědi

Jednou z možností jak ovlivnit výsledky verifikačních kritérií je **prostorové či časové hlazení předpovědí**. Filtrování (hlazení) předpovědí v ploše či používání sumovaných hodinových srážek „zlepšuje“ hodnocení předpovědi pro naprostou většinu používaných verifikačních metod. To platí především pro kategorická validační kritéria, kde shlazení hodnot zlepšuje výsledky pro nízké prahy a zhoršuje výsledky pro vysoké prahy (Ebert, 2008). Takový postup může být dostatečný ke stanovení průtoků ve středně velkých a velkých povodích, ale je nedostatečný ke stanovení předpovědí vysokých úhrnů srážek v husté síti bodů.

Testovací výpočty pro kritérium CSI (Critical Success Index; Wilks, 2011) pro různé velikosti **průměrovacího čtverce**, v kterém předpověď hledím, ukázaly, že už pro předpovědní čas 20 min. dosahuje CSI s prahem 0,1mm nejvyšších hodnot pro průměrování s krokem 7km (L7 na obr. 11 vlevo). S narůstajícím předpovědním časem jsou hodnoty CSI nejvyšší pro větší čtverce. Pro vyšší předpovědní časy jsou hodnoty CSI bez ohledu na krok průměrovacího čtverce velmi nízké (obr. 11 vlevo). Maximum CSI s prahem 1mm se pro vyšší předpovědní časy přesouvá směrem k větší délce čtverců, v kterých se průměruje (obr. 11 vpravo).



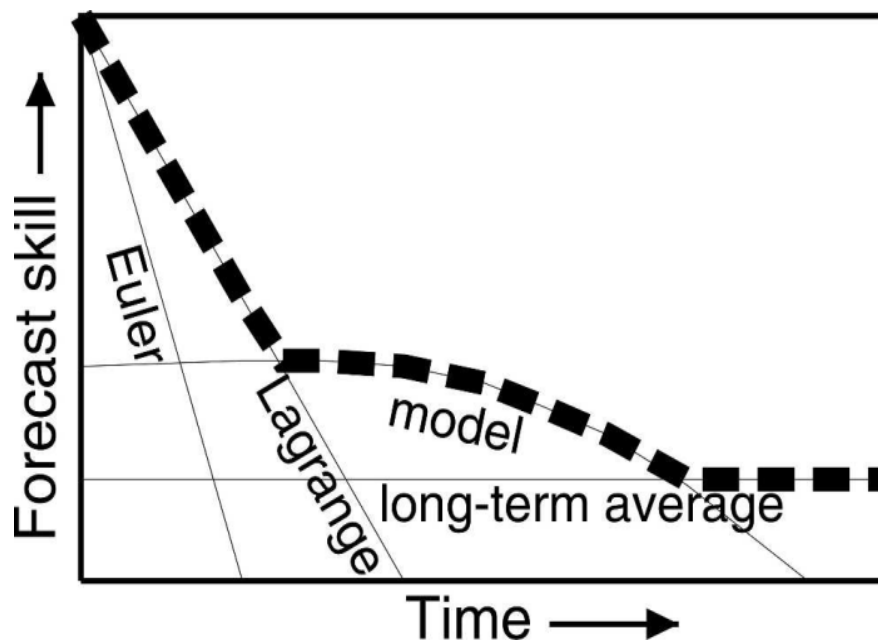
**Obr. 11 (vlevo)** CSI s prahem 0,1 mm pro extrapolované (L1-L25) a persistentní (E1-E25) předpovědi na 10 až 90 minut pro 10 testovacích konvektivních dnů. Čísla 1-25 značí délku čtverce v km, v kterém průměruji hodnoty předpovědí pro každý bod oblasti. Na ose x je předpovědní čas (Lead time); **(vpravo)** CSI s prahem 1 mm pro extrapolované předpovědi na 10, 20, 30, 40 a 90 min. a pro persistentní předpovědi na 10, 40 a 90 minut pro 10 testovacích konvektivních dnů. Filter scale 1-25 značí délku čtverce v km, v kterém průměruji hodnoty předpovědí pro každý bod oblasti.

Rozdíly v hodnotách validačních kritérií pro různé časové a prostorové kroky jsou v řádech procent až pár desítek procent (Bellon a kol., 2010; Ruzanski a Chandrasekar, 2012). Kvalita předpovědi silně závisí na prahu a délce předpovědi.

### 3.5. Blending předpovědí

Blendingem předpovědí se rozumí **vážená předpověď z dvou a více zdrojů**. Myšlenka blendingu plyne z faktu, že pro různé délky předpovědi jsou předpovědi založené na různých datech různě kvalitní (Lewis a kol., 2015; Lin a kol., 2005; Scheufele a kol., 2014). Např. pro předpovědi srážek v ČR od třetí hodiny je třeba kromě radarových dat využívat data z modelů (Novák a kol., 2009). V předpovědích srážek v ČR v prvních dvou hodinách dosahovaly předpovědi založené čistě na extrapolaci radarových dat vyšších hodnot verifikačních kritérií proti předpovědím numerického modelu (Novák a kol., 2009). Tyto hodnoty byly vyšší téměř ve všech povodích na území ČR. Zde je třeba podotknout, že výsledky modelu ALADIN byly k dispozici jednou za šest hodin, což obecně ovlivňuje možnosti blendingu.

Pro velmi krátké předpovědní časy, pro předpovědi na první minuty až prvních pár desítek minut, je možné naopak vážit předpovědi založené na extrapolovaných radarových datech s předpověďmi extrapolovaných dat bleskové aktivity nebo extrapolovaných indikátorů termodynamických změn v troposféře spočtených z družicových dat (Nisi a kol., 2014).



**Obr. 12** Schéma poklesu hodnot verifikačních kritérií s rostoucím časem. Oblastí blendingu při nowcastingu srážek je přechod mezi extrapolací radarových odrazivostí (Lagrange) a výsledky numerických modelů (model). Persistentní předpověď je označena Euler, dlouhodobým průměrem jsou myšleny klimatické průměry. (převzato z Germann a kol., 2006).

Výzvou v oblasti nowcastingu srážek je **zpřesnění lokalizace míst a časů začátků** konvektivní aktivity (srážek). V této oblasti jsou velmi užitečné jiné nástroje než využití radarových dat. Jakmile ale jednou srážky z konvektivní oblačnosti začnou vypadávat, je extrapolace radarových dat zásadním nástrojem pro předpověď jejich dalšího postupu (Berenguer a kol., 2012).

Aktuální verze numerického modelu ALADIN používaného v ČHMÚ je **pouštna každých 6 hodin a jeho výstupy** pro první hodiny předpovědního období pro provozní praxi **jsou k dispozici až po několika hodinách**. V zahraničí jsou některé

numerické modely poušřeny řastěji, např. každé 3 hodiny (Foresti a kol., 2014). V některých městských aglomeracích jsou poušřeny i každou hodinu. Modely využívající asimilaci dat radarové odrazivosti (např. Sokol a Řezáčová, 2006) a asimilaci dat extrapolované radarové odrazivosti, už v sobě mají blending s radarovými daty implicitně zabudován. Modely s asimilovanými radarovými daty zvyšují hodnoty verifikačních kritérií pro kratší předpovědní řasy a řas, kdy je modelová předpověď v průměru lepší než čistá extrapolace (model vs. Lagrange na obr. 12) nastane dříve.

Pokud by byly NWP modely rutinně poušřeny např. každých 30 minut a jejich výstupy by byly k dispozici téměř okamžitě, **lze očekávat, že čistá extrapolace nebude potřebná**. Zatím je ale extrapolace nepostradatelným nástrojem (Kober a kol., 2012). Čas, kdy se modelová předpověď stane lepší než extrapolovaná předpověď se liší pro různé meteorologické podmínky.

## 4. Předpověditelnost

Extrapolované předpovědi radarových odhadů srážek pro délky předpovědi 10, 20 až 120 min. jsem vyhodnotil a porovnal s naměřenými radarovými odhady srážek. **Verifikačních a validačních kritérií** existuje celá řada, mnohá kritéria jsou vhodná pro porovnávání skutečnosti s modelovými výstupy, jiná kritéria jsou vhodná pro porovnávání skutečnosti s extrapolovanými radarovými předpověďmi.

### 4.1. Verifikace předpovědí, verifikační statistiky

Pro všechny termíny, jejichž výběr jsem popsal v kap. 2, bylo provedeno porovnání pro délky předpovědi 10, 20 až 120 min. To znamená, že pro každý termín bylo dostupných 13 polí s radarovými odhady srážek a 12 extrapolovaných polí. Kvalitu předpovědi jsem vyhodnotil pomocí střední kvadratické chyby (**Sqrt**), střední absolutní chyby (**MeanA**), critical success indexu (**CSI**) s prahy 0 mm/h, 1 mm/h a 5 mm/h, **Pearsonova** korelačního koeficientu (**PK**), **Spearmanova** korelačního koeficientu (**SK**) a **modifikovaného Pearsonova** korelačního koeficientu (**MP**), který použil Germann a Zawadzki (2002). Výše uvedené charakteristiky jsou všeobecně známé, a proto zde neuvádím jejich definice, např. Wilks, 2011. Za zmínku stojí upozornit na to, že Spearmanův pořadový korelační koeficient měří nelineární vazbu mezi proměnnými a jeho hodnota nezávisí na konkrétních hodnotách veličin, ale na jejich pořadí. A modifikovaný Pearsonův korelační koeficient je ve skutečnosti normovaný skalární součin mezi korelovanými veličinami, tj. od PK se liší tím, že členy s průměry jsou vypuštěny.

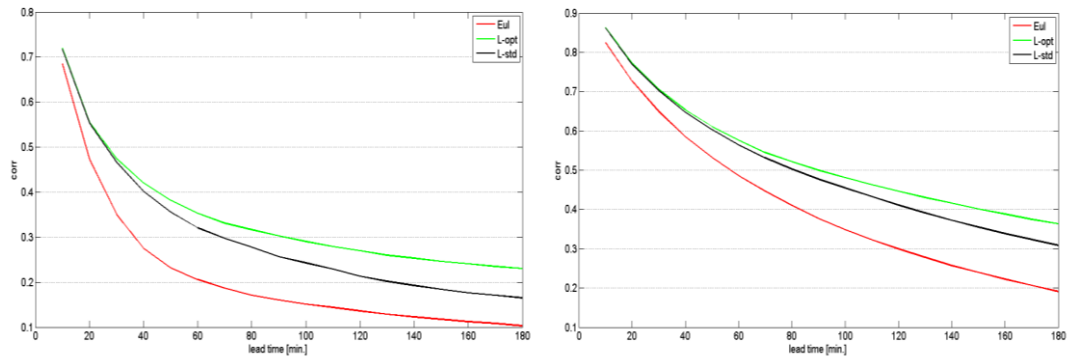
Verifikačních a validačních kritérií existuje mnoho např. ROC, CSRR, BS (Kober a kol., 2012), SAL, FSS (Ebert, 2008; Ridal a kol., 2011; Zacharov a Řezáčova, 2009) a další. Přehled verifikačních kritérií používaných pro nowcasting srážek je uveden např. v Zacharov a Řezáčova (2010). Některé verifikační metody pro sezónní předpovědi (Kliegrová, 2003) se neliší od těch pro nowcasting.

Protože cílem této práce je určení nejistoty předpovědi s využitím postupu založeném na výpočtu DCT, věnoval jsem největší pozornost korelačním koeficientům a z nich odvozenému **DCT**. Technika odhadu nejistoty předpovědi založená na DCT byla vybrána pro její jednoduchost a snadnou interpretovatelnost. Zároveň jsem provedl analýzu, jak spolu souvisí různá verifikační kritéria a meteorologické charakteristiky navzájem.

Předpověditelnost byla zkoumána i jinými způsoby zpravidla v souvislosti s praktickým použitím předpovědních metod. Například předpověditelnost srážek pro jednotlivé měsíce roku a jednotlivá povodí v ČR zkoumal Novák a kol. (2009). Berenguer a Sempere-Torres (2014) zkoumali limity nowcastingu pro Evropu pomocí sloučených radarových informací programu OPERA. Úspěšnost předpovědi srážek v závislosti na orografii a převládajícím směru proudění řešili pro jižní Austrálii Foresti a Seed (2014).

#### **4.2. Model optimální trajektorie**

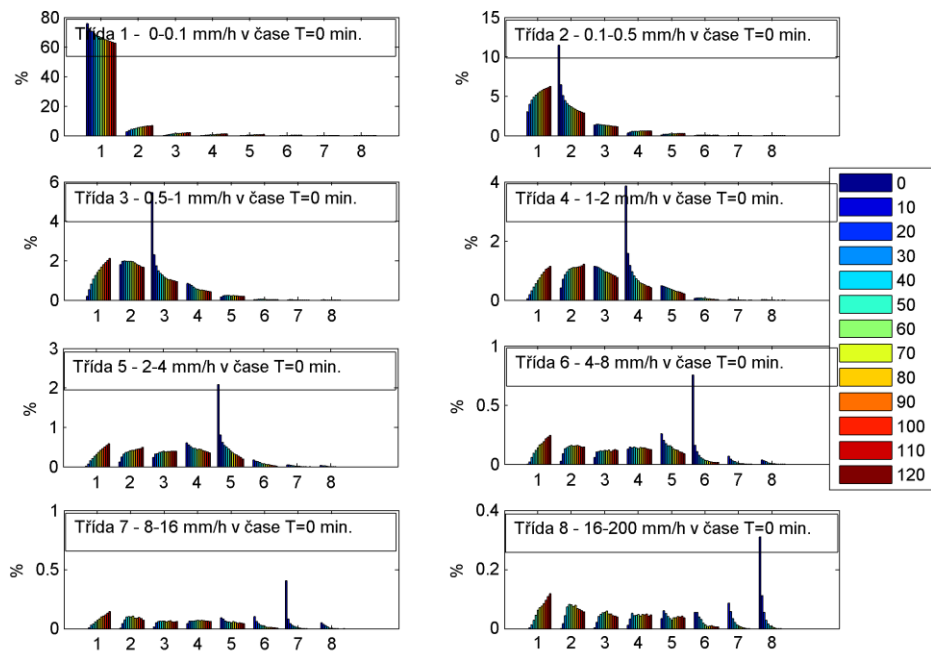
Existují postupy, jak rozdělit chybu předpovědi do chyby určení pohybového pole, do chyby způsobené vývojem situace a příp. do dalších chyb (Lee a kol., 2010; Radhakrishna a kol., 2012). Chyba způsobená vývojem situace zpravidla převyšuje chybu plynoucí ze špatného určení pohybového pole (Ruzanski a Chandrasekar, 2012).



**Obr. 13** Hodnoty modifikovaného Pearsonova (vlevo) a Spearmanova (vpravo) korelačního koeficientu pro předpovědi na 180 min. pro 10 testovacích konvektivních dnů. L-std je standardní extrapolační předpověď. Eul je referenční persistentní předpověď. L-opt je teoretická předpověď metodou optimální trajektorie, kdy pohybová pole jsou odvozena z budoucích naměřených dat, která jsou v termínu předpovědi ještě neznámá. Na ose x je předpovědní čas (Lead time).

Testy pro stanovení chyby v určení pohybového pole využívaly **metodu optimální trajektorie**. V této metodě pro předpověď extrapolovaného pole radarové odrazivosti na např. 50 min. použijí ne jen jedno stacionární pohybové pole z času T, ale postupně 5 budoucích, v termínu předpovědi neznámých, pohybových polí z časů T+10, T+20 až T+50. V prvních desítkách minut se standardní a optimální předpověď o mnoho neliší (L-std a L-opt na obr. 13). V druhé předpovědní hodině už rozdíl není zanedbatelný, protože pohybové pole z času T použité pro standardní trajektorie v sobě nedokáže s postupujícím předpovědním časem popsat budoucí vývoj srážkové aktivity v čase T+X, tak jako pohybová pole z časů T až T+X v optimální trajektorii.





**Obr. 14** Vývoj procentuálního zastoupení radarových odhadů intenzit srážek v čase pro optimální trajektorie pro 5 testovacích konvektivních dnů. Nejtmavší modré sloupce představují podíl bodů s danou třídou intenzity srážek v čase 0. S postupujícím předpovědním časem (12 barev pro 120 minut) disipuje daná třída do ostatních tříd.

Vezmeme-li hodnoty odhadů srážek příslušející jednotlivým **optimálním trajektoriím**, lze zjistit, jak se reálně srážky s časem vyvíjejí podél těchto trajektorií (obr. 14). Odhady **intenzit srážek** jsem rozdělil do **8 tříd**. Většina bodů spadala do nejnižší třídy, měla nulové hodnoty intenzity srážek. U ostatních tříd už po 10 minutách většina hodnot opustila svoji výchozí třídu a přesunula se do jiné. Čím vyšší třída výchozí intenzity, tím je přesun do ostatních tříd (především těch nižších) s rostoucím předpovědním časem rychlejší. Naopak z nulových intenzit v třídě 1 (a především z nich) vznikaly podél optimální trajektorie v čase nové srážky intenzivnějších tříd.

Výše uvedené souvisí s tím, že **intenzivnější srážky se obtížněji předpovídají**, i pokud se použije optimální, v termínu předpovědi neznámá, pohybová pole. Oblasti intenzivních srážek leží často jen nedaleko oblastí beze srážek a při předpovědi

posunů těchto oblastí dochází k velkým chybám. Navíc dochází ke vzniku nových srážek v oblastech původně beze srážek.

Analýza na stejných datech využívající standardní trajektorie (zde neuvádím) dává výsledky jen s nepatrnými změnami především vyšší třídy intenzit. Z toho vyplývá, že hlavním omezením pro kvalitní předpověď je budoucí vývoj srážek a ne neznalost budoucích pohybových polí. V provozu nerealizovatelné využití optimálních pohybových polí dává představu o mezích využití Lagrangeovské extrapolace (Ruzanski a Chandrasekar, 2012).

### 4.3. Dekorelační čas DCT

V souvislosti s vývojem extrapolační metody MAPLE se nejistotou předpovědi srážek zabýval Germann a Zawadski (2002), kteří korelovali skutečné pole radarových odhadů srážek s předpovězeným polem srážek a sledovali změnu korelace s délkou předpovědi. V průměru tato korelace klesá a lze tedy najít předpovědní čas, **kdy korelace dosahuje hodnoty  $1/e$**  (tj. přibližně 0.368), kde  $e$  je Eulerova konstanta. Tento čas nazvali dekorrelační čas (**DCT**) neboli lifetime. DCT je považováno za hraniční čas, pro který dosahuje předpověď rozumných hodnot.

Jedním z hlavních cílů mé práce je výpočet **limitů předpověditelnosti** srážek extrapolací radarové odrazivosti a to **v závislosti na různých podmínkách stavu atmosféry** pro Českou republiku. Limity stanovuji pomocí metody zavedené Germannem a Zawadzkiem, tj. pomocí DCT. Motivací pro tento cíl je právě zmiňovaná práce Germanna a Zawadzského, kteří aplikovali svůj postup na vybrané srážkové systémy v oblasti severní Ameriky a vyšlo jim, že extrapolační techniku lze úspěšně využívat pro předpovědi **na 8 i více hodin**. Denní chod DCT pro oblast Spojených států se pohyboval mezi 5 a 7 hodinami (Berenguer a kol., 2012). Atencia and Zawadzki (2014) získali DCT od 3 do 7 h pro různě rozsáhlé srážkové systémy ve Spojených státech.

Podobných výsledků dosáhli i Berenguer a Sempere-Torres (2014) pro oblast Evropy (obr. 3) pomocí sloučené radarové informace programu **OPERA**. Pro oblast České republiky dosáhli hodnot mezi 3 a 5 hodinami. Pro oblast východní Francie a jihovýchodní Anglie dokonce 15 hodin a to i v letním období. Takové délky předpověditelnosti konvektivních srážek ve střední Evropě jsou nereálné z fyzikálního hlediska a neodpovídají zkušenosti. Ve střední Evropě je charakter letních srážek odlišný a to se musí projevit i v limitech předpověditelnosti, což je jednou z motivací této práce.

DCT nebo obecně předpověditelnost závisí na různých faktorech, např. na převládajícím směru proudění (Foresti a Seed, 2014), na síle vlivu okolního prostředí a typu meteorologické situace (Wapler a kol., 2015; Wapler a James, 2015), na orografii (Foresti a Seed, 2014; Haiden a kol., 2011; Mandapaka a kol., 2012; Nisi a kol., 2014).

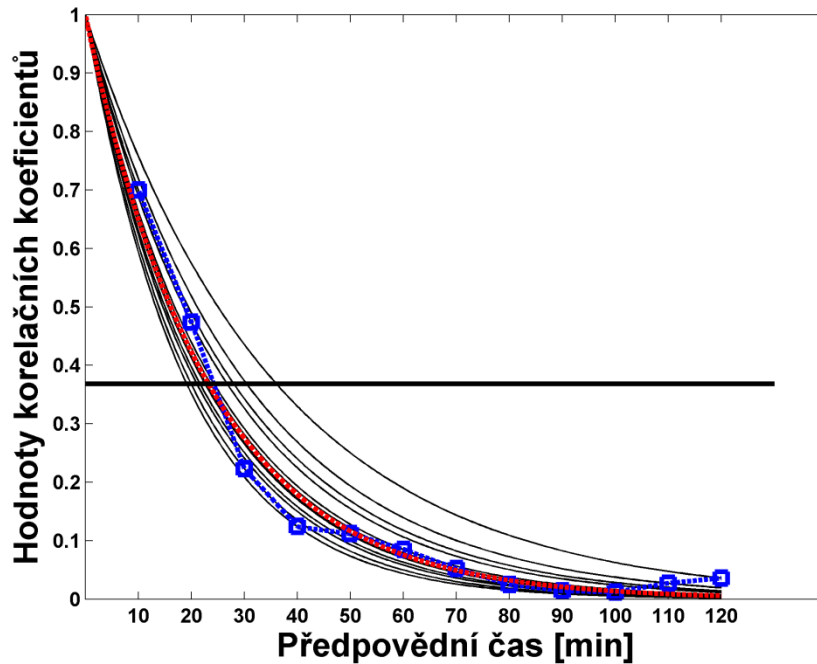
#### 4.4. Metodika výpočtu DCT

Hlavní statistika, která je v práci vyšetřována, je DCT, který je vypočten na základě hodnot korelačních koeficientů v diskrétních časových hodnotách. Bez ohledu na typ korelačního koeficientu jsem využil jednoduchého algoritmu, který předpokládá, že ve většině případů je pokles korelačních koeficientů dobře popsán **exponenciální funkcí**. Spočítal jsem DCT separátně pro všechny termíny. Výpočet DCT byl proveden tak, že nezávisle na sobě pro každou z 12 hodnot korelací (počet předpovědních časů) byla modelována závislost ve tvaru

$$\text{Kor}(t_i) = \exp(\alpha_i * t_i), \quad (2)$$

kde  $t_i$  je délka předpovědi,  $\text{Kor}(t_i)$  je korelace a  $\alpha_i$  je parametr určený na základě vypočtené hodnoty korelace. Následně jsem určil  $\alpha_{\text{med}}$  jako mediánovou hodnotu z  $\alpha_i$ , kde  $i=1, \dots, 12$ . Nakonec jsem stanovil DCT pro daný termín pomocí vztahu

$$\exp(\alpha_{\text{med}} * \text{DCT}) = 1/e. \quad (3)$$



**Obr. 15** Příklad výpočtu DCT pro 15. 8. 2010, 19.10 UTC. Na ose y jsou vyneseny hodnoty korelačních koeficientů a na ose x je předpovědní čas. Černé exponenciální křivky prokládají jednotlivé hodnoty korelací pro časy 10 až 120 min. Červená čára představuje mediánovou exponenciální funkci s koeficientem  $\alpha_{med}$ . Horizontální čára představuje  $1/e$ .

Příklad ilustrující výpočet DCT (obr. 15) ukazuje hodnoty korelačních koeficientů (**modré čtverce s modrou křivkou**), proložení všech hodnot korelací příslušnými exponenciálami (**černé křivky**), vypočtenou mediánovou exponenciálu (**červená křivka**). Křížení červené čáry s horizontální černou čarou značí hodnotu DCT a v tomto případě je blízko křížení modré čáry s horizontální černou čarou. Tato křížení mohou být blízko sebe, většinou tomu tak ale není. Korelační hodnoty s předpovědním časem totiž většinou neklesají monotónně, a proto aplikujeme výše popsaný postup stanovení mediánové exponenciály. Modrá čára totiž často přetíná čáru  $1/e$  vícekrát.

Exponenciální tvar funkce byl zvolen subjektivně na základě získaných korelačních hodnot s využitím skutečnosti, že korelace pro čas 0 je rovna 1. Hodnoty korelací ve skutečnosti neklesají v čase, např. kvůli advekci do oblasti, čistě exponenciálně.

Proto jsou exponenciálně proložené hodnoty korelací vůči těm skutečným v prvních desítkách minut nadhodnocené, v druhé hodině naopak podhodnocené. To znamená, že pokud dosáhneme DCT např. 22 minut, tak neexponenciálním proložením bychom získali DCT třeba jen 19 minut. Obecně lze ale říci, že exponenciální závislost je dobrou aproximací závislosti korelace na předpovědním čase a proto jsem aplikoval popsany jednoduchý postup.

Všechny spočtené DCT větší než 120 minut beru jako 120 minut. To se v případě Pearsonovy korelace týká asi 3% termínů, které tvoří především plošně rozsáhlé vrstevnaté srážky. Tento fakt neovlivňuje interpretaci výsledků.

#### **4.5. Persistentní předpověď, +DCT a +DCT/DCT**

V případě extrapolace radarové odrazivosti je jako persistentní předpověď brána taková předpověď, kdy pole radarové odrazivosti se v předpovědním období neliší od pole radarové odrazivosti v čase 0, neboli předpovědi pro následující dvě hodiny je aktuální stav. Pro persistentní předpověď jsem spočetl stejné statistiky jako pro normální předpověď. Persistentní předpověď lze brát jako **referenční předpověď**, vůči které poměříme ostatní předpovědi. V následujícím značím **DCT** pro předpověď extrapolací. Dekorelační čas persistentní předpovědi značím **DCT PER**. Rozdíl mezi DCT a DCT PER pro daný termín značím **+DCT** a znamená zlepšení předpovědi proti persistentní předpovědi. Míru takového zlepšení značím **+DCT/DCT**

## 5. Meteorologické charakteristiky

Zkušenost ukazuje, že **předpověditelnost závisí na stavu atmosféry**. Předpověditelnost radarových odhadů srážek ve formě DCT byla proto vyšetřována v závislosti na různých charakteristikách atmosféry s cílem zjistit, jaké podmínky prodlužují předpověditelnost a za kterých je naopak předpověď' extrapolační metodou velmi nejistá.

Nejdůležitější skupinou jsou **charakteristiky konvekce**, které odlišují konvektivní a vrstevnaté situace. Např. charakteristika podíl srážek v jádrech rozděluje situace na vrstevnaté (podíl do 15%), konvektivní (podíl nad 50%) a na smíšené.

### 5.1. Přehled použitých meteorologických charakteristik

K definování stavu atmosféry jsem použil **jednoduché a jednoduše interpretovatelné charakteristiky**, pro jejichž stanovení nebyla potřeba žádná další speciální data. Kromě synoptického typu a přechodu fronty byly všechny charakteristiky odvozeny z **dat radarové odrazivosti CAPPI2km**, v případě rychlosti pohybového pole ze ZMAX .

CHAR. KONVEKCE		
Počet jader	Počet konvektivních jader (bez jader 1 a 2 km <sup>2</sup> )	2-15-51
Plocha jader [%]	Podíl oblasti s konvektivními jádry	0.01-0.26-1.79
Intenzita jader [mm/h]	Průměrná intenzita srážek v bodech jader	2.1-5.1-14.3
Podíl srážek v jádrech[%]	Podíl srážek v jádrech na celkových srážkách	1-21-73
Podíl>20mm/h [%]	Podíl oblasti s danými nadprahovými srážkami	0-0-0.25
Po>10mm/h/P>2mm/h[%]	Podíl dvou podílů	0-2-28
OBECNÉ CHAR.		
Intenzita srážek [mm/h]	Průměrná intenzita srážek v oblasti	0.01-0.08-0.49
Prům. rychlost [m/s]	Průměrná rychlost pohybového pole v oblasti	2.6-8.8-16.5
Podíl>0.5mm/h [%]	Podíl oblasti s danými nadprahovými srážkami	0.5-3.7-22.7

Po>2mm/h/Po>0mm/h[%]	Podíl dvou podílů	0.3-8.1-27.6
Synoptický typ		
Přechod fronty	Typ fronty, její intenzita a směr jejího postupu	
Směr pohybového pole	Průměrný úhel pohybového pole	0-360
Hodina [UTC]		0-24
Měsíc		5-9
<b>TRENDY</b>		
Trend intenzity srážek	Trend průměrné intenzity srážek z posledních 3 polí	1-5
Trend rychlosti	Trend rychlosti z posledních 3 pohybových polí	1-5
Trend předpovědí	Trend posledních 3 hodnot korelací předpovědí	1-5
Trend počtu jader	Trend počtu jader v posledních 3 polích odrazivosti	1-5
<b>VERIFIKAČNÍ CHAR.</b>		
DCT PK [minuty]	Dekorelační čas, korelace klesne pod 1/e	15-38-104
DCT PK PER [minuty]	Dekorelační čas persistentní předpovědi	11-24-85
+DCT [minuty]	Zlepšení proti persistenci (DCT – DCT PER)	(-11)-11-47
+DCT/DCT *100[%]	Míra zlepšení	(-35)-31-69
CSI 1 mm (30 min.)	CSI, práh 1mm, předpověď na 30min.	0.01-0.22-0.49
Sqrt (30 min.)	Střední kvadratická chyba, předpověď na 30. min.	0.1-0.5-2.8

**Tab. 2** Přehled použitých charakteristik atmosféry a některých verifikačních charakteristik a jejich rozsahů hodnot (minimum-maximum) nebo typických rozsahů hodnot (5-50-95 percentil).

Vybrané charakteristiky (Tab. 2) mohou rozdělit do několika skupin. Nejdůležitější skupinou jsou charakteristiky popisující **konvektivní aktivitu** a také charakteristiky popisující celkovou **srážkovou aktivitu**. Méně pozornosti budu věnovat charakteristikám trendů a charakteristikám jako synoptický typ nebo přechod fronty. V tabulce 5 jsou uvedeny hodnoty 5, 50 a 95 percentilu vypočtené ze všech 37526 situací. Popis a způsob výpočtu charakteristik uvedených v tabulce 2 je obsahem následujících kapitol.

## 5.2. Charakteristiky konvekce

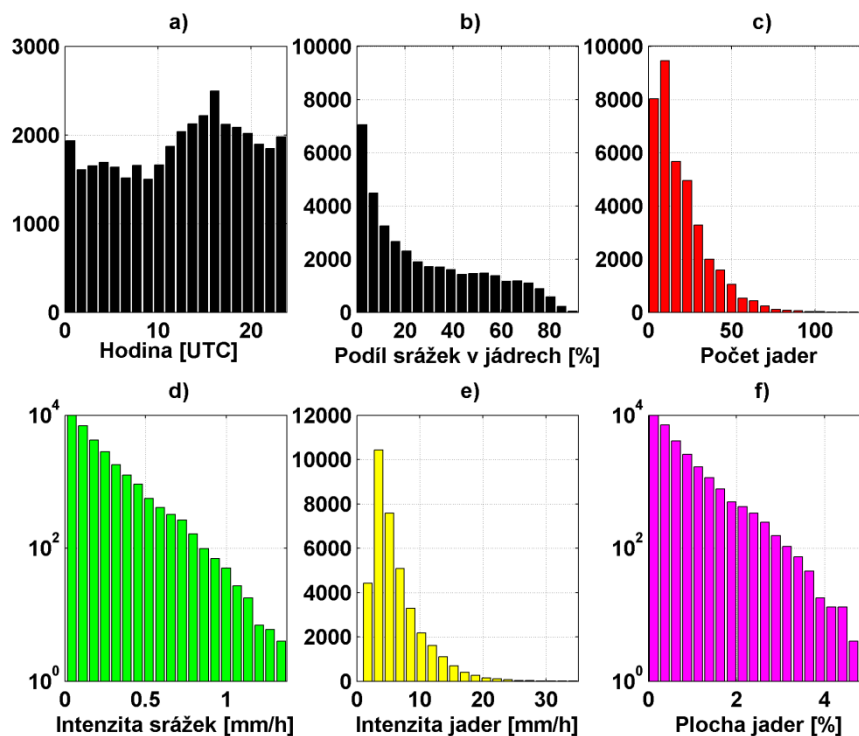
Předpověditelnost srážek z **konvektivní a vrstevnaté oblačnosti** (dále jen konvektivní a vrstevnaté srážky) se liší. Charakteristiky konvekce byly vybrány tak, aby odlišily konvektivní a vrstevnaté situace. Koncept konvektivních a stratiformních srážek je blízký termínům maloprostorové jevy, **jevy malého měřítka** a velkoprostorové jevy, **jevy velkého měřítka**.

Existuje mnoho technik, které dělí srážky na konvektivní a vrstevnaté (např. Langer a Reimer, 2007; Rulfová a Kyselý, 2013), žádná z nich není perfektní. Já jsem použil klasické **Steinerovo schéma** (Steiner a kol., 1995), které využívá pouze radarová data. Toto schéma identifikuje konvektivní jádra jako oblasti s odrazivostí nad 40dBZ, případně i s nižší odrazivostí, pokud odrazivost významně převyšuje svoje okolí. Složitější schémata jsou většinou variací Steinerova schématu a využívají i 3D kompozity radarových dat. Pro naše účely je však toto jednoduché schéma dostačující, kromě jiného proto, že 3D radarová data nebyla k dispozici.

Jádra s 1 nebo 2 pixly (1-2km<sup>2</sup>) jsem nebral v algoritmu v úvahu. Testy ukázaly, že se většinou jedná o nemeteorologické cíle. To je v souladu s tím, že algoritmus byl původně vyvinut pro nižší rozlišení radaru 4 km x 4 km. Pro charakterizování konvekce bereme v úvahu **počet jader, rozlohu jader, průměrnou intenzitu srážek v jádrech, podíl srážek v jádrech** na celkových srážkách v oblasti a **podíly ploch** se zadanými nadprahovými intenzitami srážek vzhledem k celkové ploše.

Je zřejmé, že použité schéma dělení srážkové oblačnosti obdobně jako i jiná schémata nereflektuje přesně rozdíl mezi srážkami z konvektivní a z vrstevnaté oblačnosti. Jeho základní výhodou je, že využívá radarová data a že s jeho pomocí lze rozlišit situace **s izolovanými konvektivními jádry**, kde vývoj jader hraje dominantní roli, a proto tyto situace jsou těžko predikovatelné, a situace s velkoplošnými srážkami, kdy by předpověď měla být výrazně úspěšnější.





**Obr. 16** Histogramy vybraných charakteristik. Intenzita srážek a plocha jader jsou vyneseny s logaritmickou vertikální osou.

Z podrobnější analýzy dat (Tab. 2, obr. 16) vyplývají následující poznatky. Počet jader je v průměru několik desítek, plocha jader téměř nikdy nepřesahuje 3% celkové plochy oblasti a podíl srážek v jádrech je nejčastěji kolem 20%. Nižší intenzity srážek v jádrech jsou typické pro přeháňky a pro vnořenou konvekci. Déletrvající, více organizované konvektivní systémy jsou reprezentovány vyššími intenzitami srážek v jádrech.

Plocha jader (obr. 16) a průměrná srážka mají exponenciální rozložení. Termíny mají zřetelný denní chod. Počet jader a plocha jader mají Weibullovo rozložení.

Podíl srážek v jádrech ve vrstevnaté oblačnosti je do 15%. V převážně konvektivních situacích tvoří tento podíl přes 50%. Hodnoty podílu srážek v jádrech znázorňují dva různé režimy srážek. Buď se podíl srážek v jádrech blíží nule, nebo dominuje.  
**Hodnot 15-50% nabývá podíl ve smíšených situacích.**

Smíšená situace nastává, pokud se v naší oblasti vyskytují konvektivní a vrstevnaté srážky geograficky odděleně v různých částech domény. Další možností vzniku smíšené situace je, pokud je útlum konvektivních srážek doprovázen rozvojem následných srážek z vrstevnatých oblaků, které vznikly z konvektivních oblaků.

### 5.3. Obecné charakteristiky

Kromě charakteristik konvekce použijí dále obecné charakteristiky, popisující aktuální povětrnostní i srážkovou situaci, jako aktuální **průměrnou intenzitu srážek** v oblasti, **průměrnou rychlost** pohybového pole, **podíl** plochy se srážkami překračujícími definovanou prahovou intenzitu vůči celé ploše oblasti a v neposlední řadě i **část dne**, tj. vliv denního chodu.

Průměrná intenzita srážek v oblasti jen výjimečně přesáhne 1 mm/h (Tab. 2, obr. 16), průměrná rychlost pohybového pole dosahuje typicky 9 m/s, plocha s intenzitami srážek nad 0.5 mm/h nezdědka převyšuje 20%.

Kromě samotných podílů definuji ještě podíly podílů navzájem. Ty znázorňují, jaký podíl plochy s relativně slabšími srážkami zaujímá plocha s intenzivnější odrazivostí.

Všechny výše uvedené charakteristiky včetně všech podílů dokáží jednotlivé situace (termínová radarová data) rozřídít do výrazných podskupin, přitom jsou všechny charakteristiky jednoduše interpretovatelné.

### 5.4. Synoptický typ, přechody front, směr pohybového pole

Spíše pro zajímavost než z důvodu možné praktické aplikace jsem zkoumal, jak se liší předpověditelnost pro různé povětrnostní situace podle **katalogu povětrnostních situací** (<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/typizace-povetrnostnich-situaci>) a pro situace, kdy přes naši **oblast přecházela fronta** (<http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/prechody-front-pres-prahu>). Tyto informace nemohou být využity při

konkrétní předpovědi, protože jsou vyhodnocovány zpětně, ale dávají určitou představu o limitech předpovědí za specifických atmosférických podmínkách.

Informace o přechodu front jsou vyhodnocovány pouze pro Prahu. Praha neleží přímo ve středu zkoumané oblasti, proto tyto informace porovnávám s předpovědí srážek pouze 1 hodinu před a 1 hodinu po zaznamenaném přechodu fronty, tedy celkem 13 termínů pro každý přechod fronty. Celkové počty případů pro přechod front dosahují necelých 3 tisíc termínů (Tab. 3).

Charakteristika	Dělení a počet termínů		
Průměrný směr pohybového pole	SW (19548)	NW (10532)	E (7405)
Intenzita fronty	Slabá (232)	Střední (2538)	Silná (139)
Typ fronty	Teplá (278)	Studená (1682)	Okluzní (949)

**Tab. 3** Počet případů pro dělení podle průměrného směru pohybového pole a podle front. Pro fronty jsou použity pouze termíny hodinu před a po průchodu fronty.

Směr pohybového pole jsem rozdělil na tři základní směry. Většina termínů má pohybové pole s převládající **jihozápadní** složkou (Tab. 3). **Severozápadní** složka je také velmi čítná. Pohybové pole s **východní** složkou indikuje východní proudění a východní situace, které jsou nejméně čítné, ale také se v nich srážky hůře předpovídají.

Pohybové pole je určené z cílů radarové odrazivosti a nemusí odpovídat směru větru v přízemní vrstvě ani převládajícímu proudění v horních vrstvách atmosféry.

## 5.5. Trendy

Jako další charakteristiky jsem zvolil **trendy vývoje v posledních 30 minutách**. Trendy intenzity srážek a počtu jader byly spočteny z posledních 3 dostupných radarových polí v čase T, T-10 min. a T-20 min. Trend rychlosti pohybového pole byl spočten z průměrných rychlostí pohybové pole v doméně v časech T, T-10 min. a T-20 min. Trend předpovědí porovnával hodnoty korelačních koeficientů předpovědí na 10 minut z časů T-10 min., T-20 min. a T-30 min a tento trend je tedy v termínu předpovědi známý.

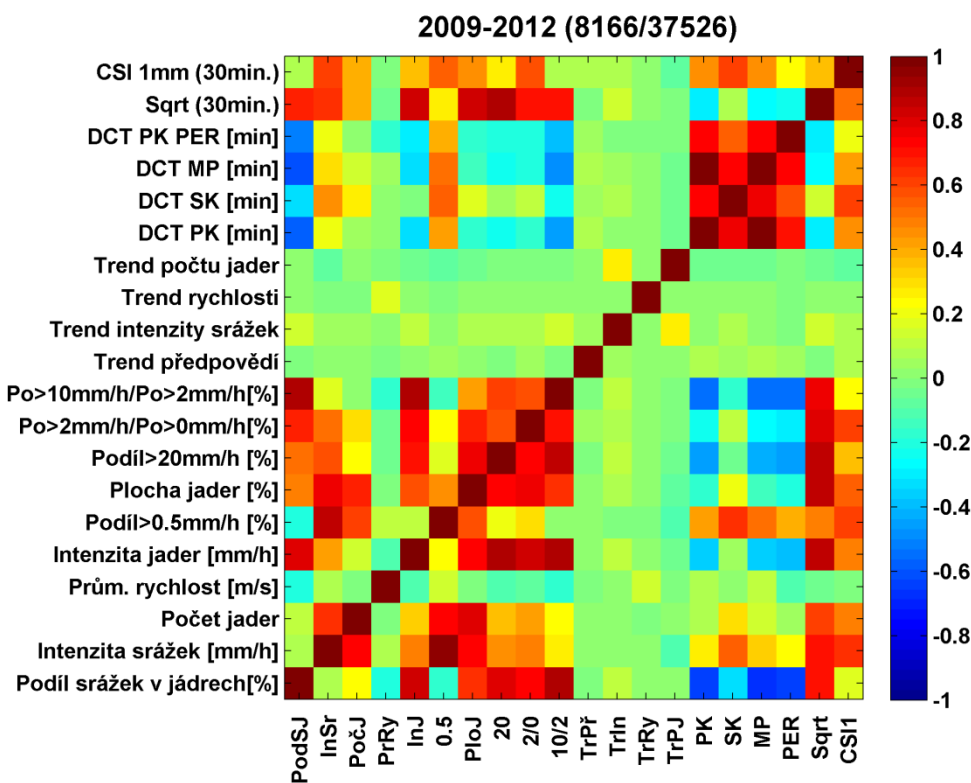
Charakteristika	Dělení a počet termínů		
Trend intenzity srážek	Klesající (12833)	Stabilní (11404)	Rostoucí (13286)
Trend počtu jader	Klesající (9134)	Stabilní (17100)	Rostoucí (11289)
Trend předpovědí	Klesající (7326)	Stabilní (21099)	Rostoucí (9098)
Trend rychlostí	Klesající (8996)	Stabilní (19294)	Rostoucí (9233)

**Tab. 4** Počet případů pro dělení podle jednotlivých trendů.

Sekvence 3 hodnot ( $H_T, H_{T-10}, H_{T-20}$ ) reprezentuje 6 možností vývoje.  $H_T > H_{T-10} > H_{T-20}$  a  $H_T > H_{T-20} > H_{T-10}$  označujeme jako **rostoucí** trend;  $H_{T-20} > H_{T-10} > H_T$  a  $H_{T-10} > H_{T-20} > H_T$  označujeme jako **klesající** trend; možnosti  $H_{T-20} > H_T > H_{T-10}$  a  $H_{T-10} > H_T > H_{T-20}$  představují **stabilní** trend. V případě trendu rychlostí nás zajímá, zda se jedno z polí významně neliší od zbylých dvou.

## 5.6. Vztahy mezi charakteristikami

Použité **charakteristiky atmosféry** a použité **verifikační statistiky** na sobě nejsou nezávislé, proto jsem zkoumal, jaká je jejich vzájemná korelace (obr. 17).



**Obr. 17** Hodnoty Pearsonových korelačních koeficientů mezi jednotlivými meteorologickými a verifikačními charakteristikami navzájem. Pravý dolní roh je pro všechny termíny. Levý horní roh je pro 8166 termínů, které měly podíl srážek v jádrech větší než 50%. Zelená barva značí, že jsou veličiny na sobě nezávislé.

V levém rohu jsou hodnoty korelací pouze pro 8166 konvektivních termínů, které měly podíl srážek v jádrech větší než 50%. **Podíl srážek v jádrech** považuji za nejdůležitější charakteristiku, která nejvíce vypovídá o aktuální situaci.

Nejtěsnějších vazeb dosahují dekorelační časy navzájem a některé indikátory konvekce a srážek navzájem. Nejslabší vazbu mají trendy. Nejdříve budu diskutovat vazby **pro všechny termíny**, tedy v pravém dolním rohu obr. 17.

**Podíl srážek v jádrech** nekoreluje s plochou jader ani s průměrnými srážkami, naopak má negativní vazbu na dekorelační časy. **Průměrné srážky** mají těsnou vazbu s plochou neintenzivních i intenzivních srážek i jader. **Počet jader** má slabou negativní vazbu na intenzitu jader a podíl 10/2, neboli pokud je jader hodně, tak spíše nebudou tak intenzivní a naopak. **Rychlost** pohybového pole má obecně

slabou vazbu k ostatním charakteristikám. **Intenzita jader** má silnou vazbu k podílu 10/2. **Plocha srážek** má velmi silnou vazbu k ploše jader, neboli pokud prší na velké ploše, tak bude více jader a i pokud budou slabší intenzity, tak budou zabírat velkou plochu.

**Dekorelační časy** z Pearsonovy (DCT PK) a modifikované Pearsonovy (DCT MP) korelace jsou prakticky záměnné. **Střední kvadratická chyba** má nejtěsnější vztah k průměrné srážce a podílu 20, naopak vztah k DCT PK a DCT MP je volný. **Dekorelační časy** (především DCT SK) mají slabou pozitivní vazbu na indikátory konvekce i srážek, neboli čím je větší srážková a konvektivní aktivita, tím lépe se předpovídá.

Výsledky v **konvektivních případech** (levý horní roh obr. 17) jsou částečně odlišné. Tyto případy jsou definovány pomocí **podílu srážek v jádrech**, výrazná je záporná vazba tohoto podílu i dalších charakteristik konvekce k dekorelačním časům. Naopak kladná vazba **plochy srážek** (podílu 0.5) a **průměrné srážky** k DCT v konvektivních případech značí, že pokud i přes dominantní konvekci má srážkový systém větší plochu a výraznější strukturu, tak je předpověditelnost větší.

**DCT PK PER** má pro konvektivní případy těsnou vazbu s ostatními dekorelačními časy. To znamená, že v konvektivních případech je DCT vyšší, pokud je i DCT PER vyšší. **CSI 1mm** má pro konvektivní případy i pro všechny případy z dekorelačních časů nejtěsnější vazbu na DCT SK.

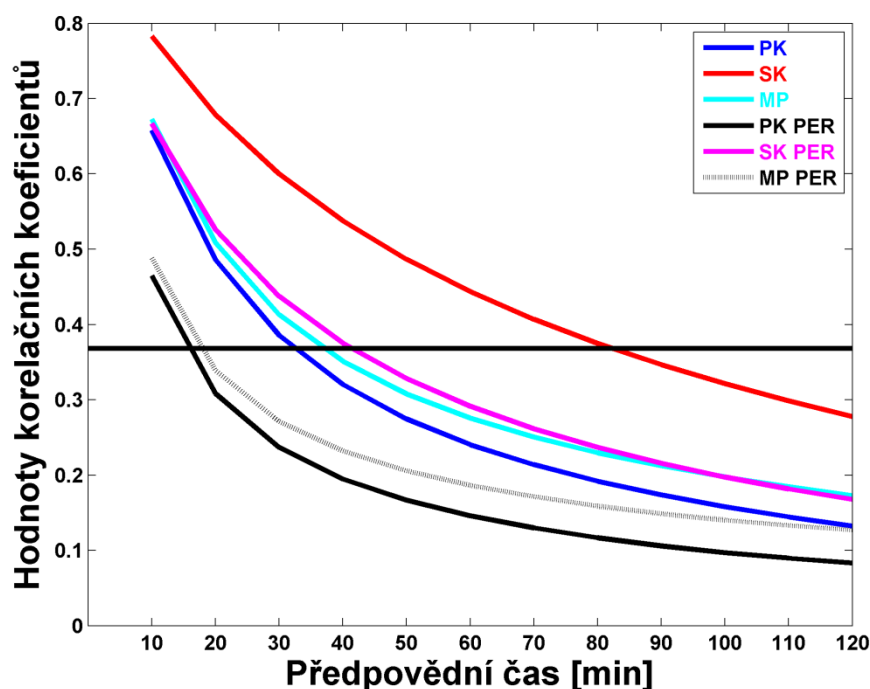
## 6. Závislost DCT na meteorologických charakteristikách

Hodnoty DCT závisí na použité korelační metodě. V průměru jsou hodnoty Pearsonovy standardní korelace (DCT PK) nejnižší, DCT MP je v průměru o 13% vyšší. Tento rozdíl ale závisí na meteorologických podmínkách.

Průměrná hodnota **DCT PK a DCT PK PER** přes všechny termíny je **45,4 a 32,0 minut**. Průměrné zlepšení pomocí extrapolace oproti persistenci **+DCT** je tedy **13,4 minut**.

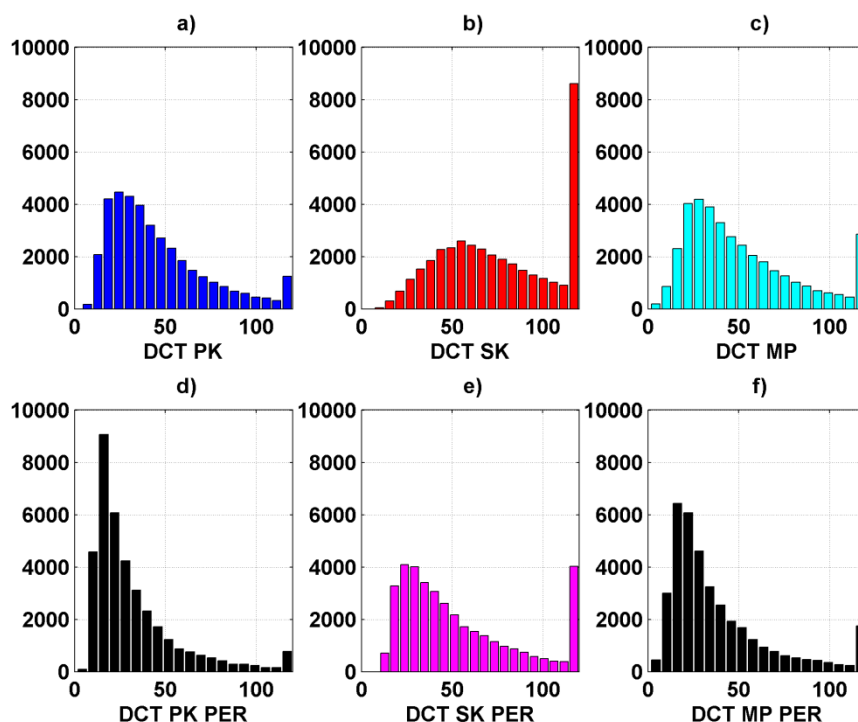
### 6.1. Rozdíly mezi PK, SK a MP

V průměru jsou hodnoty **DCT PK** nejnižší, hodnoty **DCT MP** jsou mírně vyšší a zřetelně nejvyšších hodnot dosahuje **DCT SK**, což ilustruje obr. 18. Rozdíly mezi DCT PK a DCT MP se s rostoucím předpovědním časem zvyšují.



**Obr. 18** Průměrné hodnoty korelačních koeficientů pro extrapolované a persistentní předpovědi pro PK, SK a MP korelace pro předpovědní časy 10 až 120 minut. Hodnoty jsou mediány přes všechny termíny.

Vysoké hodnoty DCT SK plynou z faktu, že Spearmanova korelace namísto přesných hodnot odhadů srážek porovnává jejich pořadí. Hodnot vyšších než 1/e dosahuje DCT SK pro předpovědní délky až 80 min. (obr. 18), to je dvakrát více než pro kvantitativní předpověď srážek vyjádřenou pomocí DCT PK.



**Obr. 19** Histogramy DCT pro extrapolované (a, b, c) a pro persistentní (d, e, f) předpovědi pro PK, SK a MP korelace.

Rozdělení hodnot všech DCT (obr. 19) potvrzuje předchozí závěry. Všechny DCT větší než 120 minut byly zahrnuty do výsledků **jako 120 minut**. Tento fakt ovlivňuje především interpretaci výsledků DCT SK a v konkrétních případech bude diskutován. Naopak výsledky DCT PK jsou tímto ponížením na 120 minut ovlivněny jen minimálně.

**DCT MP je v průměru o 13% vyšší než DCT PK.** Tento rozdíl ale závisí na meteorologických podmínkách.

Rozdíl je procentuálně vyšší pro termíny s rozsáhlými srážkovými systémy. DCT MP je větší než DCT PK v situacích s mnoha jádry o 22%, pro termíny s nízkým podílem srážek v konvekci o 16% a pokud jsou vysoké hodnoty průměrné srážky v oblasti o

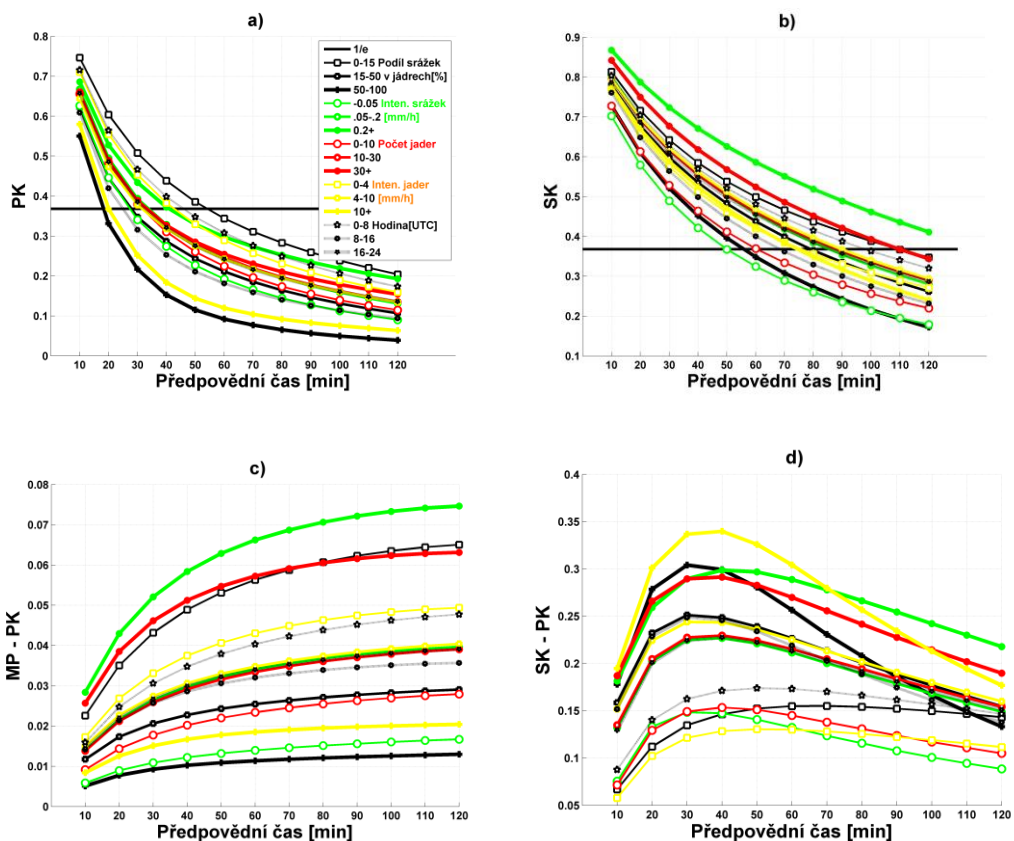


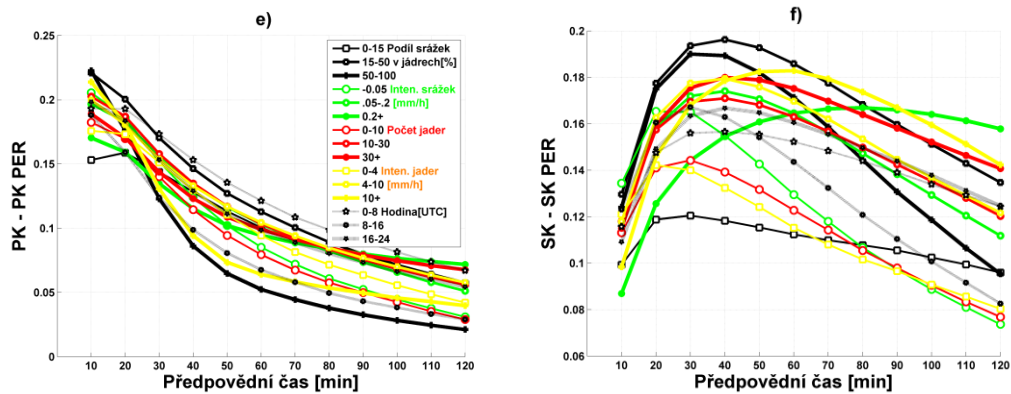
21%. Vysokým a nízkým podílem, mnoha jádry atd. rozumím dělení na přibližné třetiny definované v kapitole 6.2.

Naopak v opačných situacích s malými srážkovými systémy se DCT MP a DCT PK liší jen málo. V případě s málo jádry se liší o 9%, pro vysoký podíl konvekce o 6% a pro malé průměrné srážky o 5%. Takové situace jsou typické pro polední hodiny, kdy konvekce často vzniká. V těchto termínech, kdy je obecně předpověditelnost nejmenší, se tedy skalární korelace neliší mnoho od normální.

## 6.2. Vliv meteorologické situace na korelační koeficienty

V rámci každé meteorologické charakteristiky jsem termíny **rozdělil na 3 části** z pohledu hodnot příslušné charakteristiky v daných termínech. Záměrně jsem vždy rozdělil termíny jen do malého počtu 3 skupin, aby v každé ze 3 skupin zůstal dostatečný počet termínů vhodný k dosažení reprezentativních výsledků.





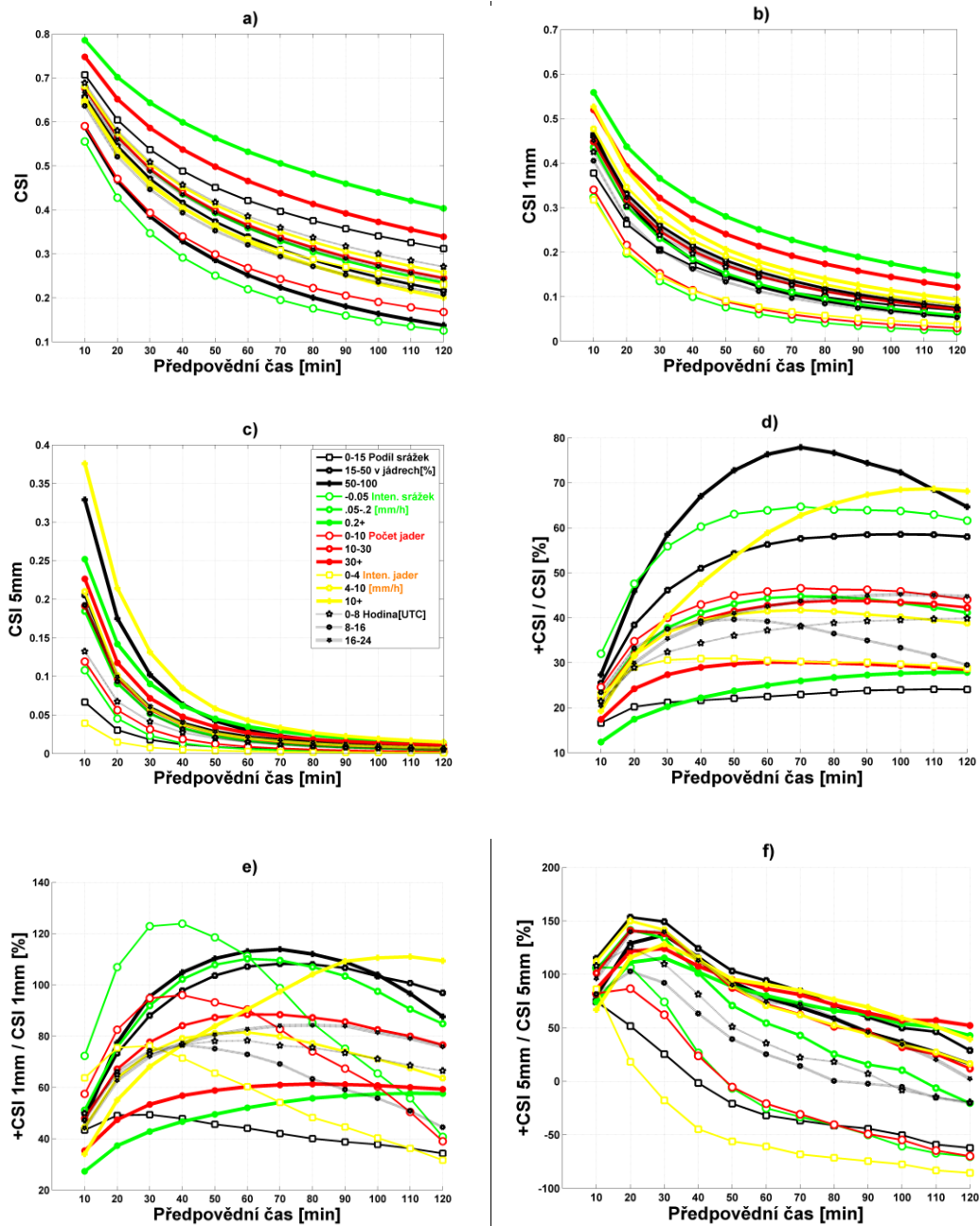
**Obr. 20** Průměrné hodnoty korelačních koeficientů a rozdílů mezi korelačními koeficienty: PK(a), SK(b), MP-PK(c), SK-PK(d), PK-PK PER(e), SK-SK PER(f) pro předpovědi pro 5 základních dělení termínů na přibližné třetiny pro předpovědní časy 10 až 120 minut. Hodnoty jsou mediány přes příslušné termíny. Dělení termínů je uvedeno v legendě obrázku.

**PK** je z pěti základních dělení nejvíce citlivá na podíl srážek v konvekci a na intenzitu jader (obr. 20 a)), naopak není citlivá na počet jader v oblasti. **SK** je nejvíce citlivá na průměrnou srážku v oblasti a na počet jader (obr. 20 b)). Čím je větší průměrná intenzita srážek a více jader, tím je pravděpodobnější, že srážková pole mají pevnou strukturu a to je výhodou pro výpočet pořadové korelace.

Největší a nejmenší rozdíl korelačních hodnot mezi **MP a PK** (obr. 20 c)) je podobný jako pro rozdíly v DCT uvedené v kapitole 6.1. Největší rozdíly mezi **SK a PK** (obr. 20 d)) jsou pro výrazné konvektivní situace s intenzivními jádry a pro střední předpovědní časy (20-70 min.).

Největší absolutní zlepšení **PK-PK PER** (obr. 20 e)) je pro krátké předpovědní časy. Se zvyšováním předpovědního času se absolutní zlepšení zmenšuje. Nejvyšších hodnot absolutního rozdílu PK-PK PER je dosahováno pro střední hodnoty podílu konvekce, intenzit jader či počtu jader. Největší rozdíly **SK-SK PER** (obr. 20 f)) jsou pro strukturované systémy a to především pro vyšší předpovědní časy.

### 6.3. Vliv meteorologické situace na CSI



**Obr. 21** Průměrné hodnoty CSI a rozdíly mezi CSI a CSI PER s různými prahy: CSI(a), CSI<sub>1mm</sub>(b), CSI<sub>5mm</sub>(c), (CSI-CSI PER)/CSI (d), (CSI<sub>1mm</sub>-CSI<sub>1mm</sub> PER)/CSI<sub>1mm</sub> (e), (CSI<sub>5mm</sub>-CSI<sub>5mm</sub> PER)/CSI<sub>5mm</sub> (f) pro předpovědi pro 5 základních dělení termínů na přibližné třetiny pro předpovědní časy 10 až 120 minut. Hodnoty jsou mediány přes příslušné termíny. Dělení termínů je uvedeno v legendě obrázku. Rozdíly (d,e,f) jsou vyneseny relativně vůči persistenci. Záporné hodnoty (f) jsou způsobeny nemeteorologickými situacemi s falešnou odrazivostí.

Podobnou analýzu závislosti předpovědi na meteorologických charakteristikách jsem provedl i pro CSI s různými prahy.

Hodnoty **CSI** klesají s rostoucím předpovědním časem a s rostoucím srážkový prahem. Pro **práh 5mm** (obr. 21 c)) bylo nejvyšších hodnot dosaženo v prvních 20 minutách předpovědi pro konvektivní termíny a pro termíny s nejintenzivnějšími jádry.

**Relativní zlepšení proti persistenci** je pro bezprahové srážky největší pro vysoké předpovědní časy (obr. 21 d)). Pro střední prahy srážek je zlepšení největší pro střední předpovědní časy (obr. 21 e)). Pro vysoké prahy srážek je relativní zlepšení největší pro nízké předpovědní časy (obr. 21 f)). Pro nízké prahy srážek znamená vysoké relativní zlepšení proti persistenci pro vysoké předpovědní časy většinou nízké absolutní zlepšení a naopak nízké relativní zlepšení pro nízké předpovědní časy většinou znamená vysoké absolutní zlepšení.

#### 6.4. Změny DCT PK v čase

**Předpověditelnost** v podobě DCT se mění v čase. Ve dvou po sobě následujících termínech se DCT může lišit a to i výrazně. Jak plyne z tab. 5, časová variabilita hodnot DCT může být rozsáhlá. Tabulka 8 ukazuje hodnoty **50, 75 a 90 percentilu** absolutních rozdílů hodnot DCT mezi termíny s časovou diferencí  $\Delta T = 10, 20, 40$  a **60 min.**

$\Delta T$ /Percentily	50%	75%	95%
10	2.7	5.4	14.6
20	3.4	7.0	17.4
40	4.7	10.2	25.3
60	5.7	12.3	32.2

**Tab. 5** Percentily rozdílů v hodnotách DCT PK v termínech jejichž  $\Delta T = 10, 20, 40$  and 60 min. Hodnoty jsou uvedeny v minutách.

Podle 95% percentilu se dvě po sobě jdoucí předpovědi z termínů T a T+10min. ( $\Delta T = 10$ ) v hodnotách DCT můžou lišit i o více než 15 min. Předpovědi z termínů  $\Delta T = 60$  se ve většině případů liší v DCT o méně než 6 min., ale nejméně v 5% případů je rozdíl větší než 30 min. Tuto variabilitu je potřeba vzít v úvahu při vyhodnocování nejistoty předpovědi.

### 6.5. Závislost DCT PK, +DCT PK a +DCT/DCT na meteorologických charakteristikách

2009 - 2012 / DCT									
	DCT	R1	+DCT	DCT	R2	+DCT	DCT	R3	+DCT
Trend počtu jader	45.2	Sestupný	13.3	46.6	Stabilní	13.6	45.3	Vzestupný	13.8
Trend rychlosti	43.2	Sestupný	11.9	46.8	Stabilní	13.6	44.5	Vzestupný	13.5
Trend srážek	45.7	Sestupný	12.5	42.1	Stabilní	12.1	48.1	Vzestupný	15
Trend předpovědi	43.4	Sestupný	11.6	44.1	Stabilní	12.9	49.3	Vzestupný	15.4
Síla fronty	28.7	Slabá	9.34	41.1	Střední	16.3	48.6	Silná	18.6
Typ fronty	34.8	Teplá	6.03	37.9	Studená	14.9	46.8	Okluzní	20.3
Směr pohybového pole	44.2	SW	15.4	44	NW	11.4	50.6	E	10
Podíl>10mm/ Podíl>2mm	55.6	0-5	15.4	31.7	5-20	11.2	23.4	20+	6.26
Podíl>2mm/ Podíl>0mm	50.8	0-5	12.1	43.6	5-20	14.2	37.9	20+	12.4
Podíl>20mm [%]	52.6	-0.1	14.4	33.6	.01-.08	12.2	29.4	0.08+	9.12
Plocha jader [%]	48.6	-0.3	12.9	44.2	.3-1	14.1	36.3	1+	12.2
Podíl>0.5mm [%]	35	0-2.5	10	45.1	2.5-10	14.9	64.1	10+	15.6
Intenzita jader [mm/h]	52.3	0-4	13.1	45.7	4-10	14.6	28.4	10+	8.91
Prům. rychlost [m/s]	45	0-6	6.11	45.2	6-12	14.6	45.9	12+	17.8
Počet jader	42.4	0-10	10.9	46.2	10-30	14.3	48.2	30+	14.3
Intenzita srážek [mm/h]	37.3	-0.05	11.3	46	.05-2	14.1	55.6	0.2+	14.4
Podíl srážek v jádrech[%]	61.2	0-15	15.1	40	15-50	14.6	24.3	50-100	7.25
Hodina [UTC]	55	0-8	17.2	37.2	8-16	9.36	45.3	16-24	13.6

**Tab. 6** Závislost DCT a +DCT (v minutách) pro jednotlivé charakteristiky atmosféry. R1, R2 a R3 jsou intervaly nebo podmínky, podle kterých jsou charakteristiky v řádcích děleny. +DCT je rozdíl mezi DCT stanoveným z předpovědi a DCT PER stanoveným z persistentní předpovědi. Červené a oranžové barvy polí v sloupcích +DCT značí hodnoty podílu +DCT/DCT. Modré a zelené barvy v sloupcích DCT značí hodnoty DCT.

Největší pozornost jsem věnoval **DCT PK**, tedy dekorelačním časům stanoveným na základě normální Pearsonovy korelace. Termíny jsem rozdělil **podle 18**

**meteorologických charakteristik (Tab. 6)** a spočítal jsem průměrné DCT PK (pokud nehrozí záměna, budu psát jen DCT) pro jednotlivé podskupiny případů. Hodnoty charakteristik jsou podle svých hodnot rozděleny do 3 skupin vždy na základě příslušných mezí **R1, R2 a R3** uvedených v tabulce. Meze jsem stanovil tak, aby každá skupina tvořila přibližně třetinu případů, rozhodně ne méně než 20% případů. Sloupeček DCT označuje dekorelační čas pro předpověď, sloupeček +DCT představuje rozdíl DCT oproti dekorelačnímu času persistentní předpovědi DCT PER a červené barvy značí podíl takového zlepšení +DCT/DCT.

Průměrná hodnota **DCT a DCT PER** přes všechny termíny je **45,4 a 32,0 minut**. Průměrné zlepšení pomocí extrapolace oproti persistenci **+DCT** je tedy **13,4 minut**, což je v průměru **42%**. Tyto hodnoty se zásadně liší od hodnot, které dostali Berenguer a Sempere-Torres (2014) a Germann a Zawadzki (2002). Pro Evropu i pro USA jim vychází průměrný DCT kolem 5 hodin. Pro ČR dostávají hodnoty kolem 3 až 5 hodin, pro východní Francii a jihovýchodní Anglii dokonce přes 15 hodin a to i v letním období. Rozdíly jsou částečně způsobeny především jinými časovými a prostorovými kroky (15 minut a 2 km), zahrnutím zimního období a jinak použitými statistikami a podmínkami pro výběr situací. Nižších hodnot DCT pro konvektivní situace dosáhl Foresti a kol. (2016).

**Nejlepší předpověditelnost (DCT větší než 50 minut)** je (v tabulce 6 uvedeno od spodních řádků nahoru) v ranních hodinách, v případě nízkého podílu srážek v jádrech, když je celkově vysoká průměrná intenzita srážek v oblasti, když jsou srážky v konvektivních jádrech málo intenzivní a když má pohybové pole východní složku. **Nejnižší DCT (menší než 40 minut)** je (opět od spodních řádků) v odpoledních hodinách, při dominantní konvekci, při nízké průměrné intenzitě srážek, když jsou srážky v jádrech velmi intenzivní, při průchodech slabých front, při průchodech teplých front a v případech, kdy podíl plochy s intenzivními srážkami je vysoký ať v porovnání s plochou s méně intenzivními srážkami nebo s celou naší oblastí.

**Největší absolutní zlepšení proti persistentní předpovědi (+DCT větší než 15 minut)** je dosaženo v ranních hodinách, v případě rychlého pohybového pole, velké oblasti se srážkami, malé oblasti s nejintenzivnějšími srážkami, když srážky přicházejí

od jihozápadu, když přechází střední nebo silná nebo okluzní fronta a když poslední 3 průměrné intenzity srážek nebo 3 korelace 10 minutových předpovědí mají vzestupnou tendenci. **Nejmenší zlepšení (+DCT menší než 10 minut)** vychází pro odpoledne, dominantní konvekci, nízké rychlosti a vysoký podíl oblastí s intenzivními srážkami.

Pokud porovnáme relativní zlepšení vůči persistentní předpovědi, pak dostaneme poněkud jiné výsledky. **Nejvyšší relativní podíl +DCT/DCT** (hnědé barvy v tabulce 6) nastává (odspoda nahoru) pro střední rozsah konvekce, vysoké rychlosti pohybového pole, střední podíly srážek i nejintenzivnějších srážek, v případě velké rozlohy jader, pro jihozápadní směr pohybu a v případě přechodu front. **Nejnižší relativní zlepšení vůči persistenci +DCT/DCT** (oranžové barvy) nastává pro odpolední hodiny, nízký podíl konvekce, vysokou průměrnou intenzitu srážek, malý počet jader, nízkou rychlost pohybového pole, málo intenzivní jádra, velkou plochu se srážkami, malou plochu s jádry, malé podíly ploch s intenzivními srážkami, vysoké podíly ploch s nejintenzivnějšími srážkami k podílům ploch s intenzivními a v případě klesajícího trendu úspěšnosti nebo srážek.

Ať z pohledu absolutního nebo relativního zlepšení vůči persistenci není zpravidla nejlepší situace s nízkým podílem intenzivnějších srážek. Celkově lze říci, že pro vysoké hodnoty **+DCT** je vhodná situace, kdy prší na co největší ploše v oblasti, podíl konvekce je zanedbatelný, přesto je dost konvektivních jader se střední intenzitou srážek v jádrech (vnořená konvekce), oblast s intenzitou srážek nad 2 mm je rozsáhlá, ale oblast s intenzitou srážek nad 10 mm není žádná.

Například v případě rozdrobené **slabé konvekce ze severních směrů** (přeháňky) dosahuje DCT relativně vysokých hodnot, ale jen o trochu vyšších, než je DCT PER. Naopak v případě rozsáhlého **frontálního systému od jihozápadu** nebo předfrontální squall line je DCT relativně nízký, ale zlepšení +DCT/DCT je významné.

**Front** přešlo během 20 měsíců několik set, ale silných jen 12. Většina teplých front nespĺňuje podmínku průměrné intenzity srážek na oblasti 0.01 mm/h pro zařazení do souboru situací, protože na nich neprší. Zbylé teplé fronty jsou většinou slabé.

Během přechodu front je dosaženo vysokých relativních zlepšení +DCT/DCT (tabulka 6).

V případě **trendu úspěšnosti** se naplnil předpoklad, že pokud se poslední 3 předpovědi zlepšují, tak i aktuální předpověď je úspěšnější, než průměrná předpověď. V případě **trendu intenzity srážek** platí, že pokud průměrná intenzita srážek roste nebo klesá (velmi často zároveň roste nebo klesá i podíl plochy se srážkami), tak je předpověď v průměru přesnější. To může souviset s efektem „double penalty“ (Ebert, 2008) a s faktem, že pokud se plocha srážkového pole zvětšuje nebo zmenšuje, snáze dosáhnou překrytí předpovědi se skutečností, než když se srážkové pole jen přesunuje.

Zpravidla není velký rozdíl při porovnání průměrných rychlostí pohybových polí ve 3 po sobě následujících termínech. Pokud takový rozdíl nastane, tak je častou příčinou chybný výpočet pohybového pole, který je často způsoben nemeteorologickými cíli. Chyba v určení pohybových polí vede ke zhoršení předpovědi, což je vidět u sestupného a vzestupného **trendu rychlosti** (tabulka 6).

Vliv studovaných charakteristik na DCT potvrzuje více či méně známá fakta. Nový a významný je výpočet tak velkého počtu termínů, rozdělení do tolika podskupin případů a kvantitativní vyjádření zlepšení proti persistentní předpovědi +DCT pro jednotlivé skupiny případů. Ačkoli je +DCT na první pohled nízké, v relativním vyjádření +DCT/DCT je už významné.

Relativně nízké hodnoty DCT korespondují s faktem, že předpovídání letních srážek je ve střední Evropě obtížné. Konvekce způsobuje rychlý vývoj bouří a srážek a advekce není primárním mechanismem vývoje. Proto mají extrapolační metody svůj limit.

## **6.6. Podrobnější příklady závislosti DCT na meteorologických charakteristikách**

Jednou z možností, jak podrobněji analyzovat vliv meteorologických charakteristik je rozdělení termínů **podle více než jedné charakteristiky**. Při použití 18 charakteristik, je takových možných dělení několik set.



V **tabulkách 7-12** jsou příklady 6 rozdělení. Pro 3 rozdělení jsou ukázány absolutní hodnoty verifikačních statistik. Pro další 3 rozdělení naopak přírůstky proti persistenci. 6 ukázek je rozděleno podle 2 charakteristik na 30, 25, 40 nebo 15 podskupin případů.

Ve všech tabulkách barevná škála odpovídá uvedeným číselným hodnotám, jen **v části CSI\_5mm číselné hodnoty reprezentují počty případů daných podskupin.** Uvedené statistiky jsou v prvních 3 případech **DCT PK, DCT SK, střední absolutní chyba, střední kvadratická chyba, CSI a CSI\_5mm.** V druhých třech ukázkách to jsou **+DCT PK , +DCT SK, +CSI a +CSI\_5mm,** tedy vlastně DCT PK - DCT PK PER, DCT SK - DCT SK PER, CSI-CSI PER a CSI\_5mm-CSI\_5mm PER.

Hodnoty CSI a středních chyb jsou pro **předpovědi na 30 min.** Hodnoty statistik předpovědí na 30 min. velmi významně korelují s hodnotami statistik předpovědí na méně než 30 min. i na více než 30 min. První půlhodina je také přibližný limit DCT v konvektivních situacích, proto lze považovat zvolený čas 30 min. v ukázkách za názorný.

Hodnoty **DCT SK a DCT SK PER** větší než 120 min. jsem bral do zpracování jako 120 min. stejně jako ostatní hodnoty DCT větší než 120 min. Na rozdíl od DCT PK se to u DCT SK a dokonce i u DCT SK PER týká tisícovek termínů. To přináší určitá omezení interpretace. Testy ukázaly, že DCT SK v tab. 7-9 by měly mít ještě větší rozpětí. Pořadí podskupin by ale mělo být interpretováno správně. Složitější situace nastává u +DCT SK v tab. 10-12. DCT SK je ale jen doplňující statistikou, hlavní zájem v ukázkách je soustředěn na počty případů a DCT PK.

DCT PK [min]							DCT SK [min]						
Sept.	56.2	61.4	58.6	43.8	48.2	53.1	Sept.	78.7	86.1	86.6	74.7	75.5	78.3
Aug.	53.5	53.6	37.3	29.3	37.3	47.5	Aug.	88.9	84.4	68.6	62.2	73.7	82.9
July	50.4	52.7	34.7	28.6	38.5	47	July	81.7	79.9	64.2	61.1	76.4	80.6
June	52.5	52.4	36.8	32.6	40.7	48.4	June	78.8	77.9	67.4	67	75.8	78.3
May	57.1	63.6	46.5	40.4	44.6	54.3	May	87.8	89	74.7	73.9	78.3	84.6
	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24		0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
MeanA (30min.)							Sqrt (30min.)						
Sept.	0.08	0.09	0.1	0.11	0.11	0.1	Sept.	0.31	0.39	0.34	0.63	0.5	0.39
Aug.	0.15	0.13	0.14	0.18	0.17	0.18	Aug.	0.7	0.57	0.75	1.26	1.09	0.94
July	0.14	0.11	0.15	0.22	0.23	0.18	July	0.74	0.59	0.98	1.48	1.32	0.89
June	0.09	0.08	0.14	0.22	0.2	0.13	June	0.46	0.4	0.85	1.38	1.16	0.7
May	0.1	0.11	0.12	0.18	0.16	0.13	May	0.45	0.43	0.7	1.12	0.89	0.59
	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24		0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
CSI (30min.)							CSI 5mm (30min.)						
Sept.	0.48	0.53	0.54	0.47	0.49	0.5	Sept.	809	855	670	887	843	741
Aug.	0.53	0.51	0.44	0.42	0.46	0.5	Aug.	1091	1051	959	1355	1286	1202
July	0.49	0.49	0.41	0.41	0.47	0.49	July	1411	1241	1490	1863	1850	1567
June	0.47	0.47	0.43	0.44	0.47	0.47	June	1175	1116	1245	1526	1568	1330
May	0.52	0.54	0.47	0.46	0.48	0.51	May	1180	1145	1276	1682	1668	1444
	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24		0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24

**Tab. 7** Denní chod vs. měsíce, čísla v CSI\_5mm jsou počty případů.

Jednou ze základních charakteristik konvekce je její **denní chod**. Počet 37 526 termínů se podle denní doby v UTC čase (tedy o 2 h pozdější než letní středoevropský) a podle měsíců rozdělí přibližně rovnoměrně (tab. 7). Nejméně případů a nejplošší denní chod je v září. Nejvíce termínů a nejvýraznější denní chod situací spadá do července.

Nejnižších hodnot DCT se dosahuje v letních odpoledních. Nejvyšší hodnoty DCT jsou v květnových a zářijových ránech. Maxima DCT SK jsou na rozdíl od DCT PK výrazná i v srpnových ránech. To značí, že v srpnových ránech jsou srážkové systémy strukturovanější, na stejnou plochu nebo sumu srážek připadá méně jader.

Průměrná střední absolutní chyba je v letních odpoledních proti září dvojnásobná (tab. 7), průměrná střední absolutní chyba až pětinasobná, průměrné hodnoty CSI jsou vyrovnané.

Hodnoty **CSI\_5mm** a **+CSI\_5mm** na 30 min. jsou obecně velmi nízké (obr. 21). V tab. 7-12 jsou tyto hodnoty uvedeny jen modrou barevnou škálou, ale ne číselnými

hodnotami. Za upozornění stojí jen fialové hodnoty v tab. 8-12 značí **nejstrukturovanější konvektivní případy**. Začínající konvekce v poledních hodinách (tab. 8) fialových hodnot nedosahuje. Nejstrukturovanější konvekce přichází z jihozápadních směrů (tab. 10) a nesmí v ní být velký počet konvektivních jader (tab. 11).

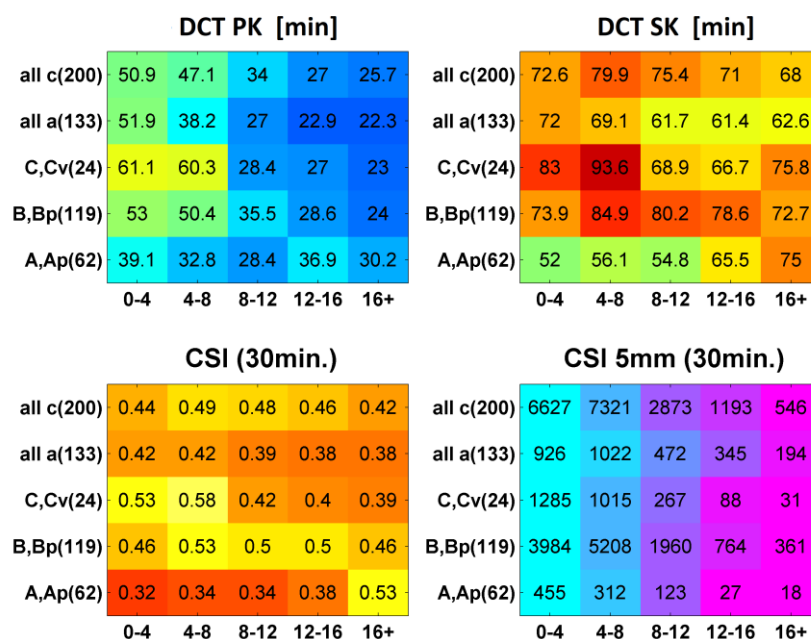
DCT PK [min]							DCT SK [min]						
70-100	26.3	33.4	18.8	19.8	23.9	23.9	70-100	62.5	40.8	46.7	52.1	63.4	60.2
50-70	29.6	28.4	21.6	23.4	27.9	29.5	50-70	71.3	62.4	49.1	57.3	69.6	71.4
30-50	38.6	39.9	27	27.9	36.3	37.1	30-50	80.9	78.7	58.4	60.8	75	77.8
15-30	52.8	50.2	38.3	38.6	42.9	49.4	15-30	87.8	81.2	75	77.4	76.2	83
0-15	60.9	63.5	59.3	59.1	60.5	62.1	0-15	84.2	86.4	86.8	88	85.9	85.6
	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24		0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
MeanA (30min.)							Sqrt (30min.)						
70-100	0.22	0.11	0.21	0.34	0.33	0.23	70-100	1.9	1.32	1.94	2.63	2.56	1.98
50-70	0.14	0.16	0.15	0.23	0.25	0.22	50-70	1.25	1.34	1.28	1.64	1.69	1.56
30-50	0.14	0.12	0.14	0.15	0.19	0.18	30-50	0.89	0.85	0.88	0.97	1.08	1.04
15-30	0.13	0.11	0.13	0.15	0.14	0.16	15-30	0.6	0.51	0.63	0.67	0.65	0.68
0-15	0.1	0.1	0.11	0.11	0.11	0.11	0-15	0.34	0.32	0.36	0.36	0.36	0.34
	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24		0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24
CSI (30min.)							CSI 5mm (30min.)						
70-100	0.37	0.28	0.31	0.35	0.38	0.36	70-100	96	25	501	1200	561	188
50-70	0.41	0.4	0.33	0.38	0.43	0.42	50-70	407	202	890	1869	1526	701
30-50	0.48	0.46	0.38	0.4	0.46	0.47	30-50	666	619	958	1504	1876	1204
15-30	0.52	0.49	0.46	0.48	0.47	0.51	15-30	1262	1173	846	1062	1284	1351
0-15	0.51	0.53	0.54	0.56	0.53	0.53	0-15	3235	3389	2445	1678	1968	2840
	0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24		0-4	4-8	8-12	12-16	16-20	20-24

**Tab. 8** Denní chod vs. podíl srážek v jádrech, čísla v CSI\_5mm jsou počty případů.

Charakteristikou, která odděluje situace na konvektivní, smíšené a vrstevnaté je **podíl srážek v jádrech** neboli podíl konvekce na celkových srážkách. Konvektivní situace se začínají objevovat většinou až kolem 10h UTC. V odpoledních hodinách je konvektivních situací (50+) více než nekonvektivních (15-).

Nejnižších DCT dosahují konvektivní termíny **v poledních hodinách** (tab. 8). Vrstevnaté situace mají denní chod průměrných hodnot DCT vyrovnaný. Největší hodnoty průměrných středních absolutních a kvadratických chyb nastávají až v odpoledních a podvečerních hodinách, kdy bývá srážková aktivita celkově nejrozsáhlejší, ale nové konvektivní buňky už tolik nevznikají. Hodnoty pro málo

zastoupené kategorie jako např. 4-8h vs. 70-100% srážek v jádrech (jen 25 termínů v tab. 8) je obtížné interpretovat.



**Tab. 9** Intenzita jader vs. typ povětrnostní situace, čísla v CSI\_5mm jsou počty případů, čísla u názvů typů značí celkový počet dnů těchto typů v souboru 20 měsíců. All a značí všechny anticyklonální situace kromě A a Ap. All c značí všechny cyklonální situace kromě C a Cv. B a Bp jsou typy povětrnostních situací s brázdami.

Zajímavou ukázkou může být využití typizace povětrnostních situací (tab. 9). V **anticyklonálních situacích** (A,Ap a all a) je počet termínů vzhledem k počtu dnů s těmito typy malý. Zároveň jsou v anticyklonálních situacích nejnižší hodnoty DCT PK, DCT SK i CSI.

**Typ C nebo Cv** se vyskytl ve 24 dnech, tudíž, nebereme-li v úvahu termíny s výpadky radarů, z 24dnů \* 24hodin \* 6 termínů/h=3456 možných termínů, podmínku minimální průměrné srážky v oblasti splnilo 2685 termínů, tedy téměř 80% termínů typu C a Cv. Právě pro tyto dva typy dosahují verifikační statistiky nejvyšších hodnot.

Pro všechny povětrnostní typy platí, že DCT PK má nejvyšší hodnoty pro termíny bez jader nebo jen s málo intenzivními jádry, naopak DCT SK a CSI mají nejvyšší hodnoty pro termíny s málo až středně intenzivními jádry.

+ DCT PK [min]						+ DCT SK [min]					
NW	7.86	13.2	13.7	7.68	3.69	NW	11.8	22.3	28.5	26.2	15.5
W	17.3	19.2	13	10.3	6.04	W	21.7	32.3	32.5	31	21.4
SW	20.3	19.5	13.9	8.63	4.92	SW	23	31.1	31.9	24.5	16.8
S	15.1	14.7	10.1	7.9	4.05	S	16	23.3	22	24.5	18.8
SE	18.4	14.7	11.7	5.2	1.5	SE	14.7	16.9	18.6	14.8	12
E	16	12.2	8.98	4.05	2	E	15.9	19	21.9	21.6	14.5
NE	5.06	13.2	12	6.57	4.32	NE	10.1	24.4	28.7	21.6	15.4
N	7.16	5.62	7.77	5.42	3.47	N	8.07	10	16	17.1	16.1
	0-15	15-30	30-50	50-70	70-100		0-15	15-30	30-50	50-70	70-100

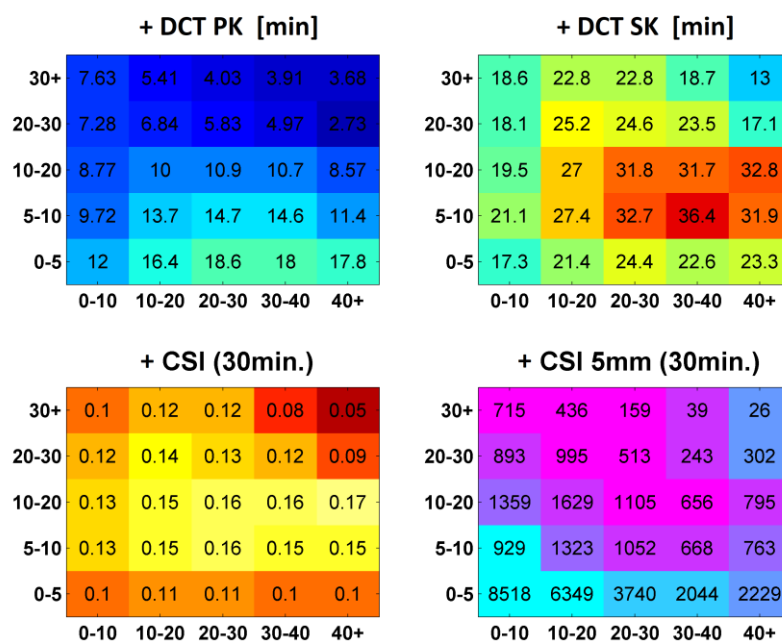
+ CSI (30min.)						+ CSI 5mm (30min.)					
NW	0.08	0.14	0.17	0.17	0.11	NW	2133	872	801	606	163
W	0.1	0.17	0.2	0.2	0.14	W	4359	2157	2344	1889	682
SW	0.11	0.13	0.14	0.13	0.1	SW	4392	2008	1832	1577	804
S	0.08	0.09	0.1	0.11	0.08	S	1322	554	599	641	392
SE	0.07	0.07	0.08	0.08	0.06	SE	609	221	168	96	100
E	0.07	0.1	0.11	0.12	0.09	E	525	265	273	278	156
NE	0.06	0.11	0.14	0.12	0.08	NE	907	502	445	228	79
N	0.05	0.08	0.1	0.12	0.1	N	1301	394	356	274	188
	0-15	15-30	30-50	50-70	70-100		0-15	15-30	30-50	50-70	70-100

**Tab. 10** Podíl srážek v jádrech vs. směr pohybového pole, v +CSI\_5mm jsou počty případů.

Podle směru pohybového pole jsem rozdělil termíny **do osmi skupin** (tab. 10). Skupina SW má více případů než všechny východní skupiny dohromady. U skupin **SW a E** je největší podíl konvektivních situací, na jeden konvektivní termín (50+) připadá méně než 2 nekonvektivní (15-). Celkově nejmenší skupina E je z velké části tvořena případy z výrazné **epizody přelomu června a července 2009**. Směr pohybového pole neodpovídá směru povětrnostního typu, směru přízemního proudění větru ani směru přechodu fronty přes Prahu. Tyto směry se z různých důvodů liší.

Největší hodnoty **+DCT PK** jsou dosaženy pro nekonvektivní SW situace. Naopak konvektivní východní situace mají zlepšení proti persistenci pouhých 2-6 minut. Zlepšení proti persistenci **+CSI** je nejvyšší pro smíšené situace, kdy jsou konvektivní jádra přítomná, ale srážky z nich nejsou dominantní. Nejvyšší hodnoty **+DCT SK a +CSI** jsou u SW, W, NW a NE situací, nejnižší hodnoty naopak u SE a N situací. Zlepšení **+DCT SK** pro podíl v jádrech 0-15 je třeba interpretovat z důvodů

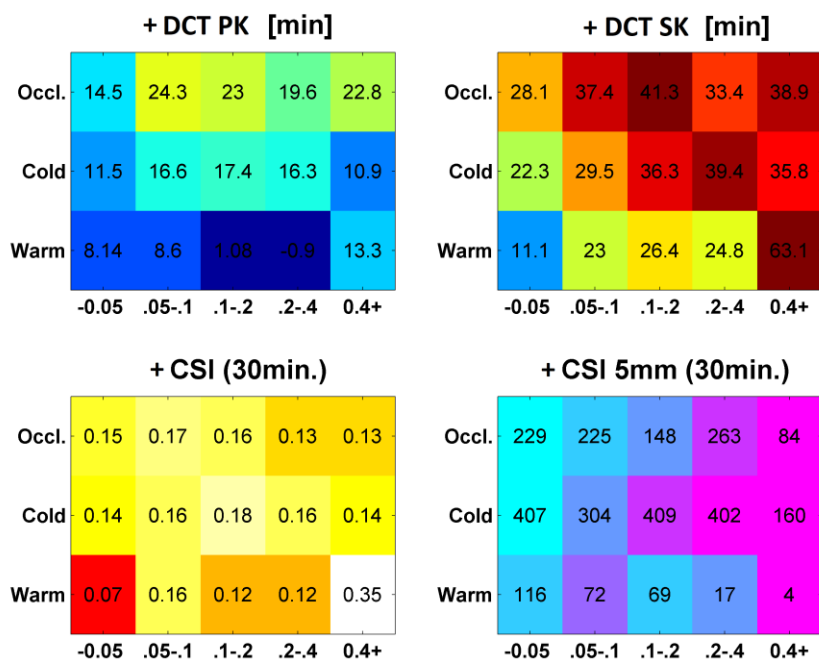
uvedených na začátku kapitoly opatrně, může se stát, že DCT SK PER i DCT SK mají hodnotu poníženou na 120 minut a rozdíl mezi nimi je tedy nerealisticky nulový.



**Tab. 11** Počet jader vs. podíl 10/2, v +CSI\_5mm jsou počty případů.

Podíly ploch **2/0**, **10/0** a **10/2** jsem mezi použité meteorologické charakteristiky zařadil proto, aby bylo vidět, jak jsou srážková pole celkově intenzivní a mohutná, jak jsou srážkové buňky či jádra v ploše „vysoké“ a také aby bylo vidět, jak jsou buňky, jádra či pole „konvexní nebo konkávní“. V oblasti nemůže být zároveň hodně jader a zároveň nemohou být tato jádra opravdu intenzivní (počet případů v tabulce 11). Pokud je jader hodně, tak je velmi intenzivních z nich jen část.

**+DCT PK** má nejvyšší hodnoty pro střední počty jader, **+DCT SK** a **+CSI** má nejvyšší hodnoty pro střední a větší počty jader. **+DCT PK** má při nízkém podílu ploch 10/2 zlepšení proti persistenci až 18 minut. Zlepšení **+CSI** je nejvyšší pro střední hodnoty 10/2. Zlepšení **+DCT SK** je opět třeba interpretovat opatrně, především pro nízké podíly ploch 10/2.



**Tab. 12** Průměrná intenzita srážek v oblasti vs. typ fronty, v +CSI\_5mm jsou počty případů.

Přechodů teplých front přes Prahu je podobně jako přechodů studených a okluzních front. Počet termínů splňujících podmínku minimální srážky v oblasti je však v případě teplých front minimální a většina těchto případů spadá do kategorie nejmenších průměrných intenzit srážek (počet případů v tabulce 12).

Nejnižší hodnoty **+DCT PK** nastávají pro teplé fronty. Studené fronty mají nižší hodnoty **+DCT PK** i **+DCT SK** než okluzní fronty. Hodnoty **+CSI** jsou podobné.

Při dělení podle 2 a více charakteristik lze najít vztahy, které jsou využitelné v předpovědní praxi. Např. i rozdíly v DCT či +DCT pro jednotlivé 2D dělení, kde jednou charakteristikou je některý z **trendů** začnou nabývat výrazných rozdílů.

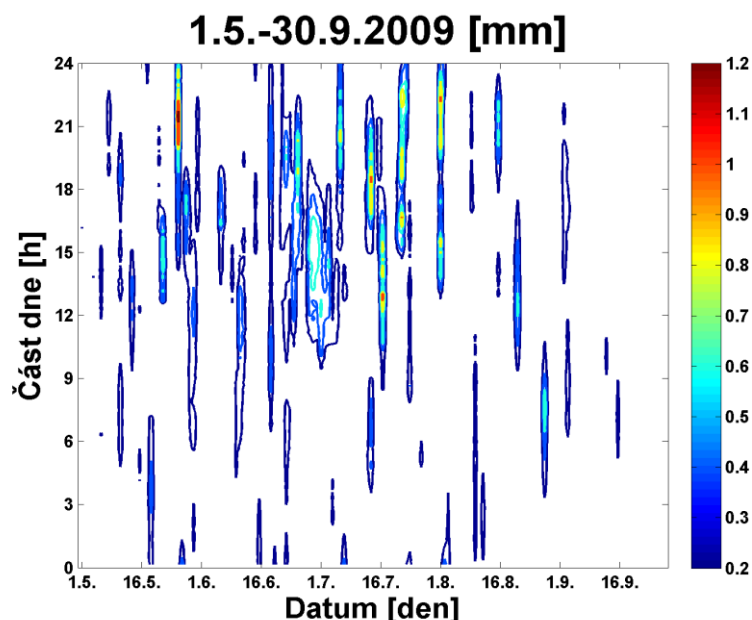
Jednotlivé objektivní meteorologické charakteristiky určené v termínu předpovědi tedy mohou pomoci určit, jaká může být kvalita předpovědi a stanovit tak spolehlivost (mez použitelnosti) předpovědi.

## 7. Případové studie 22. 6. - 5. 7. 2009 a 15. 8. 2010

Práce zabývající se předpověditelností srážek jsou většinou zaměřeny na průměrné hodnoty pro jednotlivé **vybrané konvektivní události** a nezkoumají, jak se předpověditelnost mění v průběhu těchto událostí. V této kapitole zkoumám, jak se mění meteorologické i verifikační charakteristiky v průběhu dvou vybraných případů.

### 7.1. Případ 22. 6. - 5. 7. 2009

Jako první případ jsem vybral období 22. 6. - 5. 7. 2009. Dvanáct dní z tohoto období je podle Brádkovy klasifikace charakterizováno jako **východní cyklonální situace (Ec)**. Jedná se tedy o nejdelší Ec situaci za posledních 70 let. V nevýrazném tlakovém poli nabývala pohybová pole nízkých rychlostí a srážky měly výrazný denní chod. Četné přívalové povodně způsobené přívalovými srážkami způsobily čtvrté nejvyšší povodňové škody v rámci ČR za posledních 30 let.



**Obr. 22** Průměrná intenzita srážek v oblasti v letním období roku 2009. Čas je v UTC. Nejvyšší průměrné intenzity jsou situovány do odpoledních hodin. Období



22. 6. - 5. 7. 2009 je intenzivní, nejintenzivnější jsou však přechody výrazných a rozsáhlých frontálních systémů.

Průměrné srážky v oblasti byly vysoké, ale nedosahovaly extrémních hodnot (obr. 22). Avšak období bylo dlouhé, povodí nasycená, srážky nerovnoměrné a individuální bouře postupovaly často po stejných drahách.

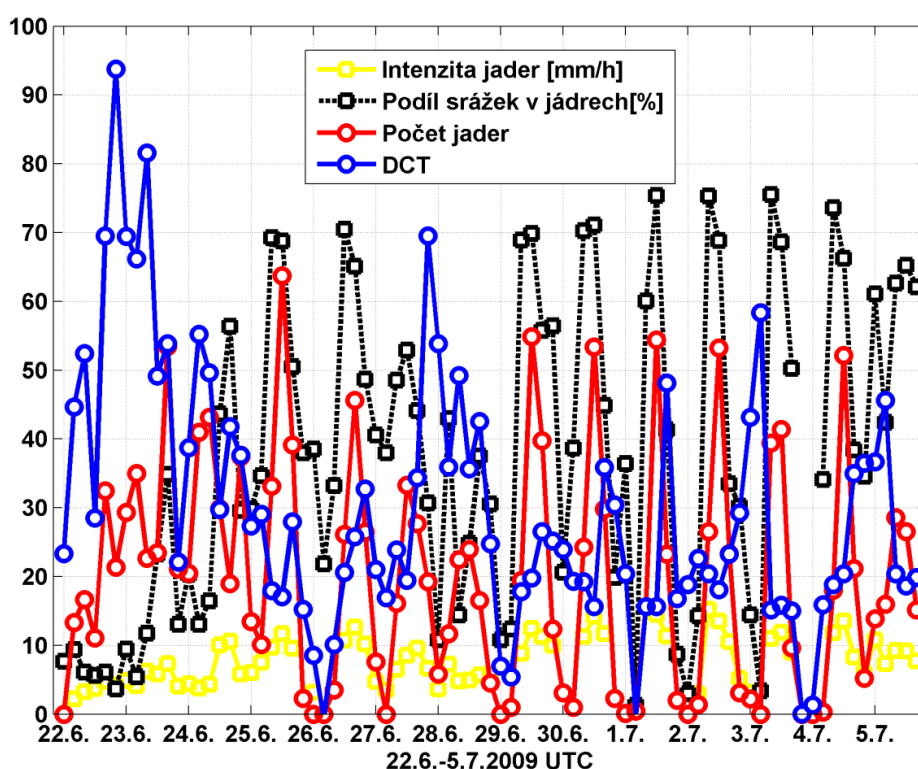
**22. 6. - 5. 7. 2009 / Percentily**

CSI 1mm (30min.)	0.07	0.17	0.24	0.32	0.47
Sqrt (30min.)	0.19	0.53	0.94	2.19	4.37
DCT PK PER [min]	11.7	15.4	21.7	32.3	61.6
DCT MP [min]	16.7	22.3	30.9	48.4	97
DCT SK [min]	33.3	52.4	67.4	87	120
DCT PK [min]	14.2	19.4	28.6	44.7	79
Plocha jader [%]	0.08	0.26	0.53	1.42	3.06
Intenzita jader [mm/h]	3.16	5.17	7.85	11.4	14.6
Prům. rychlost [m/s]	0.86	3.64	5.56	7.94	12.6
Počet jader	5	13	24	38	60
Intenzita srážek [mm/h]	0.01	0.05	0.15	0.29	0.59
Podíl srážek v jádrech [%]	5.23	22.4	46.2	65.9	76.7
	5	25	50	75	95

**Tab. 13** Přehled základních charakteristik případu 22. 6. - 5. 7. 2009. Sloupce představují percentily jednotlivých charakteristik pro 1487 termínů. Červené (modré) barvy znázorňují relativně vyšší (nižší) hodnoty proti celému období 2009-2012 (37526 termínům).

V tabulce 13 jsou uvedeny základní charakteristiky období přelomu června a července 2009. Jedná se o percentily z **1487 termínů** (z celkem 2016 možných termínů), které splňují podmínku průměrné intenzity srážek na oblasti vyšší než 0.01 mm/h. Červené (modré) barvy znázorňují relativně vyšší (nižší) hodnoty proti celému období 2009 - 2012, tj. ve srovnání s 37526 situacemi zpracovanými v kapitole 6. Pohybové pole mělo malé průměrné rychlosti (tab. 13). Počet jader a podíl srážek v jádrech byl nadprůměrný, ale intenzita jader nebyla nijak výjimečná. Plocha jader byla velmi velká, ale velikost průměrné intenzity srážek byla jen lehce nadnormální. Hodnoty CSI 1mm byly standardní, hodnoty střední kvadratické chyby byly velmi vysoké a hodnoty DCT podprůměrné.

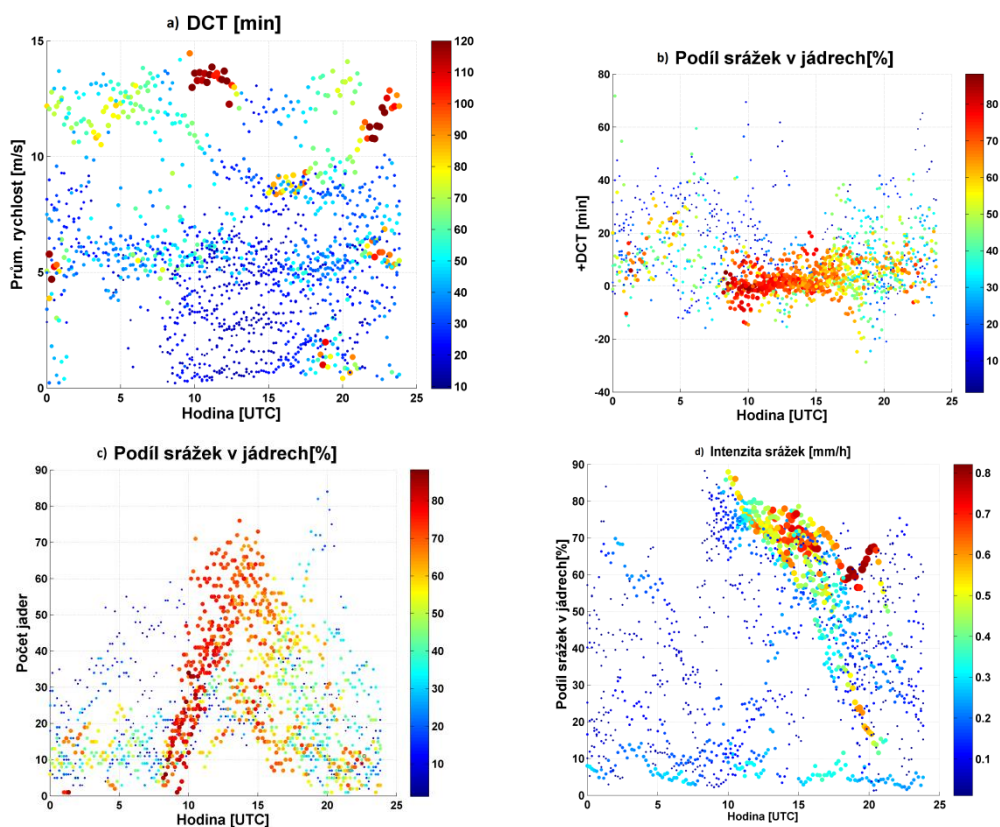
Charakter této epizody lze pochopit např. z noci z 24. 6. na 25. 6., kdy nastaly extrémní lokální záplavy na Severní Moravě (<http://www.ceskatelevize.cz/porady/1178166999-predpoved-pocasi/209411000410624/>, <http://www.ceskatelevize.cz/porady/1178166999-predpoved-pocasi/209411000410625/>) a z dnů 29. 6. - 2. 7., které provázely pravidelný denní chod konvektivní aktivity a které si byly navzájem charakterem velmi podobné (např. <http://www.ceskatelevize.cz/porady/1178166999-predpoved-pocasi/209411000410630/>).



**Obr. 23** Časový průběh 4 hodinových průměrů vybraných charakteristik pro období 22. 6. - 5. 7. 2009. Hodnota je vždy průměrem ze všech termínů (0-3.50 UTC, 4-7.50 UTC,...). Názvy a jednotky charakteristik jsou uvedeny v legendě obrázku.

Některé charakteristiky jsou vykresleny na obr. 23 jako časový průběh 4 hodinových průměrů. Na základě podílu srážek v jádrech lze období rozdělit na čtyři části, dvě s převážně vrstevnatými srážkami (22. 6. - 23. 6. a 28. 6.) a dvě s převážně konvektivními srážkami (24. 6. - 27. 6. a 29. 6. - 5. 7.). Během období s převážně vrstevnatými srážkami byl nižší počet jader, nižší intenzity jader, ale bylo

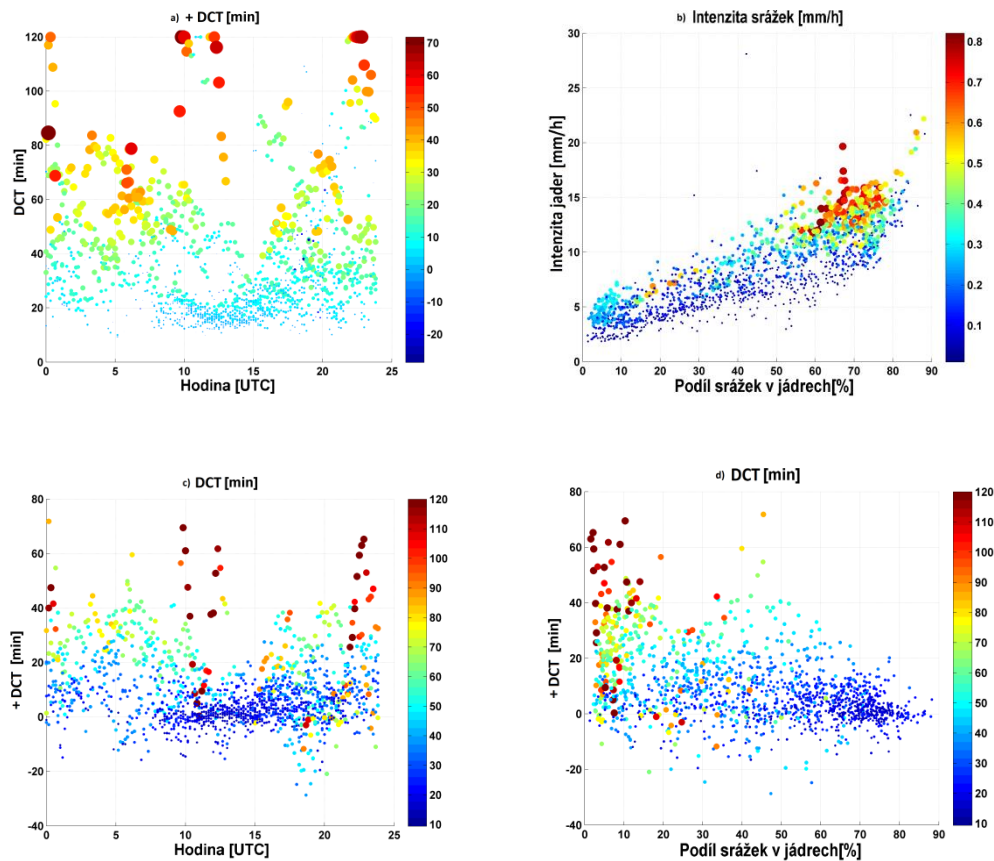
dosaženo vyšších DCT. Naopak pro konvektivní období byl typický výrazný denní chod, vysoký počet jader v odpoledních hodinách a nízký DCT i +DCT. Pro druhé konvektivní období bylo charakteristické i pomalé pohybové pole.



**Obr. 24** Bodové grafy vybraných charakteristik. Na ose x je vždy čas. Celkem je zpracováno 1487 termínů z 22. 6. - 5. 7. 2009. Hodnota veličiny v názvu obrázku je zobrazena pomocí barevné škály umístěné napravo a zároveň pomocí velikosti značky.

Jiným způsobem znázornění charakteristik jsou bodové grafy na obr. 24. Na všech čtyřech obrázcích vidíme, jak se kolem 8 UTC (tedy 10h letního Středoevropského času) začíná objevovat konvekce. **Rychlost pohybového pole** byla pro situace s nejnižším DCT velmi nízká (obr. 24a). **+DCT** nabývá v poledních hodinách (obr. 24b) minimálních, často i záporných hodnot (persistentní předpověď je lepší než předpověď). **Počet jader** narůstá s časem několik hodin lineárně (obr. 24c), při stále vysokém podílu srážek v jádrech. **Podíl srážek v jádrech** zřetelně narůstá v poledních hodinách a poté pozvolna klesá (obr. 24d). Průměrná **intenzita srážek** v oblasti roste v odpoledních hodinách až do podvečera (obr. 24d). Průměrná

intenzita srážek v bodech jader je nejvyšší v počátečním období vývoje jader. Ve večerních hodinách je průměrná hodnota již nižší, protože se v oblasti vyskytují jak nová intenzivní jádra, tak stará jádra v rámci vrstevnatých srážek, které jsou důsledkem předchozí konvektivní činnosti.



**Obr. 25** Bodové grafy vybraných charakteristik. Na ose x je buď čas, nebo podíl srážek v jádrech. Celkem je zpracováno 1487 termínů z 22. 6. - 5. 7. 2009. Hodnota veličiny v názvu obrázku je zobrazena pomocí barevné škály umístěné napravo a zároveň pomocí velikosti značky.

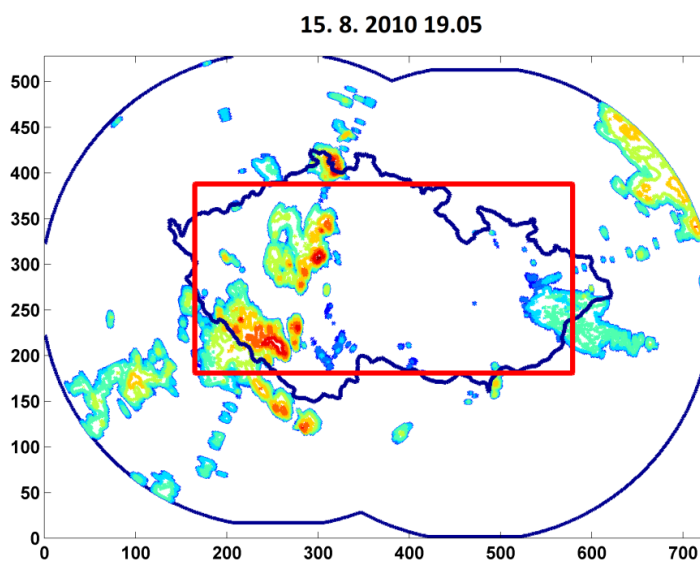
Nejvyšší hodnoty **+DCT** odpovídají nejvyšším hodnotám **DCT** (obr. 25a) a naopak (obr. 25c). **Nižší intenzity jader** dosahují termíny s menší průměrnou srážkou (obr. 25b), tento vztah byl znázorněn už v obr. 17. Zatímco hodnot **+DCT** kolem 30 minut dosáhly v této epizodě i termíny se středním (15-50) podílem konvekce (obr. 25d), **DCT** už v těchto smíšených situacích málokdy dosáhne hodnot vyšších než 60 min.

Celkově lze říci, že **událost 22. 6. - 5. 7. 2009 byla extrémní** a možnost predikce radarovou extrapolací byla během některých dní zvláště v poledních hodinách

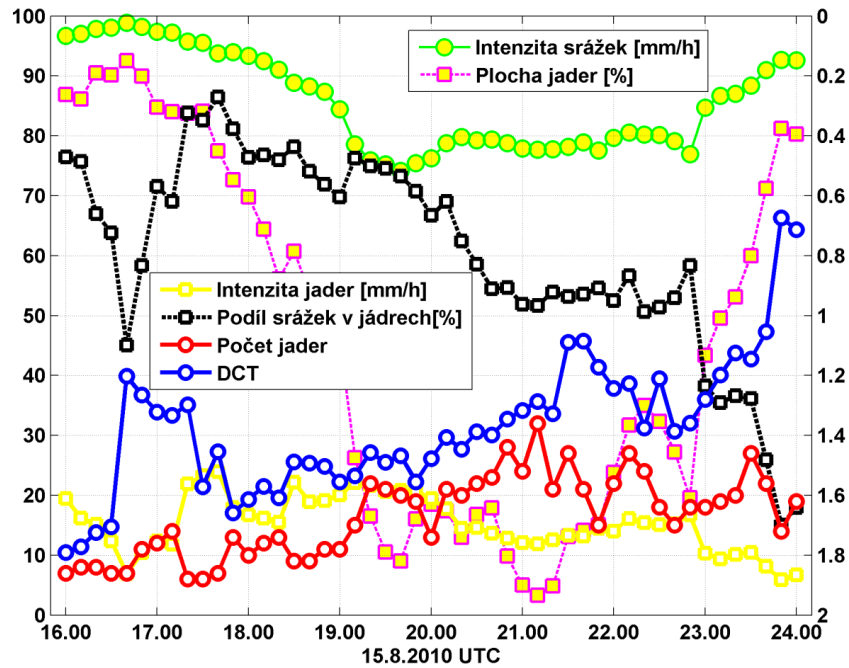
prakticky nemožná. Persistentní předpověď byla jen o málo horší, často naopak lepší než předpověď extrapolací.

## 7.2. Příklad 15. 8. 2010

Druhý příklad ukazuje vývoj předpověditelnosti pro **15. 8. 2010, kdy se vyskytovaly silné konvektivní bouře a došlo k extrémnímu krupobití** na území Prahy. Jednalo se o situaci se západní složkou proudění a byl pozorován nižší počet jader. Večer postupoval přes západní část ČR od jihu až jihozápadu rozsáhlý srážkový systém (obr. 26), v rámci kterého se vyskytlo několik supercel. Jak je v takovýchto případech extrémních situací včetně výskytu supercel časté, 70 minut před vrcholem krupobití byly v platnosti pouze obecné výstrahy a varování (<http://www.ceskatelevize.cz/porady/1178166999-predpoved-pocasi/210411000410815/>).



**Obr. 26** Oblast pokrytá radarovými daty. Kruhy znázorňují dosah radarů. V oblasti ohraničené červeně jsou počítány charakteristiky atmosféry a validovány předpovědi. Na obrázku je zobrazeno pole radarových odrazivostí CAPPI 2km z 15. 8. 2010 19:10 UTC. V tomto termínu dosahovalo krupobití v jihovýchodní části Prahy svého maxima.



**Obr. 27** Časový průběh vybraných charakteristik pro 15. 8. 2010. Intenzita srážek a plocha jader jsou vyneseny na inverzní ose y vpravo, ostatní charakteristiky vlevo. Názvy a jednotky charakteristik jsou uvedeny v legendách obrázku.

Na obr. 27 je časový průběh vybraných charakteristik. **Po 16:00** se na jihozápadě naší oblasti vyskytovala **supercela** (prakticky jediný radarový cíl v naší oblasti v danou chvíli). Supercela se nejdříve vůči spočtenému pohybovému poli stáčela doleva, DCT byl nízký, +DCT nulový. Po jejím zániku kolem 16:30 došlo ke krátkodobému zmenšení podílu srážek v jádrech a zvětšení DCT. **Po 17:00** se ale vytvořila na Písecku **další supercela**, s kterou bylo později spojeno silné krupobití v Praze. V 17:40 nabývá intenzita jader a podíl srážek v jádrech svého maxima (obr. 27). Od 17:50 již podíl srážek v jádrech klesá a současně DCT roste. Počet jader je přibližně stejný v průběhu celé druhé poloviny večera. Kolem **19:00** dochází k zrychlení nárůstu jak intenzity srážek, tak plochy jader. To souvisí se silným krupobitím v Praze kolem 19:05. Intenzita jader byla velmi vysoká, i přes 20 mm/h. Po 19:00 už +DCT neklesal pod 10 minut (zde neukázáno). Kolem 17:00, 22:00 a 24:00 byl +DCT dokonce chvíli vyšší než 25 minut.

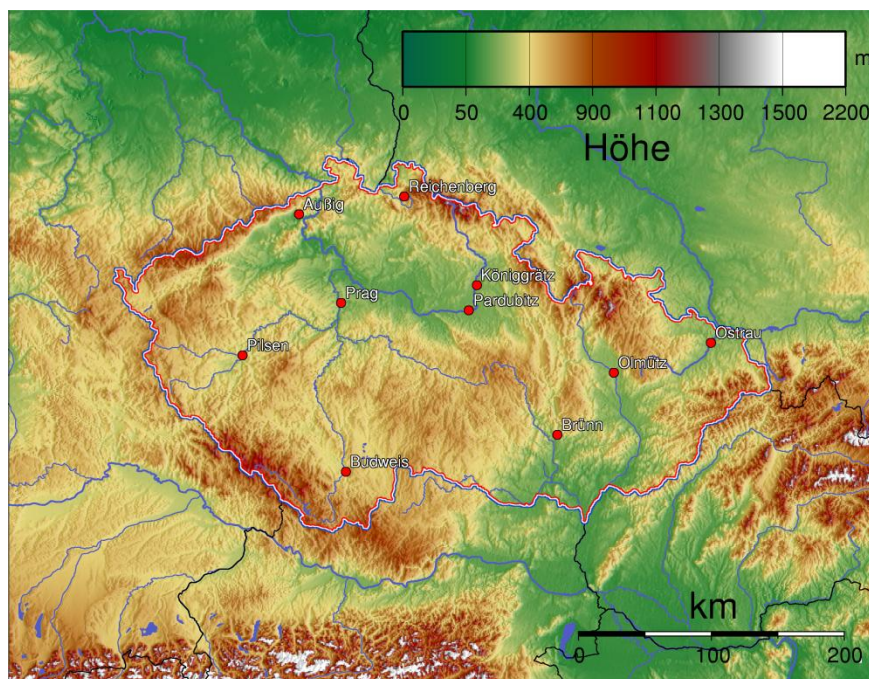
## 8. Plošné DCT

V předcházejících kapitolách byl zaveden postup výpočtu DCT (kap. 4), a DCT spočtený pro všechny relevantní termíny byl interpretován jednak pro jednotlivé podskupiny případů (kap. 6) i pro konkrétní případové studie (kap. 7). Ve všech případech jsem spočítal pro každý termín jednu hodnotu DCT, získanou z korelací 2\*12 srážkových polí. **Průměrné DCT 45,4 min. bylo časovým průměrem** hodnot získaných z **korelací prostorových polí** všech bodů bez uvažování vlivu umístění bodů.

Druhou možností prezentovanou v kapitole 8 je výpočet prostorové DCT (GDCT), kdy pro jednotlivé body oblasti získám hodnotu pomocí korelací mezi časovým vývojem skutečné intenzity srážek v daném bodě a mezi předpověďmi takové intenzity. **Průměrné GDCT pro celou oblast je tedy prostorovým průměrem** hodnot získaných z **korelací časových řad**.

### 8.1. Geografie České republiky

Předpověditelnost srážek se v jednotlivých částech naší předpovědní oblasti liší. Jedním z klíčových faktorů pro předpověditelnost může být **nadmořská výška daného bodu**. Ačkoli nadmořské výšky pohoří v České republice nedosahují výšek srovnatelných s Alpami, jsou výšky napříč ČR nerovnoměrné (obr. 28). Pohraniční horské hřebeny dosahují nadmořských výšek až 1600 m.n.m., na druhé straně centrální vysočiny mají nadmořské výšky jen mezi 500 a 800 m.n.m.



**Obr. 28** Fyzicko-geografická mapa ČR. Kromě pohraničních hor jsou výrazné nížiny a rozsáhlé oblasti středních nadmořských výšek.

To jestli se v daném bodě jedná o rovinu, pahorkatinu nebo hornatinu není pro účely této práce důležité. **Lokální převýšení okolního terénu** je sice také faktorem, který ovlivňuje předpověditelnost v daném bodě, v prvním přiblížení je ale zásadním faktorem **samotná absolutní nadmořská výška**.

## 8.2. Metodika výpočtu GDCT

V celé dizertační práci jsem použil pro verifikaci stejnou oblast skládající se z **86320 bodů** (obr. 29). Výpočet GDCT jsem provedl **pro každý devátý bod**, tedy pro body s prostorovým krokem 3km, celkem se jednalo o **9591 bodů**. Hodnoty z ostatních 8/9 bodů jsem nepoužil. Hodnoty ve vybrané 1/9 bodů nejsou nijak průměrované s hodnotami v okolních bodech a jsou dostatečně reprezentativní i pro zbylých 8/9 bodů.

Hodnoty **GDCT** jsem získal postupem z kap. 4.4 Jedním z rozdílů je, že pro výpočet GDCT použiji jen předpovědi **na 10-90 min**. Pro každý z 9591 bodů jsem měl 9 časových řad skutečných odhadů srážek a 9 časových řad předpovědí odhadů srážek



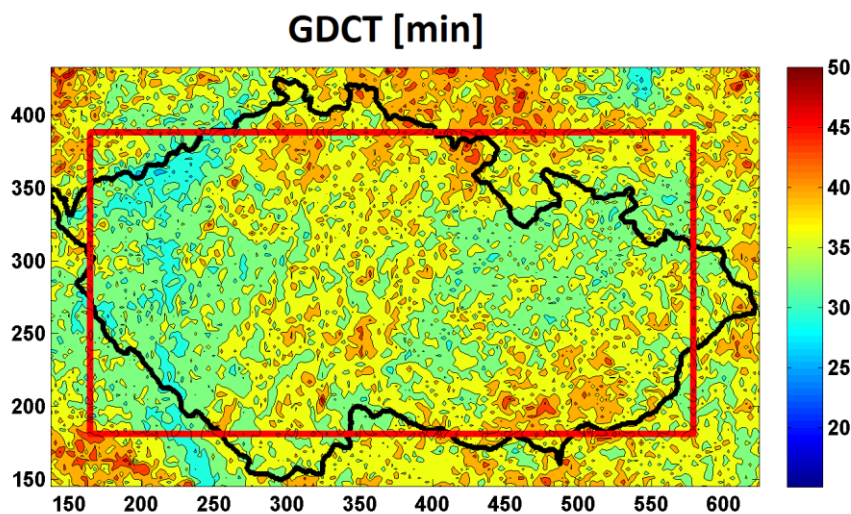
pro každý bod, které jsem získal z jednotlivých extrapolačních předpovědí. Z 9 hodnot korelačních koeficientů jsem poté vypočetl podle postupu v kap. 4.4 hodnotu GDCT pro daný bod.

Časové řady se můžou skládat ze všech 88128 hodnot-termínů, z vybraných 37526 relevantních termínů nebo z menší podskupiny termínů, vybraných podle konkrétních parametrů meteorologických charakteristik. Výsledky pro časové řady skládající se z 37526 (obr. 29) se zásadně neliší od výsledků pro časové řady ze všech 88128 termínů. Ve vyhodnocované oblasti (obr. 29) se liší v průměru jen o půl minuty, ale značně se liší vně vyhodnocované oblasti, především v rozích. Důvodem malého rozdílu je fakt, že v termínech, které nesplňují podmínku minimálních srážek, téměř nikde neprší, a proto nulové hodnoty nijak neovlivňují výsledné korelační koeficienty. Korelace jsou nejvíce ovlivněny **nejextrémnějšími událostmi**. V každém bodě je tedy hodnota GDCT určena především předpověditelností několika nejintenzivnějších událostí pro daný bod.

### 8.3. GDCT v České republice

Otázky, které se nabízejí před diskuzí nad mapou GDCT jsou např. jaká bude závislost na nadmořské výšce, bude existovat závislost na vzdálenosti od radaru, jaká bude struktura výsledků?

Průměrné výsledky **GDCT** v oblasti (obr. 29) jsou **32 min.** a jsou tedy **o 13 minut nižší** než průměrné hodnoty **DCT**. Rozdíl je způsoben tím, že v každém bodě se během 20 měsíců vyskytly extrémní srážkové události, které nejvíce ovlivnily výsledný GDCT v daném bodě. Naopak, ve většině použitých termínů jsou srážková pole relativně homogenní a bez extrémních srážek. Nejintenzivnější srážkové události tedy ovlivňují hodnoty GDCT ve všech bodech, ale hodnoty DCT ovlivňují jen v menšině termínů. Průměrné DCT je tedy vyšší než průměrné GDCT.



**Obr. 29** Hodnoty GDCT. Ve vyhodnocované oblasti (červený obdélník) je GDCT pro 9591 bodů, spočtené pomocí korelací předpovědí na 10-90 minut.

Hodnoty GDCT (mapa na obr. 29) lze rozdělit do pěti oblastí: 1/ výsledky **vně** obdélníkové oblasti jsou nerealistické, 2/ **západní třetina Čech** má systematickou chybu způsobenou podhodnocováním radaru Brdy, 3/ **severojižní pás** zvýšených GDCT přes celé Čechy, 4/ nižší GDCT **od Vysočiny po Jeseníky**, 5/ vyšší GDCT **na Jižní Moravě**.

Výsledky vně oblasti jsou ovlivněny kvalitou radarových dat za horami (obr. 5), příp. chybějícími extrapolovanými předpověďmi z oblastí mimo dosah radarů, a jejich hodnoty nemá smysl interpretovat, a to především v rozích oblasti, tedy např. v Sasku a v Bavorsku. Oblast vysokých hodnot GDCT **v jihozápadním Polsku** vypadá na první pohled správně, jde o rovinnatou, nížinou oblast, kam srážkové systémy přicházejí nejčastěji ze západních směrů, např. z českých hor. Přesto i zde nelze z důvodu špatného pokrytí oblasti radarem GDCT správně interpretovat.

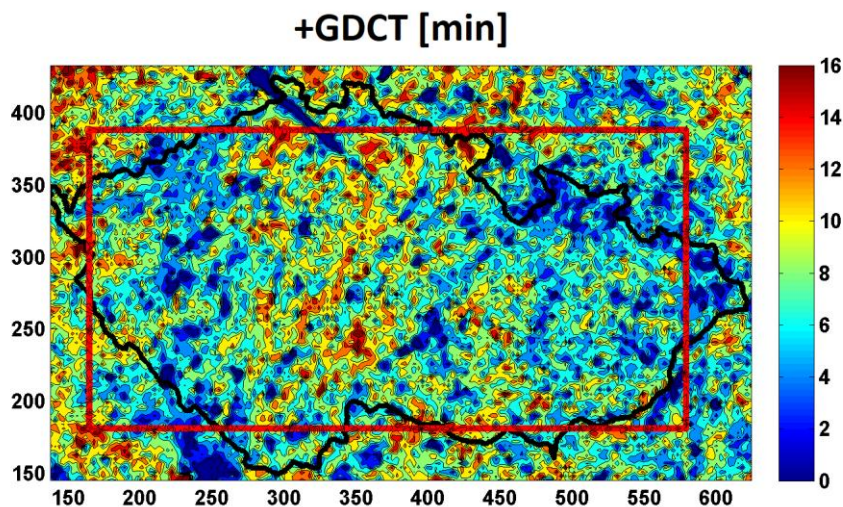
Problémem se ukázalo systematické podhodnocování radaru Brdy oproti radaru Skalky. V oblasti překrytí obou radarů se do sloučených informací bere hodnota

vyšší odrazivosti. Hodnoty odrazivosti z radaru Brdy jsou v průměru nižší než z radaru Skalky, a proto jsou v oblasti překrytí využity častěji hodnoty z radaru Skalky.

Pokud se standardně v předpovědní praxi nebo v testování výsledků numerických modelů radarová data adjustují údaji ze srážkoměrů, tak uvedené systematické podhodnocování radaru Brdy (nebo naopak systematického nadhodnocování radaru Skalky) není viditelné. Já však záměrně používám pouze radarová data. Uvedené podhodnocování neovlivňuje zásadně hodnoty DCT, ovlivnění hodnot GDCT bude v této kapitole diskutováno.

Vliv **nadmořské výšky** není v hodnotách GDCT (obr. 29) viditelný. Vysoké hodnoty GDCT jsou jednak v nížinách, ale i v západní polovině Vysočiny nebo v Krkonoších. Krušné hory nebo Šumava jsou navíc díky výše diskutované systematické chybě obtížně interpretovatelné. Vliv nadmořské výšky se zřetelně projevuje až pro hodnoty GDCT a +GDCT (GDCT – GDCT PER) pro jednotlivé podskupiny případů.

Např. v Jižních Čechách (obr. 29) jsou dobře viditelná **výrazná oka vysokých hodnot GDCT**. Ta pravděpodobně souvisí s faktem, že se v těchto bodech podařilo relativně úspěšně předpovědět nějakou velmi intenzivní srážkovou událost. Pokud intenzivní událost předpovím do správných míst, tak se v daných bodech zvýší hodnota korelačních koeficientů. Hodnota korelací v sousedních oblastech s nízkými nebo nulovými předpověďmi a nízkou nebo nulovou realitou není „úspěchem“ sousední intenzivní události dotčena. Pokud však předpovím intenzivní události vedle toho, kde nastane, tak se nízké hodnoty korelací rozprostřou v širší oblast nižších hodnot GDCT. Oka vysokých hodnot jsou tedy výraznější než případné oblasti nižších hodnot GDCT.



**Obr. 30** Hodnoty +GDCT. Ve vyhodnocované oblasti (červený obdélník) je +GDCT vykresleno pro 9591 bodů pomocí korelací předpovědí na 10-90 minut. Záporné hodnoty +GDCT byly stanoveny na 0.

Průměrné výsledky +GDCT v oblasti (obr. 30) jsou **8 min.** a jsou tedy **o 5 minut nižší** než průměrné hodnoty +DCT. Hodnoty +GDCT se pohybují mezi 0 a 16 min. Záporné hodnoty +GDCT velikosti až desítek minut, vznikající v bodech častých rušení radarového měření (paprsek v severních Čechách) nebo v bodech, kde se vyskytují farmy větrných elektráren (Krušné hory, Dolní Rakousko) byly vykresleny jako 0 min.

V prvním přiblížení mají mapy GDCT a +GDCT podobnou strukturu. Vyšší hodnoty +GDCT jsou obvykle dosaženy ve stejných oblastech jako vyšší hodnoty GDCT. Nejvýraznější oblastí, kde se charakter map liší, je **jihovýchodní Morava**. Zde jsou hodnoty +GDCT **nízké**. Dalšími oblastmi s rozdíly jsou např. Krkonoše, Pošumaví nebo Jeseníky. Lze říci, že v hodnotách +GDCT je vazba na nadmořskou výšku zřetelnější než v hodnotách GDCT.

**Západní hranice dosahu radaru Skalky** je zřetelnější v hodnotách +GDCT (obr. 30) než v hodnotách GDCT. Postupující srážkové pole např. z Tachovska (jehož intenzity

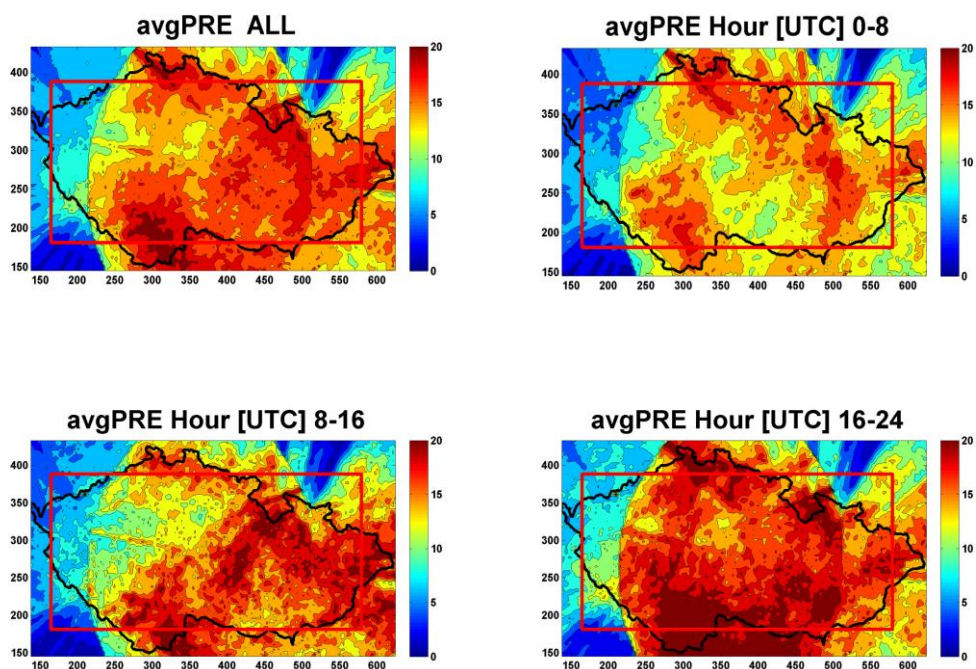
jsou získány pouze z hodnot radaru Brdy) je extrapolováno typicky např. na Rokycansko a zde je verifikováno proti hodnotám, v danou chvíli, v daném bodě, intenzivnějšího z radarů. Předpovědi pro oblasti, kde jsou dostupná data z radaru Skalky, ale které v čase  $T=0\text{min.}$  vycházely pouze z dat z radaru Brdy, tak mají nižší hodnoty korelací a ovlivňují výsledky v nejzápadnější části oblasti, kterou ještě pokrývá radar Skalky. Zároveň je ale možné, že oblasti Pošumaví, Podkrušnohoří nebo severního Plzeňska jsou objektivně oblasti, kam častěji přichází z pohraničních hor nově vzniklá konvekce a kde je tedy předpovídání srážek obtížnější. Podobná situace se částečně opakuje na Moravě na východní hranici dosahu radaru Brdy, díky v průměru nižší intenzitě odhadů z radaru Brdy proti radaru Skalky však není východní hranice dosahu radaru Brdy tak výrazná.

#### **8.4. Radarové odhady srážek pro různé meteorologické podmínky**

Před interpretací GDCT za vybraných podmínek atmosféry (kap. 8.6), je třeba vyhodnotit **prostorové rozložení odhadů průměrných intenzit srážek** pomocí CAPPI2km pro tyto podmínky (obr. 31).

Celkový radarový odhad průměrných srážek (obr. 31a) zřetelně ukazuje západní hranici dosahu radaru Skalky. Východní hranice dosahu radaru Brdy je zřetelná také, ale méně výrazně. Výrazné jsou takřka nulové odhady srážek za Šumavou, Jeseníky nebo za nejvyššími partiemi Krušných hor. Rozpoznatelné jsou i paprsky časté falešné odrazivosti pro radar Skalky (směr Šluknovský výběžek, jižně od Prahy, severně od Žiliny) i pro radar Brdy (např. směr Orlické hory a Polsko).

V oblasti překrytí obou radarů (obr. 31a) se vyskytují nejvyšší odhady srážek v Jižních Čechách, v severovýchodních podhorských a horských oblastech, na Vysočině a na Jižní Moravě. Výraznou oblastí nižších srážek jsou Střední Čechy. Jelikož jsem nepoužíval srážkoměrná data, nelze posoudit, nakolik jsou průměrné hodnoty srážek pro 20 letních měsíců věrohodné. Dané hodnoty ale беру jako **referenční hodnoty**, vůči kterým jsem poměřoval průměrné hodnoty srážek pro jednotlivé podskupiny termínů.

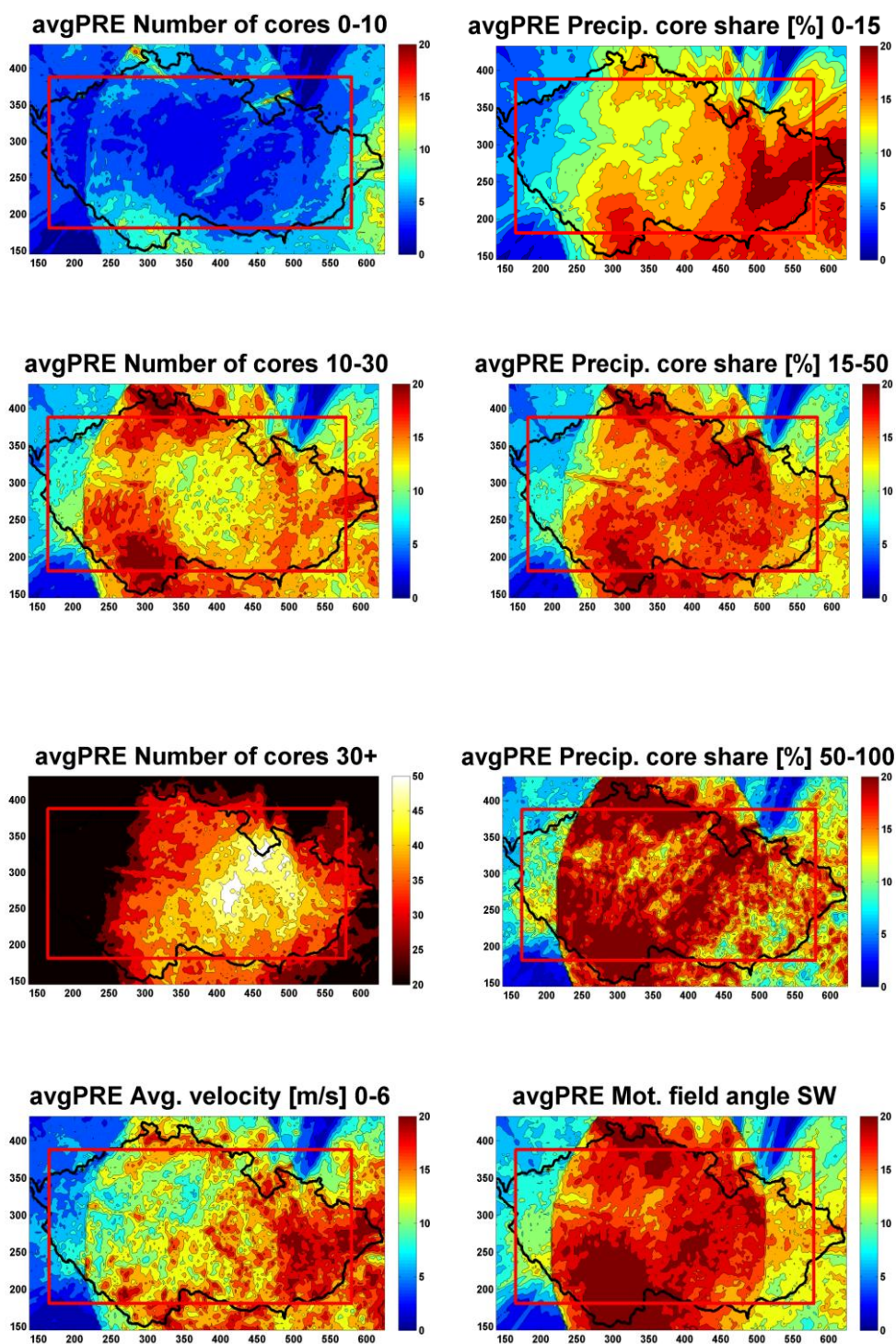


**Obr. 31** a)-d) Radarový odhad průměrných intenzit srážek. Intenzita srážek a) ve všech 37526 termínech, b)-d) v 37526 termínech rozdělených podle denní doby (Hour).

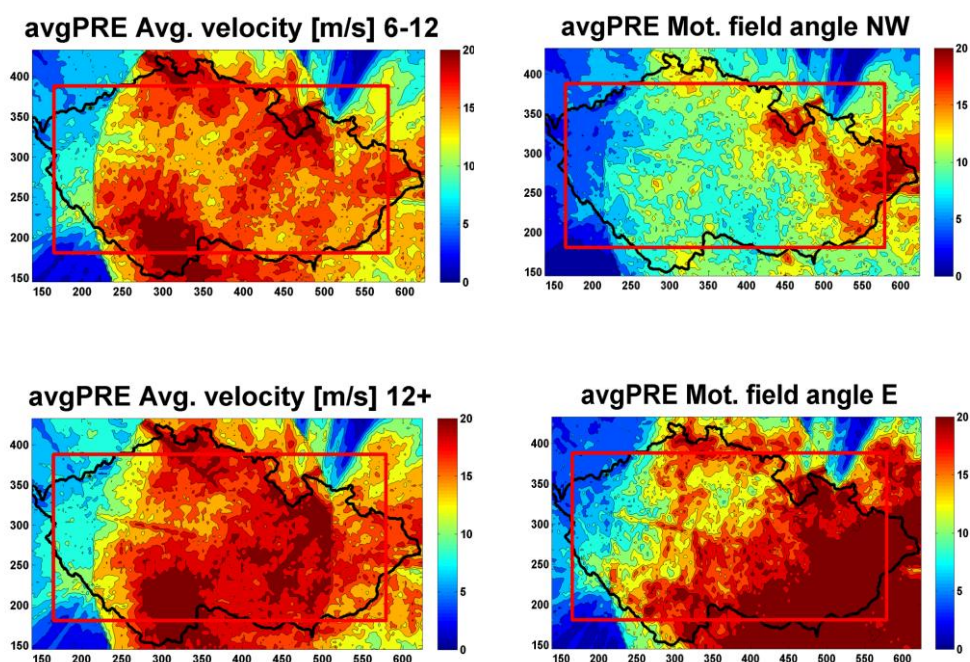
**V poledních hodinách** jsou největší intenzity srážek na centrální vrchovině (c) a **ve večerních hodinách** na česko-rakouské hranici (d), což souvisí pravděpodobně s denním chodem srážkové aktivity v Alpách a okolí.

Pokud je **konvektivních jader málo až středně** (e, g), tak jsou pravděpodobněji jen v části naší oblasti a to spíše blíže hranicím oblasti. Pokud je **konvektivních jader hodně** (i), tak jsou průměrné intenzity srážek (a tedy i počty jader) velmi vysoké a to především ve středu oblasti.

Naopak pro **vysoké podíly srážek v jádrech** (j) jsou vyšší hodnoty intenzity srážek dosahovány při okraji verifikační oblasti, v termínech, kdy konvektivní jádra spíše vznikají a vyskytují se jen v části oblasti. Podrobnějším přístupem na kvalitnějších a rozsáhlejších datech by takto šly identifikovat oblasti, kde konvekce častěji vzniká. V termínech se **střední hodnotou podílu srážek v jádrech** (h) je pole intenzit srážek homogennější.



**Obr. 31 e)-l)** Radarový odhad průměrných intenzit srážek. Intenzita srážek v 37526 termínech rozdělených podle aktuálního počtu jader (Number of cores), podílu srážek v jádrech (Precip. core share), aktuální průměrné rychlosti pohybového pole (Avg. velocity) a aktuálního převládajícího směru tohoto pole (Mot. field angle).



**Obr. 31** m)-p) Radarový odhad průměrných intenzit srážek. Intenzita srážek v 37526 termínech rozdělených podle aktuální průměrné rychlosti pohybového pole (Avg. velocity) a aktuálního převládajícího směru tohoto pole (Mot. field angle).

Největší intenzity srážek je dosaženo pro **vysoké rychlosti pohybového pole** (o). To souvisí s tím, že pokud jsou radarové meteorologické cíle ve všech částech oblasti, tak spočtené pohybové pole pravděpodobně nebude nabývat nulových nebo nízkých hodnot v žádné části oblasti.

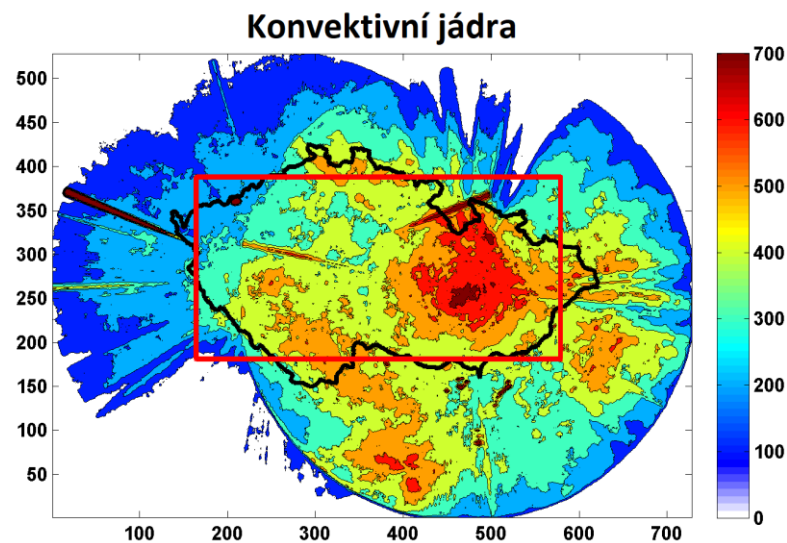
Pro **jihozápadní pohybové pole** (l) jsou nejvyšší intenzity srážek dosahovány v Čechách, pro **východní proudění** (p) na Moravě a pro **severozápadní proudění** (n) pouze na severovýchodě oblasti.

Z obr. 31 (f, k, n, p) vyplývá specifický **charakter východní části České Republiky**, kde jsou vysoké odhady intenzit srážek dosahovány v situacích s nízkou rychlostí pohybového pole, při severozápadních a východních situacích, a v případě nízkého podílu srážek v jádrech.



Odhady průměrných intenzit srážek přes všechny termíny (obr. 31a) jsou nejpodobnější odhadům pro střední rychlosti pohybového pole (m) a pro střední podíly srážek v jádrech (h).

### 8.5. Mapa četnosti výskytu konvektivních jader



**Obr. 32** Mapa zařazení jednotlivých bodů do jader a blízkého okolí jader z 88128 termínů. V úvahu byly vzaty i jedno a dvoubodová jádra a jejich okolí.

Steinerův algoritmus klasifikace jader (kap. 5.2) klasifikuje body do 3 skupin, body jader, **blízké okolí jader** a zbytek. Pokud je podíl srážek v jádrech 60%, tak ze zbylé 40% sumy srážek připadá ještě velká část na blízká okolí jader.

Mapa celkového počtu bodů jader a blízkého okolí jader ze všech 20 letních měsíců, tj. 88128 termínů je vykreslena na obr. 32. Body jader byly započítány s váhou 1 a body blízkých okolí s váhou ½. Celkově bylo v ČR za 20 letních měsíců v průměru v každém bodě **několik set** takovýchto situací. 1 a 2 pixlová jádra jsou většinou větrné farmy (Vejprty, Dolní Rakousko, Záhorie), rušení vysílači, rušení v blízkosti radaru (část vlivu na okolí radaru Skalky) nebo jiné nemeteorologické cíle. Zvýšený počet jader v oblasti Alp nebo slovenských Fater je reálný.

## 8.6. Závislost GDCT na meteorologických charakteristikách

K získání představy o tom, jak se GDCT liší za různých meteorologických podmínek, jsem využil rozdělení termínů **podle 18 meteorologických charakteristik na 3 části**. Pro všech 9591 bodů jsem spočítal pole GDCT pro 54 vybraných skupin termínů. **Průměrné GDCT** pro jednotlivé skupiny je plošným průměrem z hodnot GDCT ve všech bodech.

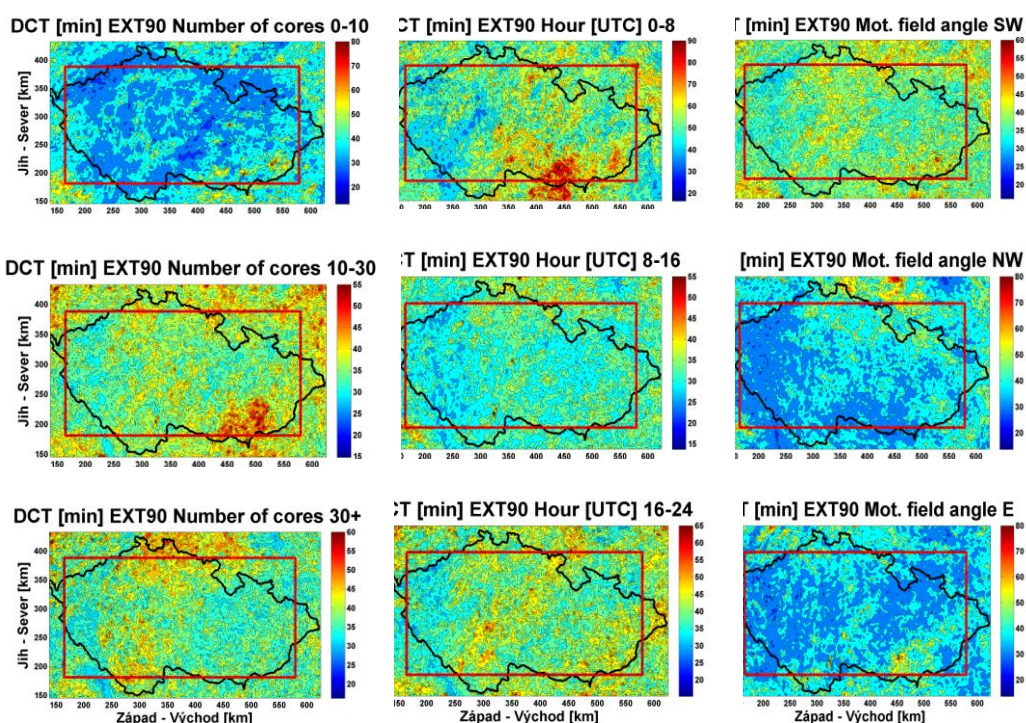
2009 - 2012 / GDCT									
	DCT	R1	+DCT	DCT	R2	+DCT	DCT	R3	+DCT
Trend počtu jader	32.9	Sestupný	9.35	31.4	Stabilní	8.16	31.7	Vzestupný	8.37
Trend rychlosti	32.2	Sestupný	8.6	31.3	Stabilní	7.98	32.6	Vzestupný	9.39
Trend srážek	34.2	Sestupný	9.2	30	Stabilní	7.49	31.8	Vzestupný	8.73
Trend předpovědí	32.5	Sestupný	8.58	30.3	Stabilní	7.78	34.8	Vzestupný	10.2
Síla fronty	29.3	Slabá	12.3	33.3	Střední	13.1	48.4	Silná	16.4
Typ fronty	45.4	Teplá	19.7	32.8	Studená	13.3	43.5	Okluzní	18.8
Směr pohybového pole	31.8	SW	9.03	32.4	NW	9.76	31.3	E	5.99
Podíl>10mm/ Podíl>2mm	56.6	0-5	16.6	31.2	5-20	9.57	23.2	20+	6.52
Podíl>2mm/ Podíl>0mm	50.7	0-5	12.1	32.3	5-20	8.8	28.7	20+	7.84
Podíl>20mm [%]	54.9	-0.1	15.2	33.1	.01-.08	10.2	25.9	0.08+	7.29
Plocha jader [%]	46.2	-0.3	10.9	32.6	.3-1	9.17	28	1+	8.05
Podíl>0.5mm [%]	23.7	0-2.5	8.04	27.1	2.5-10	8.36	37	10+	10.1
Intenzita jader [mm/h]	56.1	0-4	14.9	37.9	4-10	10.9	26	10+	7.08
Prům. rychlost [m/s]	27.3	0-6	3.66	32.7	6-12	8.79	36.1	12+	13.8
Počet jader	30.9	0-10	10.3	31	10-30	8.38	31.7	30+	8.19
Intenzita srážek [mm/h]	27.2	-0.05	10	28.5	.05-.2	9.06	30.8	0.2+	8.19
Podíl srážek v jádrech[%]	67.1	0-15	17.9	38.4	15-50	12	23.8	50-100	6.69
Hodina [UTC]	49.1	0-8	14.7	25.3	8-16	5.92	34.2	16-24	10

**Tab. 14** Závislost GDCT a +GDCT (v minutách) pro jednotlivé charakteristiky atmosféry. R1, R2 a R3 jsou intervaly nebo podmínky, podle kterých jsou charakteristiky uvedené v řádcích děleny. +GDCT je rozdíl mezi GDCT stanoveném z předpovědi a GDCT PER stanoveném z persistentní předpovědi. Červené a oranžové barvy polí v sloupcích +GDCT značí hodnoty podílu +GDCT/GDCT. Modré a zelené barvy v sloupcích GDCT značí hodnoty GDCT.

Kromě hodnot **GDCT** pro 54 vybraných sekvencí termínů jsem vypočítal i hodnoty **GDCT PER**, **+GDCT** a **+GDCT/GDCT**. Tabulka 14 má stejnou strukturu, meze a

barevné škály jako tabulka 6. Hodnoty GDCT, +GDCT i +GDCT/GDCT jsou pro většinu podskupin nižší než hodnoty DCT, +DCT a +DCT/DCT.

Porovnávám-li hodnoty v jednotlivých řádcích, tak pro charakteristiky, jejichž dělení odděluje **konvektivní situace od nekonvektivních** (některé podíly, intenzita jader a především podíl srážek v jádrech) vycházejí stejné hodnoty GDCT jako hodnoty DCT. Naopak pro charakteristiky, jejichž dělení je na konvekci relativně nezávislé (počet jader, intenzita srážek, podíl 0.5) vycházejí hodnoty GDCT v daném řádku vyrovnané a rozdílné od hodnot DCT.



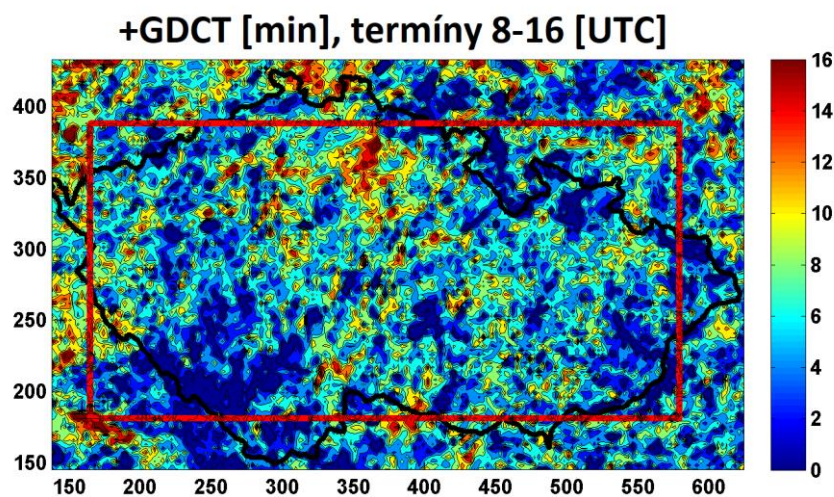
**Obr. 33** Hodnoty GDCT pro rozdělení podle počtu jader (Number of cores), denní doby (Hour) a aktuálního převládajícího směru pohybového pole (Mot. field angle). Barevná stupnice je pro jednotlivé skupiny různá. GDCT spočteno pomocí korelací předpovědí na 10-90 minut.

GDCT se pro vybrané skupiny případů prostorově liší (obr. 33). Takovéto mapy GDCT jsou obtížnější na interpretaci než GDCT spočítané ze všech termínů. Čím kratší je časová řada termínů, z které se počítají korelace, tím je výsledné GDCT v daném bodě více ovlivněno jednotlivými událostmi.

Z uvedených ukázek (obr. 33) je zřejmé, že relativně vyšší hodnoty GDCT jsou dosahovány **v středních a severních Čechách** v případě vysokého počtu jader, v poledních hodinách a při pohybovém poli se západní složkou. Naopak **na Jižní Moravě** nastaly vysoké hodnoty GDCT v případech středního a nižšího počtu jader, v ranních hodinách a při jihozápadním nebo východním pohybovém poli. Uvedené ukázky dělení termínů podle **počtu jader, denní doby a směru pohybového pole** jsem vybral jako reprezentativní ukázky s velkými rozdíly.

Zahraniční studie se často zabývají pouze vybranými případy konvektivních událostí. Ačkoli jsem v této práci použil velký počet termínů, data z 20 letních měsíců, přesto je interpretace prostorového rozložení GDCT, tedy míry variability korelace, za jednotlivých podmínek obtížně interpretovatelná.

### 8.7. Závislost +GDCT na denní době

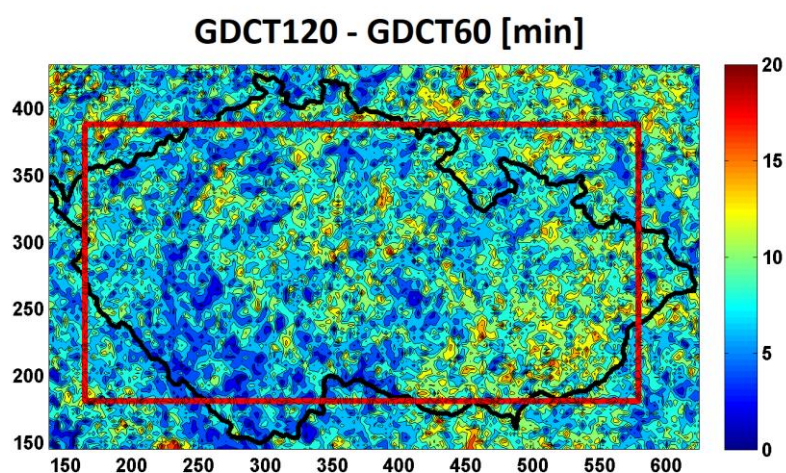


**Obr. 34** Hodnoty +GDCT pro termíny 8-16 UTC. Ve vyhodnocované oblasti (červený obdélník) je +GDCT vykresleno pro 9591 bodů pomocí korelací předpovědí na 10-90 minut. Záporné hodnoty +GDCT byly stanoveny na 0.

Z map +GDCT pro jednotlivé skupiny termínů uvedu pouze nejzajímavější **příklad poledních a odpoledních hodin** (obr. 34). V čase 8-16 UTC zůstávají vyšší hodnoty +GDCT pouze v centrálních Čechách. V severovýchodních horách i v Pošumaví jsou hodnoty na rozdíl od obr. 30 nulové. To lze interpretovat tak, že zlepšení proti persistenci má v poledních a odpoledních hodinách silnou vazbu na polohu hor a podhůří. Zlepšení proti persistenci je v horách významné pouze v ranních a večerních hodinách.

### 8.8. Závislost GDCT na délce použité předpovědi

Jak bylo popsáno v kap. 4.4, pokud se použijí pro výpočet hodnot DCT předpovědi s delšími předpovědními časy, tak se v průměru dosáhne vyšších hodnot DCT. To samé platí při výpočtu GDCT. Pro výpočet GDCT jsem použil předpovědi na **10-90 min**. Hodnoty GDCT s použitím předpovědí na **10-120 min** jsou ve všech bodech vyšší. Naopak při použití předpovědí pouze na **10-60 min** jsou hodnoty GDCT nižší. Rozdíl mezi GDCT 120 a GDCT 60 (obr. 35) je ve většině oblasti mezi 5 a 10 min.



**Obr. 35** Rozdíly v hodnotách GDCT spočtených pomocí předpovědí na 10-120 min. a předpovědí na 10-60 min.

V některých oblastech středních Čech a jihovýchodní Moravy jsou rozdíly mezi GDCT 120 a GDCT 60 i 15 minut a tvoří podstatný podíl absolutních hodnot GDCT v daných bodech. V oblastech s vyššími rozdíly hodnoty korelací v druhé předpovědní hodině klesají pomaleji, proto lze tyto oblasti také interpretovat jako oblasti, kde nejsilnější srážkové události vznikají relativně méně často a kam jsou relativně častěji proti jiným oblastem advehovány.

Naopak např. pro konvektivní situace, tedy pro situace s podílem srážek v jádrech 50+, je rozdíl v hodnotách GDCT 120 a GDCT 60 téměř nulový v celé oblasti (mapu zde neuvádím). To znamená, že v některých oblastech nastaly nejintenzivnější srážkové situace v nekonvektivních termínech.

## Závěr

Měl jsem k dispozici **radarová data z 20 letních měsíců** z meteorologických radarů Brdy a Skalky. Pro všechny termíny jsem spočetl pohybové pole a pomocí Lagrangeových trajektorií stanovil předpovědi pro délky předpovědi 10, 20 až 120 minut.

Extrapolované předpovědi radarových odhadů srážek pro délky předpovědi 10, 20 až 120 min je třeba vyhodnotit a porovnat s naměřenými radarovými odhady srážek. **Verifikačních a validačních kritérií** existuje celá řada, mnohé jsou vhodné pro porovnávání skutečnosti s modelovými výstupy, ale nevhodné pro porovnávání radarových odhadů navzájem.

Zvolil jsem jako preferovanou statistiku **korelační koeficienty** a z nich odvozený **dekorelační čas** (dále **DCT**), který je jednoduchý, snadno interpretovatelný a pro porovnávání radarových odhadů s předpověďmi radarových odhadů dostatečně vhodný. V průměru korelace s rostoucím časem předpovědi klesá a lze tedy najít předpovědní čas, kdy korelace dosahuje hodnoty  $1/e$  (tj. přibližně 0.368). Tento čas, DCT, je považován za časový úsek, v kterém dosahuje předpověď rozumných hodnot. Studie stanovující hodnoty DCT pro srážkové systémy v severní Americe uvádějí hodnoty mezi 3-8 hodinami. Takové délky předpověditelnosti konvektivních srážek ve střední Evropě jsou nereálné z fyzikálního hlediska a neodpovídají zkušenosti. Ve střední Evropě je charakter letních srážek naprosto odlišný a to se musí projevit i v limitech předpověditelnosti.

Zkušenost ukazuje, že **předpověditelnost závisí na stavu atmosféry**. Předpověditelnost radarových odhadů srážek ve formě DCT byla proto vyšetřována v závislosti na různých charakteristikách atmosféry. Jednoduché a jednoduše interpretovatelné charakteristiky byly odvozeny především z dat radarové odrazivosti. Nejdůležitější skupinou jsou **charakteristiky konvekce**, které odlišují konvektivní a vrstevnaté situace. Mezi charakteristiky konvekce patří např. počet konvektivních jader v oblasti, průměrná intenzita srážek v jádrech, a především podíl srážek v jádrech na celkových srážkách. Podíl srážek v jádrech na celkových

srážkách rozděljuje situace na vrstevnaté (podíl do 15%), konvektivní (podíl nad 50%) a na smíšené.

Průměrná hodnota DCT přes všechny termíny je **45,4 minut** a průměrné zlepšení pomocí extrapolace oproti persistentní předpovědi +DCT je **13,4 minut**. Tyto hodnoty se zásadně liší od hodnot, uváděných v zahraničních studiích pro Evropu i pro USA. Rozdíly jsou způsobeny jinými časovými a prostorovými kroky, zahrnutím zimního období, jinak použitými statistikami a podmínkami pro výběr situací

**Nejlepší předpověditelnost (DCT větší než 50 minut)** je v ranních hodinách, v případě nízkého podílu srážek v jádrech, když je celkově vysoká průměrná intenzita srážek v oblasti, když jsou srážky v konvektivních jádrech málo intenzivní a když má pohybové pole východní složku. **Nejnižší DCT (menší než 40 minut)** je v odpoledních hodinách, při dominantní konvekci, při nízké průměrné intenzitě srážek a když jsou srážky v jádrech velmi intenzivní.

Vliv studovaných charakteristik na DCT potvrzuje více či méně známá fakta. **Nový a významný** je výpočet velkého počtu termínů, rozdělení do podskupin případů a kvantitativní vyjádření zlepšení proti persistentní předpovědi +DCT pro jednotlivé skupiny případů. Relativně nízké hodnoty DCT korespondují s faktem, že předpovídání letních srážek je ve střední Evropě obtížné. Konvekce způsobuje rychlý vývoj bouří a srážek a advekce není primárním mechanismem vývoje. Proto mají extrapoláčnící metody svůj limit.

Práce zabývající se předpověditelností srážek jsou většinou zaměřeny na průměrné hodnoty pro jednotlivé vybrané konvektivní události a nezkoumají, jak se předpověditelnost mění v průběhu těchto událostí. Proto jsem zkoumal, jak se mění meteorologické i verifikační charakteristiky v průběhu 2 vybraných případů silných konvektivních srážek (období **22. 6. - 5. 7. 2009** a **15. 8. 2010**).

DCT pro daný termín vychází z korelací plošných polí. **Průměrné DCT pro všechny termíny je tedy časovým průměrem korelací prostorových polí.** Druhou možností je výpočet prostorové DCT (dále GDCT), kdy jsem pro dané body oblasti získal hodnotu GDCT pomocí korelací mezi časovým vývojem skutečné intenzity srážek



v daném bodě a mezi předpověďmi takové intenzity. **Průměrné GDCT pro celou oblast je tedy prostorovým průměrem korelací časových řad.**

## Seznam použité literatury

ATENCIA, A., ZAWADSKI, I., 2014. A comparison of two techniques for generating nowcasting ensembles. Part I: Lagrangian ensemble technique. *Mon. Wea. Rev.*, **142**, 4036–4052.

ATENCIA, A., ZAWADSKI, I., 2015. A Comparison of Two Techniques for Generating Nowcasting Ensembles. Part II: Analogs Selection and Comparison of Techniques. *Mon. Wea. Rev.*, **143**, 2890-2908.

ATGER, F., 2003. Spatial and Interannual Variability of the Reliability of Ensemble-Based Probabilistic Forecasts: Consequences for Calibration. *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 1509–1523.

BELLON, A., ZAWADZKI, I., KILAMBI, A., LEE, H.C., LEE, Y.H., LEE, G., 2010. McGill Algorithm for Precipitation Nowcasting by Lagrangian Extrapolation (MAPLE) Applied to the South Korean Radar Network. Part I: Sensitivity Studies of the Variational Echo Tracking (VET) Technique. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, **46(3)**, 369-381.

BERENQUER, M., SEMPERE-TORRES, D., 2014. Radar-based rainfall nowcasting at European scale: Long-term evaluation and performance assessment. [online]. [cit. 4. 5. 2018]. [https://www.researchgate.net/publication/259703040\\_Radar-based\\_rainfall\\_nowcasting\\_at\\_European\\_scale\\_long-term\\_evaluation\\_and\\_performance\\_assessment](https://www.researchgate.net/publication/259703040_Radar-based_rainfall_nowcasting_at_European_scale_long-term_evaluation_and_performance_assessment)

BERENQUER, M., SEMPERE-TORRES, D., PEGRAM, G., 2011. SBMcast – An ensemble nowcasting technique to assess the uncertainty in rainfall forecasts by Lagrangian extrapolation. *J. Hydrol.*, **404**, 226–240.

BERENQUER, M., SURCEL, M., ZAWADZKI, I., XUE, M., KONG, F., 2012. The Diurnal Cycle of Precipitation from Continental Radar Mosaics and Numerical Weather Prediction Models. Part II: Intercomparison among Numerical Models and with Nowcasting. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 2689–2705.

BERENQUER, M., TURNER, B., ZAWADZKI, I., 2008. The effect of the diurnal cycle of precipitation in radar-based short-term forecasts. ERAD Publication.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2008. Plošné rozložení krátkodobých srážek na území České republiky s využitím meteorologických radarů. *Meteorologické Zprávy*, **61**, č. 6.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2011. Využití dat z meteorologické geostacionární družice Meteosat Second Generation k odhadu srážek ze silných konvektivních bouří. *Meteorologické Zprávy*, **64**, č. 2.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., ZACHAROV, P., 2017. Nowcasting of deep convective clouds and heavy

precipitation: Comparison study between NWP model simulation and extrapolation. *Atmos. Res.*, **184**, 24–34.

BOWLER, N.E., PIERCE, C.E., SEED, A.W., 2006. STEPS: A probabilistic precipitation forecasting scheme. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **132**, 2127–2155.

BROŽKOVÁ, R., MAŠEK, J., TROJÁKOVÁ, A., 2013. Kvantitativní předpověď srážek modelem ALADIN při první vlně povodně v červnu 2013. *Meteorologické Zprávy*, **66**, č. 6.

BŘEZKOVÁ, L., JANÁL, P., NOVÁK, P., KYZVAROVÁ, H., 2015. Možnosti predikce přívalových povodní v podmínkách České republiky. In: *Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu*, sv. **60**, Praha: ČHMÚ, s. 29–49. ISBN 978-80-87577-27-1, ISSN 0232-0401.

BUČÁNEK, A., TROJÁKOVÁ, A., BROŽKOVÁ, R., 2015. Asimilační schéma Blendvar v ČHMÚ. *Meteorologické Zprávy*, **68**, č. 6.

ČMES (2015). Meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS), ČMeS, dostupný na: <http://slovník.cmes.cz>.

DAŇHELKA, J., ŠERCL, P., 2011. Povodně v České republice v roce 2010. *Meteorologické Zprávy*, **64**, č. 1.

EBERT, E.E., 2008. Fuzzy verification of high-resolution gridded forecasts: a review and proposed framework. *Meteorol. Appl.*, **15**, 51-64.

FORESTI, L., PANZIERA, L., MANDAPAKA, P.V., GERMANN, U., SEED, A., 2015. Retrieval of analogue radar images for ensemble nowcasting of orographic rainfall. *Meteorol. Appl.*, **22**, 141–155.

FORESTI, L., REYNIERS, M., SEED, A., DELOBBE, L., 2016. Development and verification of a real-time stochastic precipitation nowcasting system for urban hydrology in Belgium. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **20**, 505–527.

FORESTI, L., SEED, A., 2014. The effect of flow and orography on the spatial distribution of the very short-term predictability of rainfall from composite radar images. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **18**, 4671–4686.

FORESTI, L., SEED, A., 2015. On the spatial distribution of rainfall nowcasting errors due to orographic forcing. *Meteorol. Appl.*, **22**, 60–74.

FORESTI, L., SEED, A., ZAWADZKI, I., 2014. Report of the Heuristic Probabilistic Forecasting Workshop, Munich, Germany, 30-31 August 2014. [online]. [cit. 4. 5. 2018]. [https://www.researchgate.net/publication/269690031\\_Report\\_of\\_the\\_Heuristic\\_Probabilistic\\_Forecasting\\_Workshop\\_Munich\\_Germany\\_30-31\\_August\\_2014](https://www.researchgate.net/publication/269690031_Report_of_the_Heuristic_Probabilistic_Forecasting_Workshop_Munich_Germany_30-31_August_2014)

GERMANN, U., BERENQUER, M., SEMPERE-TORRES, D., ZAPPA, M., 2009. REAL – Ensemble radar precipitation estimation for hydrology in a mountainous region. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **135**, 445–456.

GERMANN, U., JOSS, J., 2001. Variograms of Radar Reflectivity to Describe the Spatial Continuity of Alpine Precipitation. *J. Appl. Meteorol.*, **40**, 1042–1059.

GERMANN, U., ZAWADZKI, I., 2002. Scale-dependence of the predictability of precipitation from continental radar images. Part I: Description of the methodology. *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2859–2873.

GERMANN U., ZAWADZKI, I., 2004. Scale-dependence of the predictability of precipitation from continental radar images. Part II: Probability forecasts. *J. Appl. Meteorol.*, **43**, 74–89.

GERMANN U., ZAWADZKI, I., TURNER, B.J., 2006. Predictability of Precipitation from Continental Radar Images. Part IV: Limits to Prediction. *J. Atmos. Sci.*, **63**, 2092–2108.

HAIDEN, T., KANN, A., WITTMANN, C., PISTOTNIK, G., BICA, B., GRUBER, C., 2011. The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) system and its validation over the Eastern Alpine region. *Wea. Forecasting*, **26**, 166–183.

HOSTÝNEK, J., 2014. Vliv orografie na zesílení srážek v oblasti Šumavy při povodňových situacích ve dnech 12.-13. 8. 2002 a 1.-3. 6. 2013. *Meteorologické Zprávy*, **67**, č. 4.

KAŠPAR, M., 2003. Porovnání extrémnosti synoptických podmínek během povodní v České republice v srpnu 2002 a v červenci 1997. *Meteorologické Zprávy*, **56**, č. 6.

KAŠPAR, M., MÜLLER, M., 2007. Aplikace modelu pro objektivní analýzu gust front. *Meteorologické Zprávy*, **60**, č. 3.

KLIEGROVÁ, S., 2003. Současné přístupy k sezonním předpovědím a hodnocení jejich úspěšnosti. *Meteorologické Zprávy*, **56**, č. 3.

KOBER, K., CRAIG, G.C., KEIL, C., DÖRNBRACK, A., 2012. Blending a probabilistic nowcasting method with a high-resolution numerical weather prediction ensemble for convective precipitation forecasts. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **138**, 755–768.

KOBER, K., TAFFERNER, A., 2009. Tracking and nowcasting of convective cells using remote sensing data from radar and satellite. *Meteorol. Z.*, **18**, 75–84.

KYZNAROVÁ, H., NOVÁK, P., 2008. Využití radarových měření pro identifikaci a předpověď pohybu konvekčních bouří. *Meteorologické Zprávy*, **61**, č. 1.

KYZNAROVÁ, H., NOVÁK, P., 2009. CELLTRACK — Convective cell tracking algorithm and its use for deriving life cycle characteristics. *Atmos. Res.*, **93**, 317-327.

LANGER, I., REIMER, E., 2007. Separation of convective and stratiform precipitation for a precipitation analysis of the local model of the German Weather Service. *Adv. Geosci.*, **10**, 159-165.

LEE, H.C., LEE, Y.H., HA, J.CH., CHANG, D.E., BELLON, A., ZAWADZKI, I., LEE, G., 2010. McGill Algorithm for Precipitation Nowcasting by Lagrangian Extrapolation (MAPLE) Applied to the South Korean Radar Network. Part II: Real-time verification for the summer season. *Asia-Pacific J. Atmos. Sci.*, **46(3)**, 383-391.

LEWIS, H., MITTERMAIER, M., MYLNE, K., NORMAN, K., SCAIFE, A., NEAL, R., PIERCE, C., HARRISON, D., JEWELL, S., KENDON, M., SAUNDERS, R., BRUNET, G., GOLDING, B., KITCHEN, M., DAVIES, P., PILLING, CH., 2015. From months to minutes – exploring the value of high-resolution rainfall observation and prediction during the UK winter storms of 2013/2014. *Meteorol. Appl.*, **22**, 90–104.

LIN, C., VASIĆ, S., KILAMBI, A., TURNER, B., ZAWADZKI, I., 2005. Precipitation forecast skill of numerical weather prediction models and radar nowcasts. *Geophysical Research Letters*, **32**, 1-4.

MANDAPAKA, P.V., GERMAN, U., PANZIERA, L., HERING, A., 2012. Can Lagrangian Extrapolation of Radar Fields Be Used for Precipitation Nowcasting over Complex Alpine Orography? *Wea. Forecasting*, **27**, 28–49.

MEJSNAR, J., SOKOL, Z., 2017. Limity nowcastingu srážek extrapolací radarových odhadů srážek. *Meteorologické Zprávy*, **70**, č. 2.

MRKVICA, Z., ŠIFTAŘ, Z., 2002. Vzorový lokální protipovodňový systém pro obec Olešnice v Orlických horách. *Meteorologické Zprávy*, **55**, č. 5.

MÜLLER, M., KAKOS, V., 2004. Extrémní konvekční bouře v Čechách 25.-26. května 1872. *Meteorologické Zprávy*, **57**, č. 3.

NISI, L., AMBROSETTI, P., CLEMENTI, L., 2014. Nowcasting severe convection in the Alpine region: the COALITION approach. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **140**, 1684-1699.

NOVÁK, P., 2007. The Czech Hydrometeorological Institute's severe storm nowcasting system. *Atmos. Res.*, **83**, 450–457.

NOVÁK, P., 2012. Porovnání dat ze sítí detekce blesků CELDN a LINET na území České republiky během konvekční sezony 2010. *Meteorologické Zprávy*, **65**, č. 6.

- NOVÁK, P., BŘEZKOVÁ, L., FROLÍK, P., 2009. Quantitative precipitation forecast using radar echo extrapolation. *Atmos. Res.*, **93**, 328–334.
- NOVÁK, P., HAVRÁNEK, P., KRÁČMAR, J., 2008. Česká meteorologická radarová síť CZRAD v roce 2008. *Meteorologické Zprávy*, **61**, č. 5.
- NOVÁK, P., KRÁČMAR, J., 2001. Využití dopplerovských měření v radiosondážní síti CZRAD. *Meteorologické Zprávy*, **54**, č. 4.
- NOVÁK, P., KRÁČMAR, J., 2002. New Data Processing in the Czech Weather Radar Network. ERAD Publication. ISBN: 3-936586-04-7, 328–330.
- NOVÁK, P., KYZNAŘOVÁ, H., 2013. Využití radarových měření pro kvantitativní odhady a nowcasting srážek v českém hydrometeorologickém ústavu. *Meteorologické Zprávy*, **66**, č. 6.
- NOVÁK, P., KYZNAŘOVÁ, H., 2016. Obnova meteorologické radarové sítě CZRAD v roce 2015. *Meteorologické Zprávy*, **69**, č. 1.
- NOVÁK, P., KYZNAŘOVÁ, H., 2016. MERGE2 – modernizovaný systém kvantitativních odhadů srážek provozovaný v Českém hydrometeorologickém ústavu. *Meteorologické Zprávy*, **69**, č. 5.
- NOVÁK, P., ŽEJDLÍK, T., TOLASZ, R., 2009. Deset let využívání dat detekce blesků v Českém hydrometeorologickém ústavu. *Meteorologické Zprávy*, **62**, č. 6.
- PANZIERA, L., GERMANN, U., GABELLA, M., MANDAPAKA, P.V., 2011. NORA–Nowcasting of Orographic Rainfall by means of Analogues. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **137**, 2106–2123.
- POKORNÝ, M., ŽÁK, M., 2012. Využití T-r<sub>e</sub> profilů pro nowcasting intenzivních konvekčních jevů ve střední Evropě. *Meteorologické Zprávy*, **65**, č. 3.
- PTÁČEK, T., 2014. Porovnání metod určujících systematické chyby měření srážek. *Meteorologické Zprávy*, **67**, č. 3.
- RADHAKRISHNA, B., ZAWADZKI, I., FABRY, F., 2012. Predictability of Precipitation from Continental Radar Images. Part V: Growth and Decay. *J. Atmos. Sci.*, **69**, 3336–3349.
- RADOVÁ, M., SETVÁK, M., ŠTÁSTKA, J., 2015. Přestřelující vrcholy pozorované na snímcích z družice MSG během experimentálního 2,5minutového snímání. *Meteorologické Zprávy*, **68**, č. 3.
- REZACOVA, D., SOKOL, Z., PESICE, P., 2007. A radar-based verification of precipitation forecast for local convective storms. *Atmos. Res.*, **83**, 211–224.

RIDAL, M., LINDSKOG, M., GUSTAFSSON, N., HAASE, G., 2011. Optimized advection of radar reflectivities. *Atmos. Res.*, **100**, 213-225.

RINEHART, R.E., GARVEY, E.T., 1978. Three-dimensional storm motion detection by conventional weather radar. *Nature*, **273**, 287–289.

RULFOVA, Z., KYSELY, J., 2013. Disaggregating convective and stratiform precipitation from station weather data. *Atmos. Res.*, **134**, 100–115.

RUZANSKI, E., CHANDRASEKAR, V., 2012. An Investigation of the Short-Term Predictability of Precipitation Using High-Resolution Composite Radar Observations. *J. Appl. Meteor.*, **51**, 912-925.

RÝVA, D., 2016. Výskyt jevu derecho na území ČR. *Meteorologické Zprávy*, **69**, č. 3.

SCHEUFELE, K., KOBER, K., CRAIG, G.C., KEIL, C., 2014. Combining probabilistic precipitation forecasts from a nowcasting technique with a time-lagged ensemble. *Meteorol. Appl.*, **21**, 230–240.

SKRIPNIKOVÁ, K., ŘEZÁČOVÁ, D., 2010. Detekce výskytu krup pomocí radarových dat. *Meteorologické Zprávy*, **63**, č. 3.

SOKOL, Z., 2003. Předpověď plošných srážek s využitím statistického postprocessingu modelu ALADIN-LACE. *Meteorologické Zprávy*, **56**, č. 4.

SOKOL, Z., 2007. Velmi krátkodobá předpověď atmosférických srážek pomocí statistických advektivních modelů. *Meteorologické Zprávy*, **60**, č. 1.

SOKOL, Z., MEJSNAR, J., POP, L., BLIZNAK, V., 2017. Probabilistic precipitation nowcasting based on an extrapolation of radar reflectivity and an ensemble approach. *Atmos. Res.*, **194**, 245-257.

SOKOL, Z., KITZMILLER, D., PESICE, P., MEJSNAR, J., 2013. Comparison of precipitation nowcasting by extrapolation and statistical-advection methods. *Atmos. Res.*, **123**, 17-30.

SOKOL, Z., ŘEZÁČOVÁ, D., 2001. Statistická korekce denních srážkových úhrnů stanovených radarem s využitím klasifikované regrese. *Meteorologické Zprávy*, **54**, č. 2.

SOKOL, Z., ŘEZÁČOVÁ, D., 2006. Asimilace radarové odrazivosti do numerického modelu předpovědi počasí s vysokým rozlišením. *Meteorologické Zprávy*, **59**, č. 1.

SOKOL, Z., ŘEZÁČOVÁ, D., PEŠICE, P., 2003. Odhady bodových i plošných srážek s využitím srážkoměrných i radarových dat. *Meteorologické Zprávy*, **56**, č. 1.

SOUKALOVÁ, E., 2002. Příčinný déšť a povodně na Blanensku a Žďársku v červenci 2002. *Meteorologické Zprávy*, **55**, č. 5.

STEINER, M., HOUZE, JR., R.A., YUTER, S.E., 1995. Climatological Characterization of Three-Dimensional Storm Structure from Operational Radar and Rain Gauge Data. *Journal of Applied Meteorology*, **34**, 1978-2007.

SULAN, J., PEŠICE, P., STAŠA, P., 2004. Výpočet konvekční dostupné potenciální energie „CAPE“ a možnosti jeho využití v provozu ČHMÚ. *Meteorologické Zprávy*, **57**, č. 3.

SUN, J., XUE, M., WILSON, J.W., ZAWADZKI, I., BALLARD, S.P., ONVLEE-HOOIMEYER, J., JOE, P., BARKER, D.M., LI, P.W., GOLDING, B., XU, M., PINTO, J., 2014. Use of NWP for Nowcasting Convective Precipitation, Recent Progress and Challenges. *Bul. Amer. Meteorol. Soc.*, **3**, 409–426.

ŠÁLEK, M., HUJSLOVÁ, J., ŠOPKO, F., ŠRÁMEK, J., KOTEK, R., PŘIBYL, J., VLASÁK, T., 2012. Bouřky a jejich doprovodné jevy v České republice od 1. do 8. července 2012. *Meteorologické Zprávy*, **65**, č. 5.

ŠÁLEK, M., NOVÁK, P., KRÁČMAR, J., 2002. Využití metod dálkové detekce během povodní v České republice v srpnu 2002. *Meteorologické Zprávy*, **55**, č. 6.

ŠÁLEK, M., SETVÁK, M., SULAN, J., VAVRUŠKA, F., 2002. Významné konvektivní jevy na území České republiky v letech 2000-2001. *Meteorologické Zprávy*, **55**, č. 1.

ŠOPKO, F., 2016. Nástroje ČHMÚ pro předpovědi silné konvekce a vydávání výstrah. *Meteorologické Zprávy*, **69**, č. 2.

TURNER, B.J., ZAWADZKI, I., GERMANN U, 2004. Predictability of Precipitation from Continental Radar Images. Part III: Operational Nowcasting Implementation (MAPLE). *J. Appl. Meteorol.*, **43**, 231–248.

VALACHOVÁ, M., 2015. Blesková aktivita konvekčních bouří. *Meteorologické Zprávy*, **68**, č. 3.

WAPLER, K., HARNISCH, F., PARDOWITZ, T., SENF, F., 2015. Characterisation and predictability of a strong and a weak forcing severe convective event – a multi-data approach. *Meteorol. Z.*, **24**, 393-410.

WAPLER, K., HENGSTEBECK, T., GROENEMEIJER, P., 2016. Mesocyclones in Central Europe as seen by radar. *Atmos. Res.*, **168**, 112-120.

WAPLER, K., JAMES, P., 2015. Thunderstorm occurrence and characteristics in Central Europe under different synoptic conditions. *Atmos. Res.*, **158-159**, 231-244.



WILKS, D.S., 2011. Statistical methods in the atmospheric sciences 3rd ed. Academic Press, 704.

WILSON, J. W., N. A. CROOK, C. K. MUELLER, J. SUN, AND M. DIXON, 1998. Nowcasting thunderstorms: A status report. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **79**, 2079–2099.

ZAHRAEI, A., HSU, K., SOROOSHIAN, S., GOURLEY, J.J., LAKSHMANAN, V., HONG, Y., BELLERBY, T., 2012. Quantitative Precipitation Nowcasting: A Lagrangian Pixel-Based Approach. *Atmos. Res.*, **118**, 418-434.

ZACHAROV, P., ŘEZÁČOVÁ, D., 2005. Srovnání účinnosti diagnostických a prognostických charakteristik konvekčního prostředí. *Meteorologické Zprávy*, **58**, č. 3.

ZACHAROV, P., ŘEZÁČOVÁ, D., 2009. Using the fractions skill score to assess the relationship between an ensemble QPF spread and skill. *Atmos. Res.*, **94**, 684-693.

ZACHAROV, P., ŘEZÁČOVÁ, D., 2010. Verifikace kvantitativní předpovědi srážek. *Meteorologické Zprávy*, **63**, č. 5.

ZACHAROV, P., ŠÁLEK, M., NOVÁK, P., 2004. Porovnání různých metod využívajících radarová a srážkoměrná měření pro odhad srážek. *Meteorologické Zprávy*, **57**, č. 6.

## Seznam tabulek

<b>Tab. 1</b> Průměrné rychlosti pohybového pole pro červen a červenec 2010.	12
<b>Tab. 2</b> Přehled použitých charakteristik atmosféry, některých verifikačních charakteristik a jejich rozsahů hodnot.	33
<b>Tab. 3</b> Počet případů dle průměrného směru pohybového pole a dle front.	37
<b>Tab. 4</b> Počet případů dle trendů.	38
<b>Tab. 5</b> Percentily rozdílů DCT PK v termínech s $\Delta T = 10, 20, 40$ and $60$ min.	46
<b>Tab. 6</b> Závislost DCT a +DCT pro jednotlivé charakteristiky atmosféry.	47
<b>Tab. 7</b> Denní chod vs. měsíce.	52
<b>Tab. 8</b> Denní chod vs. podíl srážek v jádrech.	53
<b>Tab. 9</b> Intenzita jader vs. typ povětrnostní situace.	54
<b>Tab. 10</b> Podíl srážek v jádrech vs. směr pohybového pole.	55
<b>Tab. 11</b> Počet jader vs. podíl 10/2.	56
<b>Tab. 12</b> Průměrná intenzita srážek v oblasti vs. typ fronty.	57
<b>Tab. 13</b> Charakteristiky případu 22.6.-5.7.2009.	59
<b>Tab. 14</b> Závislost GDCT a +GDCT pro jednotlivé charakteristiky atmosféry.	76

## Seznam obrázků

<b>Obr. 1 (vlevo)</b> Předpověď numerického modelu ALADIN; <b>(vpravo)</b> Předpověď srážek během povodní 2013.	3
<b>Obr. 2</b> Příklady předpovědí srážek z vrstevnaté a z konvektivní oblačnosti.	4
<b>Obr. 3</b> Průměrný lifetime v Evropě pro období od června 2012 do května 2013.	6
<b>Obr. 4</b> Příklad mapy výstrah z 25. 6. 2013 (třetí vlna povodní 2013).	7
<b>Obr. 5 (vlevo)</b> Poloha radarů, jejich dosah a dosah hladiny 1500 m.n.m. pro nejnižší elevační úhly; <b>(vpravo)</b> Schéma objemového měření radaru v roce 2010.	8
<b>Obr. 6 (vlevo)</b> Příklad pohybového pole spočtené metodou COTREC; <b>(vpravo)</b> Průměrná rychlost pohybového pole pro červenec 2010.	12
<b>Obr. 7 (vlevo)</b> Korelační hodnoty předpovědí s využitím COT5, COT10, COT15 a COT20; <b>(vpravo)</b> Korelační hodnoty předpovědí s využitím COT10, inverzní COT10 a několika průměrů.	13
<b>Obr. 8</b> Rozdíl průměrné rychlosti pohybového pole mezi COT10 a COT5(a), COT15(b), COT10inv(c) pro jednotlivé body domény.	14
<b>Obr. 9</b> Aplikace MinuteCast od Accuweather.	16
<b>Obr. 10</b> Ukázka pravděpodobnostní předpovědi na 30 min. v okolí Moravské Třebové.	19
<b>Obr. 11 (vlevo)</b> CSI s prahem 0,1 mm pro různé délky průměrovacího čtverce; <b>(vpravo)</b> CSI s prahem 1 mm pro různé délky průměrovacího čtverce.	21
<b>Obr. 12</b> Blending předpovědí a pokles hodnot verifikačních kritérií s rostoucím časem.	22
<b>Obr. 13</b> Hodnoty korelačních koeficientů pro standardní a optimální trajektorie.	26
<b>Obr. 14</b> Vývoj intenzit srážek v čase podél optimální trajektorie.	27
<b>Obr. 15</b> Příklad výpočtu DCT pro 15. 8. 2010, 19.10 UTC.	30
<b>Obr. 16</b> Histogramy vybraných charakteristik.	35
<b>Obr. 17</b> Hodnoty korelačních koeficientů mezi jednotlivými meteorologickými a verifikačními charakteristikami navzájem.	39
<b>Obr. 18</b> Průměrné hodnoty korelačních koeficientů pro PK, SK a MP korelace.	41

<b>Obr. 19</b> Histogramy DCT pro PK, SK a MP korelace.	42
<b>Obr. 20</b> Průměrné hodnoty korelačních koeficientů a rozdílů mezi korelačními koeficienty pro 5 základních dělení termínů.	44
<b>Obr. 21</b> Průměrné hodnoty CSI a rozdílů mezi CSI a CSI PER s různými prahy pro 5 základních dělení termínů.	45
<b>Obr. 22</b> Průměrná intenzita srážek v oblasti v letním období roku 2009.	58
<b>Obr. 23</b> Časový průběh 4 hodinových průměrů vybraných charakteristik pro období 22. 6. - 5. 7. 2009.	60
<b>Obr. 24</b> Bodové grafy vybraných charakteristik pro období 22. 6. - 5. 7. 2009.	61
<b>Obr. 25</b> Bodové grafy vybraných charakteristik pro období 22. 6. - 5. 7. 2009.	62
<b>Obr. 26</b> Pole radarových odrazivostí CAPPI 2km z 15. 8. 2010 19:05 UTC.	63
<b>Obr. 27</b> Časový průběh vybraných charakteristik pro 15. 8. 2010.	64
<b>Obr. 28</b> Fyzicko-geografická mapa ČR.	66
<b>Obr. 29</b> Hodnoty GDCT.	68
<b>Obr. 30</b> Hodnoty +GDCT.	70
<b>Obr. 31</b> Radarový odhad průměrných intenzit srážek pro 5 dělení.	72
<b>Obr. 32</b> Mapa výskytu konvektivních jader.	75
<b>Obr. 33</b> Hodnoty GDCT pro vybrané skupiny termínů.	77
<b>Obr. 34</b> Hodnoty +GDCT pro termíny 8-16 UTC.	78
<b>Obr. 35</b> Rozdíly v hodnotách GDCT spočtených pomocí předpovědí na 10-120 min. a předpovědí na 10-60 min.	79

## Seznam použitých zkratk

**ALADIN** Numerický model počasí - Aire Limitée, Adaptation Dynamique, Development International (Omezená oblast, dynamická adaptace, mezinárodní rozvoj)

**CAPE** Convective Available Potential Energy (Index dostupné konvekční potenciální energie)

**CAPPI 2km** Constant Altitude Plan Position Indicator (Pole odrazivosti v hladině konstantní nadmořské výšky)

**COTREC** COntinuity of Tracking Radar Echo by Correlation

**CSI** Critical Success Index

**ČHMÚ** Český hydrometeorologický ústav

**DCT** DeCorrelation Time (Dekorelační čas)

**GDCT** Geographical DeCorrelation Time (Prostorový dekorelační čas)

**MERGE** Sloučení dvou a více vstupů

**NWP** Numerical Weather Prediction (Numerická předpověď počasí)

**OPERA** Operational Programme for the Exchange of Weather Radar Information

**UTC** Coordinated Universal Time (Koordinovaný světový čas)

**ZMAX** Pole maximální odrazivosti ve vertikálním sloupci

# Příloha 1

Vybraná hesla ze slovníku České meteorologické společnosti (<http://slovník.cmes.cz/>).

## Kapitola 1

**Srážky** jsou částice vzniklé *kondenzací* nebo *depozicí vodní páry* v ovzduší, na jejichž růstu se mohou podílet i další procesy *mikrofyziky oblaků a srážek*. Vyskytují se v atmosféře, na povrchu země nebo předmětech v atmosféře v kapalně nebo pevné fázi. Rozeznáváme srážky: a) padající – *děšť, mrznoucí děšť, mrholení, mrznoucí mrholení, sníh, sněhové krupky, sněhová zrna, krupky, zmrzlý děšť, kroupy* a *ledové jehličky*; b) usazené – *rosa, jíní, námraza, ledovka* a srážky z mlhy. Pokud srážky vypadávají z oblaků, avšak nedosahují povrchu země, označují se jako *virga* (srážkové pruhy) (ČMES, 2015).

**Měření srážek** rozumíme měření parametrů srážek různými druhy přístrojů na *srážkoměrných klimatologických* a dalších *meteorologických stanicích*. Úhrn padajících srážek se měří za určitý časový interval (obvykle v 7 h SEČ ráno za uplynulých 24 h, přičemž zjištěný údaj se připisuje předchozímu dni). Na synoptických stanicích se měří úhrn srážek navíc za 12 nebo 6 hodin v hlavních synoptických termínech, popř. také za 1 hodinu ve všech termínech. Úhrn srážek se udává v mm ( $1 \text{ mm srážek} = 1 \text{ l vody na } 1 \text{ m}^2$ ), resp. v  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ , s přesností na 0,1 mm, resp. na  $0,1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$ . Zákl. přístrojem je *srážkoměr* používaný k měření množství *kapalných i tuhých srážek*. K měření srážek na těžko dostupných místech se používá *totalizátor*. U tuhých srážek se měří *výška sněhové pokrývky* (v cm), někdy též *vodní hodnota sněhové pokrývky* (v mm nebo v  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) a *hustota sněhu* (v  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). U usazených srážek se jedná především o měření *rosy* různými typy *rosoměrů*, popř. *drosografů* a o *měření námrazků*. Měření srážek nespočívá jen v získávání dat z indikačních a registračních přístrojů, nýbrž i ve vizuálním pozorování usazených srážek (kondenzačních jevů a námrazků), v určování doby trvání padajících i usazených hydrometeorů (ČMES, 2015).

**předpověď počasí** — *meteorologická předpověď* slovně, popř. graficky vyjadřující budoucí stav povětrnostních podmínek. Předpověď počasí vychází z podrobné analýzy *termobarického a vlhkostního pole* atmosféry a fyz. stavu zemského povrchu. Klasické předpovědi počasí vycházely především ze *synoptické předpovědi*, z níž meteorolog na základě svých subjektivních zkušeností a podle jistých empirických pravidel extrapoloval budoucí vývoj atmosférických dějů a počasí. V současné době vycházejí předpovědi počasí především z *numerických předpovědí počasí* založených na numerické integraci diferenciálních rovnic, jež v určitém modelovém přiblížení popisují dynamiku a termodynamiku atmosféry. K doplnění numerických předpovědí, dále pak pro jejich upřesňování nebo interpretaci na předpověď vlastních projevů počasí, se využívají i metody *statistické předpovědi*. Subjektivní zkušenosti meteorologa, spolu s některými empirickými pravidly však stále mají velkou roli a uplatňují se při interaktivní spolupráci člověka s počítačem, což vhodně vystihuje angl. termín „man-machine mix“. Platí to především při interpretaci výsledků numerických předpovědí pro místní podmínky, zvláště při výskytu extrémních jevů malého měřítka. Vzhledem k tomu, že jakékoliv předpovědní metody zachycují atm. děje pouze v určitém přiblížení, mají předpovědi počasí zpravidla pravděpodobnostní, a nikoli striktně deterministický charakter. Z toho vyplývá, že vytěžit z nich maximum informací může především uživatel, který je v potřebné míře obeznámen s možnostmi meteorologie a se základními vlastnostmi atmosféry. V dostatečném časovém předstihu vydaná a správně aplikovaná předpověď počasí umožňuje uživateli přijmout účinná praktická opatření v nejrůznějších oborech lidské činnosti.

**předpověď počasí synoptická** — předpověď budoucího rozložení tlaku vzduchu, *vzduchových hmot, atmosférických front* a met. prvků prováděná *synoptickou metodou*. Synoptická předpověď počasí využívala především poznatků tzv. *norské meteorologické školy*. Tato metoda předpovědi závisela též na osobní zkušenosti, popř. intuici svého tvůrce (synoptika) a v tomto smyslu je jejím protějškem *předpověď objektivní*. V současné době je v praxi nahrazena *numerickou předpovědí počasí*.

**předpověď počasí numerická** — předpověď polí meteorologických prvků, která je výsledkem časové integrace prognostických rovnic některého fyz. modelu atmosféry, prováděné na superpočítačích schopných provádět velké množství výpočtů nad velkými objemy dat, metodami numerické matematiky. Hlavním cílem numerické předpovědi počasí je co nejrychleji zpracovat naměřené údaje z meteorologických přístrojů (pozemních meteorologických stanic, balonových měření, meteorologických družic, radarů a dalších speciálních zařízení) a pomocí počítačové simulace vývoje atmosféry vypočítat její pravděpodobný budoucí stav. V současné době se rutinně provádějí numerické předpovědi pro několik desítek meteorologických parametrů (pole tlaku a proudění u země i v řadě výškových hladin, teplotní a vlhkostní pole v různých výškových hladinách i u zemského povrchu, vert. rychlosti, oblačnost, srážky, a řada dalších zejména dynamických parametrů, ale i různé indexy vyjadřující stabilitu atmosféry aj.). Myšlenku, že počasí lze předpovídat s použitím fyz. metod na základě řešení soustav hydrodyn. a termodyn. rovnic vyslovil pravděpodobně jako první H. Helmholtz v r. 1858. ... .. Rozvoj numerických předpovědních metod v meteorologii nastal po II. svět. Válce ... .. Teprve výsledky další generace tzv. baroklinních modelů, vycházejících obvykle z rovnice vorticity a z rovnice tendence relativní topografie, byly kvalit. srovnatelné s výsledky klasických synoptických metod předpovědi tlak. polí v atmosféře. V současné době tvoří numerická předpověď počasí základ jakýchkoliv krátkodobých, střednědobých i některých dlouhodobých předpovědí počasí založených především na integraci základních rovnic, přičemž další rozvoj probíhá zejména v oblasti zdokonalování parametrizace dějů subsynoptického měřítká a zpřesňování časového i prostorového rozlišení modelu a zdokonalování metod numerické integrace. V ČR byl průkopníkem numerické předpovědi počasí prof. S. Brandejs (1918–1975). Velký rozvoj nastal v 90. letech 20. stol., kdy se v ČHMÚ začal počítat regionální numerický model ALADIN.

**předpověď konvektivních bouří** — předpověď podmínek příznivých pro vývoj *konv. bouří* v dané oblasti. Metody předpovědi konv. bouří se liší podle délky předpovědního intervalu. Na velmi krátkou dobu (do 2–6 hodin) lze pro předpověď konv. bouří využít družicová a *radiolokační pozorování*. Na dobu asi do 12–18 hodin se vychází především z analýz *křivky teplotního zvrstvení*, vertikálního *střihu větru* a z *indexů stability* získaných z *aerologického měření* a doplněných celkovou *synoptickou analýzou*. Na delší období (zejména na 12 a více hodin) jsou využívány zejména předpovědi získané z *modelů numerické předpovědi počasí* i předpovídané *indexy stability* a profily meteorologických prvků (zejména *teploty vzduchu*, charakteristik *vlhkosti vzduchu* a vektoru *větru*), předpovědní *hodografy* apod.

**předpověď počasí velmi krátkodobá** — předpověď počasí na dobu 0 až 12 hodin nebo kratší, např. na dobu 0 až 6 hodin. Mezi tento druh předpovědi patří např. *letecké předpovědi počasí*, předávané ve formě předpovědi typu trend nebo TAF, specializované předpovědi pro zimní údržbu silnic, popř. předpovědi pro další aktivity ovlivňované počasím. Často se využívá objektivní extrapolační nowcasting srážek nebo oblačnosti využívající zejména *metod dálkové detekce*. V současné době se provozují též hybridní systémy optimálně využívající jak metod dálkové detekce, tak *numerických modelů předpovědi počasí*.

**nowcasting** — detekce a diagnostika okamžitého stavu počasí v lokálním či *mezosynoptickém měřítku* a předpověď počasí na 0 až 2 hodiny, někdy i následná *velmi krátkodobá předpověď počasí*

až na 6 hodin. Využívá především družicové a radiolokační informace, popř. údaje ze zahuštěné sítě *automatických meteorologických stanic*, zpravidla v kombinaci s výstupy z modelů numerické předpovědi počasí.

**předpověď počasí všeobecná** — *předpověď počasí* pro určité území (např. pro ČR, nebo některý kraj), určená široké veřejnosti a rozšiřovaná hromadnými sdělovacími prostředky včetně internetu zpravidla několikrát denně. Obsahuje předpověď oblačnosti, extrémních hodnot denní teploty vzduchu, směru a rychlosti větru a výskytu a množství srážek i jejich druhu. Upozorňuje na nebezpečné jevy, jako bouřky, vichřice, náledí, mlhy, ranní přízemní mrazy apod. Všeobecná předpověď počasí používá předepsaných formulací a odborných termínů s přesným kvantit. významem, takže je snadno obj. zhodnotitelná. Bývá většinou uváděna stručnou charakteristikou *celkové povětrnostní situace* a v ČR bývá vydávána na 12 až 48 h (víckrát denně), resp. na 48 až 168 h (zpravidla jednou denně). Viz též *předpověď počasí speciální*.

**výstraha meteorologická** — výstraha před předpokládanými nebo již vyskytujícími se *nebezpečnými povětrnostními jevy* vydaná met. předpovědní službou a určená pro širokou veřejnost nebo speciální okruhy uživatelů. Rozšiřuje se v otevřené řeči prostřednictvím veřejných médií, pomocí internetu nebo přes účelová spojovací zařízení Hasičského záchranného sboru, orgánů krizového řízení nebo státní správy a samosprávy. Od roku 2000 se met. výstrahy *Českého hydrometeorologického ústavu* určené pro veřejnost a státní správu a samosprávu vydávají v rámci tzv. *Systému integrované výstražné služby*. Výstrahy se vydávají zejména na extrémní teplotní podmínky (vysoké teploty, silný mráz, náhlý pokles teploty), ale i na velmi silný vítr, sněhové jevy (silné nebo trvalé sněžení, sněhové jazyky, závěje), námrazové jevy (ledovka, náledí, silná námraza), bouřkové jevy (přívalový déšť, kroupy, nárazový vítr), vydatný déšť vedoucí k povodňovým jevům a nebezpečí vzniku požárů.

## Kapitola 2

**Pozorování meteorologické radiolokační** je zjišťování výskytu a kvalit. i kvantit. vyhodnocování *radiolokačních odrazů od meteorologických cílů*, které jsou zaznamenávány meteorologickými radiolokátory. Zjišťuje se zejména rozložení a pohyb srážkové oblačnosti, její intenzita a vertikální mohutnost. Identifikují se oblasti konv. bouří a s nimi souvisejících možných nebezpečných povětrnostních jevů (přívalových povodní, krup, apod.) (ČMES, 2015).

**Radiolokátor meteorologický dopplerovský** je *radiolokátor*, který umožňuje měření radiálních rychlostí *meteorologických cílů*. Dopplerovské meteorologické radary s impulzním režimem umožňují lokalizovat a studovat strukturu nebezpečných met. jevů, jako jsou *tropické cyklony, supercely, tornáda*, aj. Dále mohou být využity k výpočtu vertikálního profilu proudění nad radiolokátorem. Dopplerovské meteorologické radary s nepřetržitou vlnou se využívají k měření spektrálního rozložení velikosti kapalných, popř. pevných částic v atmosféře, profilů rychlostí jejich pohybu, růst velikosti srážk. elementů, *turbulence, stříhu větru*.

**pole větru** — vektorové spojitě pole velikosti a směru *rychlosti větru*, nebo skalární spojitě pole velikosti rychlosti větru. Pole větru je spjato s *circulací atmosféry* a významně ovlivňováno členitostí a *drsností zemského povrchu*. V met. praxi se spíše setkáváme s dvojrozměrnými poli větru ve zvolených hladinách. Rozlišujeme např. pole *přízemního větru*, pole *výškového větru* v jednotlivých *izobarických hladinách* apod. Jiným příkladem může být pole větru ve zvoleném *vertikálním řezu atmosférou*. Dvojrozměrné pole větru lze graf. popsat např. pomocí *izotach*.

## Kapitola 3



**předpověď počasí ansámblová**, skupinová — sada různých *předpovědí počasí* platných pro daný předpovědní čas. Rozdíly mezi předpověďmi poskytují informace o pravděpodobnostním rozdělení předpovídaných prvků. Předpovědi mohou vycházet z různých počátečních nebo okrajových podmínek (v případě *modelů na omezené oblasti*), mohou se lišit dobou startu předpovědi, nastavením parametrů *numerického modelu předpovědi počasí*, nebo mohou pocházet z několika různých modelů předpovědi počasí. Ansámblová předpověď se používá kvůli postižení dvou základních nejistot numerické předpovědi počasí: 1) použití nedokonalých počátečních podmínek, které popisují výchozí stav atmosféry. Počáteční podmínky pro předpověď se pozměňují malými, ale dynamicky aktivními perturbacemi spočtenými pro danou situaci, např. metodou singulárních vektorů (ECMWF), nebo jinou. Tyto perturbace jsou pak více či méně umocněny chaotickou povahou systému. 2) použití nepřesných formulací v numerickém modelu předpovědi počasí, které jsou způsobeny aproximací nebo zjednodušením popisu fyzikálních procesů v modelu.

**předpověď počasí statistická** — předpověď *met. prvků* a jejich kombinací, popř. met. polí, vycházející ze znalostí statist. vlastností souborů met. prvků, vypracovávaná metodami mat. statistiky a teorie pravděpodobnosti. Ke statistické předpovědi počasí se často využívá např. metod mnohonásobné regresní analýzy a faktorové analýzy. Statistická předpověď počasí může být součástí *předpovědi počasí numerické* nebo *synoptické*, dnes se však uplatňuje především při *předpovědi počasí dlouhodobé*.

## Kapitola 4

**předpověď počasí perzistentní**, inerční, setrvačná — primitivní předpověď počasí založená na předpokladu, že počasí nebo hodnota daného met. prvku se nezmění v období, na které předpovídáme, ve srovnání s nedávnou minulostí. Nejjednodušší a nejpoužívanější způsob perzistentní předpovědi počasí se zakládá na předpokladu, že „jak bylo dnes, bude i zítra“. Někdy se používá jako referenční předpověď pro porovnání s jinými metodami *předpovědi počasí*.

## Kapitola 5

**katalog povětrnostních situací** — zákl. dokument o *typizaci povětrnostních situací*. Kromě zásad a metodiky typizace obsahuje podrobný popis jednotlivých *synoptických typů*, zvláště jejich cirkulační charakteristiku, údaje o jejich výskytu a trvání, průběh počasí v jednotlivých typech apod. Součástí katalogu povětrnostních situací jsou přízemní a výškové *synoptické mapy*, popř. schematické *kinematické mapy* ze dnů s typickou situací. Doplněním katalogu povětrnostních situací bývá *kalendář povětrnostních situací*. Ve stř. Evropě je nejrozšířenější Katalog der Großwetterlagen Europas, jehož autory jsou P. Hess a H. Brezowsky (1952), v ČR Katalog povětrnostních situací pro území ČSSR (HMÚ, 1968). V polovině 90. let došlo k rozšíření českého katalogu o pět dalších situací, díky tomu jsou nyní u nás typizovány všechny dny.

**přechod fronty** — přesun *atmosférické fronty*, která odděluje dvě *vzduchové hmoty*, přes určité místo, přesněji průchod *frontální čáry* daným místem. Přechod fronty je doprovázen změnou hodnot met. prvků, zvláště teploty a vlhkosti vzduchu, směru a rychlosti větru, tlaku vzduchu, oblačnosti, dohlednost, atm. srážek aj. Rychlost a velikost změny met. prvků závisí především na druhu a výraznosti fronty, na rychlosti jejího postupu, na denní a roční době a na orografických podmínkách. K uvedeným změnám může dojít v průběhu několika minut, ale i hodin. Změna teploty vzduchu při přechodu fronty dosahuje v našich zeměpisných šířkách v extrémních případech 15 až 20 °C, většinou však jen několika stupňů. Průběh počasí při přechodu fronty bývá značně rozdílný, v ojedinělých případech prochází fronta i za jasné oblohy.

## Kapitola 7

**supercela** — *konv. bouře* většinou velmi silné intenzity, která zpravidla sestává z jediné dominantní, velmi výrazné *konv. buňky*. Ta je udržována v činnosti až po dobu několika hodin jediným mohutným vzestupným *konv. proudem*, zpravidla silně rotujícím kolem své vertikální osy a dosahujícím vert. rychlosti až  $50 - 60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Definice supercely se průběžně vyvíjí v souvislosti s rostoucím poznáním a detekčními možnostmi. V současné době je supercela definována výskytem dlouhotrvajícího vzestupného *konv. proudu* a s ním spojené *mezocyklony*, která se vyskytuje ve středních hladinách výstupného proudu a kterou lze detekovat *meteorologickým dopplerovským radiolokátorem*. Supercely s výstupným proudem rotujícím cyklonálně (resp. anticyklonálně) se na sev. polokouli stáčí vpravo (resp. vlevo) od původního směru pohybu. Kromě vzestupného proudu je supercela tvořena také dvěma sestupnými proudy, *předním a zadním sestupným proudem*. Silně organizovaná struktura proudění je příčinou specifických projevů supercely, jako je výskyt *tornád*, silného *krupobití* včetně vývoje obřích *krup* i prudkého *nárazovitého větru*. Horizontálními rozměry se supercela od běžných *konv. bouří* lišit nemusí. Supercely se vyvíjejí v prostředí se silným *stříhem větru*, kde horizontální vorticity generovaná stříhem větru se ve výstupném proudu transformuje na vorticitu vertikální. Při radiolokačních pozorováních je pro supercelu charakteristická uzavřená *oblast snížené radiolokační odrazivosti* (BWER) a *hákovité echo*. Tyto oblasti se nacházejí v místě vzestupného proudu, který je natolik intenzivní, že se v něm tvoří pouze drobné oblačné částice, obtížně zachytitelné *radiolokátorem*. Na přítomnost supercely lze nepřímo usuzovat i na základě specifického vzhledu oblačnosti bouře při pohledu ze zemského povrchu, obzvláště při výskytu *wall cloudu*. V zahraniční literatuře se kromě tzv. klasické supercely (z angl. Classic Supercell, CS), jejíž vlastnosti se neliší od výše popsaného koncepčního modelu, uvádějí dvě odvozené kategorie supercel. Jde o slabě srážkové supercely (z angl. low precipitating, LP) a mohutně srážkové (z angl. high precipitating, HP) supercely. V LP supercele převládá vzestupný proud nad proudy sestupnými a podstatná část srážek se vypaří, než dopadne na povrch země. HP supercela produkuje velké množství srážek především v oblasti hákovitého echa a na své zadní straně. Vzhledem k vypařování srážkových částic mohou být oba její sestupné proudy velmi intenzivní. Viz též *štěpení konv. bouře, proud konv. sestupný přední a zadní*.