

**Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta
Katedra Fyzické geografie a geoekologie**

**Charles University in Prague, Faculty of Science
Department of Physical Geography and Geoecology**

Doktorský studijní program: Fyzická geografie
Ph.D. study program: Physical Geography

Autoreferát disertační práce
Summary of the Ph.D. Thesis



Využití distančních měření při analýze stavu a vývoje srážek

The exploitation of remote sensing measurements for the analysis and
development of rainfalls

Autor: RNDr. Vojtěch Bližňák

Školitel: doc. RNDr. Zbyněk Sokol, CSc.
Konzultant: doc. RNDr. Daniela Řezáčová, CSc.

Praha 2011

Abstrakt

Název práce: Využití distančních měření při analýze stavu a vývoje srážek
Autor: Vojtěch Bližňák
Katedra: Katedra fyzické geografie a geoekologie
Školící pracoviště: Ústav fyziky atmosféry Akademie věd České republiky

Vedoucí disertační práce: Doc. RNDr. Zbyněk Sokol, CSc.
E-mail vedoucího: sokol@ufa.cas.cz
Konzultant: Doc. RNDr. Daniela Řezáčová, CSc.
E-mail konzultanta: rez@ufa.cas.cz

Disertační práce je rozdělena do dvou částí. První část se zabývá plošným rozložením krátkodobých konvektivních srážek v závislosti na nadmořské výšce. Přitom jsou použity odhady srážek založené na kombinaci srážkoměrných a radarových dat. Statistické testy prokázaly, že plošné rozdělení hodinových konvektivních srážek je nezávislé na nadmořské výšce. Kromě dat obsahujících pouze srážkové události, byla také statisticky vyhodnocena veškerá naměřená data bez ohledu na skutečnost, zda srážka nastala či nikoliv. V tomto případě bylo zjištěno, že vztah hodinových úhrnů srážek a nadmořské výšky závisí na uvažované prahové hodnotě srážkových úhrnů. Pokud byla uvažována všechna data, tj. prahová hodnota byla položena nule, nárůst srážkových úhrnů dobře koreloval s rostoucí nadmořskou výškou. Se vzrůstajícím prahem se závislost postupně ztrácela. Plošné rozložení 6h úhrnů srážek prokázalo vyšší hodnoty v oblasti jižních Čech. Nejčastějšími synoptickými příčinami byly severozápadní cyklonální situace (NWC) a cyklóna nad střední Evropou (C).

Druhá část práce je zaměřena na využití dat z meteorologické družice Meteosat Second Generation pro odhad konvektivních srážek. V práci byl použit Convective Rainfall Rate (CRR) algoritmus, který na základě naměřených družicových dat počítá intenzity srážek a odhady srážek. Algoritmus CRR byl modifikován a nakalibrován pro oblast České republiky s využitím radarových

dat z české radarové sítě. Kvalitativní, kvantitativní i „fuzzy“ verifikační postupy ukázaly zlepšení dosažených výsledků ve srovnání s původní verzí algoritmu.

Klíčová slova: Srážky konvektivní – radar meteorologický – nadmořská výška – družice meteorologická – odhad srážek – Česká republika

Abstract

Title: The exploitation of remote sensing for the analysis and progress of rainfalls
Author: Vojtěch Bližňák
Department: Department of Physical Geography and Geoecology
Workplace: Institute of Atmospheric Physics, Academy of Sciences of the Czech Republic
Supervisor: Doc. RNDr. Zbyněk Sokol, CSc.
Supervisor's e-mail: sokol@ufa.cas.cz
Consultant: Doc. RNDr. Daniela Řezáčová, CSc.
Consultant's e-mail: rez@ufa.cas.cz

The thesis is divided in two parts. The first part deals with the areal distribution of short-term convective rainfalls with regard to the influence of altitude. Precipitation estimates based on combination of rain gauge and radar data are used for this purpose. Statistical tests proved that the areal distribution of hourly convective rainfalls does not depend on altitude. Besides data containing precipitation events only, all measured data were statistically analysed regardless of the fact whether precipitation occurred or not. In this case it was found out that the relationship between hourly rainfall totals and altitude depends on the considered threshold of rainfall totals. When all data were considered, i.e. a threshold value was set to zero, an increase of rainfall totals well correlated with altitude. The dependence slowly disappeared with an increasing threshold. The areal distribution of 6 hour rainfall totals proved higher values in the area of south Bohemia. The most frequent synoptic patterns were northwest cyclonic situations (NWC) and cyclone over the Central Europe (C).

The second part of the thesis is focused on satellite data exploitation, as measured by meteorological satellite Meteosat Second Generation, for convective precipitation estimates. The Convective Rainfall Rate (CRR) algorithm, which computes rain rates and precipitation estimates on the basis of

measured satellite data, was used in the thesis. The algorithm was modified and calibrated for the area of the Czech Republic using radar data from the Czech weather radar network. Qualitative, quantitative and “fuzzy” verifications showed an improvement of obtained results in comparison with the original version of the algorithm.

Key words: Convective rainfalls – weather radar – altitude – meteorological satellite – precipitation estimates – Czech Republic

1. ÚVOD

Srážky jsou pojem zahrnující velkou část hydrometeorů představující jednu z hlavních částí koloběhu vody v přírodě. V klasickém pojetí se srážky měří srážkoměry na pozemních meteorologických stanicích a vzhledem k jejich dlouhému a rozšířenému používání se srážkoměry staly standardem v měření srážek. Při studiu srážkových úhrnů kumulovaných za delší časové období se hodnoty ze srážkoměrných stanic zpravidla pokládají za správné (tzv. „ground truth“) ve srovnání s kvantitativními odhady srážek z radarů či družic (Hunter, 1996). Je však třeba zdůraznit, že i hodnoty naměřené srážkoměry mohou být zatíženy celou řadou systematických chyb, jejichž rozborem se zabývaly např. práce (Lapin, Priadka, 1987; Groisman, Legates, 1994). Navíc, měření srážek srážkoměry mají i omezení, zvláště pro operativní meteorologické a hydrologické účely (McFarland, 2008). Jedním z hlavních problémů je především nedostačující hustota srážkoměrných stanic, které nemusí lokální srážky vypadávající z konvektivních bouří, vůbec zachytit

Výzkumy zabývající se studiem konvektivních srážek vyžadují detailnější strukturu horizontálního pole srážek, které klasické srážkoměry nejsou schopny poskytnout. Proto se využívají data pořízená distančními metodami (meteorologickými radary, družicemi, apod.), tzn. bez přímého kontaktu. Jejich velkou výhodou je skutečnost, že se jedná o prostorově spojitou informaci získávanou v diskrétních časech, tzn., že měření probíhá na velké ploše z jediného místa v téměř reálném čase. Je však nutné podotknout, že distanční metody neměří srážky, ale fyzikální veličiny (např. odrazivost vodních kapiček, vyzařování atmosféry, apod.), které je možné na základě určitých vztahů převést na kvantitativní odhad srážek. Takto získaná data je možné pomocí speciálních procedur (např. adjustací srážek) vhodně opravit a připravit k dalším aplikacím. Výhodou těchto dat oproti klasickým sítím srážkoměrných stanic je vysoké horizontální a časové rozlišení.

2. CÍLE PRÁCE

Předkládaná disertační práce se zabývá studiem konvektivních srážek s použitím dat naměřených distančními metodami, které jsou schopny popsat časový a prostorový vývoj rychle se vyvíjející konvektivní oblačnosti a s ní spojených srážek. Data získaná distančními metodami se v současné době stále více prosazují při vstupu do numerických předpovědních modelů jako data asimilační, která prokázala pozitivní vliv na velmi krátkodobou předpověď (tzv. nowcasting) konvektivních srážek. Může se jednat o asimilaci radarové odrazivosti i družicových dat.

Disertační práce se zabývá kvantitativními i kvalitativními vztahy mezi distančními měřeními navzájem a ve vztahu k detekci srážek. Cílem první části disertační práce je vyšetřit závislost krátkodobých vysokých srážkových úhrnů (úhrny za 1, 2, 3 a 6 hodin) na nadmořské výšce spolu s vhodným vyjádřením této závislosti. Na základě dosažených výsledků je možné posoudit, zda existují zákonitosti v plošném rozdělení vysokých krátkodobých srážek pro území České republiky (ČR) a jak souvisí rozdělení srážek s orografií. Cílem druhé části je modifikace a zlepšení metod družicových odhadu srážek (DOS) z konvektivní oblačnosti pro oblast ČR. Důraz je v tomto případě kladen jak na zahrnutí všech možných procesů a skutečností ovlivňujících výsledné DOS, tak na studium a vysvětlení nejistoty, které DOS obsahuje.

Metodika zpracování a prezentované výsledky v první části disertační práce vychází z publikací (Bližňák, Sokol, 2008; Sokol, Bližňák, 2009), ve druhé části pak z publikací (Bližňák, Sokol, 2011a; Bližňák, Sokol, 2011b).

3. DATA A METODIKA ZPRACOVÁNÍ

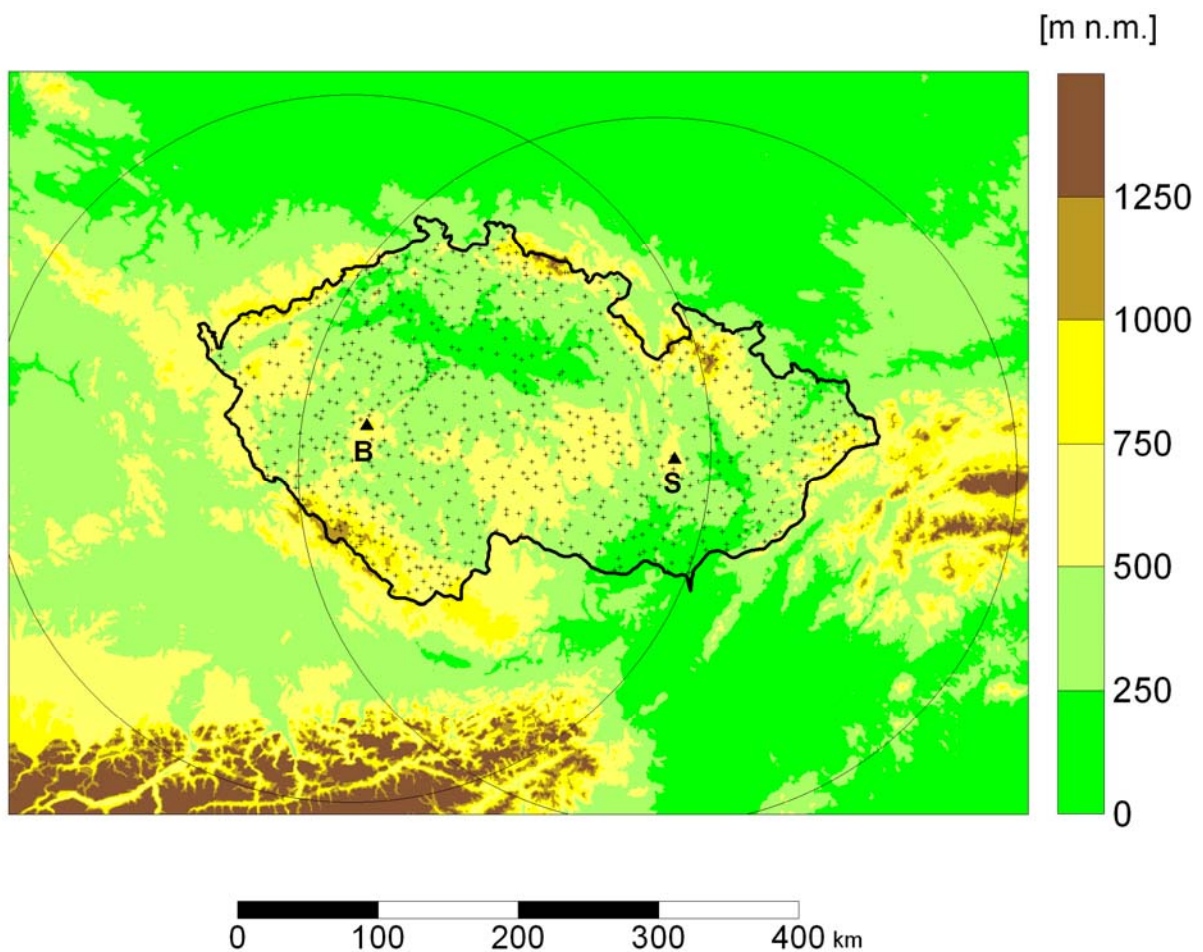
Radarová data

První část disertační práce je zaměřena na využití radarových dat. Jako základní data byly připraveny adjustované hodinové úhrny srážek (kombinace radarových a srážkoměrných dat) pro každý pixel (1 km x 1 km) v rámci ČR

z teplé poloviny roku (od 1. dubna do 30. září) za celkem 7leté období (2002 - 2008). Základem pro jejich výpočet byly radarové odrazivosti naměřené českou radarovou sítí CZRAD, která se skládá ze dvou dopplerovských radarů – Brdy, Skalky. Horizontální rozlišení radarových dat je 1 x 1 km a časový krok měření je 10 minut. Pro výpočet srážek byly využity radarové odrazivosti z hladiny 2 km nad hladinou moře (CAPPI 2 km), které jsou operativně počítány lineární interpolací ze sousedních PPI (z angl. „Plan Position Indicator“ neboli elevace radarového objemového měření) hladin. Naměřené odrazivosti byly nejprve transformovány na intenzity srážek pomocí standardního Z-R vztahu (Marshall, Palmer, 1948) a potom byly integrací v čase vypočteny hodinové a denní úhrny. Adjustace srážkových úhrnů byla provedena pomocí denních úhrnů naměřených na srážkoměrných stanicích s využitím metody modifikovaného podílu (Sokol, 2003b) v první části a metody MERGE (Šálek et al., 2004), která je oficiální metodou používanou v Českém hydrometeorologickém ústavu (ČHMÚ), v druhé části disertační práce. Poloha a dosah obou meteorologických radarů spolu se srážkoměrnými stanicemi, které byly při adjustaci využity, jsou zobrazeny na obr. 3.1.

Ze základního datového souboru byly stanoveny dva typy n -hodinových srážkových úhrnů ($n = 1, 2, 3$ a 6), které se od sebe liší způsobem přípravy. První typ dat, který budeme dále označovat jako data A, byl získán sumací hodinových úhrnů odpovídajících n po sobě jdoucím termínům měření. Všechny kombinace termínů měření byly využity pro přípravu n -hodinových úhrnů bez ohledu na to, zda srážka nastala či nikoliv. Druhý typ dat (data B) představuje n -hodinové srážkové události, které byly definovány jako n po sobě jdoucích hodinových úhrnů splňujících definované podmínky, které zaručovaly výběr časově omezených srážkových událostí se zřetelným nárůstem a poklesem intenzity srážek v první a po poslední hodině n -hodinové události. Splnění této podmínky je typické pro konvektivní srážky.

Plošné rozložení úhrnů srážek bylo hodnoceno odděleně pro n hodinové srážky rovné nebo převyšující práh $P = 0$ (bez prahu), 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90 a 100 mm. To znamená, že pro $P = 0$ byla použita všechna data. U dat B byly uvažovány prahy $P = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90$ a 100 mm. U hodinových úhrnů obou typů dat byly uvažovány hodnoty P pouze do 50 mm, protože u vyšších hodnot nebylo k dispozici dostatečné množství dat.



Obr. 3.1: Poloha srážkoměrných stanic s denními úhrny (+) a meteorologických radarů ČHMÚ Brdy (B) a Skalky (S) (▲) s vyznačenými dosahy 260 km. Podklad domény, která je v ČHMÚ označována jako pacz23 a má rozměry 728 km x 528 km, tvoří orografie.

Družicová data

Ve druhé části disertační práce je pozornost věnována využití družicových dat, která byla naměřena meteorologickou geostacionární družicí Meteosat Second Generation (MSG) s časovým krokem 15 minut. Horizontální rozlišení dat závisí na úhlovém snímání družice, tzn. s klesajícím úhlem se zhoršuje. Oblast ČR je snímána s rozlišením cca 4 x 6 km, resp. 3 x 2 km v kanále HRV (High Resolution Visible).

Družicová data byla využita při realizaci Convective Rainfall Rate (CRR) algoritmu, který počítá DOS z konvektivní oblačnosti. Kromě MSG dat využívá CRR algoritmus také data z numerického předpovědního modelu (NWP data) a kalibrační matice, které závisí na hodnotách jasových teplot kanálů (resp. jejich rozdílů) IR10.8 μ , IR10.8 μ – WV6.2 μ (dále jen BTD) (2-D matice) nebo IR10.8 μ , BTD a VIS0.6 μ (3-D matice). Výběr konkrétní kalibrační matice závisí na zenitovém úhlu Slunce: pro denní dobu (zenitový úhel je menší než 80°) se používá 3-D matice, v opačném případě (zenitový úhel je alespoň 80°) není možné využívat kanál ve viditelném oboru spektra, a proto se používá 2-D matice. Struktura 2-D a 3-D matic je popsána v tabulkách 3.1 a 3.2.

Tab. 3.1: Struktura 2-D kalibračních matic.

Osa	Spektrální pásmo	Počátek osy	Konec osy	Krok	Počet intervalů
x	BTD	-21°K	59°K	+2°K	41
y	IR10.8	203°K	303°K	+2°K	51

Tab. 3.2: Struktura 3-D kalibračních matic.

Osa	Spektrální pásmo	Počátek osy	Konec osy	Krok	Počet intervalů
x	BTD	-19°K	59°K	+2°K	40
y	VIS0.6	1%	99%	+2%	51
z	IR10.8	203K	275K	+4°K	19

V originální verzi CRR algoritmu byly kalibrační matice vypočteny pouze s využitím španělských a skandinávských dat. Byly vytvořeny dvě sady matic. První typ matic byl odvozen na základě španělských dat a je určen pro aplikaci v zeměpisných šířkách nižších než 45° N. Druhý typ matic byl vypočítán s využitím skandinávských dat pro aplikace v zeměpisných šířkách vyšších než 55° N. V oblastech mezi oběma pomyslnými rovnoběžkami, což je i oblast zahrnující ČR, je nutné použít lineární interpolaci mezi hodnotami ve španělské a skandinávské matici (dále jen metoda SAF CZ_EUR-DIFFS).

Modifikace CRR algoritmu pro oblast ČR spočívala ve výpočtu kalibračních matic s využitím radarových dat z české radarové sítě CZRAD. Kalibrace byla provedena za období 3 letních sezón (červen – srpen) 2006-2008. Protože oblast ČR je snímána družicí MSG pod šikmějším úhlem než Španělsko, byl pro následný přepočítání intenzit srážek odvozených z radarových měření místo původně použitého pixelu $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ zvolen pixel o velikosti $5\text{ km} \times 5\text{ km}$, který lépe aproximuje rozlišení MSG dat pro středoevropskou oblast. Před vlastní kalibrací byla na MSG data aplikována korekce paralaktického posunu (paralaxy) (Soler, Eisemann, 1994), přičemž výška horní hranice oblačnosti (HHO) byla odhadnuta s využitím vertikálního profilu standardní atmosféry.

Kalibrační matice byly vypočteny z vybraných konvektivních situací podle podmínek popsáných v (SAFNWC, 2009a). Vlastní přiřazení hodnot intenzity srážek bylo provedeno dvěma způsoby. První způsob (dále jen SAF CZ_CZRAD1) dodržuje původní postup kalibrace, který je popsán v manuálu (SAFNWC, 2009a) a je založen na výpočtu pravděpodobnosti výskytu maximálních hodnot intenzit srážek v daných bodech 2-D a 3-D matice. Protože výsledné hodnoty intenzit srážek byly velmi vysoké, byla aplikována subjektivní korekce všech hodnot v maticích koeficientem 0.2, který vykazoval nejnižší systematické chyby a zároveň zachovával rozumné hodnoty intenzit srážek. Dalším nedostatkem vypočtených matic byly nenulové intenzity srážek v případě vysokých jasových teplot kanálu $\text{IR}10.8\mu$ a vysokých hodnot rozdílu

BTD. Proto byly aplikovány na 2-D i 3-D matice víceméně subjektivní podmínky, které byly vybrány na základě několika provedených testů a vycházejí z předpokladu, že konvektivní oblačnost s nízkou HHO a nízkou odrazivostí by neměla produkovat srážky.

Druhá metoda (SAFCZ_CZRAD2) byla založena na výpočtu průměrných hodnot naměřených intenzit srážek pro dané kombinace hodnot spektrálních kanálů (tj. bodů ve 2-D, resp. 3-D matici). Korekce odstraňující „nereálné“ srážky pro vysoké hodnoty $IR_{10.8\mu}$, BTD a nízké $VIS_{0.6\mu}$, byla provedena stejným způsobem jako v případě první metody. Potenciální příčinou „nereálných srážek“ mohl být vliv proudění, příp. nepřesnost výpočtu paralaxy.

Realizace CRR algoritmu zahrnovala několik kroků. Na základě aktuálních družicových dat byla termínu přidělena odpovídající hodnota intenzity srážek z kalibračních matic. Hodnota okamžité intenzity srážek byla dále modifikována s využitím korekce na vlhkost, korekce na vertikální vývoj oblaku, korekce gradientu teploty a orografické korekce. V rámci algoritmu je použita i korekce na paralaxu, jejíž postup byl již zmíněn. Informace o relativní vlhkosti, množství srážkové vody a horizontálním a vertikálním poli větru byly získány z operativně využívaného modelu ALADIN. Hodinové DOS byly výsledkem časové integrace takto upravených hodnot okamžitých intenzit srážek s využitím lichoběžníkového pravidla.

Protože DOS získané pomocí CRR algoritmu vykazovaly poměrně velké systematické chyby, byla aplikována oprava rozdělení srážkových úhrnů. Cílem této korekce je, aby rozdělení DOS přibližně odpovídalo rozdělení naměřených hodnot (Sokol, 2003a). Opravu distribuce aplikovanou na DOS získaných s využitím první metody budeme označovat SAFCZ_CZRAD1_DISTR a s využitím druhé metody SAFCZ_CZRAD2_DISTR.

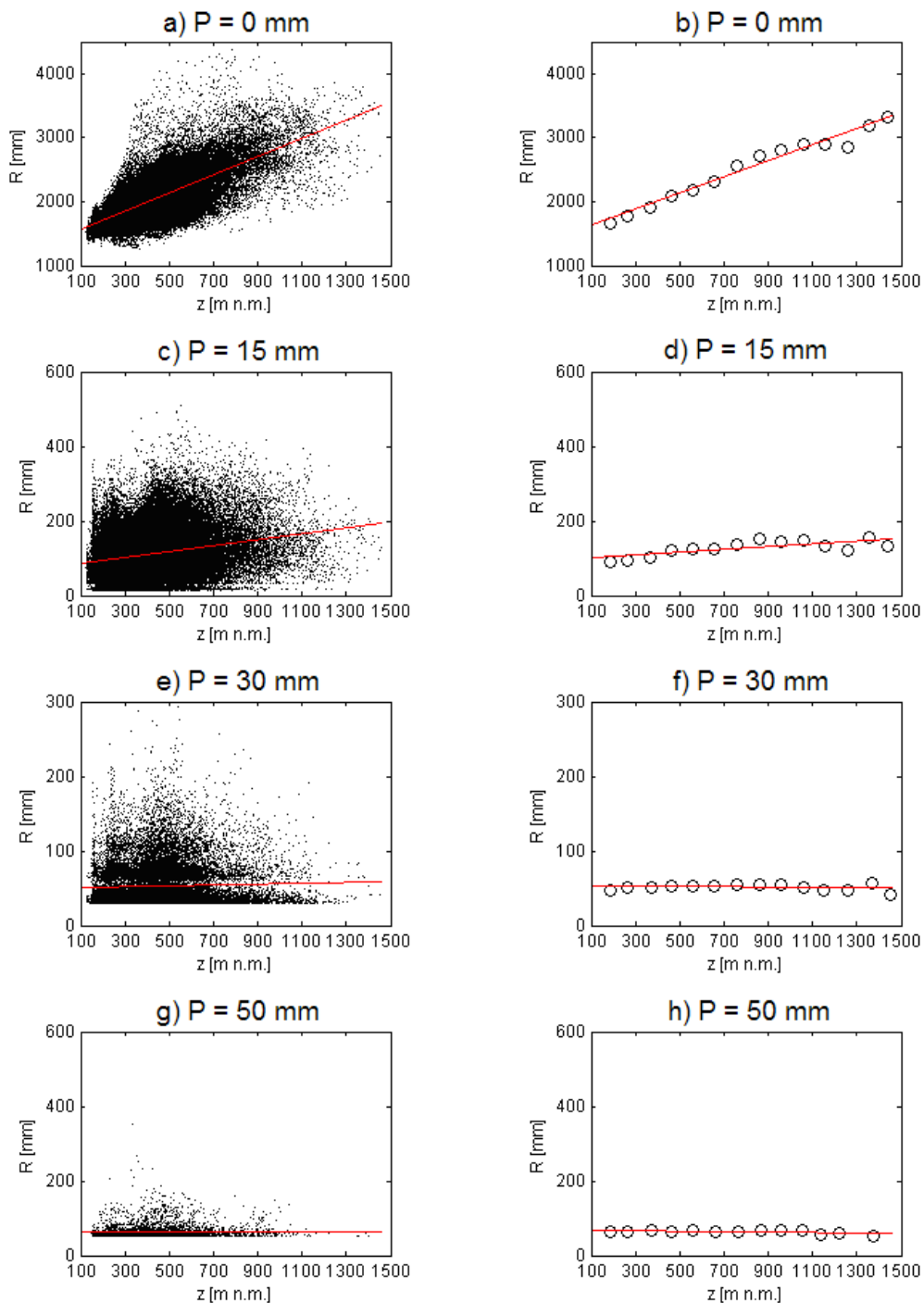
4. VÝSLEDKY A DISKUSE

Vztah srážkových úhrnů a nadmořské výšky

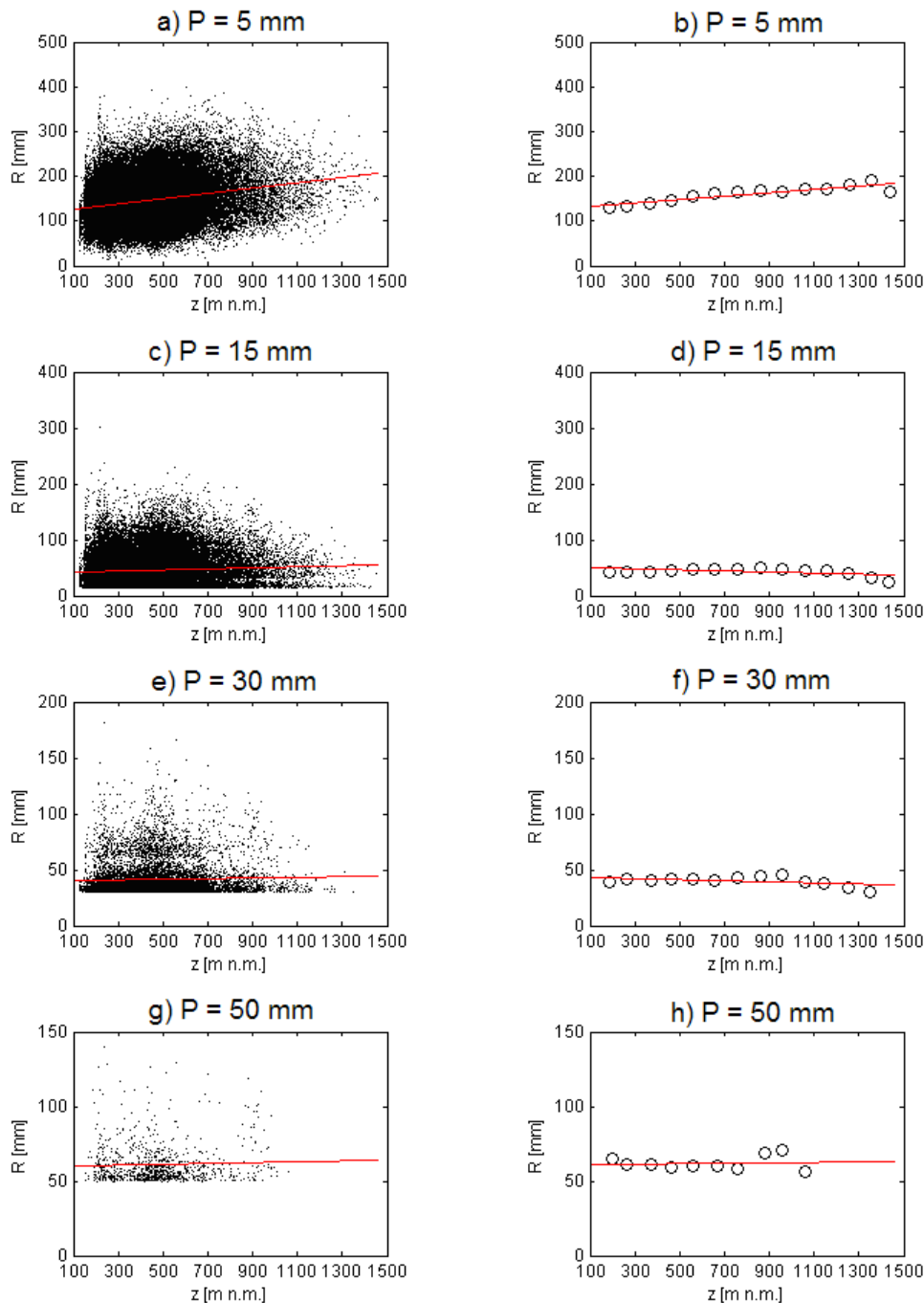
Vztah hodinových srážkových úhrnů a nadmořské výšky z není zcela jednoznačný a závisí na prahové hodnotě P (viz obr. 4.1). V případě, kdy byla uvažována všechna data typu A (tj. $P = 0$), byl prokázán nárůst srážkových úhrnů spolu s nadmořskou výškou (obr. 4.1 a)). Nicméně, se vzrůstajícím prahem P se uvedená závislost ztrácela, jak dokazují obr. 4.1 c), e), g). U dat B, tedy u srážek konvektivního charakteru, bylo obtížné prokázat závislost i nízkých srážkových úhrnů na nadmořské výšce a zdá se, že rozložení úhrnů je spíše náhodné (obr. 4.2 a)). Uvedené vztahy dokládá i plošné rozložení hodinových úhrnů v rámci ČR (obr. 4.3). Data A s prahem $P = 0$ dobře ilustrují vliv orografie, který se promítá na plošné distribuci srážek. Vyšší hodnoty vykazují spíše příhraniční oblasti vázané na vyšší polohy, se vzrůstajícím prahem se však tato závislost ztrácí. Protože počet stanic se v jednotlivých nadmořských výškách významně lišil, byly všechny pixely rozděleny do tříd podle nadmořské výšky a pro každou třídu vypočtena hodnota závisle proměnné y_P vyjadřující průměrný úhrn srážek v dané třídě (viz b), d), f), g) u obr. 4.1 a 4.2).

Vztah srážkových úhrnů a nadmořské výšky byl také studován s využitím Spearmanova korelačního koeficientu. Nulová hypotéza, která předpokládala, že neexistuje žádný vztah mezi y_P a z (tedy korelace je nulová), byla testována vzhledem k možnostem, že korelace není nulová, korelace je kladná a korelace je záporná. Výsledky získané na hladině spolehlivosti 99% mohou být shrnuty následovně:

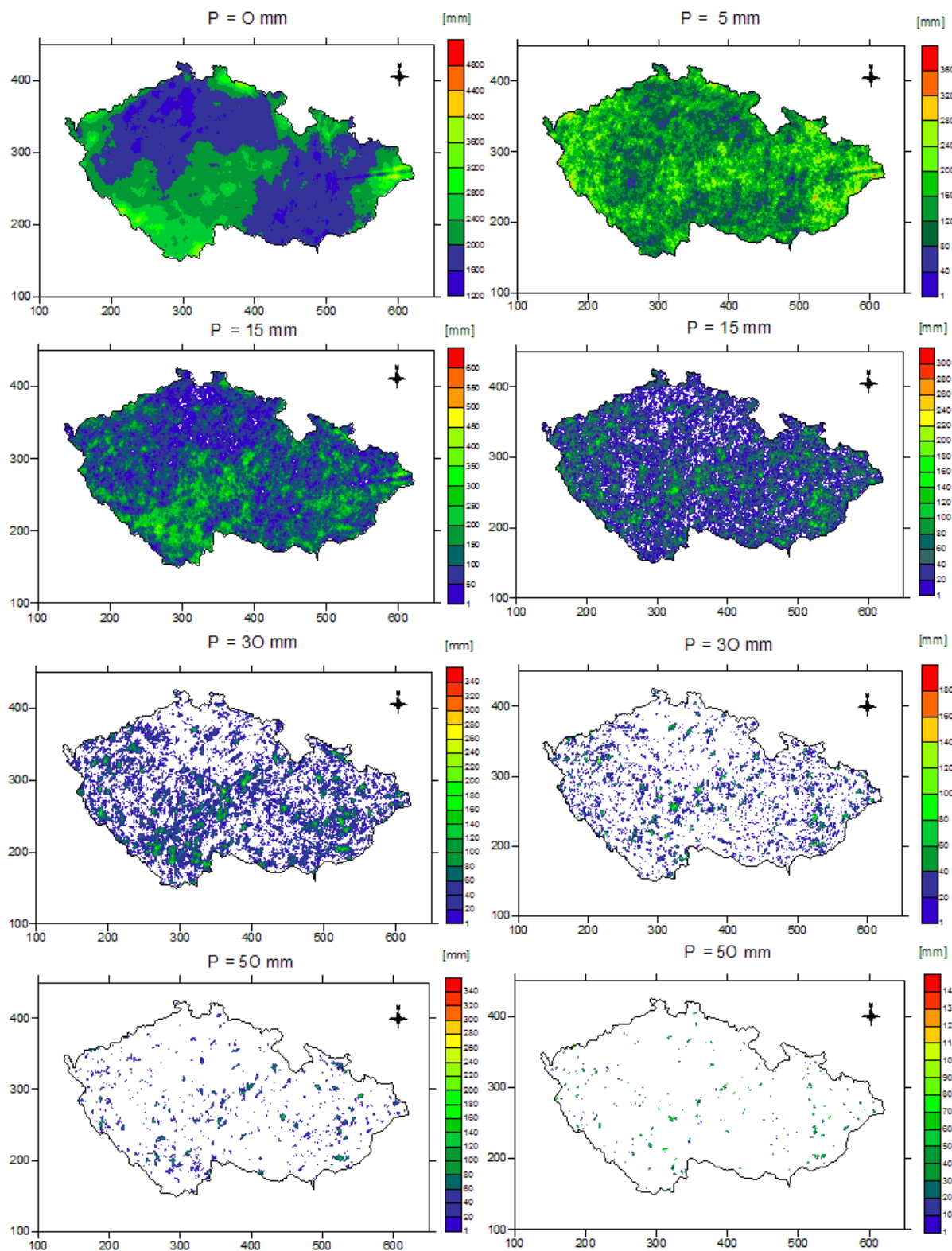
- u dat A nebyl nalezen žádný vztah mezi srážkami a nadmořskou výškou pro hodinové úhrny a $P \geq 20$ mm, 2-h úhrny a $P \geq 40$ mm, 3-h úhrny a $P \geq 50$ mm a 6-h úhrny a $P \geq 80$ mm.
- u dat B nebyl nalezen žádný vztah pro hodinové úhrny a $P \geq 10$ mm, 2-h úhrny a $P \geq 25$ mm, 3-h úhrny a $P \geq 30$ mm a 6-h úhrny a $P \geq 40$ mm.



Obr. 4.1: Závislost sum hodinových úhrnů srážek R na nadmořské výšce z pro data A. Obrázek a) znázorňuje závislost srážkových úhrnů ve všech pixelech vzhledem k nadmořské výšce. Obrázky c), e), g) znázorňují srážkové úhrny rovné a vyšší 15, 30 a 50 mm. Obrázky b), d), f), h) znázorňují závislost na nadmořské výšce pro hodinové srážkové úhrny, jejichž pixely jsou seskupeny do tříd podle nadmořské výšky. Obrázky odpovídají spodní prahové hodnotě $P = 0, 15, 30, 50$ mm. Červená čára v každém grafu představuje odpovídající regresní přímku.



Obr. 4.2: Závislost sum hodinových úhrňů srážek R na nadmořské výšce z pro data B. Obrázek a) znázorňuje závislost srážkových úhrňů v pixelech s prahem $P = 5$ vzhledem k nadmořské výšce. Obrázky c), e), g) znázorňují srážkové úhrny rovné a vyšší 15, 30 a 50 mm. Obrázky b), d), f), h) znázorňují závislost na nadmořské výšce pro hodinové srážkové úhrny, jejichž pixely jsou seskupeny do tříd podle nadmořské výšky. Obrázky odpovídají spodní prahové hodnotě $P = 5, 15, 30, 50$ mm. Červená čára v každém grafu představuje odpovídající regresní přímku.



Obr. 4.3: Plošné rozložení hodinových sum srážek pro data A (levý sloupec) a data B (pravý sloupec). Jednotlivé panely se od sebe liší spodní prahovou hodnotou P .

Plošné rozložení krátkodobých srážek na území ČR

I když se zdá, že plošné rozložení srážek s vysokými intenzitami je spíše náhodné, je možné vyčlenit tři oblasti, které vykazují vyšší hodnoty srážkových úhrnů ve srovnání se zbytkem ČR, a sice: západ ČR, východ ČR a oblast jižních Čech táhnoucí se směrem k Českomoravské vrchovině. Poslední jmenovaná oblast je zvláště patrná u 6hodinových úhrnů pro data B a pro stručnost ji budeme dále nazývat JČ. Oblast částečně souhlasí s extrémními srážkami a následnými povodněmi, které se vyskytly ve střední Evropě v srpnu 2002 (např. Řezáčová et

al., 2005). Po vyloučení tohoto termínu se ukázalo, že extrémní srážkové úhrny sice částečně přispěly k výsledné sumě srážek, nicméně zvýšená hustota srážkových úhrnů byla v této oblasti zřetelná i pak (pro data A i B). Proto lze předpokládat, že zvýšená četnost vysokých srážkových úhrnů v oblasti JČ je obecný fakt. Srážkové události, které v této oblasti způsobily vysoké hodnoty srážkových úhrnů, byly následně studovány detailněji.

Pro účely této analýzy byly ze 6hodinových srážkových událostí (data B) v této oblasti vybrány pouze úhrny s prahem $P = 40$ a vyšší. Výsledkem bylo nalezení celkem 26 případů, pro které byly následně studovány analýzy polí geopotenciálu a větru, včetně jeho stříhu, v různých tlakových hladinách připravené v European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) s rozlišením $0,5^\circ$ k termínu 00, 06, 12 nebo 18 UTC. Termíny byly voleny tak, aby se časově shodovaly s vybranými srážkovými událostmi, přičemž situace nesměly pocházet z pozdějšího termínu, než byl pozorován počátek srážkové události. I když je mezi jednotlivými událostmi zřetelný rozdíl, jako nejčtenější synoptické situace sejevily dle klasifikace uvedené v (Brázdil, Štekl, 1986) severozápadní cyklonální situace (NWC) a cyklóna nad střední Evropou (C). Typy NWC i C jsou charakterizovány stříhem větru, který byl prokázán ve většině studovaných případů.

Potenciální příčinou vyšších srážkových úhrnů v JČ může být vzhledem k teplé polovině roku i trajektorie cyklóny Vb. V tomto případě se střed cyklóny přesouvá ze severní Itálie a Jaderského moře k severovýchodu, přičemž proudění je orientováno proti směru hodinových ručiček. Území ČR je pak ovlivňováno prouděním se severní složkou přinášejícím vyšší srážkové úhrny do oblastí jižních Čech, Moravskoslezských Beskyd a Hrubého Jeseníku (Brázdil, Štekl, 1986; Štekl a kol., 2001). Zesilující účinek může mít v tomto případě i tzv. nálevkový efekt (Sobíšek a kol., 1993).

Získané výsledky jen částečně souhlasí s prací (Trupl, 1958), kde bylo ukázáno, že hodinové srážkové úhrny jsou zpravidla vyšší v nížinách a pahorkatinách než v horských oblastech. Déle trvající srážkové úhrny jsou naopak vyšší v oblastech horských než v nížinách. I když výsledky našeho výzkumu ukázaly spíše nahodilost v rozložení vysokých krátkodobých srážkových úhrnů, je třeba poznamenat, že práce (Trupl, 1958) vycházela z dat naměřených na 98 ombrografických stanicích (z toho pouze 10 se nacházelo v horských polohách), přičemž hodinové intervaly s vysokými úhrny srážek byly vybírány libovolně. Naproti tomu naše data (data A) obsahovala srážkové úhrny, jejichž měření započalo na začátku každé hodiny bez ohledu na to, zda srážka nastala či nikoliv.

Využití družicových dat k odhadu konvektivních srážek

Hodinové DOS získané výše uvedenými metodami byly verifikovány s hodinovými radarovými odhady srážek získaných metodou MERGE (Šálek et al., 2004) v horizontálním rozlišení 5 km. Verifikace byla provedena na nezávislém datovém souboru z období od 23. června do 5. července 2009, kdy byla pozorována vysoká aktivita konvektivních jevů, s využitím subjektivních i objektivních metod.

Verifikace hodinových DOS ukázala, že kalibrační postup navržený v manuálu (SAFNWC, 2009a) vykazoval velmi vysoké hodnoty intenzit srážek

a celkově nadhodnocoval srážkové odhady. To je důsledkem toho, že navržený kalibrační postup vychází z teoreticky maximálně možných intenzit srážek. Druhý kalibrační postup (metoda SAFCZ_CZRAD2) dával většinou lepší výsledky v případě kategorické verifikace, ale větší chyby v případě kvantitativní verifikace. Hlavní příčinou těchto chyb bylo plošné nadhodnocení srážkových úhrnů. Tyto chyby významným způsobem zredukovala aplikovaná metoda korekce rozdělení. Právě tato metoda (SAFCZ_CZRAD2_DISTR) se jeví jako nejlepší z pohledu verifikačních charakteristik (obr. 4.5) oproti původní metodě SAFCZ_EUR-DIFFS.

Při kategorické verifikaci získaných hodinových DOS se vycházelo, podobně jako v hodnotící zprávě (SAFNWC, 2009b), z charakteristik kontingenční tabulky (tab. 5.1). Následující kategorické a kvantitativní míry přesnosti byly použity při verifikaci:

- Critical Success Index (CSI), který měří podíl správně odhadnutých událostí a celkového počtu odhadnutých událostí nebo pozorování

$$CSI = \frac{a}{a+b+c} \quad (4.1)$$

- Percentage of Correct (PC), který odpovídá na otázku, kolikrát byla odhadnutá událost správná

$$PC = \frac{a+d}{a+b+c+d} \quad (4.2)$$

- Probability of Detection (POD), což je poměr správně odhadnutých a všech pozorovaných událostí

$$POD = \frac{a}{a+c} \quad (4.3)$$

- False Alarm Ratio (FAR), který měří podíl chybně odhadnutých událostí z celkového počtu odhadnutých událostí

$$FAR = \frac{b}{a+b} \quad (4.4)$$

- Heidke's Skill Score (HSS) vyhodnocuje, kolikrát je odhad lepší ve srovnání s náhodným výběrem (obecně s referenční strategií)

$$HSS = \frac{2(ad - bc)}{(a + c)(c + d) + (a + b)(b + d)} \quad (4.5)$$

- BIAS, který měří poměr počtu událostí a počtu odhadnutých událostí

$$BIAS = \frac{a + b}{a + c}, \quad (4.6)$$

kde a , b , c a d jsou hodnoty z kontingenční tabulky (tab. 5.1). Odhadnutým a naměřeným hodnotám srážkových úhrnů byly přiřazeny kategorické hodnoty ano/ne na základě stejného prahu 0 mm, který byl použit v (SAFNWC, 2009b). Pokud naměřená/odhadnutá srážka měla vyšší hodnotu než 0 mm, byla jí přiřazena kategorická hodnota „ano“, v opačném případě „ne“.

Tab. 5.1: Kontingenční tabulka. Naměřená/odhadnutá událost znamená vyšší hodnotu než definovaný práh (0mm) pro hodinové srážkové úhrny.

Odhadnutá událost	Naměřená událost		
	Ano	Ne	Celkem
Ano	a	b	a + b
Ne	c	d	c + d
Celkem	a + c	b + d	a + b + c + d = n

Kvantitativní verifikace byla provedena pomocí průměrné chyby, střední absolutní chyby a střední kvadratické chyby:

- Průměrná chyba (ME; z angl. Mean Error)

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - O_i) \quad (4.7)$$

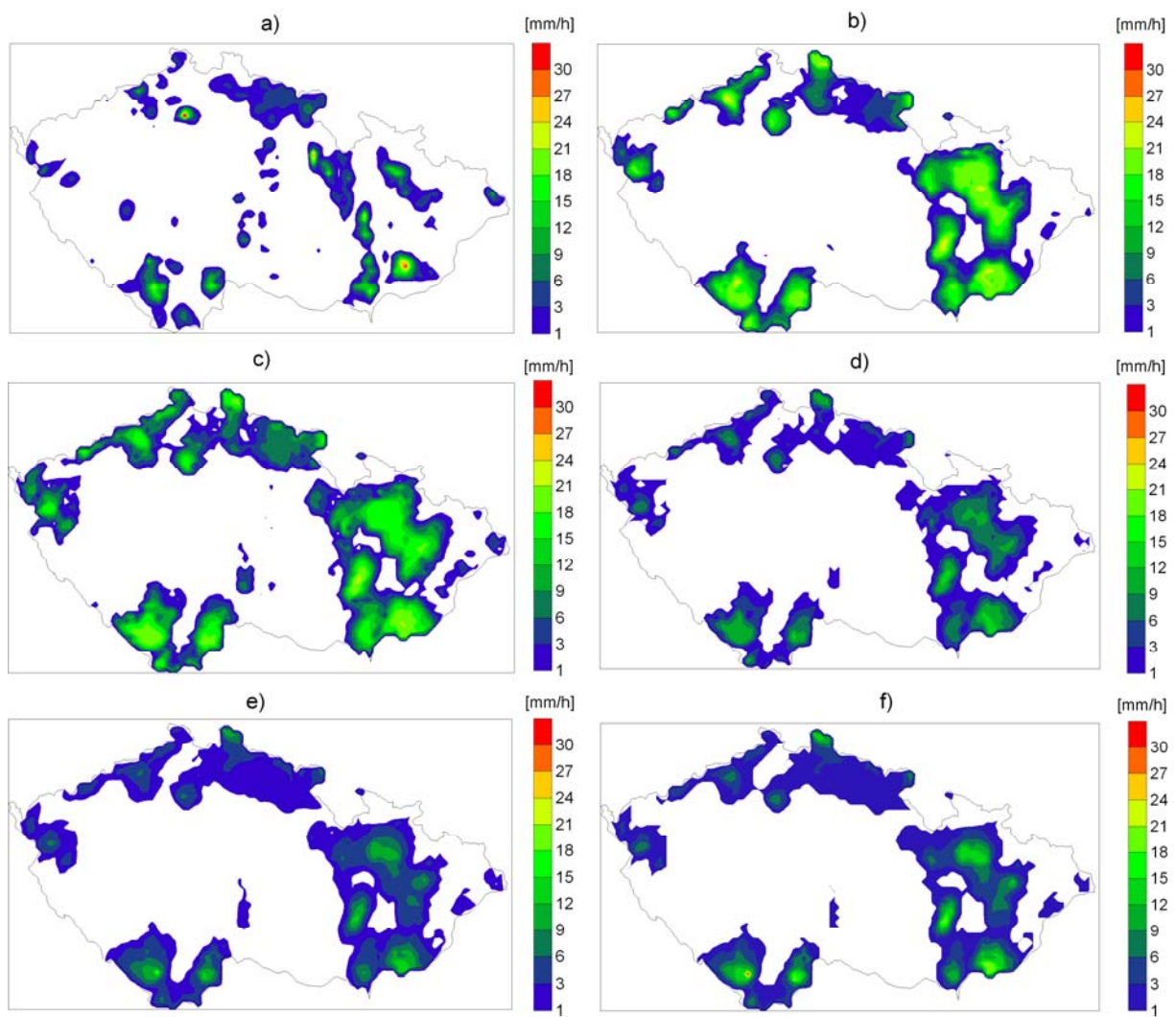
- Střední absolutní chyba (MAE; z angl. Mean Absolute Error)

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |E_i - O_i| \quad (4.8)$$

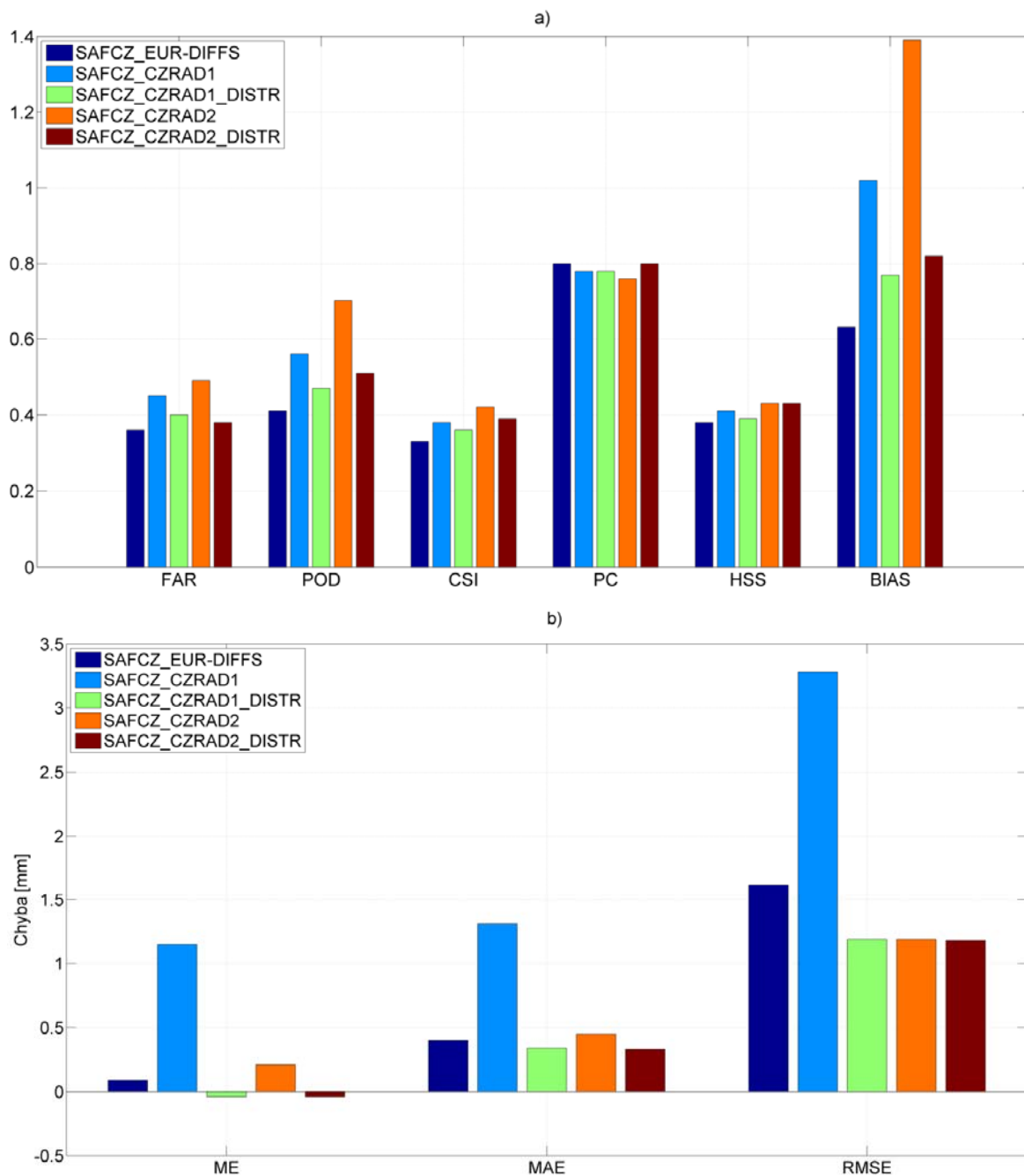
- Střední kvadratická chyba (RMSE; z angl. Root Mean Square Error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - O_i)^2}, \quad (4.9)$$

kde N je počet porovnávaných dvojic, E_i a O_i jsou odhadnuté a naměřené hodinové srážkové úhrny. Celkový počet verifikovaných dvojic byl $N = 922\,632$. Příklad hodinových úhrnů srážek od 12 do 13 UTC z 2. července 2009 pro různé metody DOS je znázorněn na obr. 4.4.



Obr. 4.4 Hodinové srážkové úhrny ze 2. července 2009, 12-13 UTC nad územím ČR. Obrázky znázorňují a) pozorované srážky počítané pro pixel 5 x 5 km, b) DOS vypočítané metodou SAF CZ_EUR-DIFFS, c) DOS vypočítané metodou SAF CZ_CZRAD1, d) DOS vypočítané metodou SAF CZ_CZRAD1_DISTR, e) DOS vypočítané metodou SAF CZ_CZRAD2, d) DOS vypočítané metodou SAF CZ_CZRAD2_DISTR.



Obr. 4.5 Porovnání výsledků verifikace hodinových úhrnů pro metody SAF CZ_EUR-DIFFS, SAF CZ_RAD1, SAF CZ_CZRAD1_DISTR, SAF CZ_RAD2 a SAF CZ_CZRAD2_DISTR. Obrázky ukazují a) výsledky kategorické verifikace z kontingenční tabulky – FAR, POD, CSI, PC, HSS a BIAS, b) velikosti chyb ME, MAE a RMSE.

5. ZÁVĚRY

Předkládaná disertační práce se zabývá studiem konvektivních srážek z pohledu distančních měření. Výzkum a získané výsledky jsou primárně orientovány na oblast ČR, kde jsou konvektivní situace pozorovány především v období od jarních do podzimních měsíců. Lepší porozumění plošné distribuci konvektivních srážek a studium vztahů mezi srážkami a distančními měřeními může významně zpřesnit velmi krátkodobou předpověď konvektivních srážek.

První část disertační práce prokázala, že srážkové úhrny dobře korelují s nadmořskou výškou, avšak tato závislost se ztrácí s rostoucí hodnotou intenzity srážek. Současně bylo ukázáno, že krátkodobé (1h) konvektivní srážky na nadmořské výšce nezávisí pro intenzity srážek od 20 mm/h. Plošné rozložení 6h úhrnů srážek dávalo vyšší koncentraci výskytu v oblasti jižních Čech, přičemž nejčtenější synoptické situace, které je způsobovaly, se jevily severozápadní cyklonální situace (NWC) a cyklóna nad střední Evropou (C).

Ve druhé části bylo představeno a srovnáno několik metod DOS s využitím CRR algoritmu. Kalibrace matic založená na datech z české radarové sítě zpřesnila vztahy mezi družicovými a radarovými odhady srážek pro oblast ČR. Nicméně, po začlenění kalibračních matic do CRR algoritmu dávaly DOS značné chyby z pohledu kvantitativní verifikace. Tyto chyby významným způsobem zredukovala aplikovaná metoda korekce rozdělení srážkových úhrnů.

Problémem, který byl prokázán již v dřívějších pracích zabývajících se hodnocením CRR algoritmu (např. Luque et al., 2006, SAFNWC, 2009b), zůstává skutečnost, že DOS nadhodnocují velikost srážkami zasažené oblasti a poloha nejvyšších hodnot srážkových odhadů zpravidla není shodná s polohou maximálních srážek odvozených z meteorologických radarů. Uvedený fakt je, kromě jiného, dán rozdílným rozsahem a prostorovou strukturou oblačného a srážkového pole spolu s nižším horizontálním rozlišením družicových dat.

Aplikace kalibračních matic odvozených z českých dat a aplikace korekce rozdělení vede ke zpřesnění DOS ve srovnání s původním algoritmem CRR.

V tomto ohledu je nutné hledat hlavní přínos předkládané disertační práce. Protože odhady srážek založené na radarových datech jsou nepochybně lepší, je nezbytné chápat odhady srážek odvozené z družicových dat pouze jako vedlejší zdroj informací.

Otevřenou otázkou je, zda získané DOS mohou být použity v kombinaci s radarovými a srážkoměrnými daty v případech, kdy dochází k velkému podcenění srážek způsobených útlumem, které se občas vyskytují. Jinou z možných cest dalšího využití DOS je jejich asimilace do numerického modelu počasí s vysokým rozlišením (např. model COSMO) (Sokol, 2009). Fakt, že prezentované metody jsou schopny určit oblasti s výskytem konvektivních srážek, lze využít při modelování oblačnosti.

6. POUŽITÁ LITERATURA

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2008. Plošné rozložení krátkodobých srážek na území České republiky s využitím meteorologických radarů. *Meteorologické zprávy*, **61**, 176-184.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2011a. The exploitation of Meteosat Second Generation data for convective storms over the Czech Republic. *Atmospheric research*, DOI: 10.1016/j.atmosres.2011.05.005.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2011b. Využití dat z meteorologické geostacionární družice Meteosat Second Generation k odhadu srážek ze silných konvektivních bouří. *Meteorologické zprávy*, **64**, 43-51.

BRÁZDIL, R., ŠTEKL, J., 1986. Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J. E. Purkyně, Brno, 298 s.

GROISMAN, P.Y. and LEGATES, D.R., 1994. The accuracy of United States precipitation data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **75**, 215-227.

HUNTER, S.M., 1996. WSR-88D radar rainfall estimation: Capabilities, limitations and potential improvements. *National Weather Digest*, **20**, s. 26-38.

- LAPIN, M. a PRIADKA, O., 1987. Korekcie systematických chýb merania atmosférických zrážok. *Meteorologické zprávy*, **40**, 9-19.
- LUQUE, A., GÓMEZ, I., MANSO, M., 2006. Convective rainfall rate multi-channel algorithm for Meteosat-7 and radar derived calibration matrices. *Atmósfera*, **19**, 145-168.
- MARSHALL, J.S., PALMER, W.McK., 1948. The distribution of raindrops with size. *J. Meteorol.*, **5**, 165-166.
- McFARLAND, M.J., 2008. Precipitation: Remote Sensing Measurement. Encyclopedia of Water Science, Second Edition.
- ŘEZÁČOVÁ, D., KAŠPAR, M., MÜLLER, M., SOKOL, Z., KAKOS, V., HANSLIAN, D., PEŠICE, P., 2005. A comparison of the flood precipitation episode in August 2002 with historic extreme precipitation events on the Czech territory. *Atmospheric Research*, **77**, 354–366.
- SAFNWC, 2009a: Algorithm Theoretical Basis Document for “Convective Rainfall Rate” (CRR - PGE05 v3.0).
- SAFNWC, 2009b. Validation report for “Convective Rainfall Rate” (CRR-PGE05 v3.0).
- SOBÍŠEK, B. a kol., 1993. Meteorologický slovník výkladový a terminologický. 1. vydání. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha. 594 s. ISBN 80-85368-45-5.
- SOKOL, Z. 2003a. Utilization of Regression Models for Rainfall Estimates Using Radar-Derived Rainfall Data and Rain Gauge Data. *Journal of Hydrology*, **278**, s.144-152.
- SOKOL, Z., 2003b. The use of radar and gauge measurements to estimate areal precipitation for several Czech river basins. *Studia Geophysica et Geodaetica*, Vol. **47**, s. 587-604.
- SOKOL, Z., 2009. Effects of an assimilation of radar and satellite data on a very short range forecast of heavy convective rainfalls. *Atmospheric research*, **93**, 188-206.

SOKOL, Z., BLIŽŇÁK, V., 2009: Areal distribution and precipitation-altitude relationship of heavy short-term precipitation in the Czech Republic in the warm part of the year. *Atmospheric Research*, **94**, 652-662.

SOLER, T., EISEMANN, D., W., 1994. Determination of Look Angles to Geostationary Communication Satellites. *Journal of Surveying Engineering*, **120**, 115-127.

ŠÁLEK, M., NOVÁK, P., SEO, D-J., 2004. Operational application of combined radar and raingauges precipitation estimation at the CHMI. ERAD 2004 proceedings, ERAD publication series, **2**, 16-20.

ŠTEKL, J., BRÁZDIL, R., KAKOS, V., JEŽ, J., TOLASZ, R., SOKOL, Z., 2001. Extrémní denní srážky na území České republiky v období 1879–2000 a jejich synoptické příčiny. Národní klimatický program ČR, sv. 31, Praha, 140 s.

TRUPL, J., 1958. Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Práce a studie, sešit 97. Praha, VÚV, 72 s.

1. INTRODUCTION

The term “rainfalls” refers to a wide range of hydrometeors representing one of the main parts of the water cycle in nature. In the classical concept, rainfalls are measured by rain gauges on land weather stations, which have become standard in rainfall measurements with respect to their long and widespread exploitation. The values measured by rain gauge stations are considered correct (so-called ground truth) in comparison with quantitative precipitation estimates derived from weather radars or satellites when rainfall totals are accumulated during longer periods (Hunter, 1996). It is important to emphasise that even values measured by rain gauges can be influenced by different kinds of systematic errors (these are detailed, e.g. in Lapin and Priadka, 1987; Groisman and Legates, 1994). However, measurements of rainfalls by rain gauges have limitations, especially for operative meteorological and hydrological purposes (McFarland, 2008). One of the main problems is the insufficient density of rain gauge stations, which do not have to catch local rainfalls falling from convective storms.

Research dealing with the study of convective rainfalls requires a more detailed structure of the horizontal field of rainfalls, which classical rain gauges are incapable of providing. Therefore, data derived from remote sensing (weather radars, satellites, etc.), that is without direct contact, are used. The advantage of these data is that spatially continuous information obtained at discreet times is provided, meaning measurements are performed on large area from one point in almost real time. It is necessary to note that methods based on remote sensing do not measure rainfalls, but physical quantities (e.g., the reflectivity of water droplets, radiation of the atmosphere, etc.), which can be transferred on quantitative precipitation estimates based on certain relationships. Data obtained in this way can be suitably corrected using special procedures (e.g., rainfall adjustment) and prepared for the next applications. Advantage of

these data is a high horizontal and time resolution in comparison with classical rain gauge networks.

2. AIMS OF THE STUDY

The presented thesis focuses on research of convective rainfalls using remote sensing data, which are capable of describing the time and spatial development of quickly developing convective clouds and related rainfalls. Remote sensing data are currently used as an input data into numerical weather prediction models (data assimilation), which have been shown to have a positive effect on very short-range forecasts (so-called nowcasting) of convective rainfalls. It can be an assimilation of radar reflectivity or satellite data.

The thesis deals with the quantitative and qualitative relationships between remote sensing measurements themselves and in relation to the detection of rainfalls. The aim of the first part of the thesis is to investigate the dependence of short-term heavy rainfall totals (1, 2, 3 and 6 h precipitation totals) on altitude along with the suitable expression of this dependence. Based on the obtained results, it is possible to determine whether there are patterns in the areal distribution of heavy short-term rainfalls for the Czech Republic (CR) and how the distribution of rainfalls is related to topography. The aim of the second part is to modify and improve the methods of satellite precipitation estimates (SPEs) from convective clouds for the area of the CR. Emphasis is placed on the involvement of all processes and phenomena influencing the resulting SPEs as well as an investigation and explanation of the uncertainties the SPEs include.

The processing methodology and presented results in the first part of the thesis stem from publications by Bližňák and Sokol (2008) and Sokol and Bližňák (2009), and in the second part, from Bližňák and Sokol (2011a) and Bližňák and Sokol (2011b).

3. DATA AND PROCESSING METHODOLOGY

Radar data

The first part of the thesis focuses on the exploitation of radar data. Hourly adjusted precipitation totals (a combination of radar and gauge data) were prepared as basic data for all boxes (1 x 1 km) covering the CR from the warm part of the year (from 1st April to 30th September) of the 7-year period (2002–2008). The radar reflectivities were measured by the Czech weather radar network CZRAD, which consists of two Doppler weather radars – Brdy and Skalky – which provided the basis for their computation. The horizontal resolution of radar data is 1 x 1 km, and the time step is 10 minutes. Radar reflectivities at 2 km above sea level (CAPPI 2 km), which are operationally computed by a linear interpolation from the two nearest PPI (Plan Position Indicator) levels, were used to calculate precipitation. The measured reflectivities were first transformed into rain rates through a standard Z-R relationship (Marshall, Palmer, 1948), and hourly and daily precipitation totals were calculated by time integration. The adjustment of precipitation totals was performed with the daily totals measured at the rain gauge stations using the modified ratio method (Sokol, 2003b) in the first part of the thesis; the MERGE method (Šálek et al., 2004), which is the official method used by the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI), was used in the second part of the thesis. The location and radius of both weather radars, along with the rain gauge stations used during the adjustment, are shown in Fig. 3.1.

Two types of n -hour precipitation totals ($n = 1, 2, 3$ and 6), which differed from each other in the process of preparation, were derived from the basic hourly precipitation. The first type of data, which we will mark as data A, was obtained by summing the hourly precipitation totals corresponding to n successive terms. All combinations of term measurements were used to prepare n -hourly precipitation totals regardless of whether the precipitation occurred or not. The second type of data (data B) represents n -hourly precipitation events

that were defined as n successive precipitation totals fulfilling the defined conditions, which ensured a selection of temporally bounded continuous precipitation events with an apparent increase and decrease of rain rates in the first and after the last hour, respectively, of n -hourly precipitation events. The fulfilment of this condition is typical for convective rainfalls.

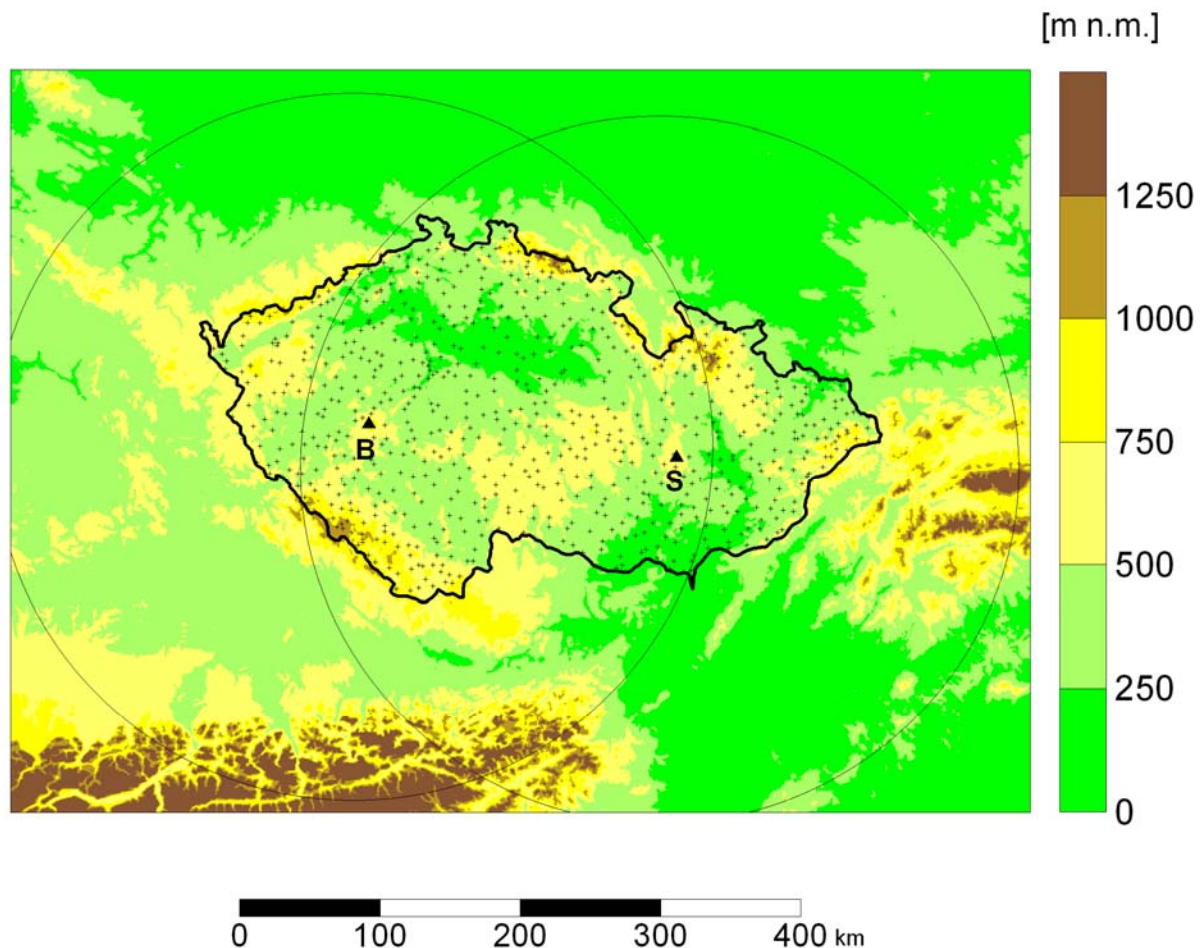


Fig. 3.1: The position of rain gauge stations with daily precipitation totals (+) and weather radars of CHMI – Brdy (B) and Skalky (S) (▲) with a radius of 260 km. The background of the domain, which is marked in CHMI as pacz23 and has a size of 728 x 528 km, is represented by topography.

The areal distribution of precipitation totals was evaluated separately for n -hour precipitation equal to or exceeding a threshold of $P = 0$ (without threshold), 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90 and 100 mm, which means that for $P = 0$, all data were summed. For data B, the thresholds were 5,

10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90 and 100 mm. For both data types, a maximum threshold of $P=50$ mm was applied to the hourly precipitation totals because insufficient data were available for larger thresholds.

Satellite data

In the second part of the thesis, attention is paid to the exploitation of satellite data measured by the geostationary meteorological satellite Meteosat Second Generation (MSG), with a temporal resolution of 15 minutes. The horizontal resolution of data depends on the angle view of the satellite, i.e., a horizontal resolution becomes worse with the decreasing angle. The area of the CR is scanned with a resolution of cca 4 x 6 km and 3 x 2 km in the HRV (High Resolution Visible) channel.

The satellite data were processed with the Convective Rainfall Rate (CRR) algorithm, which calculates SPEs from convective clouds. In addition to MSG data, the CRR algorithm also uses data from numerical weather prediction model (NWP data) and calibration matrices, which depend on values of the brightness temperatures of channels (or their difference) $IR_{10.8\mu}$, $IR_{10.8\mu} - WV_{6.2\mu}$ (further only BT) (2-D matrix) or $IR_{10.8\mu}$, BT and $VIS_{0.6\mu}$ (3-D matrices). The selection of a concrete calibration matrix depends on the sun zenith angle: a 3-D matrix is used during daytime (i.e., when the sun zenith angle is lower than 80°); when the sun zenith angle is at least 80° , it is no longer possible to use the channel in the visible spectrum and, therefore, a 2-D matrix is used. The structure of 2-D and 3-D matrices is described in Tables 3.1 and 3.2.

In the original version of the CRR algorithm, the calibration matrices were calculated using only Spanish and Nordic data. Two sets of matrices were created. The first was derived using the Spanish data and is intended to be used for latitudes lower than $45^\circ N$. The second matrix was calculated using the Nordic data and applies to regions above $55^\circ N$. For the areas between both parallels, which is also the area of the CR, a linear interpolation in latitude

between the Spanish and Nordic matrices was employed (further only SAFCZ_EUR-DIFFS method).

Tab. 3.1: 2-D calibration matrices structure.

Axis	Spectral band	Origin of axis	End of axis	Step	Number of intervals
x	BTD	-21°K	59°K	+2°K	41
y	IR10.8	203°K	303°K	+2°K	51

Tab. 3.2: 3-D calibration matrices structure.

Axis	Spectral band	Origin of axis	End of axis	Step	Number of intervals
x	BTD	-19°K	59°K	+2°K	40
y	VIS0.6	1%	99%	+2%	51
z	IR10.8	203K	275K	+4°K	19

A modification of the CRR algorithm for the area of the CR consisted of the calculation of calibration matrices using radar data from the Czech weather radar network CZRAD. The calibration was performed during 3 summer seasons (June – August) of the years 2006-2008. Because the area of the CR is scanned by MSG under a more inclined angle than Spain, 5 km by 5 km boxes were used for the conversion of rain rates derived from the radar measurements instead of the original 3 km by 3 km boxes, because the larger boxes better suit the horizontal resolution of the MSG data for Central Europe. Before the calibration, a parallax correction was applied to the MSG data (Soler, Eisemann, 1994). Cloud top height (CTH) was estimated using a vertical profile of the standard atmosphere.

The calibration matrices were calculated from the selected convective events according to the conditions described in SAFNWC (2009a). The assignment of rain rate values was performed using two methods. The first method (denoted as SAFCZ_CZRAD1) keeps the original calibration procedure as described in SAFNWC (2009a) and is based on the calculation of the probability of occurrence of maximal rain rate values in the boxes of 2-D and 3-D matrices. Because the resulting rain rates values were high, a subjective

correction was applied of all values in the matrices by coefficient 0.2, which showed the lowest systematic errors and at the same time retained reasonable rain rates values. The non-zero rain rates along with the high brightness temperatures of channel IR10.8 μ and the high BTD values were other shortcomings of the calculated matrices. Therefore, more or less subjective conditions, which had been selected based on several performed tests and stemmed from the assumption that convective clouds with low CTH and low reflectance should not produce rainfalls, were applied to the 2-D and 3-D matrices.

The second method (SAFCZ_CZRAD2) was based on a calculation of the mean values of observed rain rates for given combinations of values in spectral channels (i.e., pixels in the 2-D or 3-D matrix). The correction, which removed “unreal” rainfalls for high values of IR10.8 μ , BTD and low VIS0.6 μ , was performed in the same way as in the first method. The influence of flow or an inaccuracy in the parallax computation could be a potential reason for “unreal” rainfalls.

The realisation of the CRR algorithm included several steps. Based on the actual satellite data, a corresponding value of rain rates from the calibration matrices was assigned to a term. In the next steps, the value of instantaneous rain rates was modified using moisture correction, cloud growth rate correction, cloud-top temperature gradient correction and orographic correction. A parallax correction, whose procedure has already been mentioned, is also included in the algorithm. Information regarding relative humidity, total precipitable water and the horizontal and vertical fields of wind were obtained from the operatively exploited model ALADIN. Hourly SPEs were calculated by time integration of such modified values of instantaneous rain rates using a trapezoidal method.

Because SPEs obtained by the CRR algorithm show relatively high systematic errors, a distribution correction of precipitation totals was applied. The aim of this correction is to obtain a modified distribution of SPEs that

should be close to the distribution of observed values (Sokol, 2003a). We will denote the distribution correction applied to SPEs obtained by the first method as SAFCZ_CZRAD1_DISTR and by the second method as SAFCZ_CZRAD2_DISTR.

4. RESULTS AND DISCUSSION

Precipitation-altitude relationship

The relationship between hourly precipitation totals and altitude z lacked clarity and depends on the threshold value P (see Fig. 4.1). When all data A were considered (i.e., $P = 0$), the increase of precipitation totals along with the altitude was proven (Fig. 4.1 a)). However, this dependence decreased with increasing threshold P as shown in Fig. 4.1 c), e), g). For data B, i.e., for convective rainfalls, it was difficult to prove the dependence on altitude even for low precipitation totals, and it seems that the areal distribution of precipitation totals is more likely random (Fig. 4.2 a)). The areal distribution of hourly precipitation totals over the CR proves the mentioned relationships (Fig. 4.3). Data A with the threshold $P = 0$ illustrate well the influence of orography on the areal distribution of rainfalls. Higher values are mostly located in border regions bounded on higher altitudes; this dependence disappears with increasing threshold. Because the number of stations significantly differs at different altitudes, all pixels were divided into classes according to their altitudes, and a value of dependent variable y_P expressing the mean precipitation total was calculated for each class (see b), d), f), g) in Figs. 4.1 and 4.2).

The precipitation-altitude relationship was also evaluated by applying Spearman's rank correlation coefficient. The null hypothesis, which supposes that there is no relationship between y_P and z (i.e., the correlation is zero), was tested against three alternatives: the correlation is not zero; the correlation is greater than zero; and the correlation is less than zero. The results obtained at the 99% confidence level can be summarised as follows:

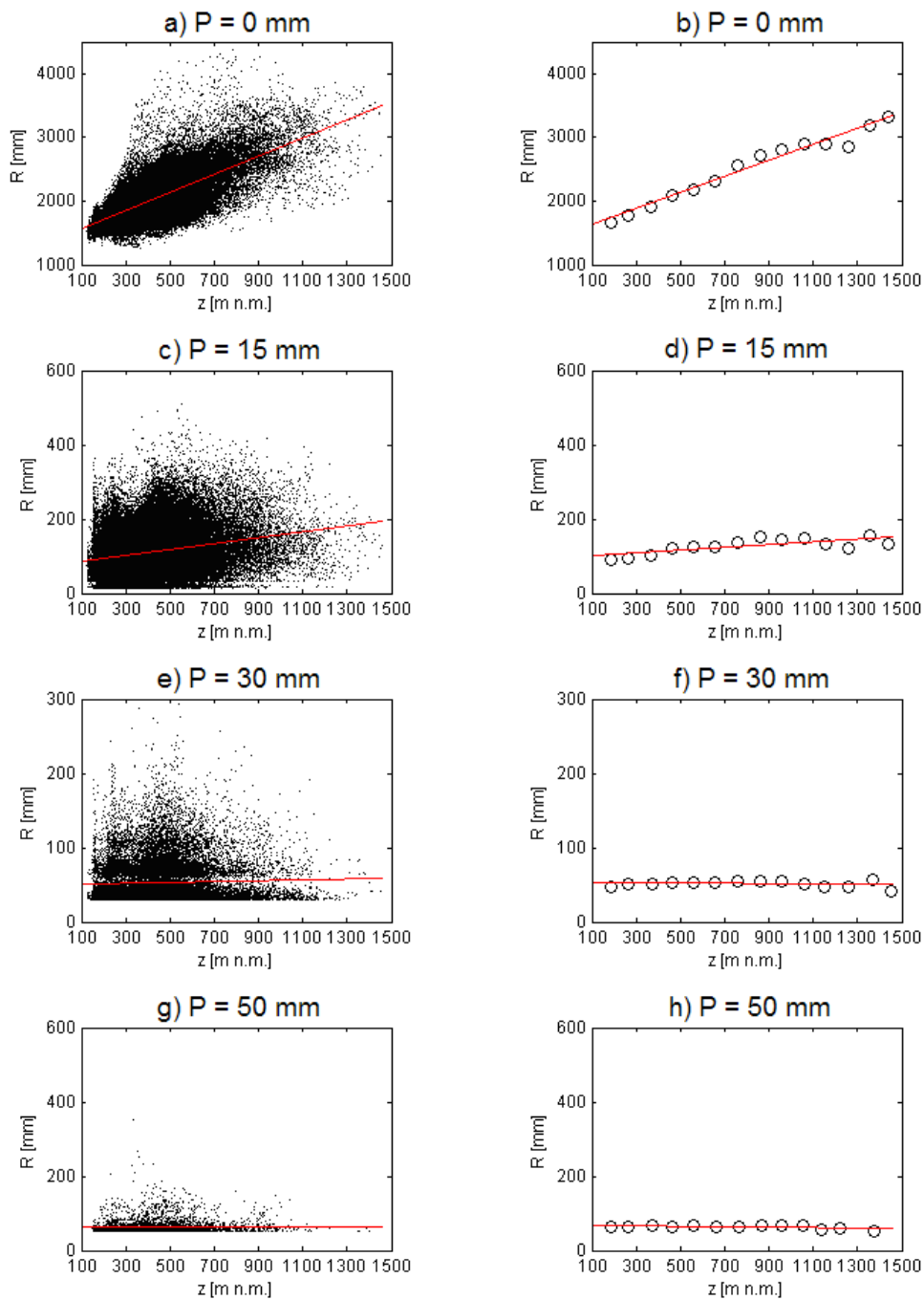


Fig. 4.1: The dependence of the summed hourly precipitation totals R on altitude z for data A. Subfigure a) shows the dependence of precipitation totals on altitude in all pixels. Subfigures c), e), and g) show precipitation totals equal to or higher than 15, 30 and 50 mm, respectively. Subfigures b), d), f), and h) show the dependence on altitude for hourly precipitation totals whose pixels are grouped in classes according to altitude. The subfigures correspond to low threshold values $P = 0, 15, 30$ and 50 mm. The red line in each graph represents the corresponding regression line.

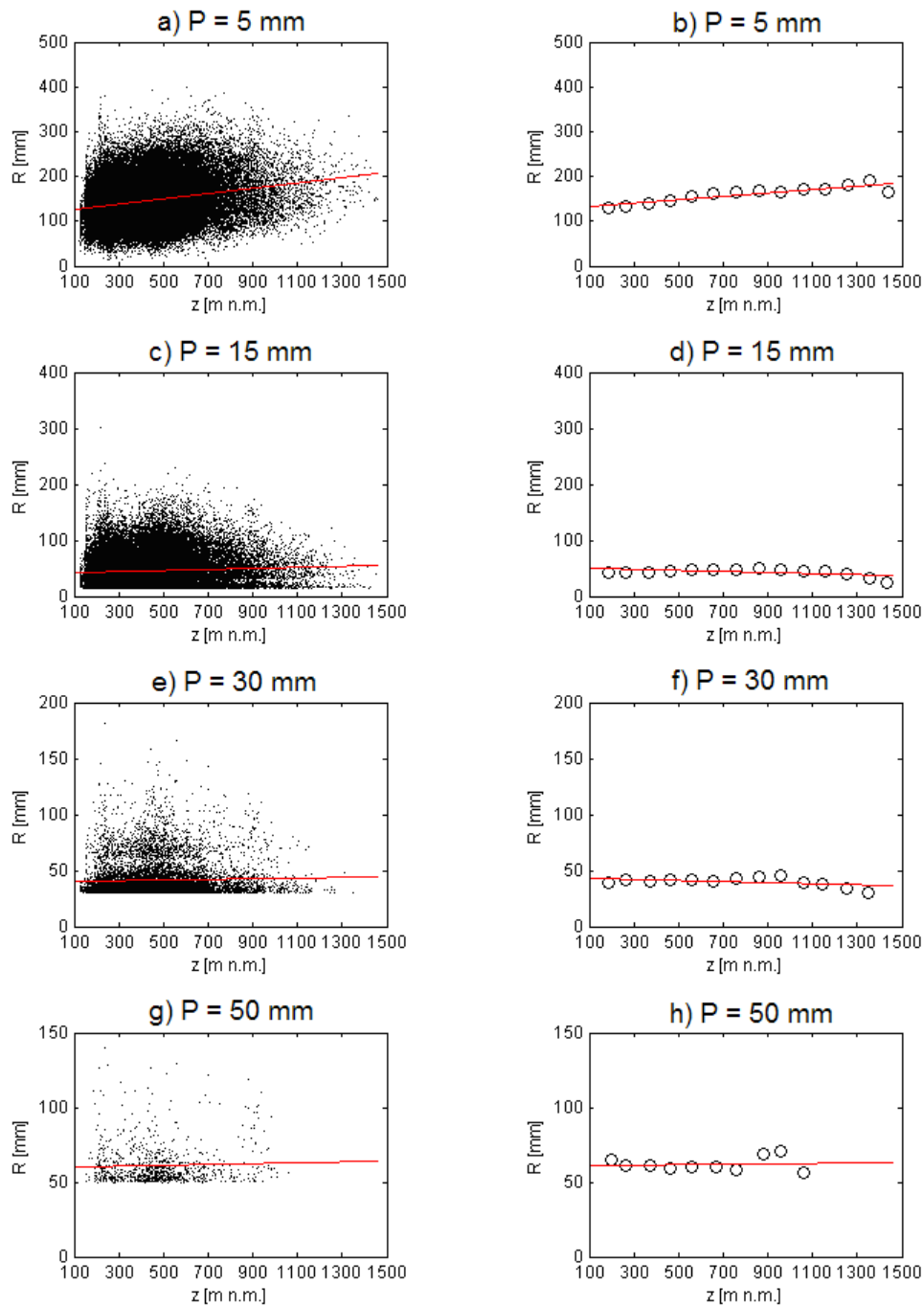


Fig. 4.2: The dependence of summed hourly precipitation totals R on altitude z for data B. Subfigure a) shows the dependence of precipitation totals on altitude in pixels with the threshold $P = 5$. Subfigures c), e), and g) show precipitation totals equal to or higher than 15, 30 and 50 mm. Subfigures b), d), f), and h) show the dependence on altitude for hourly precipitation totals whose pixels are grouped in classes according to altitude. These subfigures correspond to low threshold values $P = 5, 15, 30$ and 50 mm. The red line in each graph represents the corresponding regression line.

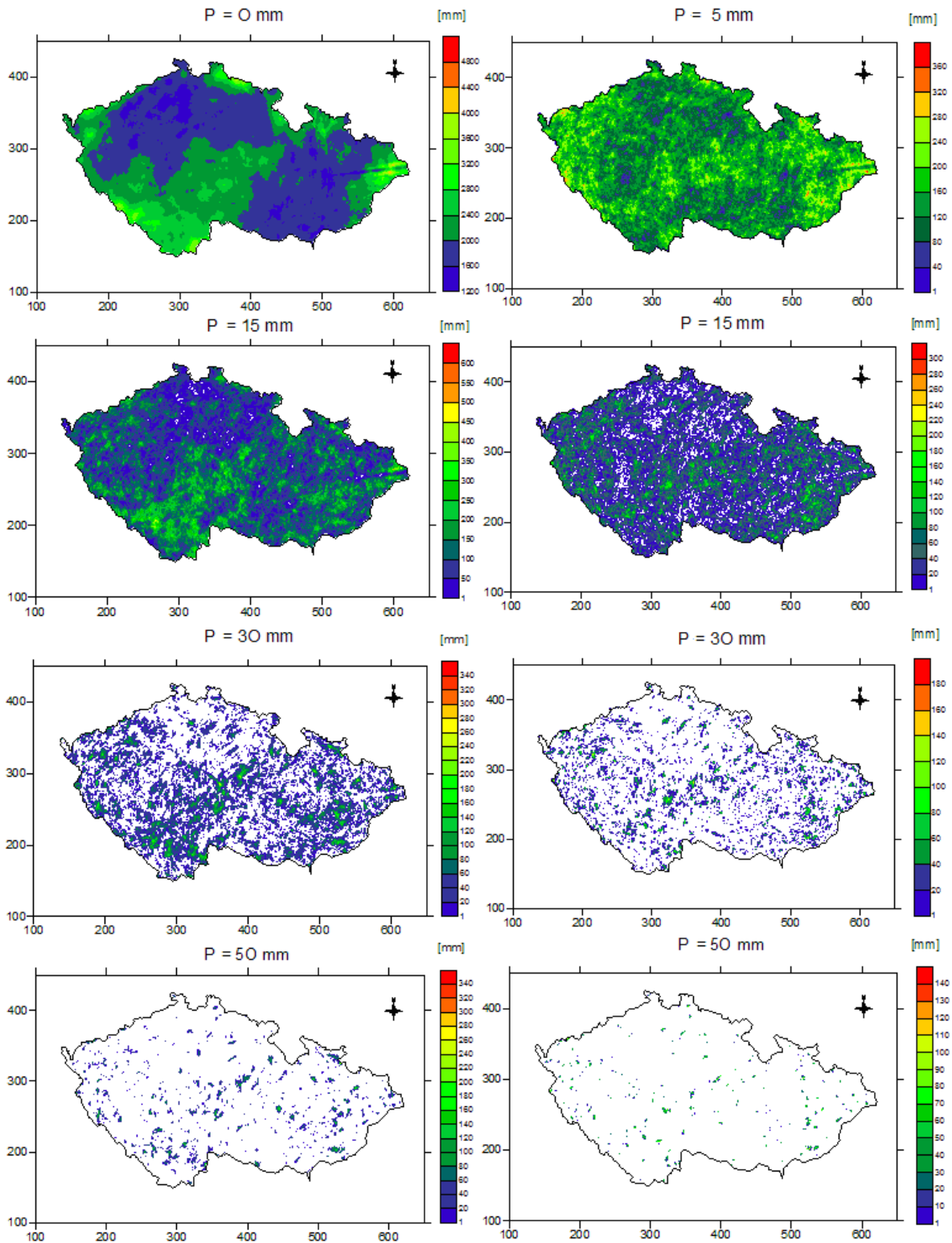


Fig. 4.3: Areal distribution of summed hourly precipitation totals for data A (left column) and data B (right column). The panels differ from each other by low threshold value P .

- For data A, no relationship between precipitation and altitude was found for hourly precipitation totals and $P \geq 20$ mm, for 2 h precipitation totals and $P \geq 40$ mm, for 3 h precipitation totals and $P \geq 50$ mm, and for 6 h precipitation totals and $P \geq 80$ mm.
- For data B, no relationship between precipitation and altitude was found for hourly precipitation totals and $P \geq 10$ mm, for 2 h precipitation totals and $P \geq 25$ mm, for 3 h precipitation totals and $P \geq 30$ mm, and for 6 h precipitation totals and $P \geq 30$ mm.

Areal distribution of short-term precipitations over the CR

Although it seems that the areal distribution of precipitation with high rain rates is random, it is possible to distinguish the subarea with higher values of precipitation totals in comparison with the rest of the CR. The area is particularly visible in the 6 h precipitation totals for data B, and we will denote this area as SB. This area partially coincides with the extreme precipitation and flooding events that occurred in Central Europe in August 2002 (Řezáčová et al., 2005). After removing this term, it was determined that the extreme precipitation totals partly contributed to the resulting sum of precipitation. However, the increased density of the precipitation totals was still evident in this area (for data A and B). It is therefore possible to suggest that the increased frequency of heavy precipitation in the SB area is a general fact. Precipitation events causing the high values of precipitation totals in this area were studied in more detail.

For the purposes of this analysis, only precipitation totals with the threshold $P = 40$ or higher were selected from the 6 h precipitation events (data B) in this area. In total, 26 cases were found. For these cases, an analysis was conducted of geopotential and wind fields, including wind shear, at different pressure levels prepared at the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) with a horizontal resolution of $0,5^\circ$ with the terms 00, 06, 12 and 18

UTC. These terms were selected to coincide with the selected precipitation events. The events did not have to come from the latter term than the beginning of precipitation event. Though there is a significant difference between investigated events, the most frequent synoptic patterns appeared the North West cyclone (NWC) and the cyclone over the Central Europe (C) according to the classification published in Brázdil and Štekl (1986). The NWC and C types are both characterised by wind shear, which was proven in the majority of investigated cases.

The trajectory of the Vb cyclone can also be a potential reason for the higher precipitation totals in the SB area with respect to the warm part of the year. In this case, the centre of the cyclone moves from the north of Italy and the Adriatic Sea northeastwards, whereas the flow is oriented counter clockwise. The area of the CR is then influenced by flow with the north component bringing higher precipitation totals into the areas of SB, Moravskoslezské Beskydy and Hrubý Jeseník (Brázdil and Štekl, 1986; Štekl et al., 2001). In this case, the so-called funnel effect can also have a greater influence (Sobíšek et al., 1993).

The obtained results only partially agree with Trupl (1958) where it was shown that hourly precipitation totals are generally higher in lowlands and uplands than in mountainous areas. In contrast, long-term precipitation totals are higher in mountainous areas than in lowlands. Although the results of our research show some degree of randomness in the distribution of heavy short-term precipitation totals, the Trupl (1958) study stemmed from data measured at 98 ombrographic stations (only 10 were located in mountainous areas), whereas the hourly intervals with high precipitation totals were selected randomly. In contrast, our data (data A) contained precipitation totals whose measurements had started at the beginning of each hour regardless of whether precipitation had occurred or not.

The exploitation of satellite data for convective precipitation estimates

Hourly SPEs obtained by the abovementioned methods were verified with hourly radar precipitation estimates using the MERGE method (Šálek et al., 2004) with a horizontal resolution of 5 km. The verification was performed on independent data set in the period from 23 June to 5 July 2009, when high convective phenomena activity had been observed, using subjective and objective methods.

The verification of hourly SPEs shows that the calibration process suggested in the manual (SAFNWC, 2009a) gives very high values of rain rates and generally overestimates precipitation estimates, which is why the suggested calibration process stems from theoretically maximal possible rain rates. Overall, the second calibration process (the method SAFCZ_CZRAD2) gave better results in the case of categorical verification, but it produced higher errors in case of quantitative verification. The areal overestimation of precipitation estimates was the main reason for these errors. The applied method of distribution correction significantly reduced these errors. This method (SAFCZ_CZRAD2_DISTR) appears to be the best according to the verification characteristics (Fig. 4.5) with respect to the original SAFCZ_EUR-DIFFS method.

The categorical verification of the obtained hourly SPEs stemmed from the characteristics of a contingency table (Tab. 5.1), as was undertaken in the validation report (SAFNWC, 2009b). The following categorical and quantitative measures were used during verification:

- The Critical Success Index (CSI), which measures the fraction of correctly estimated events from the total number of estimated events or observations

$$CSI = \frac{a}{a + b + c} \quad (4.1)$$

- The Percentage of Correct (PC), which indicates how many times the estimated event was correct:

$$PC = \frac{a + d}{a + b + c + d} \quad (4.2)$$

- The Probability of Detection (POD), which is the fraction of correctly estimated and all observed events:

$$POD = \frac{a}{a + c} \quad (4.3)$$

- The False Alarm Ratio (FAR), which measures the fraction of wrongly estimated events from all estimated events:

$$FAR = \frac{b}{a + b} \quad (4.4)$$

- The Heidke's Skill Score (HSS), which evaluates how many times the estimation is better in comparison with random selection (generally with reference strategy):

$$HSS = \frac{2(ad - bc)}{(a + c)(c + d) + (a + b)(b + d)} \quad (4.5)$$

- The Frequency BIAS index (BIAS), which measures the fraction of the number of events and number of estimated events:

$$BIAS = \frac{a + b}{a + c}, \quad (4.6)$$

where a , b , c and d are values from a contingency table (Table 5.1). The categorical values yes/no were assigned to the estimated and observed values of precipitation totals based on the same threshold 0 mm that had been used in SAFNWC (2009b). If the observed/estimated precipitation was higher than 0 mm, the categorical value “yes” was assigned; otherwise, “no” was assigned.

Tab. 5.1: Contingency table convention. Observed/estimated event indicates value higher than a given threshold (0 mm) for hourly precipitation totals.

Event estimated	Event observed		
	Yes	No	Marginal total
Yes	a	b	a + b
No	c	d	c + d
Marginal total	a + c	b + d	a + b + c + d = n

The Quantitative verification was performed using Mean Error, Mean Absolute Error and Root Mean Square Error:

- Mean Error (ME):

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - O_i) \quad (4.7)$$

- Mean Absolute Error (MAE):

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |E_i - O_i| \quad (4.8)$$

- Root Mean Square Error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (E_i - O_i)^2} \quad , \quad (4.9)$$

where N is the number of verified pairs, and E_i and O_i are the estimated and observed hourly precipitation totals, respectively. The total number of verified pairs was N = 922 632. An example of the hourly precipitation totals from 2 July 2009, from 12 to 13 UTC, for the different methods of SPEs is depicted in Fig. 4.4.

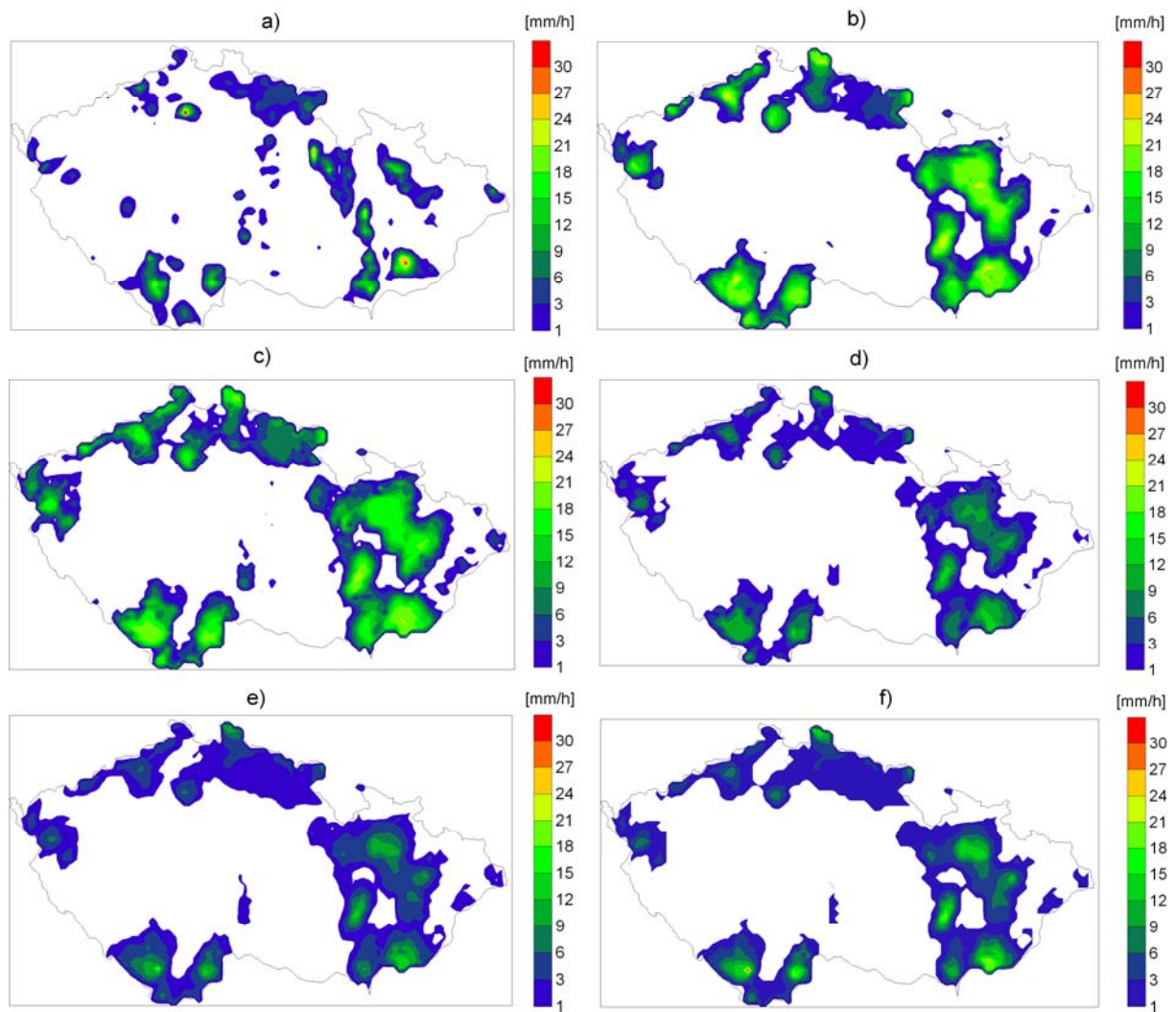


Fig. 4.4 Hourly precipitation totals from 2 July 2009, 12-13 UTC, over the area of the CR. Subfigure a) shows observed rainfalls in 5 km by 5 km boxes, b) shows the estimated rainfalls using the SAFFCZ_EUR-DIFFS method, c) shows the estimated rainfalls using the SAFFCZ_RAD1 method, d) shows the estimated rainfalls using the SAFFCZ_CZRAD1_DISTR method, e) shows the estimated rainfalls using the SAFFCZ_RAD2 method, and f) shows the estimated rainfalls using the SAFFCZ_CZRAD2_DISTR method.

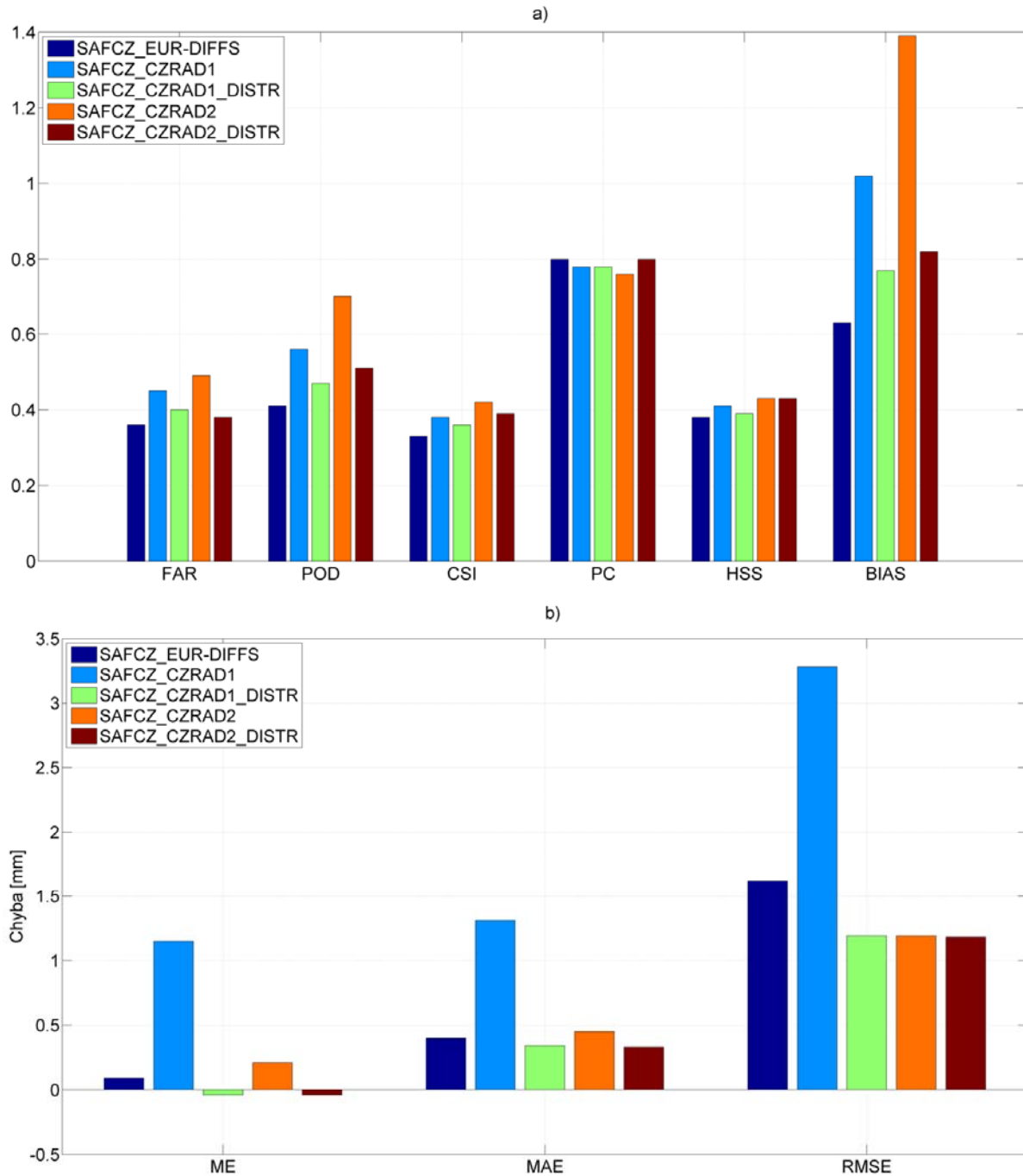


Fig. 4.5 Comparison of verification results of hourly precipitation totals for the methods *SAFCZ_EUR-DIFFS*, *SAFCZ_RAD1*, *SAFCZ_CZRAD1_DISTR*, *SAFCZ_RAD2* and *SAFCZ_CZRAD2_DISTR*. Subfigure a) shows the results of the categorical statistics from the contingency table – FAR, POD, CSI, PC, HSS and BIAS, and b) shows the results of the accuracy statistics ME, MAE and RMSE.

5. CONCLUSIONS

This thesis investigates of convective rainfalls from the viewpoint of remote sensing measurements point. The Research and obtained results are primarily oriented towards the area of the CR, where convective situations are observed mainly in the spring to autumn months. A better understanding of the areal distribution of convective rainfalls and the investigation of relationships between precipitation and remote sensing measurements can significantly improve very short-range forecasts of convective rainfalls.

The first part of the thesis proved that precipitation totals correlate with altitude, but this dependence decreases with increasing value of rain rates. It was also shown that short-term (1 h) convective rainfalls do not depend on altitude for rain rates from 20 mm/h. The areal distribution of 6 h precipitation totals gave higher concentrations of occurrence in the SB area, whereas the NWC and C, which caused these precipitation totals, were the most frequent synoptic patterns.

In the second part, several methods of SPEs were introduced and compared using the CRR algorithm. The calibration of matrices based on data from the Czech weather radar network improved relationships between satellite and radar precipitation estimates for the area of the CR. However, when the calibration matrices were included in the CRR algorithm, the SPEs gave considerable errors from the quantitative verification point of view. The applied method of distribution correction of precipitation totals significantly reduced these errors.

The fact that the SPEs overestimate the size of the precipitation area and that the positions of the highest SPE values generally do not agree with those of the estimates derived from weather radars is still a problem, one which has already been proved in former publications dealing with the evaluation of the CRR algorithm (e.g., Luque et al., 2006; SAFNWC, 2009b). Among other things, this fact is given by different coverage and spatial structure of cloud and precipitation field and the lower horizontal resolution of the satellite data.

The application of calibration matrices derived from the Czech data and the application of the distribution correction lead to the improvement of SPEs in comparison with the original version of the CRR algorithm. The main benefit of this thesis should be seen in this respect. Because precipitation estimates based on radar data are undoubtedly better, it is necessary to take precipitation estimates derived from satellite data as a supplementary source of information.

The open question is whether SPEs can be used in combination with radar and rain gauge data in cases where a high underestimation of precipitation caused by attenuation is observed, which sometimes occurs. Another application of the next exploitation of SPEs is their assimilation into a numerical weather prediction model with a high horizontal resolution (i.e., model COSMO) (Sokol, 2009). That the introduced methods are able to determine areas with an occurrence of convective rainfalls possibly makes them useful for cloud modelling.

6. REFERENCES

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2008. Plošné rozložení krátkodobých srážek na území České republiky s využitím meteorologických radarů. *Meteorologické zprávy*, **61**, 176-184.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2011a. The exploitation of Meteosat Second Generation data for convective storms over the Czech Republic. *Atmospheric research*, DOI: 10.1016/j.atmosres.2011.05.005.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2011b. Využití dat z meteorologické geostacionární družice Meteosat Second Generation k odhadu srážek ze silných konvektivních bouří. *Meteorologické zprávy*, **64**, 43-51.

BRÁZDIL, R., ŠTEKL, J., 1986. Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR. Univerzita J. E. Purkyně, Brno, 298 s.

- GROISMAN, P.Y. and LEGATES, D.R., 1994. The accuracy of United States precipitation data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **75**, 215-227.
- HUNTER, S.M., 1996. WSR-88D radar rainfall estimation: Capabilities, limitations and potential improvements. *National Weather Digest*, **20**, s. 26-38.
- LAPIN, M. a PRIADKA, O., 1987. Korekcie systematických chýb merania atmosférických zrážok. *Meteorologické zprávy*, **40**, 9-19.
- LUQUE, A., GÓMEZ, I., MANSO, M., 2006. Convective rainfall rate multi-channel algorithm for Meteosat-7 and radar derived calibration matrices. *Atmósfera*, **19**, 145-168.
- MARSHALL, J.S., PALMER, W.McK., 1948. The distribution of raindrops with size. *J. Meteorol.*, **5**, 165-166.
- McFARLAND, M.J., 2008. Precipitation: Remote Sensing Measurement. Encyclopedia of Water Science, Second Edition.
- ŘEZÁČOVÁ, D., KAŠPAR, M., MÜLLER, M., SOKOL, Z., KAKOS, V., HANSLIAN, D., PEŠICE, P., 2005. A comparison of the flood precipitation episode in August 2002 with historic extreme precipitation events on the Czech territory. *Atmospheric Research*, **77**, 354–366.
- SAFNWC, 2009a: Algorithm Theoretical Basis Document for “Convective Rainfall Rate” (CRR - PGE05 v3.0).
- SAFNWC, 2009b. Validation report for “Convective Rainfall Rate” (CRR-PGE05 v3.0).
- SOBÍŠEK, B. a kol., 1993. Meteorologický slovník výkladový a terminologický. 1. vydání. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha. 594 s. ISBN 80-85368-45-5.
- SOKOL, Z. 2003a. Utilization of Regression Models for Rainfall Estimates Using Radar-Derived Rainfall Data and Rain Gauge Data. *Journal of Hydrology*, **278**, s.144-152.

SOKOL, Z., 2003b. The use of radar and gauge measurements to estimate areal precipitation for several Czech river basins. *Studia Geophysica et Geodaetica*, Vol. **47**, s. 587-604.

SOKOL, Z., 2009. Effects of an assimilation of radar and satellite data on a very short range forecast of heavy convective rainfalls. *Atmospheric research*, **93**, 188-206.

SOKOL, Z., **BLIŽŇÁK, V.**, 2009: Areal distribution and precipitation-altitude relationship of heavy short-term precipitation in the Czech Republic in the warm part of the year. *Atmospheric Research*, **94**, 652-662.

SOLER, T., EISEMANN, D., W., 1994. Determination of Look Angles to Geostationary Communication Satellites. *Journal of Surveying Engineering*, **120**, 115-127.

ŠÁLEK, M., NOVÁK, P., SEO, D-J., 2004. Operational application of combined radar and raingauges precipitation estimation at the CHMI. ERAD 2004 proceedings, ERAD publication series, **2**, 16-20.

ŠTEKL, J., BRÁZDIL, R., KAKOS, V., JEŽ, J., TOLASZ, R., SOKOL, Z., 2001. Extrémní denní srážky na území České republiky v období 1879–2000 a jejich synoptické příčiny. Národní klimatický program ČR, sv. 31, Praha, 140 s.

TRUPL, J., 1958. Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. Práce a studie, sešit 97. Praha, VÚV, 72 s.

Curriculum vitae

Příjmení a jméno Vojtěch Bližňák
E-mail: bliznak@ufa.cas.cz
Mobilní telefon: (+420)777848364
Státní příslušnost: Česká republika
Datum narození: 16.7.1983

Pracovní zkušenosti

Období: leden 2008 - současnost
Povolání nebo vykonávaná funkce: doktorand na vědecko-výzkumné instituci
Hlavní pracovní náplň a oblasti odpovědnosti: vědecká práce (zpracování, analýza a vyhodnocování naměřených dat, psaní odborných článků) v oblasti meteorologie
Název/jméno a adresa zaměstnavatele: Ústav fyziky atmosféry Akademie věd ČR, Boční II 1401, 141 31 Praha 4
Obor činnosti či odvětví: Oddělení meteorologie

Vzdělání, odborná příprava a školení

Období: Zář 2007 – současnost
Studijní záměr: Interní postgraduální studium v doktorském studijním programu „Fyzická geografie“. Téma disertační práce: „Využití distančních měření při analýze stavu a vývoje srážek“
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání, odbornou přípravu či kurz: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2, Česká republika
Úroveň vzdělání v národní nebo mezinárodní klasifikaci: ISCED 6

Období: Listopad 2010
Dosažená kvalifikace: Doktor přírodních věd / RNDr.
Studijní záměr: Rigorózní řízení ve studijním programu „Fyzická geografie“. Téma rigorózní práce: „Analýza krátkodobých srážek a jejich vztah k orografii České republiky“ (diplomová práce uznána jako rigorózní)
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání, odbornou přípravu či kurz: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2, Česká republika

Úroveň vzdělání v národní nebo mezinárodní klasifikaci	ISCED 5A
Období Studijní záměr	Září 2009 – Listopad 2009 Stipendijní pobyt na výzkumné zahraniční instituci „Centre National de Recherches Météorologiques“, Météo-France, Toulouse, Francie. Téma práce: „Vliv radarových odhadů srážek na složky hydrologické bilance v platformě SURFEX“
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání, odbornou přípravu či kurz	Francouzské velvyslanectví v České republice, Oddělení pro kulturu a spolupráci, Sekce pro vědeckou a univerzitní spolupráci, Štěpánská 35, 111 21 Praha 1, Česká republika
Úroveň vzdělání v národní nebo mezinárodní klasifikaci	ISCED 6
Období Dosažená kvalifikace Studijní záměr	Září 2005 – Září 2007 Magistr / Mgr. Interní studium v magisterském studijním programu „Fyzická geografie“. Téma diplomové práce: „Analýza krátkodobých srážek a jejich vztah k orografii České republiky“
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání, odbornou přípravu či kurz	Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2, Česká republika
Úroveň vzdělání v národní nebo mezinárodní klasifikaci	ISCED 5A
Období Studijní záměr	Září 2006 – Leden 2007 Studijní zahraniční stáž Socrates / Erasmus – geomorfologie, hydrologie, studium přírodních rizik
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání, odbornou přípravu či kurz	Université Louis Pasteur, Faculté de géographie et d'aménagement, Rue de l'Argonne 3, Strasbourg, Francie
Úroveň vzdělání v národní nebo mezinárodní klasifikaci	ISCED 5A

Období	Září 2002 – Srpen 2005
Studijní záměr	Interní studium v magisterském studijním programu „Fyzická geografie a geoekologie“
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání, odbornou přípravu či kurz	Ostravská univerzita v Ostravě, Přírodovědecká fakulta, Katedra fyzické geografie a geoekologie, Chittussiho 10, 710 00 Ostrava - Slezská Ostrava, Česká republika
Úroveň vzdělání v národní nebo mezinárodní klasifikaci	ISCED 5A
Období	Září 1998 – Červen 2002
Dosažená kvalifikace	Maturita
Studijní záměr	Gymnázium čtyřleté všeobecné
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání, odbornou přípravu či kurz	Gymnázium Zlín, Náměstí T. G. Masaryka 2734-9, 760 01 Zlín
Úroveň vzdělání v národní nebo mezinárodní klasifikaci	ISCED 3A
Řešené granty	GA UK 43-258018: Analýza krátkodobých srážek na území České republiky. 2008-2010, hlavní řešitel GA ČR 205/07/0905: Využití distančních měření při modelování a monitorování silných konvektivních bouří. 2007-2011, spoluřešitel
Příspěvky na konferencích	Bližňák, V., Sokol, Z., 2011. The exploitation of Convective Rainfall Rate algorithm from SAF NWC for the area of the Czech Republic. <i>The 2011 EUMETSAT Meteorological Satellite Conference</i> , Oslo, Norsko. Bližňák, V., Sokol, Z., 2011. The exploitation of Convective Rainfall Rate algorithm from SAF NWC for the area of the Czech Republic. <i>European Geosciences Union General Assembly 2011</i> , Vídeň, Rakousko. Bližňák, V., Sokol, Z., 2010. A development of MSG data calibration procedure using Czech rainfall radar data. <i>10th International Precipitation Conference</i> , Coimbra, Portugalsko. Bližňák, V., Sokol, Z., 2009. Relationships between

data measured by weather radars and Meteosat Second Generation for convective storms. *8th International Workshop on Precipitation in Urban Areas*, St. Moritz, Švýcarsko.

Bližňák, V., Sokol, Z., 2009. Relationships between data measured by weather radars and Meteosat Second Generation for convective storms. *5th European Conference on Severe Storms*, Landshut, Německo.

Bek, S. Ježek, J., **Bližňák, V.**, 2009. Spatial properties of heavy short-term rainfalls: Processing the czech radar data in the warm part of 2008. *European Geosciences Union General Assembly 2009*, Vídeň, Rakousko.

Bližňák, V., Sokol, Z., 2009. Relationships between data measured by weather radars and Meteosat Second Generation for convective storms. *European Geosciences Union General Assembly 2009*, Vídeň, Rakousko.

Bližňák, V., Sokol, Z., 2008. Areal distribution of heavy short-term rainfalls in the Czech republic in the warm part of the year. *10th Plinius Conference on Mediterranean Storms*, Nicosia, Kypr.

Bližňák, V., Sokol, Z., 2008. Areal distribution of heavy short-term rainfalls in the Czech republic. *European Geosciences Union General Assembly 2008*, Vídeň, Rakousko.

Pedagogická činnost Aktuální otázky z meteorologie, klimatologie a ochrany ovzduší – přednáškový cyklus pro studenty bakalářského a magisterského studia na PřF UK

Redakční činnost Pomocný editor v redakci odborného časopisu „Central European Journal of Geosciences“

Jazykové znalosti

Mateřský jazyk

Jiné jazyky

český jazyk

anglický jazyk

francouzský jazyk

španělský jazyk

Jazykové zkoušky

First Certificate in English (FCE)

Diplôme d'études en langue française (DELF B1)

Seznam publikací / Selected publications:

BLIŽŇÁK, V., 2007. Analýza krátkodobých srážek a jejich vztah k orografii České republiky. Diplomová práce na PřF UK. Praha, 207 s.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2008. Plošné rozložení krátkodobých srážek na území České republiky s využitím meteorologických radarů. *Meteorologické zprávy*, **61**, 176-184.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2009. Relationships between data measured by weather radars and Meteosat Second Generation for convective storms. 8th International Workshop on Precipitation in Urban Areas, St. Moritz, Switzerland, s. 32-36, ISBN 978-3-909386-27-7.

SOKOL, Z., **BLIŽŇÁK, V.**, 2009: Areal distribution and precipitation-altitude relationship of heavy short-term precipitation in the Czech Republic in the warm part of the year. *Atmospheric Research*, **94**, 652-662.

BEK, S., JEŽEK, J., **BLIŽŇÁK, V.**, 2010. Spatial relationships of heavy rains in the Czech Republic. *Advances in Geosciences*, **25**, s. 85-90.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2011a. The exploitation of Meteosat Second Generation data for convective storms over the Czech Republic. *Atmospheric research*, DOI: 10.1016/j.atmosres.2011.05.005.

BLIŽŇÁK, V., SOKOL, Z., 2011b. Využití dat z meteorologické geostacionární družice Meteosat Second Generation k odhadu srážek ze silných konvektivních bouří. *Meteorologické zprávy*, **64**, 43-51.

MAHFOUF, J.-F., **BLIŽŇÁK, V.**, 2011. Combined assimilation of screen-level observations and radar-derived precipitation for soil moisture analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **137**, 709-722. DOI: 10.1002/qj.791.