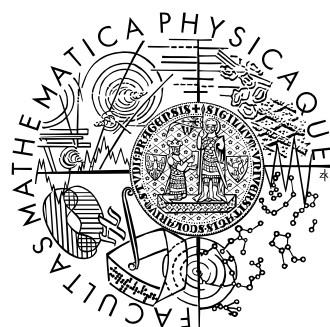


Univerzita Karlova v Praze
Matematicko-fyzikální fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE



Bc. Zuzana Rulfová

Změny vybraných charakteristik srážek z konvekční a vrstevnaté oblačnosti

Katedra meteorologie a ochrany prostředí

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jan Kyselý, Ph.D., ÚFA AV ČR

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Meteorologie a klimatologie

2010

Děkuji svému vedoucímu dr. Kyselému za odborné vedení práce a věcné připomínky a Bc. Romanu Fialovi za pomoc s programováním.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci napsala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 16. 4. 2010

Zuzana Rulfová

Obsah

Úvod	1
1. Atmosférické srážky	3
1.1 Vznik a vývoj srážek.....	3
1.2 Vrstevnaté a konvekční srážky.....	5
1.3 Chod a rozložení srážek.....	5
1.4 Trendy průměrných a silných srážek.....	9
2. Rozlišení srážek	12
2.1 Způsoby rozlišení srážek.....	12
2.2 Použitá data.....	13
2.3 Algoritmus rozlišení srážek.....	16
2.4 Výsledky algoritmů.....	22
3. Analýza trendů charakteristik srážek	29
3.1 Trendy konvekčních srážek.....	30
3.2 Trendy vrstevnatých srážek.....	36
3.3 Souhrn a diskuze výsledků.....	41
Závěr	45
Literatura	46

Název práce: Změny vybraných charakteristik srážek z konvekční a vrstevnaté oblačnosti

Autor: Bc. Zuzana Rulfová

Katedra (ústav): Katedra meteorologie a ochrany prostředí

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jan Kyselý, Ph.D., ÚFA AV ČR

e-mail vedoucího: kysely@ufa.cas.cz

Abstrakt: Ve střední Evropě jsou v posledních desetiletích pozorovány některé významné trendy atmosférických srážek. Minimální pozornost byla zatím věnována tomu, do jaké míry tyto trendy souvisí se změnami vrstevnatých a konvekčních srážek. Tato práce se zabývá rozlišením srážek podle původu na konvekční a vrstevnaté na základě údajů databáze SYNOP na 10 stanicích v ČR. Takto rozlišené srážky byly analyzovány a byly zjišťovány trendy celkových a silných srážek v jednotlivých sezónách za období 1982–2005.

U konvekčních srážek byl v západní části ČR kromě jara pozorován nárůst v charakteristikách celkových srážek a u silných srážek kromě podzimu (nárůst) a zimy (nepřevažuje žádný trend) pokles. Ve východní části země narůstají celkové srážky (vyjma zimy) a silné srážky mají kromě jara klesající trend. U vrstevnatých srážek převažuje ve všech charakteristikách celkových i silných srážek v celé České republice rostoucí trend. Výjimku tvoří jarní období, kdy je trend klesající.

Klíčová slova: vrstevnaté srážky, konvekční srážky, analýza trendů, Česká republika

Title: Changes in selected characteristics of precipitation from convective and stratiform cloudiness

Author: Bc. Zuzana Rulfová

Department: Department of Meteorology and Environment Protection

Supervisor: RNDr. Jan Kyselý, Ph.D., ÚFA AV ČR

Supervisor's e-mail address: kysely@ufa.cas.cz

Abstract: Significant trends in some characteristics of atmospheric precipitation have been observed in central Europe in recent decades. Little attention has been paid to the investigation whether these trends are related to changes of precipitation falling from

convective and stratiform cloudiness. This thesis deals with disaggregation of precipitation into convective and stratiform on the basis of the database of 10 SYNOP stations in the Czech Republic. The differentiated precipitation amounts were analyzed with respect to trends of total and heavy rainfall in individual seasons for the period 1982-2005.

For convective precipitation in the western part of the Czech Republic, the observed trend is increasing in total precipitation, except for spring, and declining in heavy rainfall, except for fall and winter. In the eastern part of the Czech Republic, the total amounts are increasing (except for winter) and heavy rainfall is decreasing, except for spring. For stratiform precipitation, the growing trend prevails in all the characteristics of the total and heavy rainfall throughout the Czech Republic. The exception is the spring season with the downward trend.

Keywords: stratiform precipitation, convective precipitation, trend analysis, Czech Republic

Úvod

Klimatický systém Země je velmi složitý a celá řada dějů v něm probíhajících se vzájemně ovlivňuje. Klima Země se měnilo během celé historie planety, ale větší zájem projevila veřejnost až v osmdesátých letech 20. století, kdy se ve větší míře začala řešit otázka změny klimatu související s nárůstem CO₂ a dalších skleníkových plynů.

Takzvané globální oteplování není jedinou změnou, která je v posledních letech pozorována a studována. Zvýšená teplota vzduchu i zemského povrchu vede k silnějšímu vypařování a k většímu obsahu vlhkosti v atmosféře. Předpokládá se, že by to mohlo mít za následek nárůst intenzity tropických i mimotropických bouří a vyšší intenzitu srážek. Obecně se očekává nárůst extremity projevů počasí [1].

Změny v rozložení a intenzitě srážek během roku mohou vyvolat řadu problémů. Přebytek srážek během některých období stejně jako velmi intenzivní srážky mohou způsobovat povodně, které vedou k velkým materiálním ztrátám a někdy i ztrátám na životech. Naopak nedostatek srážek přispívá k vzniku období sucha, což vede v době vegetačního růstu k velkým ztrátám v zemědělství, lesnictví a k nedostatku vody.

Ve střední Evropě jsou v posledních desetiletích pozorovány některé významné trendy atmosférických srážek, např. nárůst celkových srážkových úhrnů v zimě a pokles na jaře a v létě, nárůst intenzity vysokých srážkových úhrnů v zimě, zvyšování četnosti a intenzity sucha ve vegetačním období aj.

Tyto trendy mohou do určité míry souviset jak se změnami atmosférické cirkulace, tak se změnou klimatu vyvolanou měnicími se radiačními vlastnostmi atmosféry. Minimální pozornost byla dosud věnována tomu, do jaké míry trendy sezónních srážkových úhrnů a dalších charakteristik souvisejí se změnami četnosti/intenzity srážek z konvekční a vrstevnaté oblačnosti.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je využít databázi zpráv SYNOP (6-hodinové úhrny srážek, informace o stavu počasí a oblačnosti) v síti vybraných stanic na území ČR k určení vlivu srážek z konvekční a vrstevnaté oblačnosti na změny vybraných srážkových charakteristik. Dílčí cíle jsou:

- 1) navrhnout a otestovat kritéria pro rozlišení 6-hodinových srážek podle jejich původu na srážky z konvekční/vrstevnaté oblačnosti a na smíšené případy;
- 2) analyzovat trendy charakteristik srážek z konvekční/vrstevnaté oblačnosti, a to zejména celkových sezónních/měsíčních úhrnů, počtu dní/termínů se srážkami a vybraných charakteristik srážkových extrémů;
- 3) srovnat takto určené trendy se změnami klimatologických charakteristik atmosférických srážek v ČR.

Práce je příspěvkem k analýze proměnlivosti a změny klimatu ve střední Evropě.

1. Atmosférické srážky

1.1 Vznik a vývoj srážek

Podle meteorologického slovníku [2] rozumíme pod pojmem atmosférické srážky částice vzniklé následkem kondenzace vodní páry v atmosféře, na povrchu země nebo na předmětech v kapalně nebo pevné fázi. Rozlišujeme srážky padající (vertikální) a usazené (horizontální). Mezi padající srážky patří déšť, mrznoucí déšť, mrholení, mrznoucí mrholení, krupky, sníh, sněhové krupky, sněhová zrna, zmrzlý déšť, ledové jehličky a kroupy. Srážky usazené jsou rosa, zmrzlá rosa, jíní, jinovatka, námraza a ledovka. Srážky vypadávající, ale nedosahující zemského povrchu se označují jako virga (srážkové pruhy).

Ochlazením vzduchu může dosáhnout vodní pára v něm obsažená stavu nasycení. Stane-li se tak, dojde ke kondenzaci a k vytvoření malých vodních kapiček neboli oblačných elementů, jež tvoří oblak. Hlavními příčinami ochlazení vzduchu jsou vzestupné pohyby a izobarické ochlazování. Při vzestupných pohybech dochází k rozpínání a přibližně k adiabatickému ochlazování vzduchu. V určité výšce označované jako kondenzační hladina se vzduch nasytí a při dalším výstupu začne vodní pára kondenzovat. Takto vzniká například konvekční, orografická a vrstevnatá oblačnost a frontální systémy oblačnosti. Izobarické ochlazování nastává v určitých vzduchových vrstvách v atmosféře, v nichž teplota klesne pod teplotu rosného bodu a dojde ke kondenzaci vodní páry. Tímto způsobem vzniká například tzv. podinverzní oblačnost pod výškovými teplotními inverzemi.

Z termodynamických zákonitostí i laboratorních experimentů vyplývá, že v homogenním plynném prostředí je vznik kapiček vody spontánním spojováním molekul H_2O energeticky náročným a statisticky nepravděpodobným dějem. Ke kondenzaci by docházelo až při přesycení řádově několik set procent (400–800%). V reálné atmosféře však dochází ke kondenzaci už při stoprocentním nasycení vodní páry vůči rovinnému vodnímu povrchu díky existenci tzv. kondenzačních jader. Jsou to aerosolové částice s vhodnými chemicko-fyzikálními vlastnostmi, jež fungují jako centra kondenzace. Poloměr těchto částic je asi 10^{-8} – 10^{-6} m. Ve vzduchu se mohou

vyskytovat i tzv. obří kondenzační jádra s poloměry řádově většími než 10^{-6} m, jejichž počet je ale o několik řádů menší než počet všech kondenzačních jader.

V počáteční fázi vzniká na kondenzačních jádrech velký počet malých kapiček řádově o poloměru 10^{-6} m. Další narůstání oblačných elementů je způsobeno difúzí vodní páry (tzv. kondenzační růst) a splýváním kapiček (ledových krystalků) při jejich vzájemných srážkách (tzv. koalescenční růst). Takto se vytvoří celé spektrum kapiček (ledových krystalků) různých velikostí. Čím menší je různorodost jednotlivých elementů, tím stabilnější je i celý oblak a k vypadávání srážek nemusí vůbec dojít. Ke vzniku padajících srážek dochází tehdy, začnou-li některé kapičky (ledové krystalky) intenzivně narůstat na úkor ostatních, až narostou do takových rozměrů, že jejich pádová rychlost bude větší než výstupné pohyby a začnou vypadávat z oblaku.

V dnešní době existují dvě teorie vysvětlující tento mechanismus. Tzv. koalescenční teorie srážek předpokládá v oblaku výskyt obřích kondenzačních jader, z nichž za vhodných podmínek mohou vzniknout kapky až o řád větší než ostatní kapičky. Vlivem gravitace větší kapky padají a zachycují menší. Přitom narůstají a při dosažení kritické velikosti (asi 2–5 mm) se rozpadají na menší kapičky, protože povrchové napětí neudrží tak velký objem vody pohromadě. Zbytky kapiček jsou unášeny výstupnými pohyby vzhůru, znovu narůstají a celý cyklus se opakuje. Dojde-li k zeslabení výstupných proudů, začnou vypadávat srážky. Takto vznikají srážky zejména v rovníkových oblastech, kde je velký obsah vodní páry a kapalné vody v oblaku.

V mírných a vyšších zeměpisných šířkách je k vzniku srážek nezbytná přítomnost ledových (krystalizačních) jader. Při teplotách pod bodem mrazu část kapiček zmrzne, a protože tlak nasycených vodních par nad ledem je menší než nad vodním povrchem, začnou ledové částice narůstat na úkor vodních kapiček. Částice dále narůstají také srážkami s přechlazenými kapičkami vody. Při dosažení kritické velikosti, kdy jejich pádová rychlost je větší než vzestupné proudy, začnou ledové částice vypadávat z oblaku. Pokud při pádu překročí hladinu nulové izotermy, roztají a mění se v dešťové kapky. [3, 4]

1.2 Vrstevnaté a konvekční srážky

Velikost a druh srážek závisí na velikosti výstupných proudů (čím větší, tím větších rozměrů mohou kapičky nebo ledové krystalky narůst), na vodním obsahu oblaku, teplotě, při které srážky vznikají, a na teplotě vzduchu, jímž srážky padají.

Vrstevnaté srážky vypadávají převážně z oblaků druhu nimbostratus, altostratus a stratus bývají srážkami trvalými, mívají menší intenzitu a vzhledem k relativně malým výstupným proudům (řádu 10^{-2} – 10^{-1} m/s) jsou srážkové elementy menších rozměrů. Naproti tomu konvekční srážky vypadávají z oblaků druhu cumulus congestus a cumulonimbus jsou většinou charakteru přeháněk, mají větší intenzitu a srážkové elementy mohou vlivem silných výstupných proudů (5–20 m/s) narůst značných rozměrů (např. kroupy o průměru několik centimetrů) a mohou být doprovázené bouřkovými jevy, jako jsou blesky a hromy. [4]

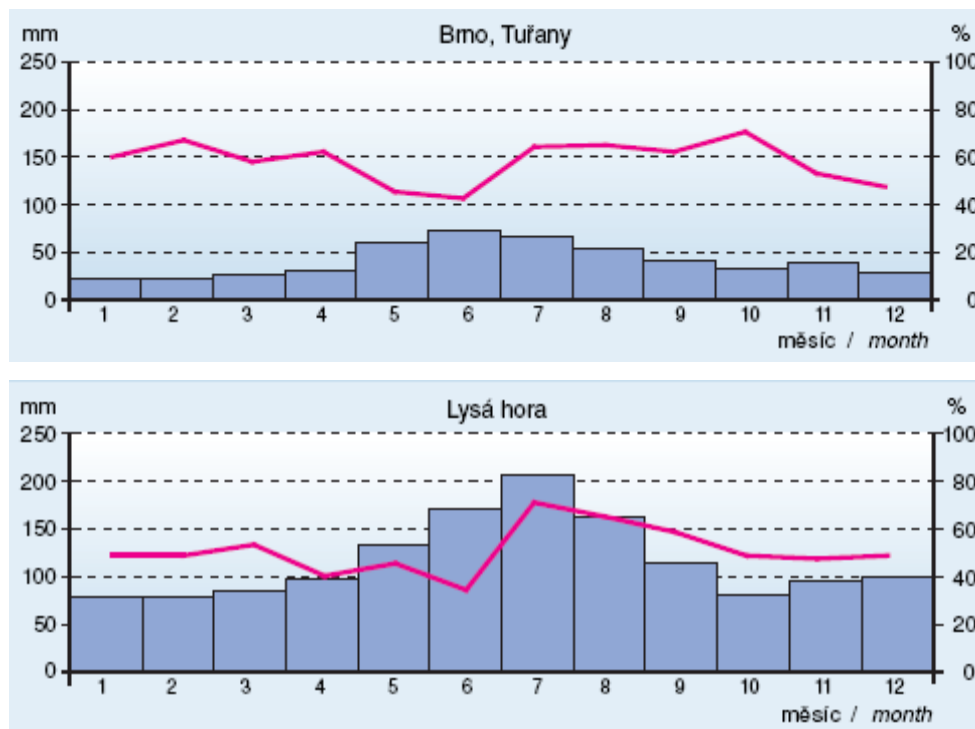
Cílem práce je pokusit se rozlišit srážky na konvekční, vrstevnaté a smíšené/nerozlišitelné s využitím databáze zpráv SYNOP [5]. Tyto zprávy obsahují mimo jiné také šestihodinové úhrny srážek a informace o průběhu a stavu počasí a oblačnosti. Vzhledem k tomu, že konvekční oblačnost může mít životnost menší než jednu hodinu a oblaka se mohou po obloze pohybovat relativně velkou rychlostí, nelze se spoléhat jen na výskyt různých druhů oblaků nad stanicí v době měření, ale je nutno zahrnout i další informace. Pokud půjde o srážky doprovázené bouřkovými jevy nebo o kroupy, bude se zřejmě jednat o srážky konvekční nebo převážně konvekční. Nevyskytnou-li se výrazné projevy konvekčních nebo vrstevnatých srážek, bude rozlišení náročnější a v některých případech se může stát, že i nemožné.

1.3 Chod a rozložení srážek

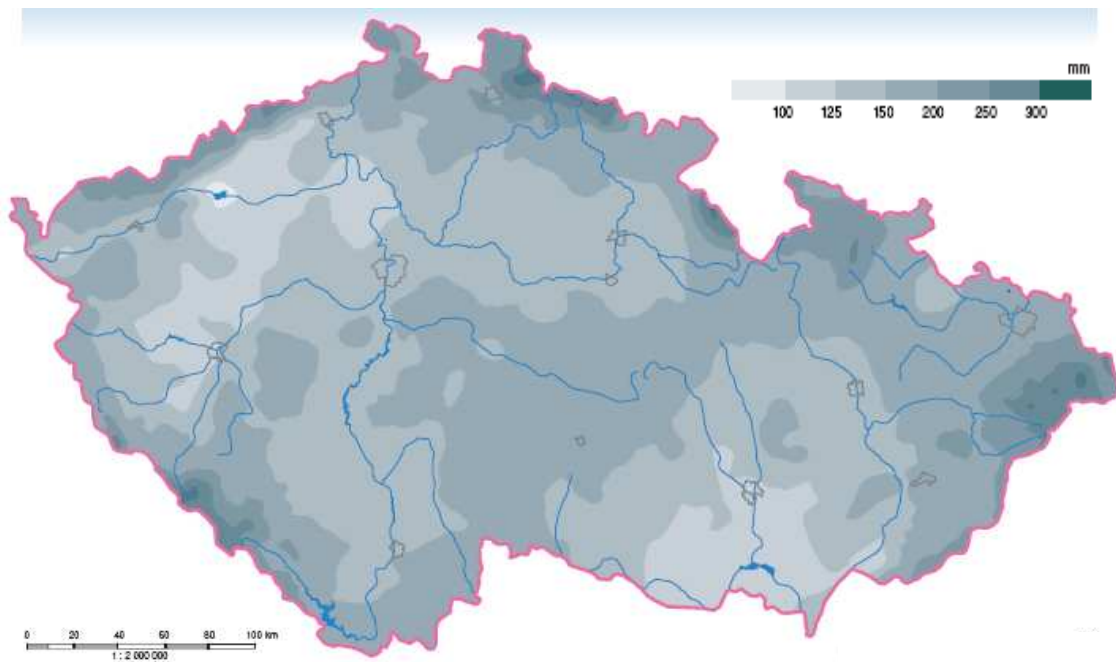
Chod a rozložení srážek v České republice závisí zejména na její poloze (zeměpisná šířka a délka), na vzdálenosti od moře, orografii a převládajícím proudění (vliv návětrí a závětrí). Rozložení srážek během roku má výrazný vliv především na zemědělskou činnost, ale nejen tam. Pokud jsou srážky během roku velmi nerovnoměrné (střídání období sucha a období silných dešťů a s nimi spojené záplavy), tak i přes zachování celkového ročního úhrnu se mohou jisté oblasti stát nevhodné pro hospodaření i pro život.

Srážky v České republice mají jednoduchý roční chod s maximy úhrnů v létě a minimy v zimě (Obrázek 1.1, převzato z [6]). Celkově se vyznačují velkou prostorovou a časovou proměnlivostí (Obrázky 1.2 – 1.5, převzato z [6]). V zimním půlroce (říjen - březen) jsou srážky vázány hlavně na přechody tlakových níží a frontálních systémů, vypadávají hlavně z vrstevnaté oblačnosti a jsou zpravidla dlouhodobější a mají menší intenzitu [6]. Počet dní se srážkami je větší než v letním půlroce (duben - září), kdy srážky vypadávají převážně z konvekčních oblaků (kupovité a bouřkové oblaky), jsou zpravidla kratšího trvání a větší intenzity. Na většině území jsou podle celkových úhrnů nejdeštivějšími měsíci červen – červenec a nejsuššími leden – únor.

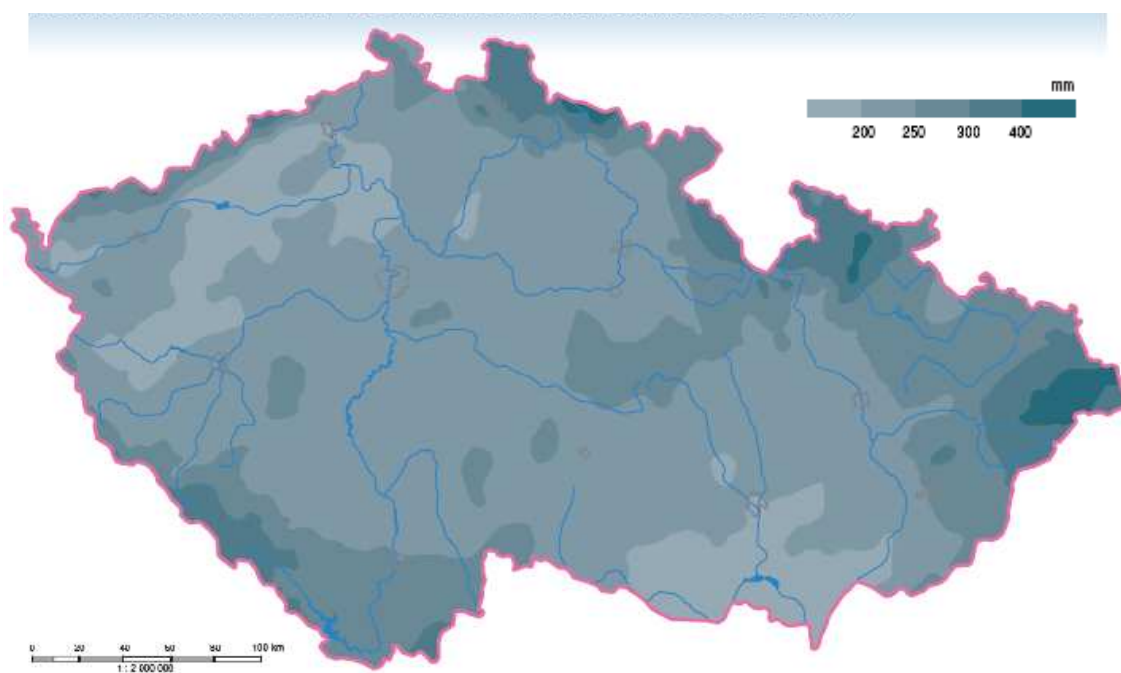
Na množství srážek v České republice má rozhodující vliv přísun vlhkého vzduchu z oblasti severního Atlantského oceánu (západní a severozápadní proudění) a teplého vlhkého vzduchu z oblasti Středozemního moře (jižní proudění). Vliv Atlantiku je silnější v západní části země (Čechy), zatímco vliv Středomoří se uplatňuje zejména ve východní části (Morava a Slezsko). Prostorové rozložení srážek je pak dáno nejen atmosférickou cirkulací, ale i orografií.



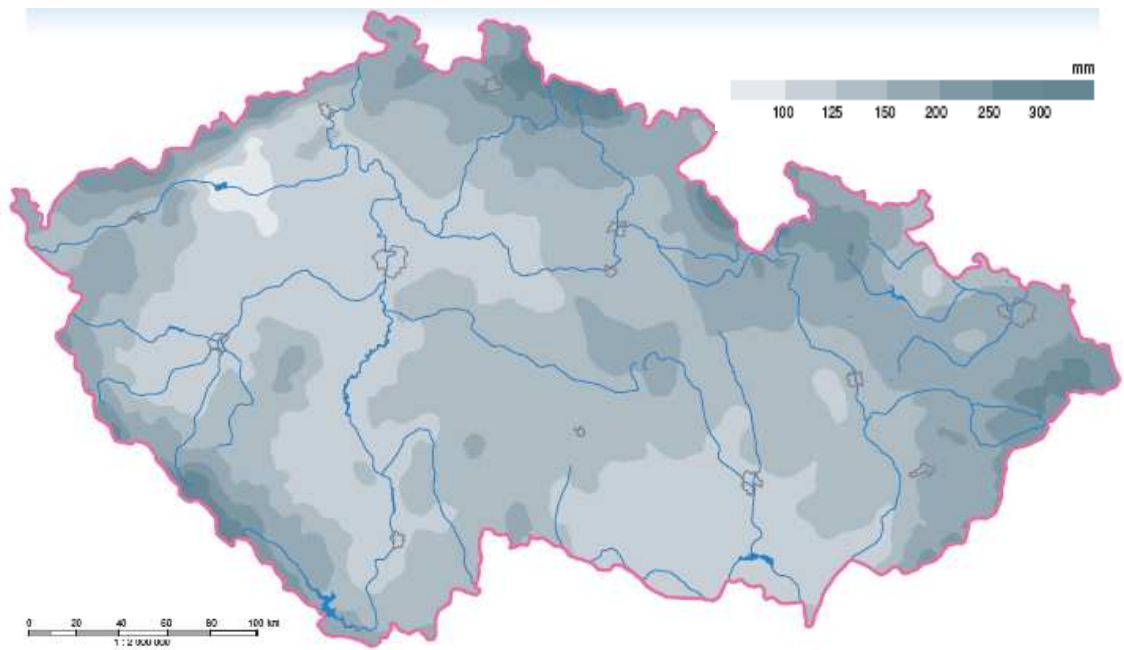
Obrázek 1.1: Roční chod průměrných měsíčních srážek a jejich variability na stanicích Brno – Tuřany a Lysá hora. Převzato z [6]



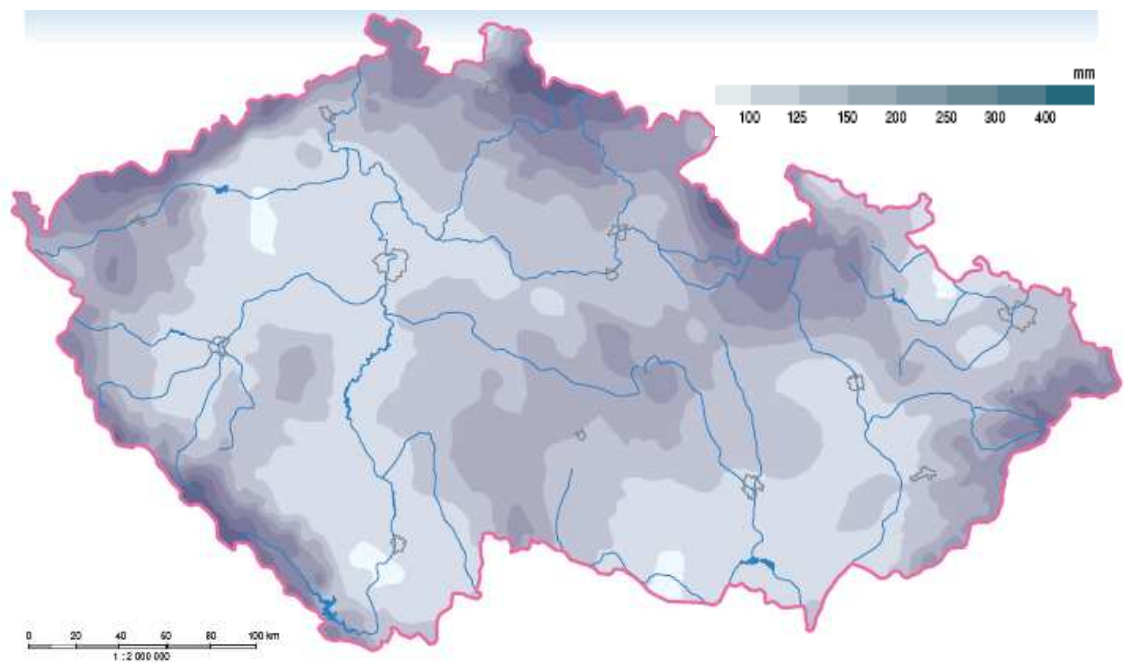
Obrázek 1.2: *Průměrný sezónní úhrn srážek - jaro. Převzato z [6]*



Obrázek 1.3: *Průměrný sezónní úhrn srážek – léto. Převzato z [6]*



Obrázek 1.4: *Průměrný sezónní úhrn srážek – podzim. Převzato z [6]*



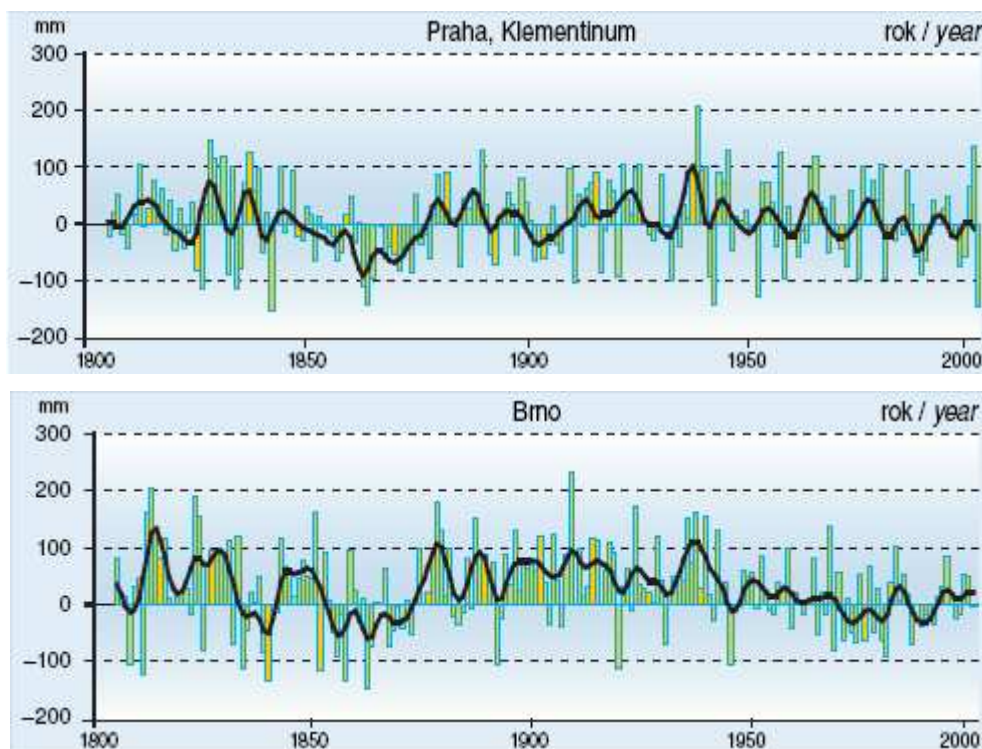
Obrázek 1.5: *Průměrný sezónní úhrn srážek – zima. Převzato z [6]*

Mezi orografické vlivy patří růst úhrnů srážek s nadmořskou výškou a vlivy expozice, kdy návětrné svahy mají větší úhrny srážek než závětrné. Největší úhrny srážek lze pozorovat na pohraničních horách, jež tvoří přirozenou překážku proudění a způsobují zesilování na návětrných stranách hor. Extrémní hodnoty se vyskytují v oblastech Jizerských hor, Krkonoš, Hrubého Jeseníku a Moravskoslezských Beskyd

[6]. Nejméně srážek je v severozápadních a západních Čechách díky vlivu závětrí Krušných hor (západní a severozápadní proudění) a na jižní Moravě, kde se částečně projevuje závětrí Alp (jižní proudění) a závětrí Českomoravské vrchoviny (západní proudění) [6].

1.4 Trendy průměrných a silných srážek

Časové řady sezónních a ročních srážkových úhrnů na stanicích Praha – Klementinum a Brno – Tuřany z let 1803–2000 nevykazují jednotné dlouhodobé tendence během celého měřeného období. Vzestupné nebo sestupné trendy jsou patrné jen v kratších časových úsecích. Dlouhodobé kolísání ročních úhrnů srážek vyjádřené odchylkami od průměru období 1961–2000 na těchto stanicích lze vidět na obrázku 1.6 (převzato z [6]). Hodnoty jsou shlazeny Gaussovým filtrem pro 10 let. [6]



Obrázek 1.6: Dlouhodobé kolísání ročních srážek – Praha a Brno. Převzato z [6]

Epizody s vydatnými třídenními plošnými srážkami, které byly studovány za období 1951–2006 [7, 8], se nejčastěji vyskytují ve vrcholném létě. Kritérium R_x , které autoři použili ke zhodnocení extrémnosti třídenních srážkových úhrnů, se počítá z maximálního denního plošného úhrnu R_{max} , druhé nejvyšší hodnoty denního plošného úhrnu R_{med} a nejnižšího denního plošného úhrnu srážek R_{min} během třídenní epizody se srážkami¹.

Cílem studie byly epizody s nejvyššími hodnotami R_x pro 8 hlavních povodí. Celkem byla práce zaměřena na 42 epizod, z nichž 22 zahrnovalo události s pěti nejvyššími hodnotami R_x a dalších 20 událostí s šestou až desátou nejvyšší hodnotou R_x v jednotlivých oblastech. Nebyl nalezen významný trend v četnosti výskytu těchto událostí, ale bylo zjištěno, že v 60. letech, v druhé polovině 80. a na počátku 90. let byla četnost výskytu menší. Naopak 70. léta, přelom 80. let a druhá polovina 90. let se vyznačovalo četností vyšší.

Ze studie trendů silných srážek² za období 1961–2005 [9] a z porovnání s trendy průměrných srážek za dané období vyplývá, že trendy nejsou shodné pro celé území České republiky a jsou lépe vyjádřeny v západní části území. V západní části (Čechy) se vyskytuje výrazný nárůst průměrných i silných srážek v zimě a v létě a pokles na jaře. Na podzim průměrné srážky rostou a silné srážky jeví slabý pokles. Na východě území (Morava a Slezsko) průměrné srážky ve všech obdobích kromě podzimu jeví klesající tendenci, silné srážky mají slabý vzestupný trend v zimě a v létě a sestupný na jaře a nevýrazný trend na podzim navzdory růstu průměrných srážek (Tabulka 1.1, převzato z [9]).

$$^1 R_x = \frac{3R_{max} + 2R_{med} + R_{min}}{6}$$

Denní plošné úhrny srážek byly určeny jako střední úhrny srážek vypočtených z mřížových bodů uvnitř oblastí, které se získaly metodou kriging z denních úhrnů srážek ze sítě srážkoměrných stanic. Bližší informace viz [7].

² Silné srážky byly studovány pomocí proměnných a indexů:

- Rk – maximální k-denní srážkový úhrn v sezóně
- RII – index intenzity deště (průměrné množství za den se srážkami)
- DII – index denní intenzity (poměr sezónních úhrnů srážek k počtu dní se srážkami ≥ 1 mm)
- %PQQ – procento celkových srážek ve dnech nad dlouhodobým sezónním QQ-tým percentilem rozdělení denních úhrnů

Více podrobností viz [9].

	Západní část		Východní část	
	Trendy průměrných srážek	Trendy vydatných srážek	Trendy průměrných srážek	Trendy vydatných srážek
Zima	+++	+++	-	+
Jaro	--	--	--	--
Léto	+++	++	--	+
Podzim	++	-	+++	+ / -

Tabulka 1.1: Přehled trendů průměrných a vydatných srážek v ČR. Převzato z [9]

Vysvětlivky: +++ (---) ... rostoucí (klesající) trend pozorovaný na více než 75% stanicích

++ (-) ... rostoucí (klesající) trend pozorovaný na více než 60% stanicích

+ (-) ... nevýrazný, ale převážně rostoucí (klesající) trend

2. Rozlišení srážek

2.1 Způsoby rozlišení srážek

Rozlišit srážky na vrstevnaté a konvekční se pokoušela už řada autorů. Někteří využívají subjektivního kvalitativního kritéria rozlišení na základě analýzy synoptických map, jako např. Štekl a kol. [10] pro případy srážkových extrémů. Jiní se snaží srážky rozlišit z hlediska relativního prostorového rozložení, jako Ungewitter [11], který dělí srážky na všeobecné (zjištěné na 90–100% stanic studované oblasti), jež odpovídají trvalým srážkám, na srážky izolované (na 1–50% stanic) a na srážkově chudé dny (0–20% stanic), které jsou přeháňkového charakteru, a můžeme je brát za srážky konvekční. Pro území České republiky použili analogického zpracování dat Brázdil a Štekl [12] pro období 1972–1974.

Někteří autoři se snaží rozlišovat srážky pomocí kvantitativního kritéria. Jsou to například Kurejko, Orlova a Alibegova, kteří navrhují rozlišení přeháněk a trvalých srážek na základě kritérií vycházejících z úhrnu srážek, průměrné a maximální intenzity srážek, plochy území zasaženého srážkami atd.

Kurejko [13] používá průměrnou I_p a maximální I_{\max} intenzitu srážek a pro území Ukrajiny navrhl hraniční hodnoty mezi srážkami trvalými a přeháňkami $I_p = 0.03$ mm/min a $I_{\max} = 0.20$ mm/min (Tabulka 2.1). Orlova [14] uvažuje maximální intenzitu trvalých srážek 2.5 mm/hod (0.042 mm/min) a průměrnou maximální intenzitu přeháněk 0.08–0.10 mm/min a více (Tabulka 2.1). Dále uvádí, že trvalé srážky spojené s rozsáhlými cyklónami nebo s pomalu postupujícími atmosférickými frontami nepřesahují hodnotu intenzity 1.0–1.5 mm/hod (0.017–0.025 mm/min) a v cyklónách menších rozměrů (poloměr 100–300 km) nebo na rychle se pohybujících frontách je intenzita 1.5–2.5 mm/hod (0.025–0.042 mm/min). Alibegova [15] dělí srážky pomocí intenzity na 4 kategorie: slabé trvalé srážky, silné trvalé srážky, slabé přeháňky a silné přeháňky (Tabulka 2.1), kde t je doba vypadávání srážek určité intenzity a T je celková doba se srážkami.

Kurejko	Trvalé	I_p [mm/min]	< 0.03
		I_{max} [mm/min]	< 0.20
	Přeháňky	I_p [mm/min]	≥ 0.03
		I_{max} [mm/min]	≥ 0.20
Orlova	Trvalé	I_{max} [mm/min]	≤ 0.042
	Přeháňky	I_{max} [mm/min]	0.08–0.10 a více
Alibegova	Trvalé	I_p [mm/min]	Slabé: 0.01–0.02
			Silné: 0.03–0.05 $t \geq T/10$
	Přeháňky	I_p [mm/min]	Slabé: 0.03–0.05 $t < T/10$
			Silné: > 0.05

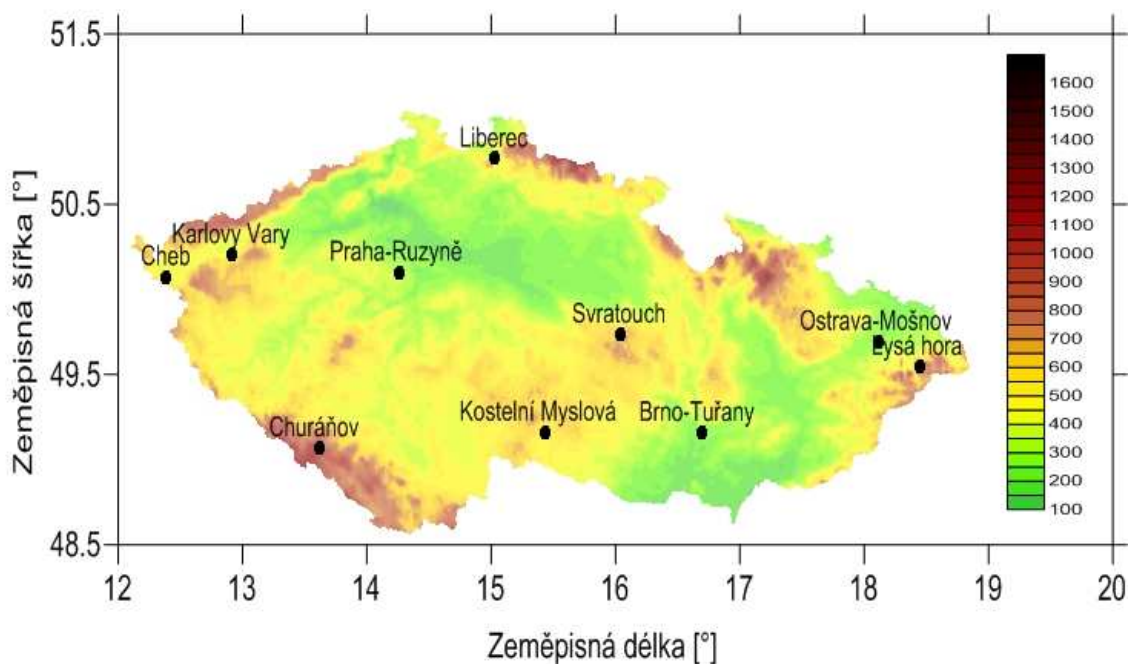
Tabulka 2.1: Kritéria rozlišení srážek podle Kurejka, Orlove a Alibegove

Nevýhodou těchto kritérií je jejich subjektivita a použitelnost jen pro území, pro která byla vytvořena, a jen pro určitá data. Nelze je použít obecně. V této práci pracuji s daty SYNOP, ze kterých by bylo obtížné (ne-li nemožné) počítat intenzity srážek nebo plošné zasažení srážkami. Nemohu takto zavedená kritéria využít a je nutné stanovit vlastní.

2.2 Použitá data

Data, která mám k dispozici, pochází z databáze zpráv SYNOP. Používám data ze stanic (Obrázek 2.1) Brno – Tuřany, Ostrava – Mošnov, Liberec, Lysá hora, Praha – Ruzyně, Karlovy Vary, Churáňov, Cheb, Kostelní Myslová a Svratouch z období 1982–2005.

Základem byla databáze ČHMÚ. Data prošla základní kontrolou kvality dat, byly opraveny hrubé chyby a částečně doplněna některá chybějící data za použití databáze Hydrometeorologické služby AČR. Na základě předchozích návrhů Dr. Sedláka (ÚFA AV ČR), který porovnával klimatická data z daných stanic a data SYNOP a navrhl opravy tak, aby úhrny srážek v obou souborech byly konzistentní a odpovídaly dalším meteorologickým prvkům, jsem provedla několik oprav. Výčet chybějících údajů je uveden v tabulkách 2.2 – 2.5.



Obrázek 2.1: Polohy použitých stanic

Brno – Tuřany						Kostelní Myslová					
rok	datum	čas (SEČ)	rok	datum	čas (SEČ)	rok	datum	čas (SEČ)			
1986	1. 1.	00 ⁰⁰	1999	6. 7.	03 ⁰⁰	1984	16. 11.	23 ⁰⁰			
1987	24. 4.	21 ⁰⁰			04 ⁰⁰		1984	22. 11.	08 ⁰⁰		
1999	31. 1.	01 ⁰⁰			06 ⁰⁰			1990	1. 12.	03 ⁰⁰	
	25. 5.	09 ⁰⁰			08 ⁰⁰	1990	1. 1.		00 ⁰⁰		
		11 ⁰⁰			09 ⁰⁰		1. 4.		00 ⁰⁰		
	1. 6.	12 ⁰⁰			10 ⁰⁰	1. 7.	00 ⁰⁰				
	16. 6.	23 ⁰⁰			11 ⁰⁰	1. 10.	00 ⁰⁰				
	1. 7.	20 ⁰⁰			2000	17. 7.	00 ⁰⁰	1991	1. 1.	00 ⁰⁰	
	5. 7.	18 ⁰⁰				25. 8.	18 ⁰⁰	2005	20. 10.	19. 10.	22 ⁰⁰
		19 ⁰⁰				26. 8.	02 ⁰⁰			23 ⁰⁰	
		20 ⁰⁰				12. 9.	07 ⁰⁰			00 ⁰⁰	
		22 ⁰⁰				23. 9.	07 ⁰⁰			01 ⁰⁰	
23 ⁰⁰		26. 9.	02 ⁰⁰	02 ⁰⁰							
6. 7.	00 ⁰⁰	31. 10.	01 ⁰⁰	03 ⁰⁰							
	01 ⁰⁰	30. 12.	01 ⁰⁰	04 ⁰⁰							
	02 ⁰⁰	23. 7.	01 ⁰⁰	05 ⁰⁰							

Tabulka 2.2: Chybějící data pro stanice Brno – Tuřany a Kostelní Myslová

Ostrava – Mošnov																		
rok	datum	čas (SEČ)	rok	datum	čas (SEČ)	rok	datum	čas (SEČ)	rok	datum	čas (SEČ)							
1982	9. 4.	02 ⁰⁰	1999	6. 7.	05 ⁰⁰	1999	31.10.	05 ⁰⁰	1999	28. 12.	14 ⁰⁰							
		08 ⁰⁰			06 ⁰⁰			16 ⁰⁰										
14. 5.	18 ⁰⁰	07 ⁰⁰			17 ⁰⁰													
1986	1. 1.	00 ⁰⁰			08 ⁰⁰			18 ⁰⁰										
		31.10.			06 ⁰⁰			09 ⁰⁰			19 ⁰⁰							
1990	1. 1.	00 ⁰⁰			14. 7.			07 ⁰⁰			11. 9.	07 ⁰⁰	12 ⁰⁰	13 ⁰⁰	29. 12.	20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	
		1. 4.						00 ⁰⁰				12 ⁰⁰						22 ⁰⁰
		1. 7.						00 ⁰⁰				13 ⁰⁰						23 ⁰⁰
1999	31. 1.	01 ⁰⁰			26. 9.			02 ⁰⁰			2. 10.	07 ⁰⁰	23 ⁰⁰	1. 11.	02 ⁰⁰	30. 12.	00 ⁰⁰	
		07 ⁰⁰						07 ⁰⁰										01 ⁰⁰
		13 ⁰⁰	23 ⁰⁰	02 ⁰⁰														
	2. 2.	09 ⁰⁰	19. 10.	09 ⁰⁰	11. 11.	11 ⁰⁰	12 ⁰⁰	11 ⁰⁰	13 ⁰⁰	31. 12.	. .							
		11. 2.		09 ⁰⁰		11 ⁰⁰						13 ⁰⁰						
	20. 3.	15 ⁰⁰	30.10.	19 ⁰⁰	13.11.	11 ⁰⁰	15 ⁰⁰	16 ⁰⁰	21 ⁰⁰	. .								
	26. 3.	02 ⁰⁰		05 ⁰⁰		11 ⁰⁰					22 ⁰⁰							
	22. 4.	12 ⁰⁰		06 ⁰⁰		13 ⁰⁰					23 ⁰⁰							
	6. 5.	21 ⁰⁰		07 ⁰⁰		05 ⁰⁰					21 ⁰⁰							
	25. 5.	09 ⁰⁰		08 ⁰⁰		06 ⁰⁰					22 ⁰⁰							
		11 ⁰⁰		09 ⁰⁰		09 ⁰⁰					23 ⁰⁰							
	16. 6.	23 ⁰⁰		10 ⁰⁰		10 ⁰⁰					7. 12.	01 ⁰⁰	00 ⁰⁰	01 ⁰⁰	02 ⁰⁰			
	1. 7.	20 ⁰⁰		11 ⁰⁰		11 ⁰⁰					8. 12.	02 ⁰⁰						
	5. 7.	18 ⁰⁰		12 ⁰⁰		12 ⁰⁰					15.12.	19 ⁰⁰				. .		
		19 ⁰⁰		13 ⁰⁰		13 ⁰⁰					19.12.	08 ⁰⁰						
		20 ⁰⁰	21 ⁰⁰	21 ⁰⁰	20.12.	10 ⁰⁰												
		22 ⁰⁰	22 ⁰⁰	22 ⁰⁰	20.12.	11 ⁰⁰												
		23 ⁰⁰	23 ⁰⁰	23 ⁰⁰	22.12.	08 ⁰⁰												
6. 7.	01 ⁰⁰	02 ⁰⁰	02 ⁰⁰	22.12.	09 ⁰⁰	21 ⁰⁰												
	02 ⁰⁰	03 ⁰⁰	03 ⁰⁰	27.12.	10 ⁰⁰		22 ⁰⁰											
	03 ⁰⁰	04 ⁰⁰	04 ⁰⁰	2000	08 ⁰⁰			23 ⁰⁰										
					2000	1. 1.			00 ⁰⁰									

Tabulka 2.3: Chybějící data pro stanici Ostrava – Mošnov

Churáňov			Svratouch			Liberec		
rok	datum	čas (SEČ)	rok	datum	čas (SEČ)	rok	datum	čas (SEČ)
1984	20. 2.	12 ⁰⁰	1984	29. 3.	23 ⁰⁰	1986	1. 1.	00 ⁰⁰
1987	1. 1.	00 ⁰⁰		30. 3.	00 ⁰⁰		10. 1.	14 ⁰⁰
1990	1. 1.	00 ⁰⁰		11. 11.	06 ⁰⁰		13. 10.	21 ⁰⁰
	1. 7.	00 ⁰⁰		29. 11.	14 ⁰⁰	1987	8. 7.	06 ⁰⁰
	1. 4.	00 ⁰⁰	1990	1. 1.	00 ⁰⁰	1990	1. 1.	00 ⁰⁰
	1. 10.	00 ⁰⁰	2004	20. 10.	02 ⁰⁰	1994	25. 6.	12 ⁰⁰
	31. 12.	01 ⁰⁰			03 ⁰⁰	27. 6.	02 ⁰⁰	
1991	1. 1.	00 ⁰⁰			04 ⁰⁰	2005	28. 10.	05 ⁰⁰
				05 ⁰⁰	2005	1. 11.	14 ⁰⁰	

Tabulka 2.4: Chybějící data pro stanice Churáňov, Svratouch a Liberec

Praha – Ruzyně			Cheb			Karlovy Vary		
rok	datum	čas (SEČ)	rok	datum	čas (SEČ)	rok	datum	čas (SEČ)
1982	5. 11.	19 ⁰⁰	1990	1. 1.	00 ⁰⁰	1982	1. 6.	15 ⁰⁰
1984	25. 11.	19 ⁰⁰		1. 7.	00 ⁰⁰	1986	1. 1.	00 ⁰⁰
1986	1. 1.	00 ⁰⁰	1993	1. 10.	00 ⁰⁰	1988	5. 11.	11 ⁰⁰
	25. 6.	19 ⁰⁰		1989	29. 11.	15 ⁰⁰
1987	1. 1.	00 ⁰⁰		31. 12.	23 ⁰⁰	1990	1. 1.	00 ⁰⁰
1990	1. 1.	00 ⁰⁰	1994	10. 4.	11 ⁰⁰	2001	1. 1.	00 ⁰⁰
1994	1. 1.	15 ⁰⁰		5. 5.	20 ⁰⁰	Lysá hora		
	9. 6.	15 ⁰⁰			21 ⁰⁰	rok	datum	čas
	10. 6.	21 ⁰⁰		7. 5.	01 ⁰⁰	1990	1. 1.	00 ⁰⁰
2001	1. 1.	00 ⁰⁰		03 ⁰⁰	1. 7.		00 ⁰⁰	
				9. 6.	15 ⁰⁰	1994	26. 6.	20 ⁰⁰
				12. 6.	23 ⁰⁰		30. 6.	02 ⁰⁰

Tabulka 2.5: Chybějící data pro stanice Praha – Ruzyně, Cheb, Karlovy Vary a Lysá hora

Vzhledem k tomu, že používám data, která se vztahují jen k hlavním synoptickým termínům (01, 07, 13 a 19 hod SEČ), je zajímavé se zaměřit na chybějící data odpovídající právě těmto termínům. Všechna chybějící data z hlavních pozorovacích termínů jsou vypsaná v tabulce 2.6. Stanice Karlovy Vary, Lysá hora, Svratouch a Liberec nemají žádná chybějící data a na ostatních stanicích je chybějících dat velmi malé množství, řádově jednotky. Nejvíce dat chybí na stanici Ostrava – Mošnov (27) a Cheb (369, chybí data za celé období říjen – prosinec 1993), což v porovnání s celkovým počtem dat činí <0.1% u stanice Ostrava – Mošnov a cca 1% u stanice Cheb.

2.3 Algoritmus rozlišení srážek

Data, která mám k dispozici, obsahují vybrané údaje ze zpráv SYNOP. Jsou to: datum a hodina, celkové pokrytí oblohy oblačností N , druh vysoké $S-Ch$, střední $S-Cm$ a nízké $S-Cl$ oblačnosti, druh význačných oblaků $S-C$, výška význačné oblačnosti $S-hs$, denní srážky R , úhrny za 6 hodin $R6H$, hodinové srážky RIH , patnáctiminutové srážky $RI5M$, stav počasí $S-WW$ a teplota vzduchu T . Hodinové srážky začínají v letech 1995–2000 (Tabulka 2.7) a patnáctiminutové srážky začínají až v letech 2003–2005 (Tabulka 2.7).

Ostrava – Mošnov			Cheb		
rok	datum	čas (SEČ)	rok	datum	čas (SEČ)
1999	31. 1.	01 ⁰⁰	1993	1. 10. až 31. 12.	chybí všechny termíny
		07 ⁰⁰			
			13 ⁰⁰	1994	7. 5.
	5. 7.	19 ⁰⁰	Brno – Tuřany		
	6. 7.	01 ⁰⁰	rok	datum	čas (SEČ)
	14. 7.	07 ⁰⁰	1999	31. 1.	01 ⁰⁰
	11. 9.	07 ⁰⁰		5. 7.	19 ⁰⁰
	29. 9.	07 ⁰⁰		6. 7.	01 ⁰⁰
	2. 10.	07 ⁰⁰		12. 9.	07 ⁰⁰
	26. 10.	19 ⁰⁰		23. 9.	07 ⁰⁰
	30. 10.	07 ⁰⁰		31. 10.	01 ⁰⁰
		13 ⁰⁰		30. 12.	01 ⁰⁰
	9. 11.	19 ⁰⁰	2000	23. 7.	01 ⁰⁰
	13. 11.	13 ⁰⁰	2005	20. 10.	01 ⁰⁰
	7. 12.	01 ⁰⁰	Praha – Ruzyně		
	15. 12.	19 ⁰⁰	rok	datum	čas (SEČ)
	29. 12.	19 ⁰⁰	1982	5. 11.	19 ⁰⁰
	30. 12.	01 ⁰⁰	1984	25. 11.	19 ⁰⁰
		07 ⁰⁰	1986	25. 6.	19 ⁰⁰
		13 ⁰⁰	Kostelní Myslová		
		19 ⁰⁰	rok	datum	čas (SEČ)
	31. 12.	01 ⁰⁰	2005	20. 10.	01 ⁰⁰
		07 ⁰⁰	Churáňov		
		13 ⁰⁰	rok	datum	čas (SEČ)
		19 ⁰⁰	1990	31. 12.	01 ⁰⁰

Tabulka 2.6: Chybějící data pro hlavní pozorovací termíny

Stanice	Počátek 1-hod srážek	Počátek 15-min srážek
Brno – Tuřany	8. 3. 2000	1. 12. 2004
Cheb	8. 3. 2000	1. 1. 2004
Churáňov	25. 1. 1995	1. 1. 2003
Karlovy Vary	25. 1. 1995	1. 7. 2004
Kostelní Myslová	19. 5. 1996	1. 12. 2004
Liberec	1. 9. 1995	1. 10. 2003
Lysá hora	26. 6. 1995	1. 1. 2005
Praha – Ruzyně	1. 9. 1995	1. 6. 2004
Ostrava – Mošnov	20. 6. 1997	1. 10. 2004
Svratouch	18. 1. 2000	1. 8. 2004

Tabulka 2.7: Počátky měření 1-hod a 15-min srážek na jednotlivých stanicích

Pro rozlišení srážek jsem se rozhodla využít údaje o stavu počasí a druhu význačných oblaků. Pro srážky konvekční uvažuji hodnoty stavu počasí, které označují srážky přeháňkového charakteru, srážky s probíhající nebo nedávnou bouřkou a bouřkové projevy. Tomu odpovídají hodnoty $S-WW = 17-19, 25-27, 29, 80-99$ (Tabulka 2.8) [5]. Pro vrstevnaté srážky беру hodnoty určující srážky nepřeháňkového charakteru. Jsou to hodnoty $S-WW = 20-24, 50-79$ (Tabulka 2.9) [5].

Oblaky lze rozdělit na oblaka srážková (Cb, Cu congestus (Cu humilis a mediocris většinou nesrážkové), St, As, Ns) a oblaky nesrážkové (Ci, Cc, Cs, Ac, Sc (většinou nesrážkový, velmi slabé srážky)) [4]. Ze srážkových oblaků pak můžeme vybrat oblaky vrstevnaté a konvekční a to jsou právě ty, které nás budou zajímat. Konvekční oblaky jsou Cu a Cb, kterým odpovídají hodnoty $S-C = 8$ a 9 , a vrstevnaté oblaky jsou As, Ns, Sc, St, kterým odpovídají hodnoty $S-C = 4-7$ [5].

Pro rozlišení srážek jsem použila několik verzí algoritmu, které mi pomohly s dalšími úpravami a následným výběrem nejvhodnějšího algoritmu. Všechny verze mají jednu společnou vlastnost. Program prochází sloupec s šestihodinovými úhrny srážek a vyhledává nenulovou hodnotu. Pokud se tak stane, načte hodnoty odpovídající tomuto časovému termínu a hodnoty nad ním, aby bylo pokryto časové období 6 hodin zpětně. Tím docílím, že mohu hodnotit, jaké byly podmínky stavu počasí a jaké se vyskytovaly oblaky v časovém intervalu, z něhož pochází daný úhrn srážek. Po vyhodnocení původu srážek, které se liší podle použité verze algoritmu, nechám vypsát data rozdělená na konvekční, vrstevnaté nebo smíšené/nerozlišitelné do jednotlivých textových souborů pojmenovaných PK1.txt (srážky konvekční), PV1.txt (srážky vrstevnaté) a PS1.txt (srážky smíšené/nerozlišitelné). Tyto soubory obsahují z původních dat jen termíny pozorování (datum a čas) a úhrn šestihodinových srážek. Protože byly ve sloupci s šestihodinovými úhrny srážek údaje o srážkách za 6 hodin (termíny pozorování 01 a 13 hod) a za 12 hodin (termíny pozorování 07 a 19 hod), bylo nutné výsledné úhrny opravit, aby všechna nová data byla jen za 6 hodin. Toho bylo docíleno odečtením předešlého šestihodinového úhrnu od dvanáctihodinového.

Jako hlavní kritérium rozlišitelnosti jsem se rozhodla využít údaje o stavu počasí. První verze algoritmu s pracovním označením A1 prochází pouze data ze sloupce o stavu počasí z vybraného časového intervalu a u každé hodnoty vyhodnocuje, zda jde o projev konvekčních nebo vrstevnatých srážek (viz Tabulka 2.8). Počet takto rozlišených projevů zaznamenává do proměnných K1 a V1. Nakonec vyhodnotí, zda se zde nachází více projevů konvekčních srážek ($K1 > P1$) nebo vrstevnatých srážek ($K1 < P1$) nebo

jsou srážky smíšené/nerozlišitelné (K1 = P1), a úhrn srážek k tomuto termínu vypíše do příslušného textového souboru.

1. Beze srážek na stanici v době pozorování		
17	Bouřka beze srážek v termínu pozorování	
18	Húlavy	na stanici nebo v dohledu během předcházející hodiny nebo v termínu pozorování
19	Nálevkovité oblaky (tornády, tromba, vodní smršť)	
2. Srážky nebo bouřka na stanici během předcházející hodiny, nikoli v termínu pozorování		
25	Dešťová(-é) přeháňka(-y)	
26	Sněžení nebo déšť se sněhem v přeháňce(-kách)	
27	Kroupy, krupky, sněhové krupky, příp. s deštěm v přeháňce (-kách)	
29	Bouřka (se srážkami nebo beze srážek)	
3. Přeháňkové srážky nebo srážky s probíhající či nedávnou bouřkou		
80		slabá(-é)
81	Dešťová(-é) přeháňka(-y)	mírná(-é) či silná(-é)
82		prudká(-é)
83	Přeháňka(-y) deště se sněhem	slabá(-é)
84		mírná(-é) nebo silná(-é)
85	Sněhová(-é) přeháňka(-y)	slabá(-é)
86		mírná(-é) nebo silná(-é)
87	Sněhové krupky, krupky s deštěm nebo bez deště si s deštěm se sněhem, v přeháňce(-kách)	slabé
88		mírné nebo silné
89	Kroupy s deštěm nebo bez deště nebo s deštěm se sněhem, bez hřmění, v přeháňce(-kách)	slabé
90		mírné nebo silné
91	Mírný nebo silný déšť v termínu pozorování	Bouřky během předcházející hodiny, nikoli v termínu pozorování
92	Slabé sněžení nebo déšť se sněhem	
93	Slabé sněžení nebo déšť se sněhem nebo krupky, krupky, sněhové krupky v termínu pozorování	
94	Mírné nebo silné sněžení nebo déšť se sněhem nebo krupky, krupky, sněhové krupky v termínu pozorování	
95	Bouřka, slabá nebo mírná, bez krup, krupek, sněhových krupek, ale s deštěm a/nebo se sněžením v termínu pozorování	Bouřka v termínu pozorování
96	Bouřka, slabá nebo mírná, s kroupami, krupkami, sněhovými krupkami v termínu pozorování	
97	Bouřka, silná bez krup, krupek, sněhových krupek ale s deštěm a/nebo se sněžením	
98	Bouřka s prachovou či písečnou vichřicí v termínu pozorování	
99	Bouřka, silná s kroupami, krupkami, sněhovými krupkami v termínu pozorování	

Tabulka 2.8: Projevy konvekčních srážek

1. Srážky na stanici během předcházející hodiny, nikoli v termínu pozorování		
20	Mrholení (nemrznoucí) nebo sněhová zrna	nikoli v přeháňce(-kách)
21	Déšť (nemrznoucí)	
22	Sníh	
23	Déšť se sněhem nebo zmrzlý déšť	
24	Mrznoucí mrholení nebo mrznoucí déšť	
2. Mrholení		
50	Mrholení nemrznoucí, občasné	slabé v termínu pozorování
51	Mrholení nemrznoucí, trvalé	
52	Mrholení nemrznoucí, občasné	mírné v termínu pozorování
53	Mrholení nemrznoucí, trvalé	
54	Mrholení nemrznoucí, občasné	silné v termínu pozorování
55	Mrholení nemrznoucí, trvalé	
56	Mrholení mrznoucí, slabé	
57	Mrholení mrznoucí, mírné nebo silné	
58	Mrholení s deštěm, slabé	
59	Mrholení s deštěm, mírné nebo silné	
3. Déšť		
60	Déšť nemrznoucí, občasný	slabý v termínu pozorování
61	Déšť nemrznoucí, trvalý	
62	Déšť nemrznoucí, občasný	mírný v termínu pozorování
63	Déšť nemrznoucí, trvalý	
64	Déšť nemrznoucí, občasný	silný v termínu pozorování
65	Déšť nemrznoucí, trvalý	
66	Déšť mrznoucí, slabý	
67	Déšť mrznoucí, mírný nebo silný	
68	Déšť nebo mrholení se sněhem, slabý(-é)	
69	Déšť nebo mrholení se sněhem, mírný(-é) nebo silný(-é)	
4. Tuhé srážky (nikoli v přeháňkách)		
70	Sněžení občasné	slabé v termínu pozorování
71	Sněžení trvalé	
72	Sněžení občasné	mírné v termínu pozorování
73	Sněžení trvalé	
74	Sněžení občasné	silné v termínu pozorování
75	Sněžení trvalé	
76	Ledové jehličky	s mlhou či bez mlhy
77	Sněhová zrna	
78	Jednotlivé sněhové hvězdice	
79	Zmrzlý déšť	

Tabulka 2.9: *Projevy vrstevnatých srážek*

Verze A1 dávala výborné výsledky rozlišitelnosti u dat, kde se vyskytovaly pouze projevy jednoho či druhého typu srážek. Problémy nastávaly v případech, kdy se projevy mísily. Například v termínech, kde se vyskytla jedna bouřka se silnými srážkami a několik slabších srážek, vyhodnotil algoritmus srážky za toto období jako

vrstevnaté, ačkoli úhrn byl převážně konvekčního původu. Právě tyto nesrovnalosti jsem se snažila odstranit další verzí algoritmu A2. Silným konvekčním srážkám, kterým odpovídá číselné označení 91–99 (viz Tabulka 2.8), jsem dala váhu 2 místo původního 1. Ani to však nepomohlo a stále se vyskytovaly případy, kdy srážky pravděpodobně konvekční byly zařazeny mezi vrstevnaté. Při procházení dat jsem narazila ještě na další projev konvekčních srážek – číselné označení 29 (viz Tabulka 2.8), při kterém dosahovaly srážky velkých úhrnů.

Abych omezila počet smíšených/nerozlišitelných srážek, použila jsem jako doplňující kritérium algoritmus vyhodnocující údaje o druhu význačných oblaků. Tento samotný algoritmus (A5) funguje obdobně jako verze A1. Prochází data ze sloupce o druhu význačných oblaků z vybraného časového intervalu a u každé hodnoty vyhodnocuje, zda jde o oblak konvekční nebo vrstevnatý (viz výše). Počet oblaků daného typu zaznamenává do proměnných K2 a V2. Nakonec vyhodnotí, zda se zde nachází více konvekčních oblaků ($K2 > P2$) nebo vrstevnatých ($K2 < P2$) nebo jsou zde oblaky obou typů zastoupeny ve stejném počtu ($K2 = P2$), a úhrn srážek k tomuto termínu vypíše do příslušného textového souboru.

Během úprav jsem postupně vyhodnocovala celkem sedm verzí algoritmu, které vznikly kombinací již zmíněných tří verzí, a verzi finální. Jejich seznam a stručný popis je uveden v tabulce 2.10.

Verze algoritmu	Popis – využití údaje
A1	Údaje o stavu počasí – váha 1
A2	Údaje o stavu počasí – případy 91 – 99 s váhou 2
A3	Kombinace A1 a A5, A5 použito v případě nerozlišení pomocí A1
A4	Kombinace A2 a A5, A5 použito v případě nerozlišení pomocí A2
A5	Údaje o druhu význačné oblačnosti
A6	Kombinace A1 a A5, použita obě kritéria současně
A7	Kombinace A2 a A5, použita obě kritéria současně
A8	Konečná verze: upravená verze A2, A5 použito v případě nerozlišení

Tabulka 2.10: Použité verze algoritmu

Konečná verze algoritmu A8 obsahuje jak hlavní tak vedlejší kritérium. Hlavní kritérium jsem nakonec upravila do podoby, která projevy silných konvekčních srážek (29, 91 – 99, viz Tabulka 2.8) zohledňuje natolik, že při jejich výskytu v daném časovém intervalu je úhrn srážek automaticky vyhodnocen jako konvekčního původu. Pomocné kritérium využívám pouze v případě, kdy hlavní kritérium vyhodnotí srážky jako smíšené/nerozlišitelné. Docílím tím dalšího rozlišení a tím zredukování

nerozlišených srážek. V datech se vyskytují i případy, kdy se v celém časovém intervalu vyskytují hodnoty stavu počasí, které nejsou projevem konvekčních ani vrstevnatých srážek, přestože srážky v tomto období byly zaznamenány. Pomocné kritérium pak vyhodnotí, z kterého typu oblaků by tyto srážky mohly být.

2.4 Výsledky algoritmů

Algoritmy jsem testovala na třech stanicích jako zástupcích typicky nížinné stanice – Brno – Tuřany, stanice ležící na vrchovině – Svratouch a typicky horské stanice – Lysá hora.

Pokud bychom za smíšené/nerozlišitelné srážky uvažovali všechny případy, kdy se mísí projevy vrstevnatých a konvekčních srážek, došli bychom k jednoznačné rozlišitelnosti v úhrnech srážek, v počtu případů nenulových srážek a počtu extrémních srážek definovaných jako úhrn srážek ≥ 5 mm za 6 hodin, která je pro jednotlivé stanice uvedena v tabulce 2.11. Jak je vidět, nejlepší rozlišitelnost bychom dostali u počtu případů. Rozlišených srážek by bylo 86.2–88.6% a smíšených 11.4–13.8%. V úhrnech srážek by bylo nerozlišených 12.5–20.5% a v počtu extrémů 10.9–18.2%. Tyto výsledky ukazují na velmi dobrou možnost odlišení konvekčních a vrstevnatých srážek na základě dostupných dat.

Stanice	Druh srážek	Úhrn srážek [%]	Počet případů [%]	Počet extrémů [%]
Brno – Tuřany	Konvekční	16.6	13.0	18.0
	Vrstevnaté	62.9	75.6	63.8
	Nerozlišené	20.5	11.4	18.2
Svratouch	Konvekční	21.9	21.4	21.7
	Vrstevnaté	62.4	64.8	63.5
	Nerozlišené	15.7	13.8	14.8
Lysá hora	Konvekční	13.8	14.0	14.4
	Vrstevnaté	73.4	74.3	74.7
	Nerozlišené	12.8	11.7	10.9

Tabulka 2.11: Jednoznačná rozlišitelnost na stanicích Brno – Tuřany, Svratouch a Lysá hora

V algoritmu jsem se snažila dosáhnout větší rozlišitelnosti, která ovšem neměla být na úkor správnosti rozlišení na srážky konvekční a vrstevnaté. Zohledňuji skutečnost, že silné srážky jednoho druhu mají větší váhu neboli větší podíl na celkovém úhrnu než

slabé srážky druhého druhu, a že větší četnost projevů konvekčních nebo vrstevnatých srážek převáží menšinové projevy opačného typu.

Celoroční procentuální rozlišení úhrnů srážek, počtu případů a počtu extrémních srážek na srážky konvekční, vrstevnaté a smíšené/nerozlišitelné pro jednotlivé verze algoritmu je uvedeno v tabulkách 2.12 – 2.14.

Hlavní rozdíl mezi algoritmem A1 a A2 je v přesunu některých, převážně silných, srážek z vrstevnatých do konvekčních, čehož bylo dosaženo větší vahou u projevů silných konvekčních srážek (viz kapitola 2.3). V tabulkách je to patrné v přerozdělení procent v úhrnech srážek a v extrémních srážkách. U verze A3 resp. A4 byla jako základ použita verze algoritmu A1 resp. A2 doplněná v případě nerozlišení o verzi A5. Výsledkem jsou vyšší hodnoty pro konvekční a vrstevnaté srážky než u základního algoritmu a nižší hodnoty u smíšených srážek.

Algoritmus A4 a A8 (konečná verze) dávají obdobné výsledky, což je způsobeno jejich podobnými použitými kritérii. Obě verze obsahují doplňující kritérium (A5) v případě nerozlišení pomocí hlavního kritéria. To u čtvrté verze zohledňuje silné konvektivní srážky vahou 2 a u konečné verze jim dává absolutní přednost před projevy vrstevnatých srážek (viz kapitola 2.3). Podrobné rozebírání výsledků dalších verzí algoritmů není podstatné.

Celkově mohu říci, že jakýkoli algoritmus dává lepší výsledky rozlišitelnosti pro větší úhrny srážek a horší pro malé úhrny. Nejvíce nerozlišených srážek jsem dostala pro celkové úhrny, které obsahují i slabé srážky, a nejméně smíšených srážek vyšlo pro extrémní srážky. Z toho vyplývá, že by bylo vhodné používat navržený algoritmus na rozlišování zejména vydatných srážek.

Algoritmus	Druh srážek	Úhrn srážek [%]	Počet případů [%]	Počet extrémů [%]
A1	Konvekční	22.2	15.4	24.2
	Vrstevnaté	69.2	79.7	72.0
	Smíšené	8.6	4.9	3.8
A2	Konvekční	24.9	16.4	28.0
	Vrstevnaté	66.4	78.9	68.2
	Smíšené	8.7	4.8	3.8
A3	Konvekční	22.9	16.1	24.7
	Vrstevnaté	71.5	83.1	74.6
	Smíšené	5.6	0.8	0.7

A4	Konvekční	25.7	17.1	28.6
	Vrstevnaté	68.9	82.2	71.1
	Smíšené	5.3	0.7	0.3
A5	Konvekční	12.9	10.4	14.1
	Vrstevnaté	76.8	83.9	80.9
	Smíšené	10.3	5.7	5.0
A6	Konvekční	17.5	12.8	18.7
	Vrstevnaté	74.2	84.8	77.9
	Smíšené	8.3	2.4	3.4
A7	Konvekční	21.2	13.7	22.8
	Vrstevnaté	72.0	84.2	75.4
	Smíšené	6.8	2.0	1.8
A8	Konvekční	28.8	18.2	32.8
	Vrstevnaté	65.8	81.1	66.9
	Smíšené	5.3	0.7	0.3

Tabulka 2.12: Výsledky algoritmů: Brno – Tuřany – celoročně

Algoritmus	Druh srážek	Úhrn srážek [%]	Počet případů [%]	Počet extrémů [%]
A1	Konvekční	26.7	24.1	26.9
	Vrstevnaté	67.2	68.7	68.4
	Smíšené	6.1	7.2	4.7
A2	Konvekční	27.9	24.4	28.6
	Vrstevnaté	66.5	68.5	67.6
	Smíšené	5.6	7.0	3.8
A3	Konvekční	27.3	25.0	27.4
	Vrstevnaté	70.6	73.1	72.0
	Smíšené	2.1	1.9	0.6
A4	Konvekční	28.4	25.3	29.0
	Vrstevnaté	69.3	72.8	70.4
	Smíšené	2.2	1.9	0.7
A5	Konvekční	17.7	16.2	17.5
	Vrstevnaté	63.6	69.6	63.1
	Smíšené	18.6	14.3	19.5
A6	Konvekční	23.0	19.4	23.4
	Vrstevnaté	73.5	77.2	74.4
	Smíšené	3.5	3.4	2.3
A7	Konvekční	24.2	19.8	25.1
	Vrstevnaté	72.2	76.9	72.8
	Smíšené	3.6	3.4	2.1
A8	Konvekční	29.7	25.8	30.6
	Vrstevnaté	68.3	72.4	68.9
	Smíšené	2.0	1.8	0.5

Tabulka 2.13: Výsledky algoritmů: Svratouch – celoročně

Algoritmus	Druh srážek	Úhrn srážek [%]	Počet případů [%]	Počet extrémů [%]
A1	Konvekční	16.6	15.4	17.3
	Vrstevnaté	78.0	76.9	79.8
	Smíšené	5.4	7.7	2.9
A2	Konvekční	17.9	15.8	18.2
	Vrstevnaté	77.5	76.8	79.3
	Smíšené	4.6	7.5	2.5
A3	Konvekční	17.1	17.1	17.7
	Vrstevnaté	79.0	78.4	80.3
	Smíšené	3.9	4.6	2.0
A4	Konvekční	18.4	17.4	18.6
	Vrstevnaté	78.1	78.2	79.6
	Smíšené	3.4	4.4	1.8
A5	Konvekční	10.8	12.5	11.0
	Vrstevnaté	8.7	15.0	7.5
	Smíšené	80.5	72.4	81.5
A6	Konvekční	16.4	16.9	16.8
	Vrstevnaté	78.8	77.3	80.2
	Smíšené	4.8	5.9	3.0
A7	Konvekční	17.9	17.3	18.2
	Vrstevnaté	77.9	77.0	79.5
	Smíšené	4.3	5.7	2.3
A8	Konvekční	20.1	18.0	20.7
	Vrstevnaté	76.7	77.7	77.9
	Smíšené	3.2	4.3	1.4

Tabulka 2.14: *Výsledky algoritmů: Lysá hora – celoročně*

Protože jsem jako konečnou verzi algoritmu vybrala verzi A8, budu dále rozebírat výsledky získané právě tímto algoritmem na všech stanicích. Během celého roku je úhrn srážek z 20.1–51.6% z konvekční a z 48.0–76.7% z vrstevnaté oblačnosti. Počet případů srážek konvekčního původu je 17.1–31.9% a vrstevnatého původu 67.5–82.2%. Extrémní srážky lze rozdělit z 20.7–41.3% na srážky konvekční a z 58.5–77.9% na srážky vrstevnaté. Smíšených srážek je nejvíce v úhrnech (0.3–5.3%) a nejméně v extrémních srážkách (0.2–1.4%).

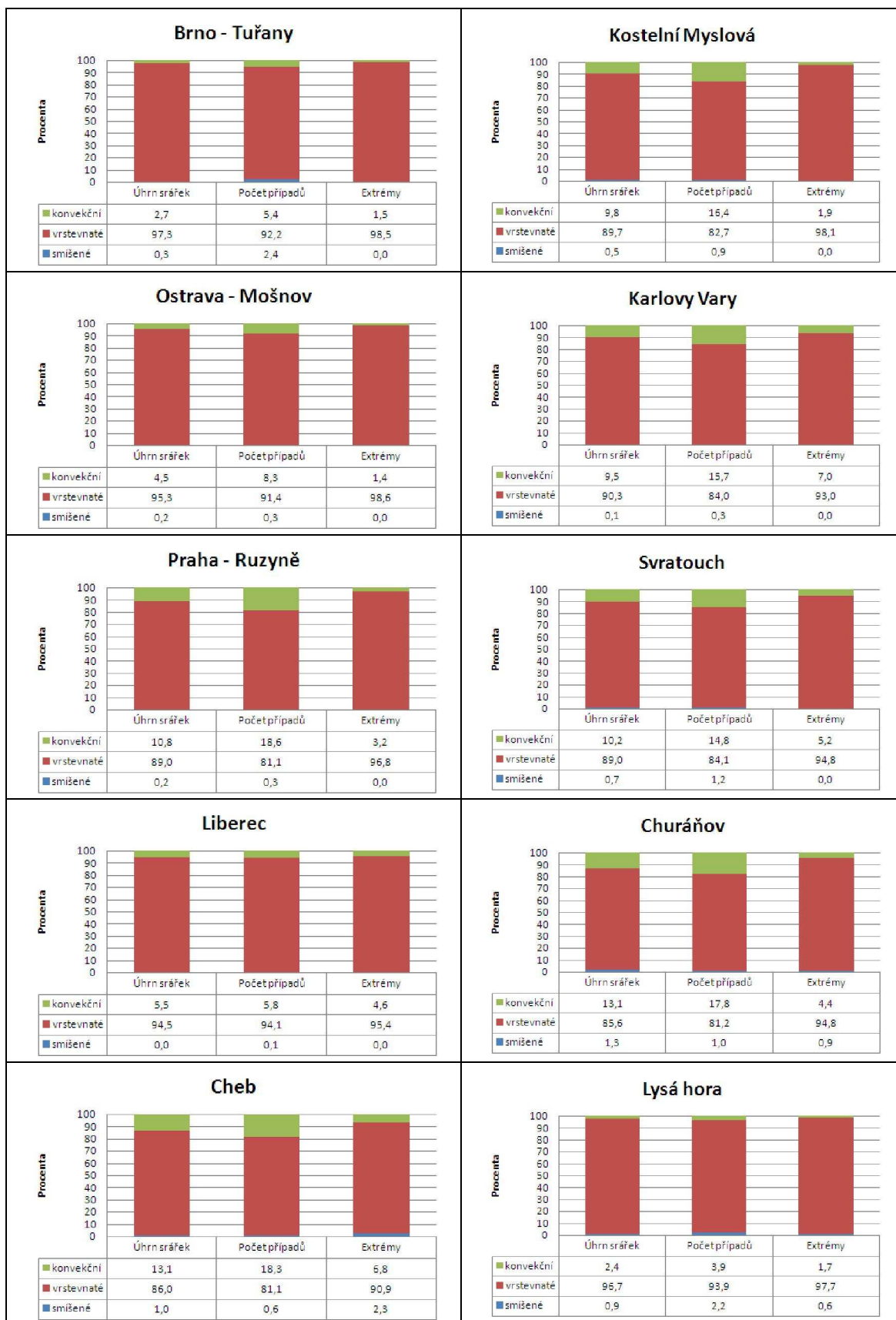
Výsledky za zimní (prosinec, leden a únor) a letní (červen, červenec a srpen) období pro finální verzi algoritmu pro všechny stanice jsou uvedeny v obrázku 2.2 a 2.3. Stanice jsou seřazeny podle nadmořské výšky (viz Tabulka 2.15). Na všech stanicích je v zimě patrná výrazná převaha vrstevnatých srážek oproti konvekčním v úhrnech, v počtech případů i v extrémech. Na vrstevnaté srážky připadá 81.1–98.6% a na konvekční 1.4–18.6%. Téměř všechny extrémní srážky pocházejí z vrstevnaté

oblačnosti (přes 90%) a jen řádově jednotky procent jsou extrémní srážky konvekčního původu. Nejméně nerozlišených srážek je v úhrnech (0.0–1.3%) a v extrémních srážkách (0.0–0.9), pokud vynecháme stanici Cheb, která má nerozlišených extrémních srážek 2.3%. Závislost na nadmořské výšce není v žádné charakteristice zřejmá. Patrný je jen větší podíl úhrnů konvekčních srážek a počtu termínů se srážkami konvekčního původu na středně vysoko položených stanicích (Praha – Ruzyně, Cheb, Kostelní Myslová, Karlovy Vary a Svatouch).

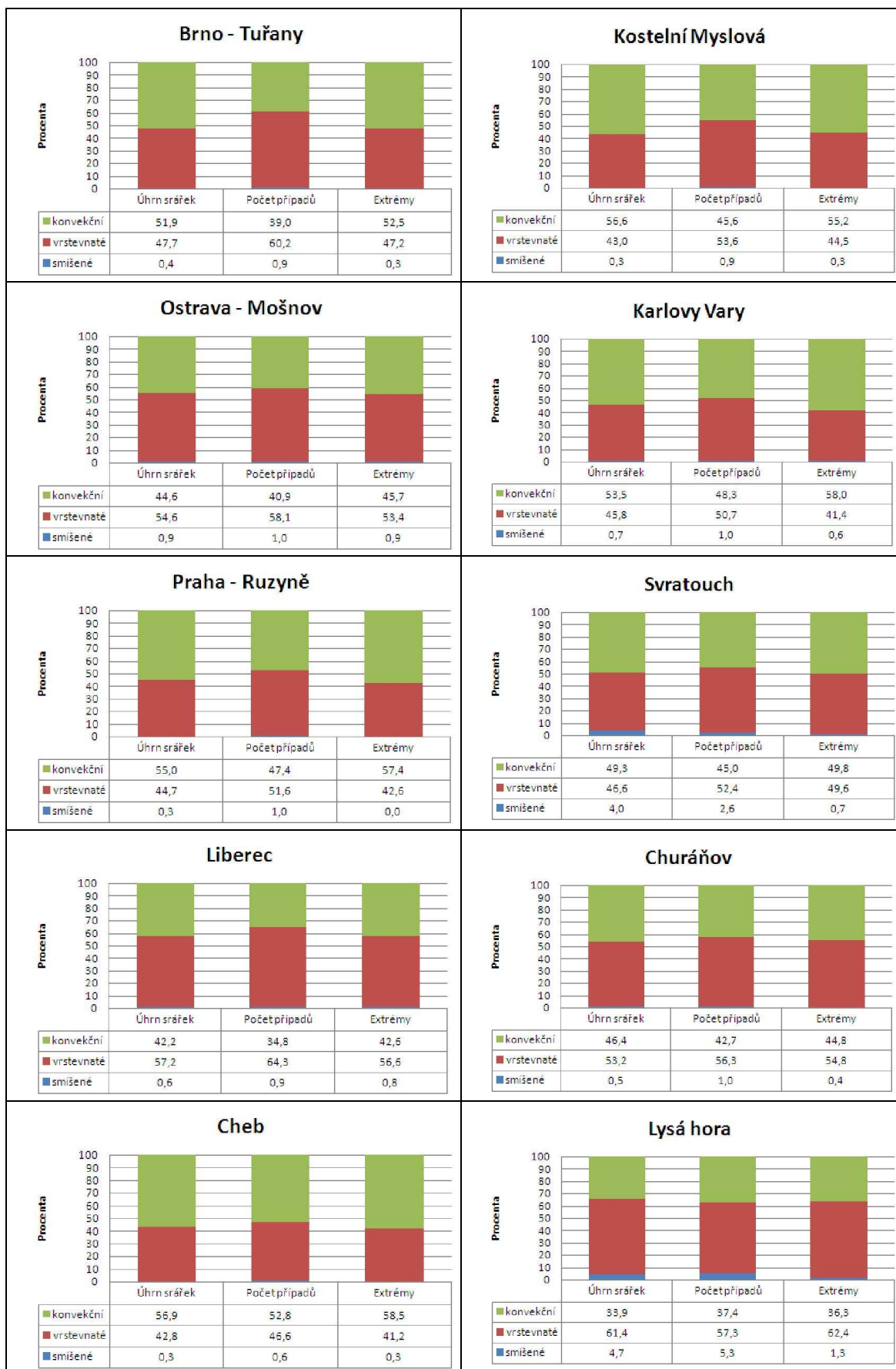
Stanice	Nadmořská výška [m n. m.]	Stanice	Nadmořská výška [m n. m.]
Brno – Tuřany	241	Kostelní Myslová	569
Ostrava – Mošnov	250	Karlovy Vary	603
Praha – Ruzyně	364	Svatouch	737
Liberec	398	Churáňov	1118
Cheb	471	Lysá hora	1322

Tabulka 2.15: *Nadmořská výška stanic*

V létě se rozdíly mezi zastoupením konvekčních a vrstevnatých srážek snižují. Na některých stanicích a v některých charakteristikách se vyskytne i mírná převaha u konvekčních srážek. Celkově připadá na konvekční srážky 33.9–58.5% a na vrstevnaté 41.2–64.3% v úhrnech, v počtech případů i extrémech. Nejlepší rozlišitelnost dává algoritmus opět pro extrémní srážky. Počet nerozlišených extrémních srážek je jen 0.0–1.3%. V úhrnech a termínech se srážkami připadá na nerozlišené srážky 0.3–5.4%. Žádná závislost charakteristik na nadmořské výšce není patrná.



Obrázek 2.2: Rozlišení úhrnu srážek, počtu případů se srážkami a počtu extrémních srážek na všech stanicích za zimní období



Obrázek 2.3: Rozlišení úhrnu srážek, počtu případů se srážkami a počtu extrémních srážek na všech stanicích za letní období

3. Analýza trendů charakteristik srážek

Pro analýzu trendů konvekčních a vrstevnatých³ srážek jsem vybrala následující charakteristiky:

a) charakteristiky celkových srážek:

- úhrn srážek – celkový úhrn srážek za sezónu;
- počet termínů se srážkami (termíny) – počet termínů s nenulovými srážkami;
- počet dní se srážkami (dny) – počet dní⁴ s nenulovými srážkami;

b) charakteristiky silných srážek:

- průměrné srážky (průměr) – průměrné množství srážek za 6 hodin se srážkami;
- maximální srážky (maximum) – maximální šestihodinový srážkový úhrn v sezóně;
- %P90 – procento celkových šestihodinových srážek v termínech nad dlouhodobým sezónním 90-tým percentilem rozdělení nenulových šestihodinových úhrnů;
- %P95 – procento celkových šestihodinových srážek v termínech nad dlouhodobým sezónním 95-tým percentilem rozdělení nenulových šestihodinových úhrnů.

Charakteristiky pro silné srážky jsem převzala z práce [9] a upravila je tak, aby vyhovovaly použitým datům.

Všechny charakteristiky jsou počítány pro sezóny jaro (březen, duben, květen), léto (červen, červenec, srpen), podzim (září, říjen, listopad) a zima (prosinec, leden, únor). Do zimní sezóny jsou zahrnuty tři po sobě jdoucí měsíce, takže prosinec je započítáván do zimy následujícího roku.

Pro odhad velikosti trendu jsem použila neparametrický korelační koeficient – Kendallovo tau [16], které vyjadřuje rozdíl mezi pravděpodobností, že hodnoty dvou proměnných jsou ve stejném pořadí, oproti pravděpodobnosti, že jsou hodnoty v pořadí opačném. Tento koeficient se často používá v klimatologii pro odhad linearitu a dává

³ Konvekční srážky = srážky z konvekční oblačnosti. Vrstevnaté srážky = srážky z vrstevnaté oblačnosti.

⁴ Den = údaje připisane k termínům majícím stejné datum. Jako jeden den je bráno období od půlnoci do půlnoci.

lepší výsledky než regrese metodou nejmenších čtverců [17]. Statistickou významnost trendu jsem odhadovala pomocí neparametrického Mann–Kendalova testu [18]. Jako hladinu významnosti jsem zvolila hodnotu $\alpha = 0.05$ pro nulovou hypotézu, že se zde nevyskytuje žádný trend.

Trendy vybraných charakteristik srážek jsou studovány zvlášť pro stanice ležící v západní a východní části České republiky. Výsledky jsou shrnuty i pro celé území ČR. Rozdělení stanic na východní a západní lze nalézt v tabulce 3.1.

Západní část	Východní část
Praha – Ruzyně	Brno – Tuřany
Liberec	Ostrava – Mošnov
Cheb	Kostelní Myslová
Karlovy Vary	Svratouch
Churáňov	Lysá hora

Tabulka 3.1: Rozdělení stanic na západní a východní část ČR

3.1 Trendy konvekčních srážek

Výsledky analýz trendů pro konvekční srážky jsou shrnuty v tabulce 3.2. V zimě se vyskytuje v západní části rostoucí trend ve všech charakteristikách celkových srážek a u silných srážek je pro polovinu charakteristik trend rostoucí a pro druhou polovinu klesající. Ve východní části převažuje klesající trend u celkových srážek i u silných srážek ve většině charakteristik. Celkově se v ČR vyskytuje rostoucí trend u celkových srážek a pro silné srážky lehce převládá rostoucí trend. Relativní velikost trendů vychází pro zimní období pro všechny charakteristiky do 24% za 10 let (viz Obrázek 3.1). Pro celkové srážky vychází v nížinách (do 300 m n. m.) klesající trend a pro ostatní stanice trend rostoucí. V charakteristikách silných srážek není závislost trendu na nadmořské výšce tak patrná (trendy se střídají).

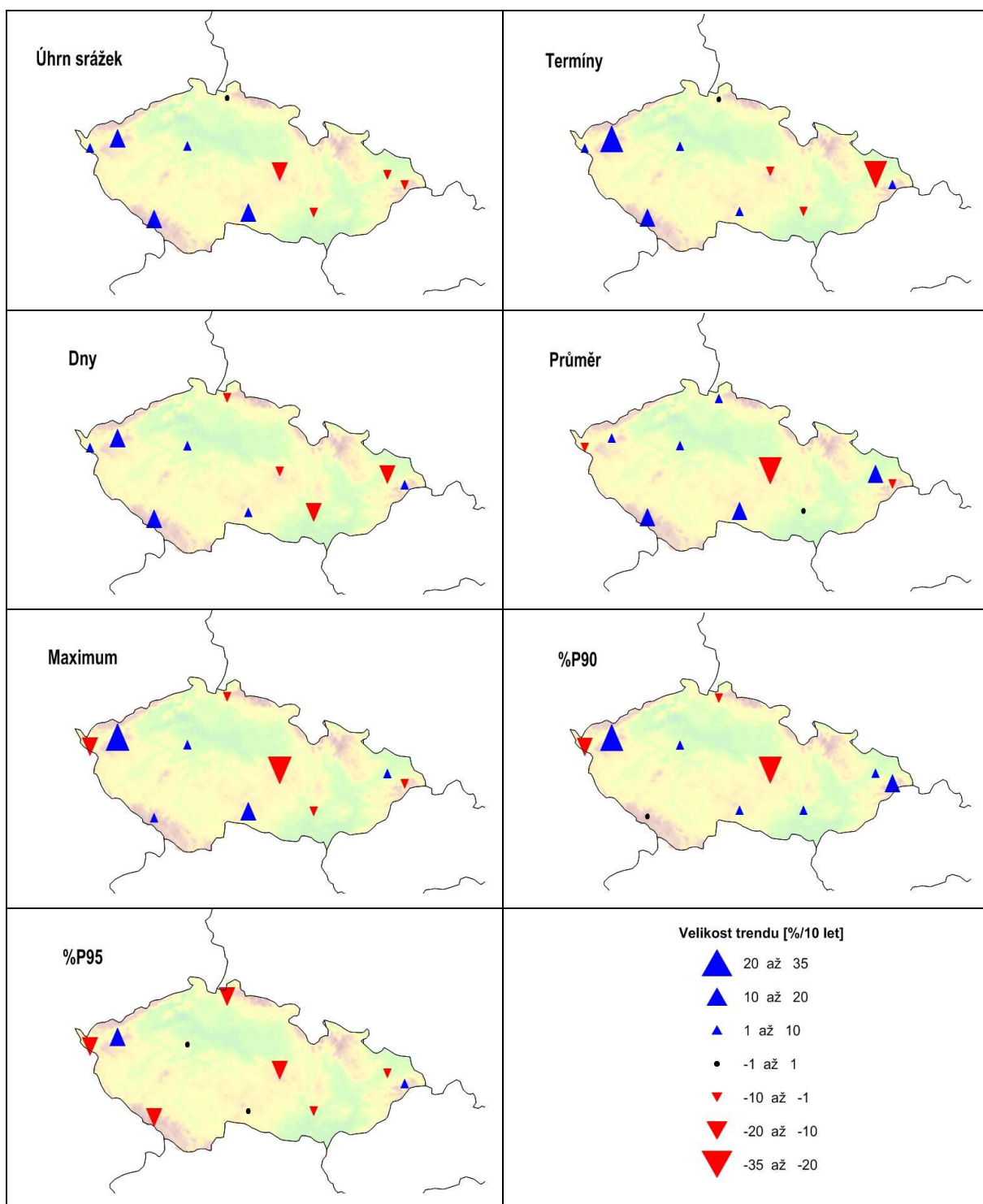
Na jaře nejsou trendy v západní části tak výrazné, ale v celkových i silných srážkách můžeme najít převahu klesajícího trendu. Ve východní části se rostoucí trend vyskytuje u všech charakteristik celkových i silných srážek. Ve výsledku v celé ČR převládá rostoucí trend u celkových i silných srážek. Relativní velikost trendů vychází na jaře pro všechny charakteristiky do 26% za 10 let (viz Obrázek 3.2). Pro celkové srážky se vyskytuje v nížinách a na vrchovině rostoucí trend, na horách převládající trend není.

Kromě stanic v nadmořských výškách 300–500 m n. m. se vyskytuje rostoucí trend u všech charakteristik silných srážek.

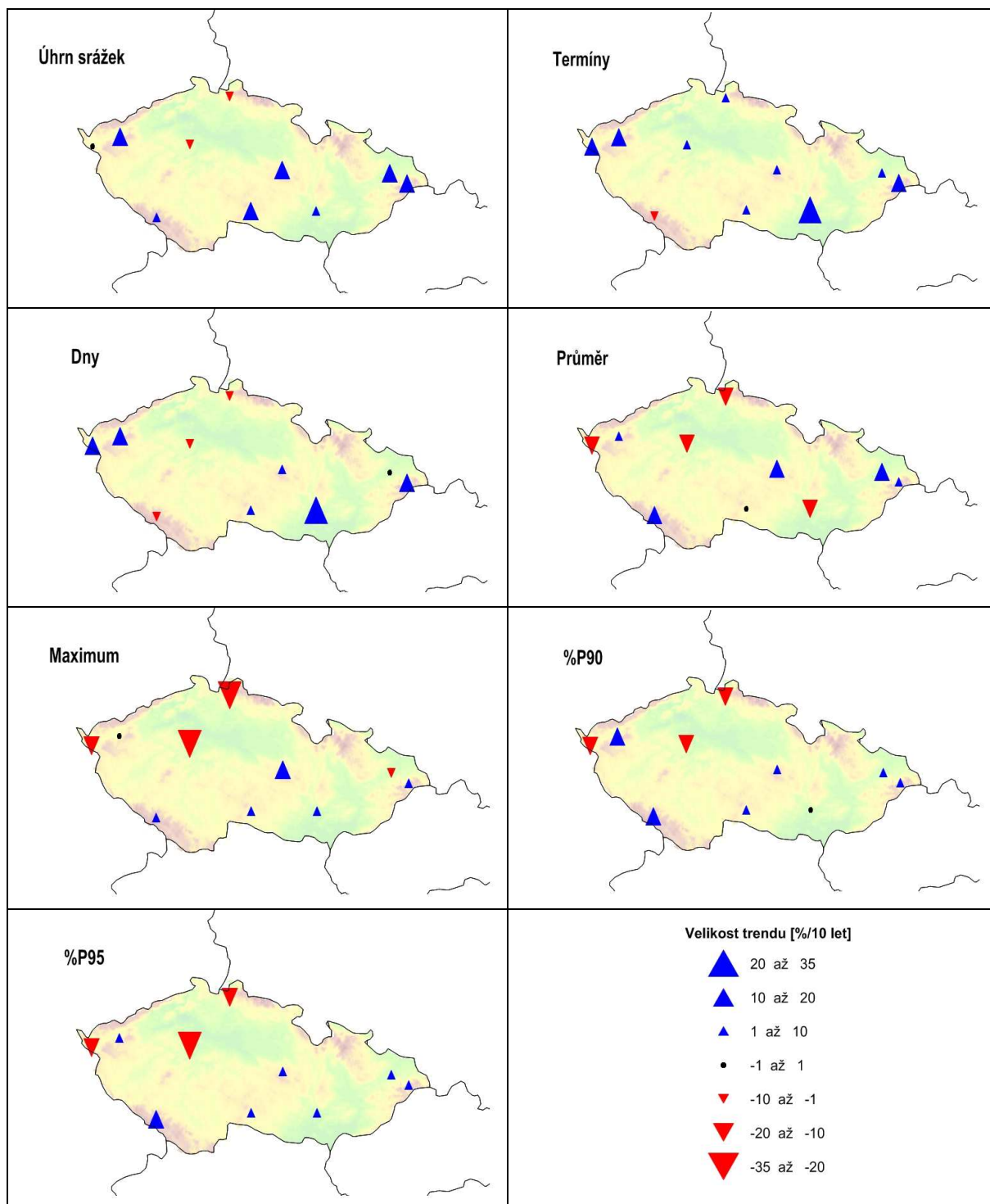
V létě převládá v západní i východní části rostoucí trend u celkových srážek a klesající trend u silných srážek. Relativní velikost trendů je v létě pro všechny charakteristiky do 34% za 10 let (viz Obrázek 3.3). Celkové srážky na níže položených stanicích rostou a na horách trendy mizí. Charakteristiky silných srážek převážně klesají, u středně vysoko položených stanic jsou trendy v polovině charakteristik rostoucí a v druhé klesající.

Období	Charakteristiky srážek	Západní část				Východní část				Celá ČR			
		+	+ 0,05	-	- 0,05	+	+ 0,05	-	- 0,05	+	+ 0,05	-	- 0,05
Zima	Úhrn srážek	5	0	0	0	4	0	1	0	9	0	1	0
	Termíny	5	0	0	0	2	0	3	1	7	0	3	1
	Dny	4	0	1	0	2	0	3	1	6	0	4	1
	Průměr	4	0	1	0	2	1	2	0	6	1	3	0
	Maximum	3	1	2	0	2	0	3	0	5	1	5	0
	%P90	2	1	3	0	4	0	1	1	6	1	4	1
	%P95	1	0	4	1	2	0	3	0	3	0	7	1
Jaro	Úhrn srážek	2	0	3	0	5	0	0	0	7	0	3	0
	Termíny	4	1	1	0	5	1	0	0	9	2	1	0
	Dny	2	0	3	0	5	2	0	0	7	2	3	0
	Průměr	2	0	3	0	4	0	1	0	6	0	4	0
	Maximum	2	0	3	1	4	0	1	0	6	0	4	1
	%P90	2	0	3	0	4	0	0	0	6	0	3	0
	%P95	2	0	3	0	5	0	0	0	7	0	3	0
Léto	Úhrn srážek	5	0	0	0	2	0	3	0	7	0	3	0
	Termíny	3	0	2	0	4	1	1	0	7	1	3	0
	Dny	4	1	1	0	5	1	0	0	9	2	1	0
	Průměr	2	0	3	0	0	0	5	1	2	0	8	1
	Maximum	1	0	4	0	1	0	3	1	2	0	7	1
	%P90	4	0	1	0	1	0	4	0	5	0	5	0
	%P95	2	0	3	0	1	0	4	1	3	0	7	1
Podzim	Úhrn srážek	5	3	0	0	4	0	1	0	9	3	1	0
	Termíny	5	3	0	0	5	2	0	0	10	5	0	0
	Dny	5	2	0	0	5	2	0	0	10	4	0	0
	Průměr	4	0	1	0	3	0	2	0	7	0	3	0
	Maximum	5	1	0	0	1	0	3	1	6	1	3	1
	%P90	3	1	2	0	2	0	3	1	5	0	5	0
	%P95	3	1	2	0	1	0	4	1	4	1	6	1

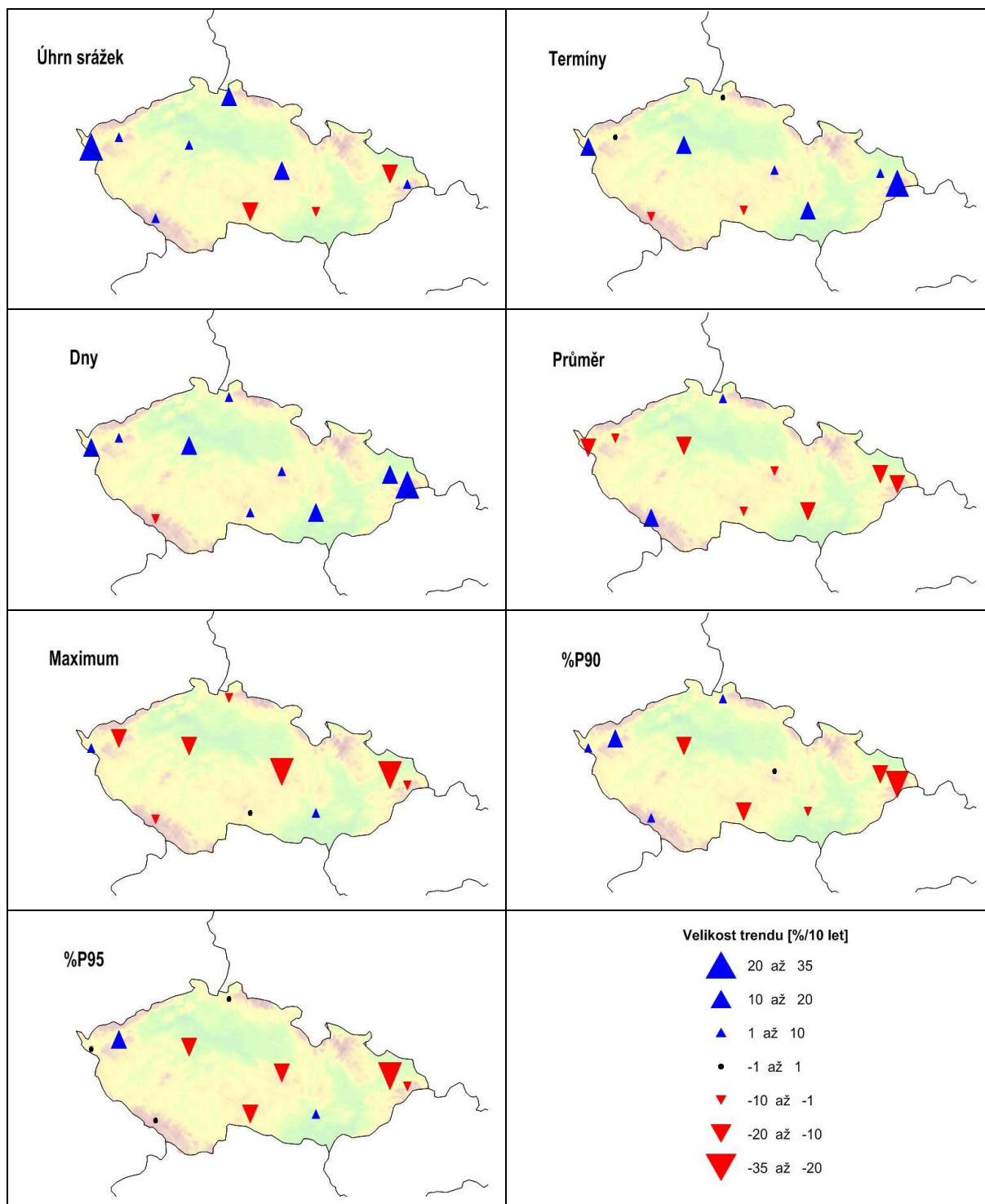
Tabulka 3.2: Počty stanic s rostoucím (+) nebo klesajícím (–) trendem a počty stanic s rostoucím (+, 0.05) nebo klesajícím (–, 0.05) trendem významným na hladině $\alpha = 0.05$ pro charakteristiky konvekčních srážek



Obrázek 3.1: Velikosti trendů charakteristik konvekčních srážek pro zimu



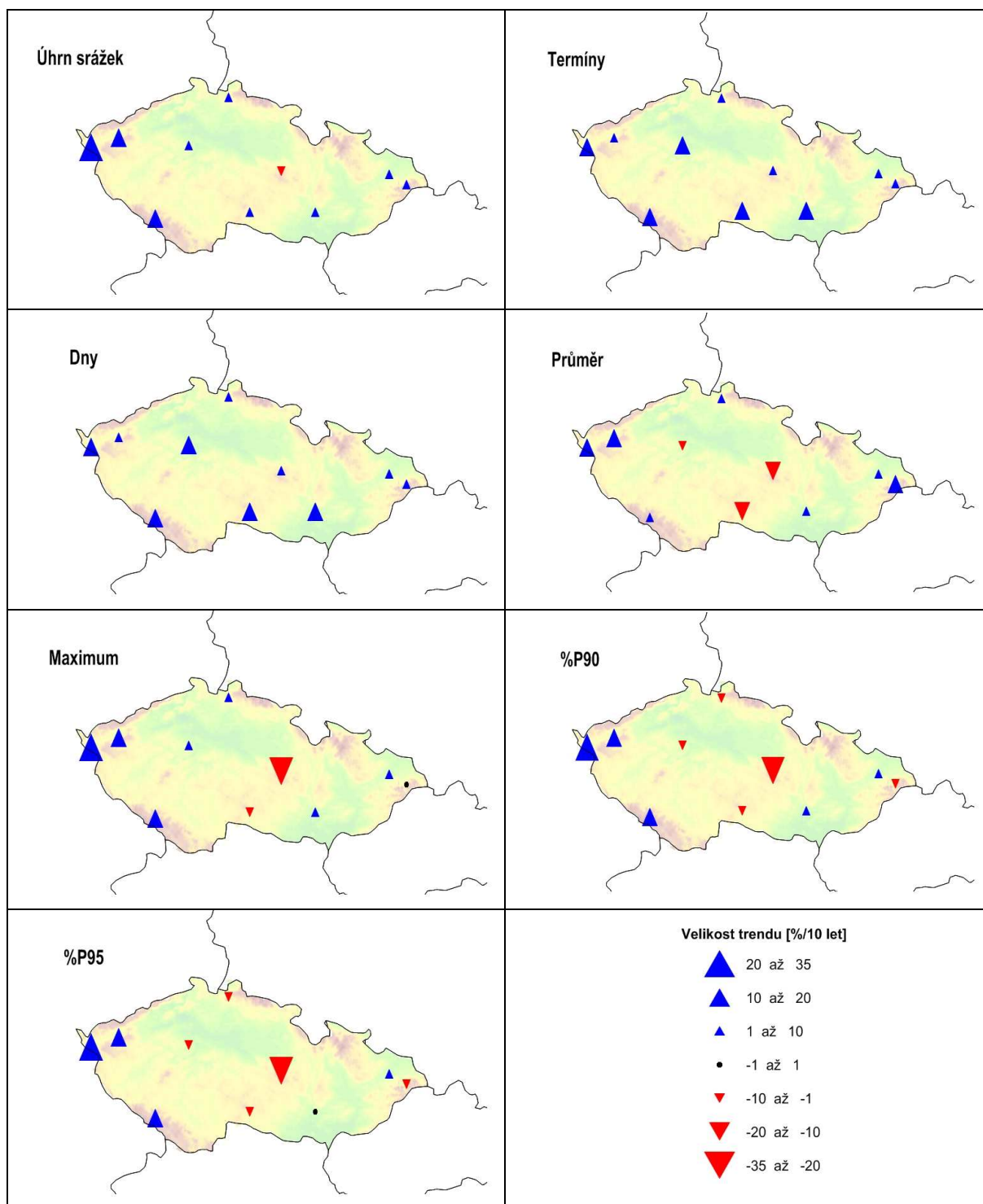
Obrázek 3.2: Velikosti trendů charakteristik konvekčních srážek pro jaro



Obrázek 3.3: Velikosti trendů charakteristik konvekčních srážek pro léto

Na podzim v západní části rostou celkové i silné srážky. Ve východní části jsou celkové srážky rostoucí a silné srážky mají převážně klesající trend. V celé ČR se vyskytuje rostoucí trend v celkových srážkách a u silných srážek lehce převažuje rostoucí trend. Relativní velikosti trendů jsou pro všechny charakteristiky do 25% za 10 let (viz Obrázek 3.4). Ve všech nadmořských výškách mají celkové srážky rostoucí

trend. Trendy charakteristik silných srážek se zdají nezávislé na nadmořské výšce. Z tabulky 3.2 je vidět, že většina trendů charakteristik konvekčních srážek je na hladině 0.05 statisticky nevýznamná. Výjimku tvoří kladné trendy celkových srážek na podzim.



Obrázek 3.4: Velikosti trendů charakteristik konvekčních srážek pro podzim

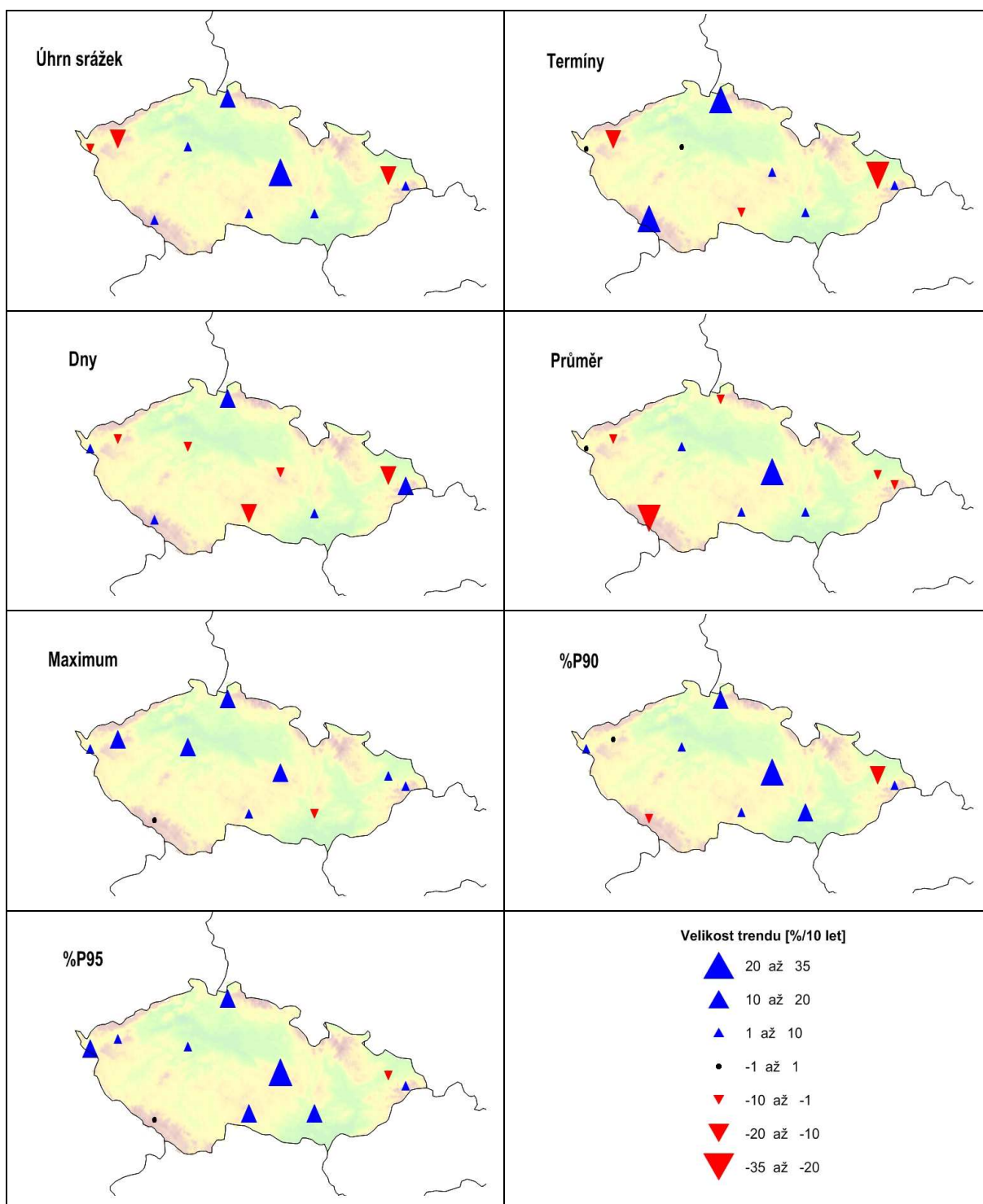
3.2 Trendy vrstevnatých srážek

Výsledky analýz trendů pro vrstevnaté srážky jsou shrnuty v tabulce 3.3. V zimě převládá v západní i východní části země rostoucí trend pro celkové i silné srážky. V celé ČR převládá rostoucí trend ve většině charakteristik, kromě průměrných srážek, kde je trend klesající. Relativní velikosti trendů jsou pro všechny charakteristiky do 30% za 10 let (viz Obrázek 3.5). V nížině nepřevládá v celkových srážkách žádný trend,

Období	Charakteristiky srážek	Západní část				Východní část				Celá ČR			
		+	+ 0,05	-	- 0,05	+	+ 0,05	-	- 0,05	+	+ 0,05	-	- 0,05
Zima	Úhrn srážek	3	0	2	0	4	0	1	0	7	0	3	0
	Termíny	4	0	1	0	3	0	2	0	7	0	3	0
	Dny	3	0	2	0	2	0	3	0	5	0	5	0
	Průměr	1	0	4	0	3	1	2	0	4	1	6	0
	Maximum	4	0	1	0	4	0	1	0	8	0	2	0
	%P90	4	0	1	0	4	0	1	0	8	0	2	0
	%P95	4	0	0	0	4	1	1	0	8	1	1	0
Jaro	Úhrn srážek	1	0	4	1	2	0	3	0	3	0	7	1
	Termíny	1	0	4	0	0	0	5	1	1	0	9	1
	Dny	1	0	4	0	0	0	5	2	1	0	9	2
	Průměr	1	0	4	0	2	1	3	0	4	1	6	0
	Maximum	0	0	5	0	2	0	3	0	2	0	8	0
	%P90	2	0	3	2	2	0	3	0	4	0	6	2
	%P95	1	0	4	1	2	0	3	1	3	0	7	2
Léto	Úhrn srážek	4	0	1	0	5	0	0	0	9	0	1	0
	Termíny	4	0	1	0	4	0	1	0	8	0	2	0
	Dny	3	0	2	0	3	0	2	0	6	0	4	0
	Průměr	3	0	2	0	5	0	0	0	8	0	2	0
	Maximum	3	0	2	0	3	0	2	0	6	0	4	0
	%P90	4	0	1	0	5	0	0	0	9	0	1	0
	%P95	4	0	1	0	3	0	2	0	7	0	3	0
Podzim	Úhrn srážek	5	0	0	0	5	3	0	0	10	3	0	0
	Termíny	5	0	0	0	5	3	0	0	10	3	0	0
	Dny	5	1	0	0	5	1	0	0	10	2	0	0
	Průměr	5	0	0	0	4	2	1	0	9	2	1	0
	Maximum	3	1	2	0	5	3	0	0	8	4	2	0
	%P90	5	0	0	0	5	4	0	0	10	4	0	0
	%P95	5	0	0	0	5	5	0	0	10	5	0	0

Tabulka 3.3: Počty stanic s rostoucím (+) nebo klesajícím (-) trendem a počty stanic s rostoucím (+, 0.05) nebo klesajícím (-, 0.05) trendem významným na hladině $\alpha = 0.05$ pro charakteristiky vrstevnatých srážek

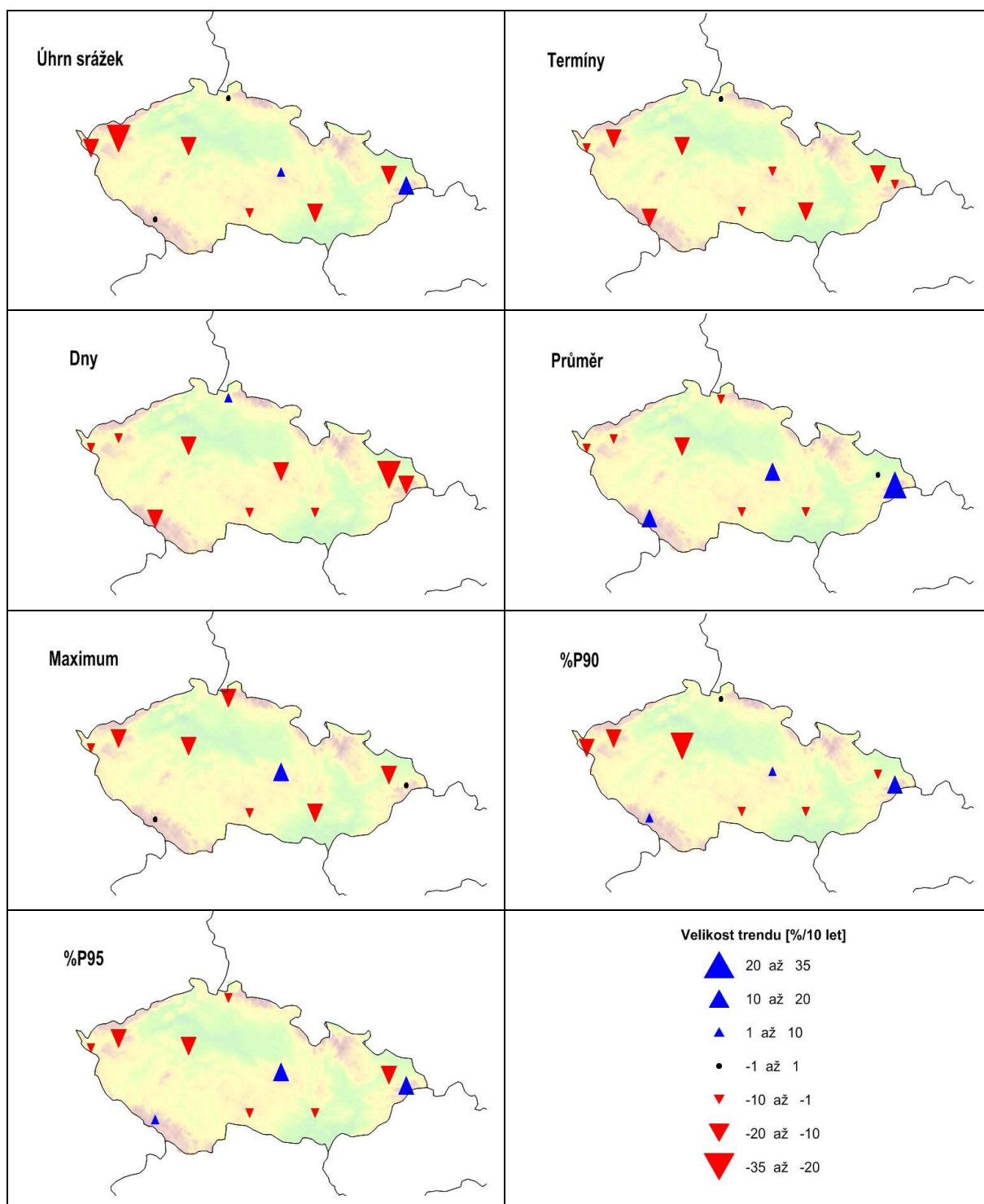
na vrchovině převládá klesající trend a na horách rostoucí. Pro silné srážky neexistuje převažující trend v nížinách ani na horách, na vrchovině převládá rostoucí trend.



Obrázek 3.5: Velikosti trendů charakteristik vrstevnatých srážek pro zimu

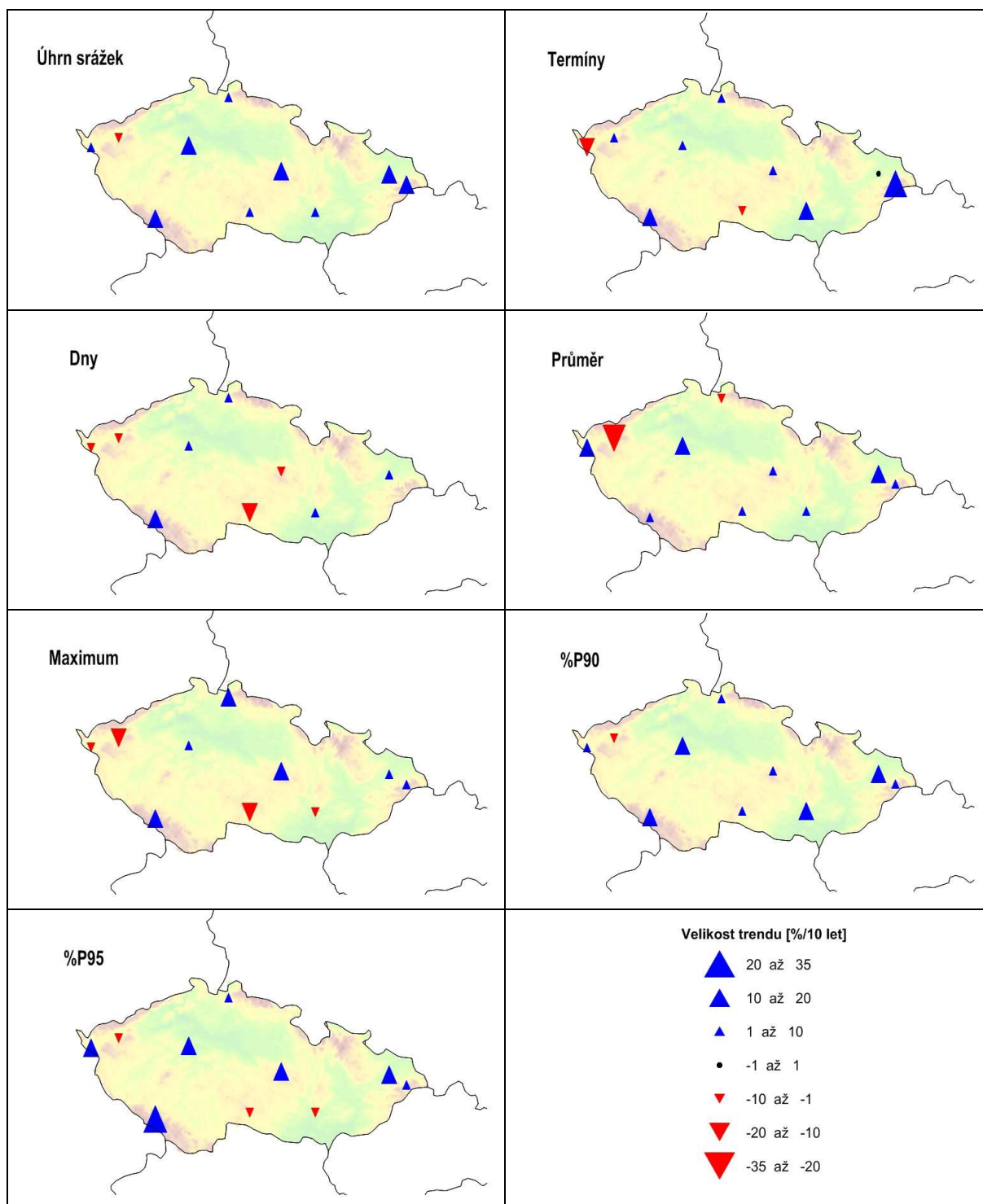
Na jaře se v západní i východní části vyskytuje klesající trend v celkových i silných srážkách. Celkově je na celém území rostoucí trend ve všech charakteristikách

vrstevnatých srážek. Relativní velikosti trendů jsou pro všechny charakteristiky do 21% za 10 let (viz Obrázek 3.6). V celkových srážkách převažuje klesající trend ve všech nadmořských výškách. V silných srážkách se ve většině stanic vyskytuje klesající trend, na horách je rostoucí.



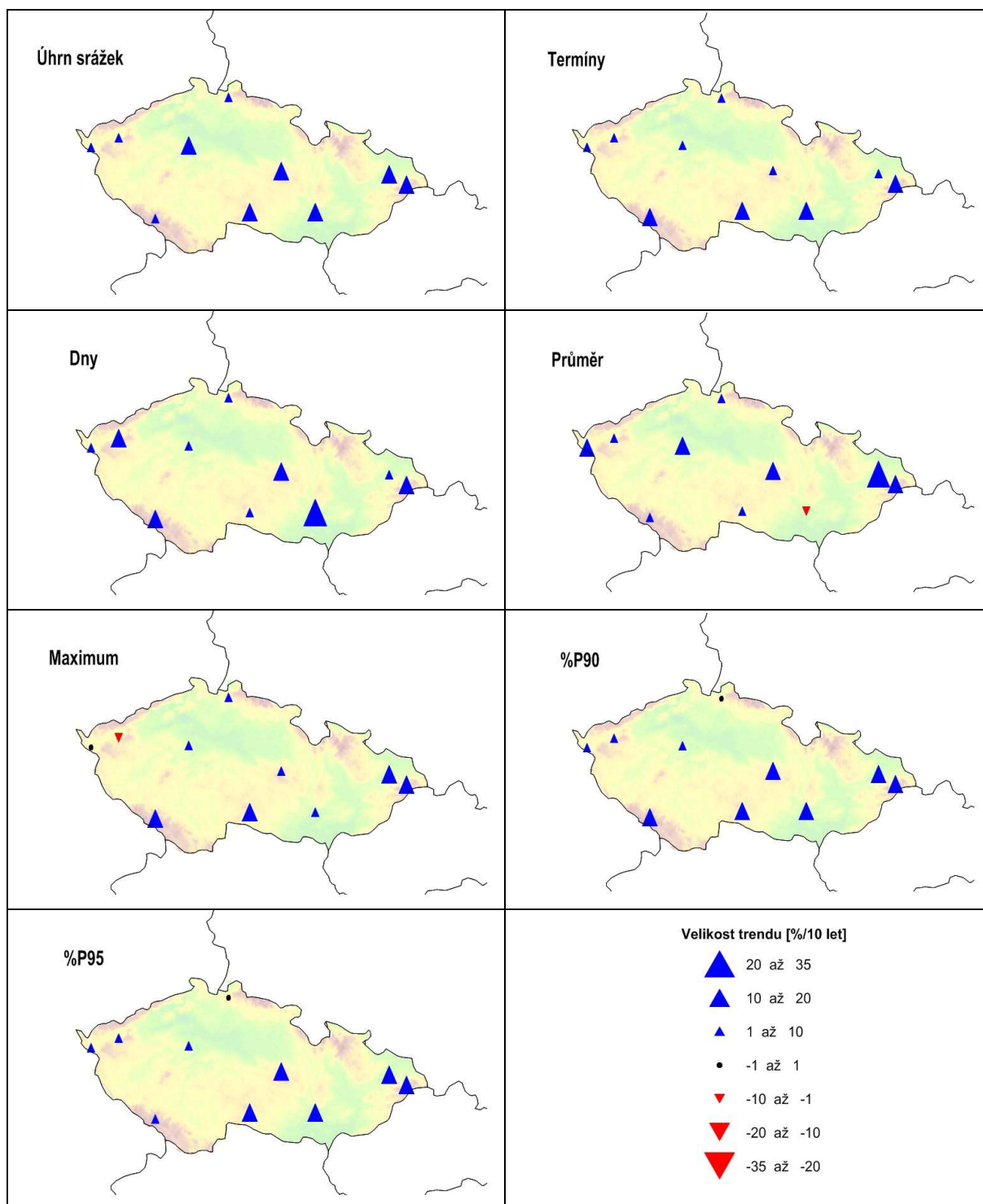
Obrázek 3.6: Velikosti trendů charakteristik vrstevnatých srážek pro jaro

V létě je v celé ČR i v jednotlivých částech rostoucí trend v charakteristikách celkových i silných srážek. Relativní velikost trendů je do 37% za 10 let (viz Obrázek 3.7). V celkových srážkách ve všech nadmořských výškách převažuje rostoucí trend. V silných srážkách převažuje rostoucí trend, na vrchovině se částečně vyskytuje trend klesající.



Obrázek 3.7: Velikosti trendů charakteristik vrstevnatých srážek pro léto

Nárůst silných vrstevnatých srážek (na rozdíl od konvekčních) na severovýchodě ČR zřejmě souvisí s častějším výskytem povodní v této oblasti, které jsou způsobeny zvýšeným vlivem středomořských cyklón a specifickou orografií. Data ze stanice Lysá hora a Ostrava – Mošnov také potvrdily, že povodeň z července 1997 byla způsobena právě vytrvalými srážkami z vrstevnaté oblačnosti.



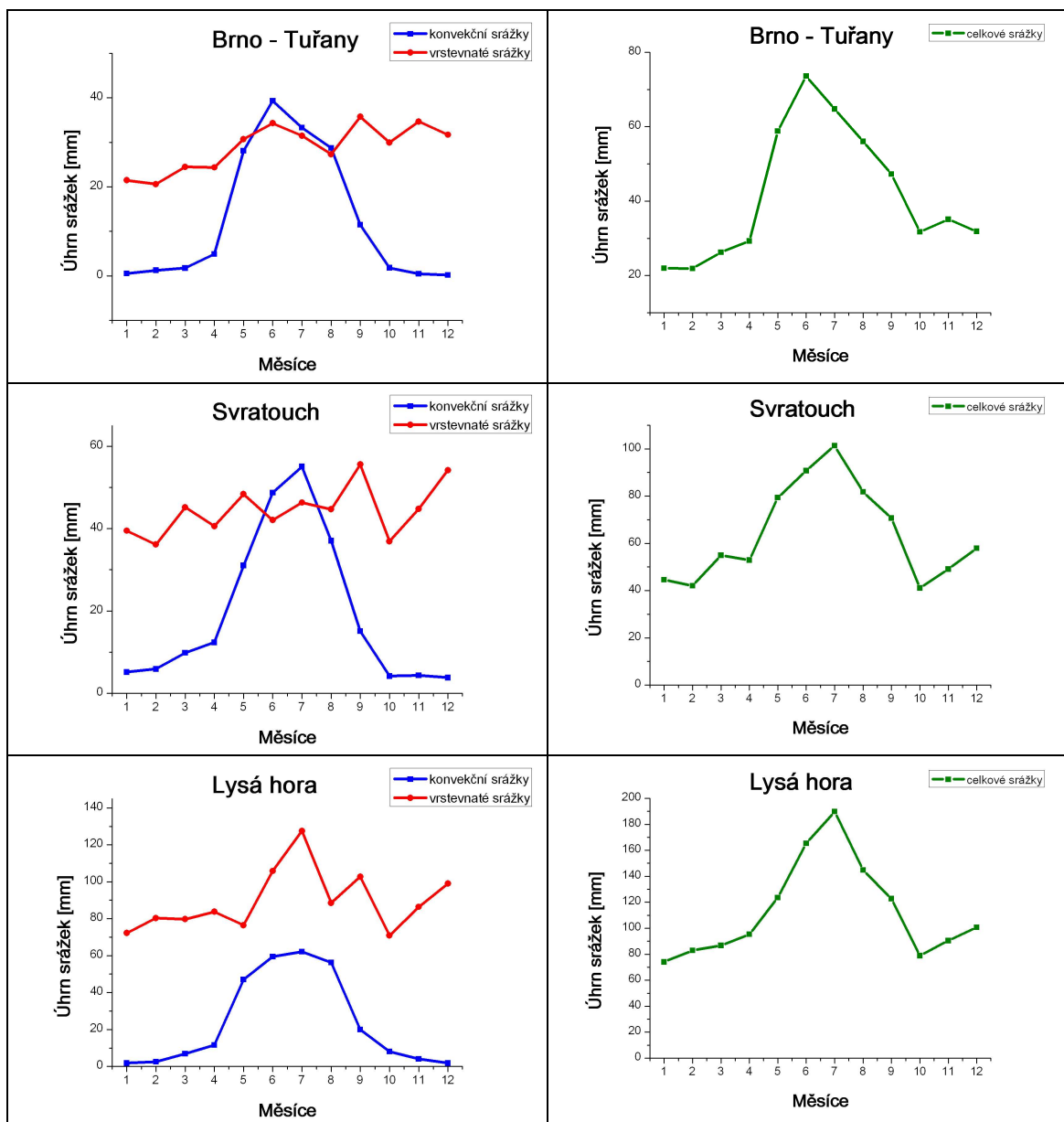
Obrázek 3.8: Velikosti trendů charakteristik vrstevnatých srážek pro podzim

Na podzim se opět vyskytuje v jednotlivých částech i v celé zemi rostoucí trend v celkových i silných srážkách. Relativní velikosti trendů jsou pro všechny charakteristiky do 22% za 10 let (viz Obrázek 3.8). Celkové i silné srážky rostou ve všech nadmořských výškách. Kromě kladných trendů charakteristik silných srážek na podzim je většina trendů charakteristik vrstevnatých srážek na hladině 0.05 statisticky nevýznamná.

3.3 Souhrn a diskuze výsledků

Další část práce zahrnuje porovnání získaných výsledků s již známými skutečnostmi. V třetí části první kapitoly se zmiňují o rozložení vrstevnatých a konvekčních srážek během roku. Podle [6] převažují v zimním půlroce srážky z vrstevnaté oblačnosti. Na obrázku 2.2 se můžeme přesvědčit, že rozlišené srážky jsou během zimy skutečně zhruba z 90% vrstevnatého původu. V letním půlroce převažují podle [6] srážky z konvekční oblačnosti. Podíváme-li se na obrázek 2.3, není tomu tak. Konvekčních srážek se sice vyskytuje v létě více než v zimě, ale není jich většina. Srážky z konvekční a vrstevnaté oblačnosti mají v letním půlroce zhruba stejné zastoupení. V úhrnech a termínech se srážkami mají mírnou převahu vrstevnaté srážky, zatímco extrémní srážky pochází více z konvekční oblačnosti.

Nejdeštivějšími měsíci jsou pro celkové srážky (srážky nerozlišené podle původu) červen a červenec a nejsuššími leden a únor [6]. V konvekčních srážkách je zřetelný roční chod shodný s chodem nerozlišených srážek, ale vrstevnaté srážky výrazný roční chod nejeví. Průměrné roční chody úhrnů konvekčních, vrstevnatých a celkových srážek na stanicích Brno – Tuřany, Svratouch a Lysá hora lze najít na obrázku 3.9. Z tohoto je patrné, že chod srážek vzniká kombinací významného chodu konvekčních srážek s maximem v červnu až červenci a minimem v lednu až únoru a relativně nevýrazného chodu vrstevnatých srážek.



Obrázek 3.9: Průměrné roční chody úhrnů vrstevnatých, konvekčních a celkových srážek na stanicích Brno – Tuřany, Svratouch a Lysá hora

Souhrn výsledků analýz trendů pro konvekční a vrstevnaté srážky za období 1982–2005 je uveden v tabulkách 3.4 a 3.5. Celkové srážky jsou ve většině sezón rostoucí. Na jaře celkové srážky klesají u vrstevnatých v celé ČR a u konvekčních jen v západní části. Ve východní části ČR klesají celkové konvekční srážky v zimě. Silné srážky vrstevnatého původu kromě jara rostou v celé ČR. Silné konvekční srážky většinou klesají. Výjimkou jsou rostoucí srážky na podzim v západní části a na jaře ve východní části ČR. Ve velikosti trendů silných a celkových srážek z konvekční a vrstevnaté oblačnosti není žádný výrazný rozdíl.

Celkově je v západní části ČR lepší shoda trendů charakteristik konvekčních a vrstevnatých srážek než ve východní části. Tyto rozdíly zřejmě souvisí s odlišným vlivem Atlantiku a Středomoří na jednotlivé oblasti. Z tabulek 3.4 a 3.5 je také dobře vidět, že v trendech celkových a silných srážek je dobrá shoda u vrstevnatých srážek, zatímco u konvekčních srážek tomu tak není. Vrstevnaté srážky jsou v datech více zastoupeny než konvekční, což může způsobit, že trendy konvekčních srážek mohou mít náhodnější charakter.

Období	Západní část		Východní část		Celá ČR	
	Trendy celkových srážek	Trendy vydatných srážek	Trendy celkových srážek	Trendy vydatných srážek	Trendy celkových srážek	Trendy vydatných srážek
Zima	++	+/-	-	-	++	+
Jaro	-	-	++	++	++	+
Léto	++	-	++	--	++	--
Podzim	++	++	++	-	++	+

Tabulka 3.4: Souhrn trendů konvekčních srážek

Období	Západní část		Východní část		Celá ČR	
	Trendy celkových srážek	Trendy vydatných srážek	Trendy celkových srážek	Trendy vydatných srážek	Trendy celkových srážek	Trendy vydatných srážek
Zima	+	++	+	++	+	++
Jaro	--	--	--	-	--	--
Léto	++	++	++	++	++	++
Podzim	++	++	++	++	++	++

Tabulka 3.5: Souhrn trendů vrstevnatých srážek

Vysvětlivky: ++ (- -) ... výrazný rostoucí (klesající) trend
 + (-) ... nevýrazný, ale převážně rostoucí (klesající) trend
 +/- ... nepřevažuje žádný trend

Na porovnání trendů charakteristik konvekčních a vrstevnatých srážek s trendy nerozlišených srážek jsem se rozhodla využít výsledků z práce [9] (Tabulka 1.1). V západní části ČR se trendy rozlišených a nerozlišených srážek dobře shodují. Výjimku tvoří podzim, kdy nerozlišené srážky mají v charakteristikách silných srážek převážně klesající tendenci, zatímco u rozlišených srážek je trend rostoucí v konvekčních i vrstevnatých srážkách, a léto, kdy silné nerozlišené a vrstevnaté srážky rostou, ale konvekční klesají. To by mohlo vypovídat o tom, že na trendy silných nerozlišených srážek mají větší vliv srážky vrstevnaté.

Ve východní části ČR v zimě celkové i silné konvekční srážky klesají a vrstevnaté rostou, ale celkové nerozlišené klesají a silné rostou. Na jaře mají nerozlišené srážky výrazný klesající trend stejně jako vrstevnaté, ale konvekční rostou. Zdá se, že na trendech nerozlišených srážek se opět více podílí vrstevnaté srážky. V létě vychází pro celkové srážky vrstevnatého a konvekčního původu rostoucí trend, zatímco celkové (průměrné) nerozlišené srážky klesají.

Nesrovnalosti v trendech mohou být způsobeny odlišnostmi analyzovaných dat. V této práci bylo studováno jen 10 stanic SYNOP obsahujících data z let 1982–2005, zatímco práce [9] obsahovala téměř 200 stanic a analyzovala časové období 1961–2005. Je třeba mít na paměti, že trendy odhadnuté za 24-leté období (1982–2005) mohou být poměrně nestabilní; delší časové řady pozorování, na jejichž základě by bylo možné odlišit srážky konvekční a vrstevnaté, však nejsou k dispozici.

Vzhledem k časové a hlavně prostorové proměnlivosti srážek nelze brát výsledky analýzy vrstevnatých a konvekčních srážek za reprezentativní pro celou ČR. Abychom mohli získané závěry zobecnit, museli bychom mít data z většího počtu stanic.

Ačkoli by se mohlo zdát, že se na trendech nerozlišených srážek podílí ve větší míře srážky z vrstevnaté oblačnosti, nelze to s jistotou říci vzhledem k již zmíněným omezením analýzy. Podíl vrstevnatých a konvekčních srážek na trendech nerozlišených srážek je také závislý na použité charakteristice a na ročním období.

Závěr

Na základě údajů z databáze SYNOP jsem navrhla a na deseti českých stanicích otestovala kritérium pro rozlišení šestihodinových srážek podle původu na konvekční, vrstevnaté a smíšené. Využívala jsem údaje o stavu počasí a významných oblacích. Tyto údaje zajišťují pozorovatelé na stanicích a jsou tedy ovlivněny zkušenostmi a pečlivostí jednotlivých pracovníků. Přesto si myslím, že tato data jsou vhodná pro používání. Nevýhodou navrženého kritéria může být jeho nepoužitelnost u dat z automatických stanic, kde údaje o významných oblacích nejsou dostupné a údaje o stavu počasí zajišťují jen na některých stanicích senzory pro měření stavu a průběhu počasí.

Algoritmus je snadno upravitelný na rozlišování srážek i za kratší časové období, např. hodinové srážky. Tato data jsou ovšem dostupná jen za posledních zhruba 10 let. Výsledky algoritmu lze využít například pro modelování srážkových rozdělení nebo pravděpodobností extrémů. Další aplikací může být porovnání výstupů klimatických modelů, které rozlišují srážky na konvekční a vrstevnaté, s naměřenými daty.

Pro vybrané charakteristiky celkových a silných srážek jsem určila trendy srážek rozlišených na konvekční a vrstevnaté a porovnávala je s trendy srážek v České republice. Vzhledem k časové a prostorové proměnlivosti srážek a poměrně krátkým časovým řadám srážek rozlišených na konvekční a vrstevnaté nelze vyvodit jednoduchý závěr, zda silné a celkové srážky v celé ČR rostou nebo klesají.

Literatura

- [1] IPCC: *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 104, 2007.
- [2] Sobíšek B. a kol.: *Meteorologický slovník výkladový a terminologický*, Academia, Praha 1993.
- [3] Bednář J.: *Pozoruhodné jevy v atmosféře*, Academia, Praha 1989.
- [4] Řezáčová D. a kol.: *Fyzika oblaků a srážek*, Academia, Praha 2007.
- [5] Červená E.: *SYNOP – zpráva o meteorologických pozorováních z pozemní stanice*, ČHMU, Praha 1999.
- [6] Tolasz R. a kol.: *Atlas podnebí Česka*, Český hydrometeorologický ústav a Univerzita Palackého, Praha a Olomouc 2007.
- [7] Kašpar M., Müller M.: *Selection of historic heavy large-scale rainfall events in the Czech Republic*, Natural Hazards and Earth System Science **8**, 1359–1367, 2008.
- [8] Müller M., Kašpar M., Matschullat J.: *Heavy Rains and extreme rainfall-runoff events in Central Europe from 1951–2002*, Natural Hazards and Earth System Science **9**, 441–450, 2009.
- [9] Kyselý J.: *Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961–2005*, International Journal of Climatology **29**, 1745–1758, 2009.
- [10] Štekl J. a kol.: *Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879–2000 a jejich synoptické příčiny*, ČHMÚ, Praha 2001.
- [11] Ungewitter G.: *Studien über tägliche Niederschlagssummen für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland*, Meteorologische Rundschau **23** (4), 114–117, 1970.
- [12] Brázdil R., Štekl J.: *Cirkulační procesy a atmosférické srážky v ČSSR*, Univerzita J. E. Purkyně, Brno 1986.
- [13] Kurejko I. A.: *O radzeleniji livnevych a obložnych osadkov*, Trudy, UkrNIGMI **161**, 97–102, 1978.
- [14] Orlova E. M.: *Kratkosročnyj prognoz atmosferných osadkov*, Gidrometeoizdat, Leningrad 1979.

- [15] Alibegova Ž. D.: *Prostranstvenno-vremennaja struktura polej židkich osadkov*, Gidrometizdat, Leningrad 1985.
- [16] Sen P. K.: *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*, Journal of the American Statistical Association **63**, 1379–1389, 1968.
- [17] Zhang X., Zwiers F. W., Li G.: *Monte Carlo experiments on the detection for trends in extreme values*, Journal of Climate **17**, 1945–1952, 2004.
- [18] Yue S., Pilon P., Caradias G.: *Power of the Man –Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series*, Journal of Hydrology **259**, 254– 271, 2002.