



**Analýza srážkových řad z hlediska vlivu srážek na vodní
erozi**
Disertační práce

Vedoucí práce:
prof. Ing. František Toman, CSc.

Vypracovala:
Ing. Silvie Kozlovská

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: *Analýza srážkových řad z hlediska vlivu srážek na vodní erozi* vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:.....

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala školiteli prof. Ing. Františku Tomanovi, CSc. za odborné vedení, vstřícnost, ochotu a trpělivost. Dále děkuji Českému hydrometeorologickému ústavu a společnosti BVK, a.s. za poskytnutí dat pro studijní účely. Mé díky paří také Mgr. Pavlu Zahradníčkovi, Ph.D. za odbornou konzultaci.

Své rodině a přátelům děkuji za neocenitelnou pomoc, podporu a trpělivost během mého studia.

KOZLOVSKÁ SILVIE. Analýza srážkových řad z hlediska vlivu srážek na vodní erozi

Abstrakt

Cílem této práce bylo komplexně zpracovat dlouhodobé údaje o denních srážkových úhrnech (1961 – 2013) na osmi vybraných meteorologických stanicích v působnosti brněnské pobočky Českého hydrometeorologického ústavu, a to především z hlediska jejich možné erozní účinnosti. Zvláštní zřetel byl proto kladen především na srážkové dny s úhrnem vyšším než 10 mm a na roční extrémní jednodenních srážek. Zjištěné údaje posloužily k analýze *N*-letých návrhových srážek o různých dobách opakování a posouzení vhodné metody jejich stanovení. Druhotným cílem byla analýza rozložení srážkových intenzit a erozní účinnosti dešťů (tzv. R faktoru) na území města Brna, založená na desetiletých ombrografických záznamech (2003 – 2012) ze 14 stanic společnosti Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. Byla zjištěna vysoká prostorová variabilita ve výskytu přívalových dešťů na poměrně malé ploše města, což naznačuje nutnost co nejvyšší možné míry regionalizace při stanovení R faktoru na území České republiky.

Klíčová slova: eroze, *N*-letá návrhová srážka, erozně nebezpečný déšť

KOZLOVSKÁ SILVIE. Rainfall series analysis in terms of rainfall impacts on water erosion

Abstract

The objective of this study was to process long-term daily rainfall data in a comprehensive way (1961 – 2013) collected from eight selected meteorological stations operated by the Brno branch of the Czech Hydrometeorological Institute, mainly in terms of the potential erosion efficiency. Therefore, special attention was paid to rainy days with rainfall above 10 mm and yearly extreme one-day rainfalls. The determined data was used to analyze *N*-year design rainfall of various recurrence intervals and to assess suitable determination methods. The secondary objective was to analyze the distribution of rainfall intensities and erosion efficiency of rainfall (the so-called R factor) in the area of Brno, based on ten-year ombrograph records (2003 – 2012) from 14 stations of Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. High spatial variability in the occurrence of heavy rainfalls in a relatively small city area was identified indicating the necessity of the greatest possible level of regionalization in determining R factor in the territory of the Czech Republic.

Key words: erosion, *N*-year design rainfall, erosion-risk rain

OBSAH

1	ÚVOD.....	7
2	CÍL.....	8
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	9
3.1	Srážky a jejich měření.....	9
3.1.1	Intenzita srážek	9
3.1.2	Měření srážek	11
3.1.3	Vyšší denní úhrny srážek.....	17
3.1.4	Trendy srážkových úhrnů ČR v souvislosti s klimatickou změnou	19
3.2	Vodní eroze.....	20
3.3	Hydrologické podklady protierozních opatření	24
3.3.1	Metoda CN křivek	24
3.3.2	Problematika <i>N</i> -letých denních srážkových úhrnů.....	27
3.4	Kontrola kvality dat a homogenizace	32
4	MATERIÁL A METODIKA	36
4.1	Charakteristika použitých stanic ČHMÚ	36
4.1.1	Brno Tuřany.....	37
4.1.2	Dačice	38
4.1.3	Holešov	39
4.1.4	Kostelní Myslová.....	40
4.1.5	Kuchařovice.....	41
4.1.6	Náměšť nad Oslavou	43
4.1.7	Strážnice	44
4.1.8	Velké Meziříčí	45
4.1.9	Staniční srážkoměrná síť BVK, a.s.	46
4.2	Postup hodnocení změn srážkových řad po homogenizaci a kontrole kvality dat ...	48
4.3	Statistické zpracování srážkoměrných dat	50
4.4	Analýza indexu předchozích srážek	52

4.5	Stanovení <i>N</i> -letých denních srážkových úhrnů	54
4.6	Analýza erozně nebezpečných dešťů pro území Brna	56
5	VÝSLEDKY	59
5.1	Změny srážkových řad po homogenizaci a kontrole kvality dat	59
5.1.1	Analýza změn	59
5.1.2	Diskuze	64
5.2	Statistické vyhodnocení	66
5.2.1	Charakteristiky srážkových úhrnů za celé období 1961 - 2013.....	66
5.2.2	Statistiky podle dekád.....	71
5.2.3	Diskuze	74
5.3	Analýza extrémů a vyšších denních úhrnů srážek	75
5.3.1	Diskuze	84
5.4	Index předchozích srážek.....	84
5.4.1	Diskuze	87
5.5	Návrhové <i>N</i> -leté denní úhrny srážek	88
5.5.1	Diskuze	99
5.6	Analýza erozně nebezpečných dešťů pro území Brna	102
5.6.1	Analýza maximálních intenzit dešťů na území Brna.....	102
5.6.2	Analýza erozní účinnosti dešťů na území Brna.....	104
5.6.3	Diskuze	110
6	ZÁVĚR.....	113
7	SEZNAM LITERATURY	115
8	SEZNAM ZKRATEK	125
9	SEZNAM TABULEK	127
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	129
11	SEZNAM PŘÍLOH	131
12	PŘÍLOHY	132

1 ÚVOD

Procesy vodní eroze jsou v současném rozsahu především výsledkem činnosti člověka v krajině. Avšak jedním z neméně důležitých faktorů, rozhodujících o velikosti této eroze, je vliv přírodní, a to míra vertikálních atmosférických srážek. U srážek je pak z hlediska eroze nezbytné hodnotit hlavně výši jejich úhrnu, rozložení v průběhu roku a intenzitu deště. Z důvodu co nejpřesnějšího určení, ale i předvídání výše eroze v daném území je velmi důležité znát a v určitých časových intervalech ověřovat trendy ve výše zmíněných klimatických charakteristikách.

Dalším, v současnosti velmi aktuálním tématem je retence krajiny a studium možností jejího zvyšování. Je snahou zadržet srážkové vody v krajině co nejdéle, a to ze dvou hlavních důvodů: jednak kvůli vytváření zásob vody v krajině pro správné fungování ekosystémů, jednak jako zachycení vysokých objemů odtoku při přívalových deštích, tedy k ochraně povodí a níže ležících oblastí před povodněmi.

Jedněmi z činitelů, ovlivňujících retenci krajiny jsou půdně-fyzikální charakteristiky, kam lze zařadit také nasycenost půdy vodou z předchozích srážek (index předchozích srážek). Tato charakteristika je součástí stanovení objemu odtoku a kulminačního průtoku metodou tzv. CN křivek, kde se bere v úvahu mimo jiné i celkové množství spadlých srážek v pěti předešlých dnech před dnem, ve kterém hodnotíme návrhovou srážku. Součástí disertační práce je i ověření příslušnosti jednotlivých dešťů do kategorií indexu předchozích srážek (IPS) na vybraných klimatologických stanicích a tím také vhodnosti použití doporučeného a běžně užívaného IPS II.

Nejen do metody CN křivek je nezbytným vstupem návrhová N -letá srážka, přesnost jejíhož stanovení ovlivní poměrně zásadně další výpočty a návrhové hodnoty protierozních opatření. Velmi významným cílem je tedy jistě snaha tyto návrhové srážky stanovit co nejspolehlivější metodou a z co nejrepresentativnějšího souboru dat. I tomuto tématu se disertační práce významně věnuje.

Vývoj poznání v problematice vodní eroze v ČR přispěl k postupné aktualizaci metodik pro výpočet eroze a návrhy protierozních opatření. Došlo mj. i k revizi faktoru erozní účinnosti deště R (Janeček et al., 2012a) a tato práce se snaží přispět k prohloubení vědomostí o jeho prostorovém rozdělení.

2 CÍL

Cílem disertační práce je komplexní statistické zpracování a posouzení dlouhodobých záznamů srážkových úhrnů na osmi studovaných lokalitách, a to zejména s ohledem na jejich možný vliv na vodní erozi půd. Součástí tohoto cíle je zpracování N -letých návrhových srážek, které slouží při návrhu protierozních opatření na úrovni povodí, a to vhodnými metodami zvolenými na základě literární rešerše. Dílčím cílem je analyzovat a vyhodnotit erozní účinnost dešťů na území města Brna.

Při analýzách je věnována pozornost zejména vyšším denním srážkovým úhrnům (přesahujícím 10 mm, resp. 30 mm), četnosti, sezonalitě a trendům výskytu, jelikož se předpokládá jejich zvýšený erozní účinek.

Dílčí cíle:

1. Vytvoření databáze srážkoměrných dat vybraných stanic,
2. Vyhodnocení vlivu provedené homogenizace a kontroly kvality dat na vlastnosti dlouhodobých srážkových řad,
3. Statistické zpracování dlouhodobých srážkových řad,
4. Analýza vyšších denních srážkových úhrnů,
5. Analýza indexu předchozích srážek (IPS),
6. Stanovení N -letých denních srážkových úhrnů – výběr a doporučení vhodné metody,
7. Ověření efektivity volby varianty indexu předchozích srážek a varianty výpočtu N -letých srážek na výši objemu přímého odtoku jakožto podkladu pro návrh protierozních opatření,
8. Analýza erozně nebezpečných dešťů pro území Brna.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Srážky a jejich měření

Jediným zdrojem vláh na našem území jsou atmosférické srážky. Z toho důvodu je nutné mít co nejpřesnější znalost srážkových poměrů, teprve poté bude možné se zdroji efektivně hospodařit. Tato znalost rovněž umožňuje, v případě extrémních meteorologických situací, minimalizovat případné vzniklé škody. Území ČR je lokalizováno zhruba uprostřed mírného pásu severní polokoule. Podnebí na našem území je ovlivňováno zejména rozložením a situováním moří a pevniny v Evropě, taktéž ale i značnou orografickou pestrostí tohoto území. Vliv oceánu je pozorovatelný především v západních a severozápadních Čechách (menší výkyvy teplot, mírnější zimy a chladnější léta, větší množství srážek i větší oblačnost). Směrem k východu přibývá vlivů kontinentálních, zimy jsou studenější a léta teplejší, výkyvy denních a nočních teplot jsou větší, letní maxima srážek výraznější. Úbytek teplot a srážek s přibývajícím nadmořskou výškou je obecným předpokladem, který je však silně ovlivněn místní orografií (např. oceáničtější charakter počasí v horských oblastech a kontinentální charakter počasí u nížin a pahorkatin). To je důvod, proč během roku můžeme ve vyšších polohách pozorovat rovnoměrnější rozložení srážek. Na území Čech vykazuje nejvíce srážek obvykle měsíc červen, na Moravě pak červenec, nejméně srážek spadne v lednu nebo únoru (Kotrnc, 1976). Podle Atlasu podnebí Česka (Tolasz, 2007) je počet srážkových (či sněhových) dní v zimě větší, avšak měsíční úhrny srážek jsou vyšší v létě (téměř dvě třetiny ročních sum srážek spadne v letním půlroce (od března do září)).

Základní obecnou informaci o srážkových poměrech daného místa podává dlouhodobý roční úhrn srážek. V České republice se pohybuje v rozpětí od 410 do 1700 mm. Nejnižší srážkové úhrny v Čechách pozorujeme v oblasti kolem Slaného a Žatce (povodí Ohře), na Moravě při soutoku Dyje a Svatky, 460 – 480 mm za rok. K oblastem nejbohatším na srážky patří u nás Krkonoše, Jeseníky a Beskydy s úhrny kolem 1500 mm ročně (Kemel, 1996).

3.1.1 Intenzita srážek

U srážek měříme množství, označované jako srážkový úhrn v mm (**P**), zaznamenáváme trvání (**t**) a dobu výskytu srážek, dále vypočítáváme intenzitu srážek (**i**) v $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ jako poměr úhrnu a doby výskytu:

$$i = P / t \quad (1)$$

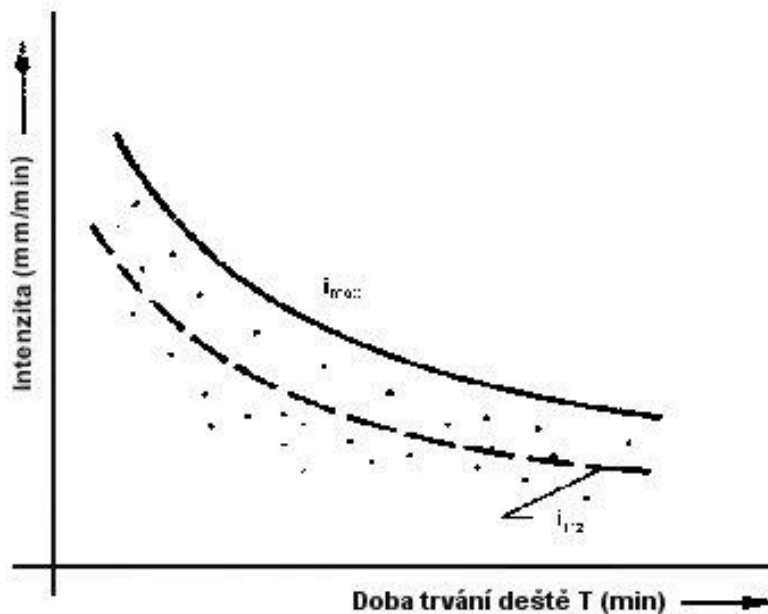
Klasifikaci deště podle intenzity uvádí Tab. 1. Déšť přivalový a průtrž mračen jsou deště velké intenzity, v našich podmínkách s kratší dobou trvání, často působící povodně, škody na porostech a většinou je jejich průběh spojen s výskytem bouřky (Rožnovský, Havlíček, 1998).

Tab. 1 Klasifikace dešťů podle jejich intenzity (Rožnovský, Havlíček, 1998)

	Slabý dešť	Mírný dešť	Silný dešť	Velmi silný dešť	Liják	Přival	Průtrž mračen
Množství srážek [mm.hod ⁻¹]	≤ 1,0	1,1 – 5,0	5,1 – 10,0	10,1 – 15,0	15,1 – 23,0	23,1 – 58,0	≥ 58,1

Intenzita na ploše se mění tak, že maximum intenzity se vyskytuje uvnitř zasažené plochy (tzv. jádro deště) a směrem k okrajům klesá, a to tím způsobem, že ve vzdálenosti 3 km od středu dosahuje jenom poloviční hodnoty. Pro naše poměry je možno intenzitu v bodě snížit pro povodí do 10 km² o 5 %, pro plochu do 25 km² o 10 % (Kemel, 1996).

Obecně platí, že se průměrná intenzita deště snižuje s jeho dobou trvání (viz Obr. 1). Také ovšem platí, že se intenzita v průběhu deště neustále mění. Déšť obvykle začíná s menší intenzitou, dále se postupně zvětšuje a ke konci opět slábné. Jindy se tento průběh srážek několikrát opakuje, v takovém případě mluvíme o skupině dešťů. V záznamech průběhů takových dešťů můžeme vybrat oddíly různého trvání, které jsou charakteristické velkými intenzitami, takže většinou tvoří liják různě dlouhou, případně jen několikaminutovou epizodu déletrvajícího deště. Z takto vybraných údajů můžeme určovat, jaký je druh závislosti intenzity deště na době jeho trvání a pravděpodobnost překročení (Habr, 2005).



Obr. 1 Závislost intenzity deště na době trvání

Pro technickou praxi byly v 60. letech 20. století stanoveny intenzity krátkodobých dešťů při odstupňovaném trvání srážek pro povodí řek Labe, Odry a Moravy Truplem (1958) a poté pro Slovensko Šamajem a Valovičem (1973).

Výpočet srážkových intenzit, zvláště u velkých objemů dat není jednoduchou záležitostí, proto se experti snaží o vytvoření co nejautomatizovanějších softwarů, které by práci usnadnily a především zrychlily. Pro účely vlastního výzkumu vyvinuli Litschmann a Rožnovský (2010) speciální program, který pro každou srážkovou epizodu umožňuje stanovit maximální intenzitu srážek pro libovolný časový interval (vyjádřený v minutách) a časový okamžik počátku prvního intervalu s maximální intenzitou srážek.

3.1.2 Měření srážek

Srážky, kdy za interval měření nepadne více než 0,05 mm, hodnotíme jako srážky neměřitelné, zapisujeme 0,0 mm. Je-li množství deště vyjádřeno v $l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$, mluvíme o vydatnosti deště.

K vyjádření srážkových poměrů nestačí jen uvedení úhrnů. Rozdělení srážek v roce daleko lépe vyjadřuje počet dnů se srážkami (srážkové dny). Nejčastěji je uváděn počet dnů se srážkami nad 1 mm, kterých je průměrně za rok v suchých oblastech přes 90, v horských, nejvlhčích oblastech skoro 190 (Rožnovský, Havlíček, 1998).

Pro posouzení významnosti případné odchylky v úhrnu určitého měsíce od dlouhodobého průměru lze použít klasifikaci podle Tab. 2.

Tab. 2 Klasifikace významu měsíců z hlediska extremity srážek (Kemel, 1996)

Extremita měsíčního úhrnu	Hodnota srážek vzhledem k průměru [%]
Mimořádně vlhký měsíc	> 200
Velmi vlhký měsíc	200 – 151
Vlhký měsíc	150 – 126
Normální měsíc	125 - 75
Suchý měsíc	74 – 50
Velmi suchý měsíc	49 – 25
Mimořádně suchý měsíc	< 25

Dělení dešťů podle původu (Dub, 1957)

Deště z tepla (termické, konvekční deště). Tento typ deště vzniká kontaktním ohřátím vlhkého vzduchu o zemský povrch a jeho následujícím výstupem do vyšších vrstev atmosféry. Tady se dynamicky ochladí, čímž je v poměrně krátké době dosaženo rosného bodu. Obsahuje-li vzduch dostatečné množství kondenzačních jader, nastane vysrážení přebytečné vlhkosti ze vzduchu a za příznivých podmínek narůstání vodních kapek či ledových krystalků. Jakmile převládnu síly tíže nad silami stoupajícího proudu vzduchu, dopadají na zemský povrch například v podobě deště. Intenzita těchto srážek závisí na rychlosti výstupného pohybu a vlhkosti vzduchu a často dosahuje značných hodnot. U nás se vyskytují jako prudké, letní lokální deště.

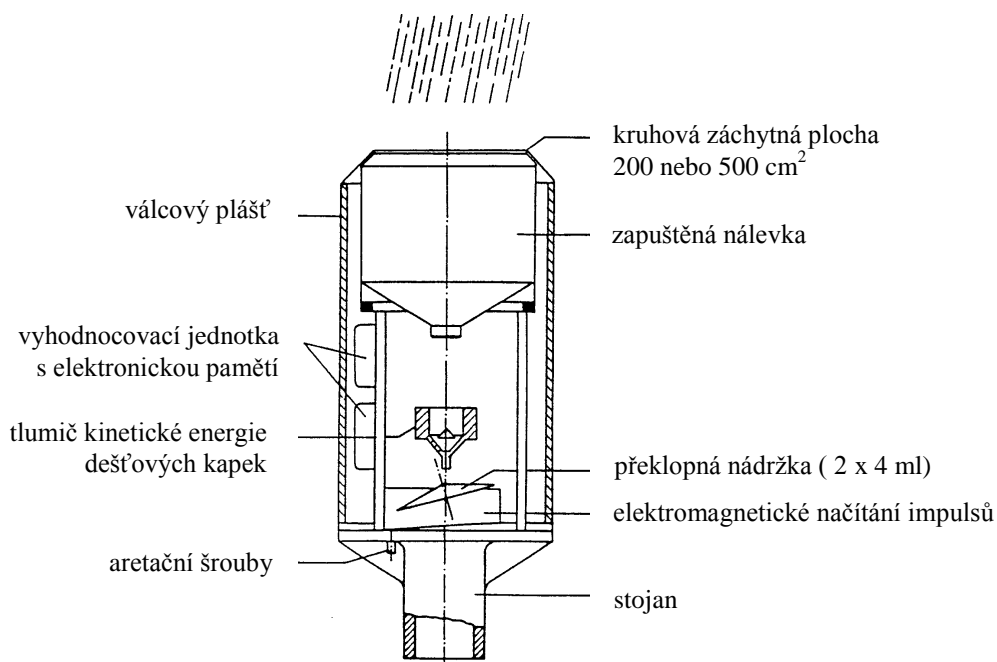
Deště orografické. Vznikají nejčastěji v horách a jsou ovlivněny reliéfem území. Dochází k nim při výstupu teplých vzdušných hmot do vyšších poloh, kde se tyto ochlazují až na kondenzační teplotu. Bývají často vytrvalé, zpravidla však intenzity menší než u dešťů z tepla.

Deště cyklonální (stratiformní, regionální). Vznikají vlivem postupující hluboké tlakové deprese (cyklóny). Malé hluboké cyklóny způsobují průtrž mračen (velká intenzita), ploché cyklóny vyvolávají rozsáhlé a vytrvalé regionální deště. U nás se vyskytují dlouhodobé deště při pohybu barometrického minima od severní části Jaderského moře a severní Itálie přes Maďarsko k moři Baltskému. Intenzita těchto dešťů jen zřídka překročí 80 mm.den^{-1} , ve vyšších polohách však může být značně vyšší.

Srážky měříme v síti srážkoměrných stanic. Každá stanice je vybavena manuálním srážkoměrem (ombrometrem) nebo automatickým digitálním srážkoměrem (případně oběma). Dříve se průběh srážek vyhodnocoval ombrografem, což je analogový samopisný přístroj. Na těžko dostupných místech se používají totalizátory.

Pozorování i vyhodnocení srážek musí být prováděno podle jednotné metodiky a pomocí stejných standardních přístrojů. Podle mezinárodní dohody se srážky měří v 7,00 hodin ráno a záznam o srážkách se zapisuje k datu předcházejícího dne. Přístroj musí být instalován na vhodném místě – mimo dešťový stín, ne však na větrném místě. Vzdálenost mezi přístrojem a okolními předměty (stromy, budovy) musí být rovna minimálně dvojnásobku převýšení těchto předmětů nad úroveň záchytné plochy srážkoměru (Habr, 2005).

V síti ČHMÚ používaný manuální Hellmannův srážkoměr má záchytnou plochu 500 cm² a skládá se z osmi dílů; záchytné srážkoměrné nádoby s ostrým okrajem záchytného otvoru, podstavné nádoby, sběrné konvice, sněhového deskového kříže a plechové poklice. Ke kompletnímu srážkoměru patří ještě sloupek, držák přístroje a odměrka (Smolík, Stružka, 1959).



Obr. 2 Člunkový srážkoměr

Automatické člunkové (nebo také překlopné) srážkoměry (Obr. 2) se skládají z čidla (člunku) a vyhodnocovací jednotky. Ve své vyhřívané verzi umožňují měření i pevných srážek. Tyto srážkoměry mají záchytnou plochu 200 cm² nebo 500 cm², s rozlišitelností 0,1 mm nebo 0,2 mm srážky na jedno překlopení člunku. Princip měření spočívá na pohybu dvojitého děleného člunku podél osy. Dešťové srážky jsou vedeny ze sběrné nádoby výtokovým otvorem do horní poloviny překlápěcího člunku. Po naplnění člunku nadefinovaným množstvím srážek dojde k jeho překlopení a začíná se plnit druhý člunek. Každé překlopení je registrováno sepnutím kontaktu a je zaznamenáno v měřicí stanici. Takto se získá detailní časový průběh srážky. Přístroje podobné konstrukce vykazují 3 – 5% objemovou chybu, která bývá způsobena výparem vody přímo z člunku, popř. relativně malou sběrnou plochou. Větší hodnoty objemové chyby vykazuje srážkoměr zejména v období s dešti malé vydatnosti a s malým celkovým úhrnem, který se stačí z člunku odpařit bez překlopení (Kemel, 1996). Přenos dat z automatizovaných stanic do centrálních informačních systémů ČHMÚ probíhal dříve přes telefonní spojení, nyní přes GPRS (rádiový přenos dat), což má několik zásadních výhod – nižší cenu přenosu dat, aktuální zobrazení 15minutových intenzit online nebo možnost dálkové komunikace se stanicí (Fryč, 2009).

Meteorologická a klimatologická měření v České republice probíhají v síti 840 stanic ČHMÚ (stav v červnu 2014). Nejvyšší postavení a nejrozsáhlejší pozorovací program má síť 39 profesionálních meteorologických stanic, z nichž část, celkem 7 stanic, je pod správou Armády ČR. Rozsáhlá klimatologická měření poskytuje síť 202 dobrovolnických klimatologických stanic, z nichž většina, 201 stanic, je plně nebo částečně automatizována. Pozorovací program 574 dobrovolnických srážkoměrných stanic (z toho 125 automatizovaných) je omezen jen na měření srážek a vlastností sněhové pokrývky. Doplnkové údaje o ročním úhrnu srážek navíc poskytuje i 25 totalizátorů, umístěných v obtížně přístupných horských lokalitách (ČHMÚ, 2014).

V této práci bylo použito dat ze tří typů stanic ČHMÚ (Stříž, 2011):

AMS - Automatizované stanice s profesionální obsluhou

Automatizované meteorologické stanice jsou obsluhovány pozorovateli, kteří jsou zaměstnanci ČHMÚ. Program klimatologických pozorování je stejný jako u

klimatologických automatizovaných stanic, ale jejich hlavním úkolem jsou synoptická pozorování.

AKS - Automatizované stanice s dobrovolnou obsluhou

Tyto stanice měří všechny meteorologické prvky jako stanice manuální. Měření se však provádí pomocí automatických přístrojů (čidel) s intervalem záznamu 10 minut, u srážek s intervalem záznamu 1 minuta. Stanice jsou vybaveny modemem, který přenáší naměřená data pomocí systému GPRS každých 5 minut na centrální počítač na pobočku. Pozorovatel je povinen sledovat a zapisovat atmosférické jevy v průběhu dne a v zimním období měřit sněhové charakteristiky klasickými přístroji.

MSS - Manuální srážkoměrné stanice

V klimatologickém termínu 7 hodin středoevropského času pozorovatel provádí měření denního úhrnu srážek a sněhových charakteristik, tj. výška nového sněhu, celková výška sněhové pokrývky a vodní hodnota celkové sněhové pokrývky. V průběhu celého dne pozorovatel zaznamenává výskyt a průběh meteorologických jevů. Data jsou zapisována do měsíčních srážkoměrných výkazů a po skončení měsíce zasílána poštou nebo vkládána do pořizovacího programu na PC a zasílána elektronickou poštou.

Všechny výše uvedené typy stanic měří srážky *přímým* měřením. Dalším možným způsobem zjišťování padajících srážek je využití metod dálkové detekce, především pomocí meteorologických radiolokátorů (v ČR jsou dva radiolokátory - Brdy a Skalky), což považujeme za *nepřímé* metody měření srážek. Oba způsoby mají své výhody a nevýhody, proto nejpřesnější výsledky vykazuje kombinace obou metod. Radiolokátory mají velké plošné pokrytí (desetitisíce až statisíce km²) a časové rozlišení, ale velkou míru nepřesností a chyb, které musí být statistickými metodami korigovány (Prax et al., 2010). Radarové odhady srážek lze využít různými způsoby. Např. Prax et al. (2010) využili radarová měření pro kontrolu kvality hodinových a 15minutových úhrnů srážek získaných z automatických člunkových srážkoměrů sítě BVK, a.s. ve městě Brně. Bližňák a Sokol (2008) studovali plošné rozložení krátkodobých srážek na území České republiky s využitím meteorologických radiolokátorů. Tímto způsobem například definovali tři oblasti ČR s vyššími hodnotami srážkových úhrnů kratší doby trvání (od jedné do šesti hodin) – západ ČR, východ ČR a jižní Čechy. Nejvyšší četnost vysokých srážkových úhrnů prokázali u pásma táhnoucího se z jižních Čech směrem

k Českomoravské vrchovině. Dále jejich analýza ukázala, že tyto srážkové události jsou spojeny ve většině případů se dvěma hlavními synoptickými situacemi – severozápadní cyklonální situací (NWC) a cyklonou nad střední Evropou (C).

Za důležitou publikaci pojednávající podrobně o klimatu našeho území lze považovat pro první polovinu 20. století *Podnebí ČSSR – Tabulky* (Vesecký, 1961), zpracovávající data z let 1901 – 1950. V současnosti jsou nejaktuálnější charakteristiky uvedeny v publikaci *Atlas podnebí Česka* (Tolasz, 2007), která pracovala s daty let 1961 – 2000. Světová meteorologická organizace (WMO) považuje za standardní klimatologické, tzv. normálové období 1961 – 1990. Významný podíl na klimatologickém rozboru atmosférických srážek ve všech jejich formách měl Ferdinand Šamaj a jeho spolupracovníci, a to Šimon Valovič při hodnocení srážek na Slovensku a Rudolf Brázdil v českých zemích (Krška, Šamaj, 2001). Zpracovali pozorování srážek a uveřejnili zhodnocení úhrnů za období 1881 – 1980 (Šamaj et al., 1984).

Moliba et al. (2006) hodnotili trendy úhrnu a výskytu srážek v České republice v období 1961 - 1998 a konstatují, že největší úbytek četnosti srážek byl pozorován na jaře (od konce března do začátku června), avšak nebyl doprovázen nárůstem úhrnů, došlo tedy k poklesu intenzity srážek. Naopak největší růst množství srážek bez nárůstu jejich četnosti zaznamenali na začátku léta, což naznačuje nárůst intenzity v tomto období.

Doleželová (2012) studovala proměnlivost srážkových úhrnů na Brněnsku, trendy zjišťovala různými metodami – metodou lineárního trendu, ale také dynamickou analýzou lineárního trendu (pro 30leté období, jehož počátek posunovala v kroku jeden rok). Cykličnost zkoumala metodou waveletové analýzy. Výsledkem těchto analýz bylo zjištění, že žádná sezona ani měsíc nevykazuje prostorově konzistentní významný trend. U části stanic se projevil záporný trend v srpnu a kladný trend v září. Co se týká cykličnosti, projevil se u všech stanic podobné krátkodobé cykly (do 10 let).

Dalšími metodami odhadu trendu časové řady klimatologických dat (na příkladu středoevropských teplotních řad) se zabývali Michálek et al. (1993). Kromě lineárního trendu zmiňují i metodu nejmenších čtverců, klouzavé součty, vyhlazení pomocí Gaussova filtru a další.

3.1.3 Vyšší denní úhrny srážek

Silné srážkové epizody souvisí dle Šamaje et al. (1983) s přílivem vlhkého mořského vzduchu ze severního Atlantiku (západní až severozápadní proudění tepla), a ještě významněji s přílivem teplého vlhkého vzduchu od Středozemního moře. Vliv těchto vzduchových mas má tendenci být výraznější ve východní části České republiky, na Moravě a ve Slezsku. Cyklóny středomořského původu bývají pak častou příčinou vícedenních maxim srážek, které mohou způsobit povodně.

Štekl et al. (2001) hodnotili veškeré zaznamenané extrémní srážkové úhrny (≥ 150 mm) na území ČR (1879 – 2000) a konstatovali, že tyto extrémy se s jedinou výjimkou vyskytovali vždy pouze v období od 16. května do 12. září. Nejvyšší zaznamenaný úhrn na našem území byl 345,1 mm ze dne 29. července 1897 na stanici Nová Louka (780 m n.m.) v Jizerských horách.

Spojností extrémních srážkových úhrnů s určitými typy povětrnostních situací se zabývalo více autorů, u nás především Brádka (např. Brádka, 1972). Štekl et al. (2001) podrobnou analýzou potvrdili výskyt extrémních přívalových srážek při synoptické situaci NWC, což se shoduje i s pracemi jiných autorů (např. výše citovanými Bližňákem a Sokolem, 2008).

Analýzou dlouhodobých dat z jižních Čech se zabývala Kovářová (2005), která konstatuje sice nemožnost prokázat změny v hodnotách dlouhodobých průměrných ročních a měsíčních úhrnech srážek, avšak zároveň upozorňuje na změny v proměnlivosti, které se projevují poklesem četnosti srážkových dní a výskytu malých srážek, a naopak růstem hodnot srážek velkých.

Toman a Rožnovský (1995) hodnotili trendy vyšších srážkových úhrnů (nad 10, 20 a 30 mm) za období 1960 – 1990 ve stanici Brno-Tuřany a upozorňují především na mírné zvyšování tohoto trendu v září. Trendy pro stejné období (1961 – 1990) ve stanici Velké Meziříčí hodnotil Toman (1997), zjistil častější výskyt srážek nad 10 mm v měsíci dubnu.

Autoři vědeckých publikací používají různé klasifikace extrémních srážek, např. Frei et al. (2000) hodnotí jako intenzivní dešť takový, kdy denní úhrn překračuje 30denní srážku (s pravděpodobností překročení jednou za 30 let). Jiní autoři pracují s percentily, kdy za prudké deště považují ty, které překračují svým úhrnem 95% percentil (Karl et al., 1998 hodnotil pro USA) nebo 90% percentil (Suppiah a Hennessy, 1998 hodnotili

pro Austrálii) a často v těchto datech prokazují vzestupný trend. Pro území Německa hodnotili Trömel a Schönwiese (2007) změnu pravděpodobnosti výskytu extrémních srážek v průběhu 20. století. Použili přitom metodu rozkladu časových řad. Zjistili tak, že například roste pravděpodobnost překročení 95% percentilu extrémních srážek v jižní části území celoročně, na západě v létě. Na východě země tato pravděpodobnost naopak klesá. Nárůst extrémně vlhkých měsíců pak zaznamenali autoři především v zimě, na evropské úrovni však také v létě a na podzim. Zároveň byl zaznamenán systematický nárůst v rozptylu sledovaných hodnot (Schönwiese et al., 2003). V Atlasu podnebí Česka (Tolasz, 2007) je extremita srážek v období 1961 – 2000 hodnocena poměrem absolutních maxim jednodenních až třídenních úhrnů k odhadům stoleté srážky podle staničních řad v období 1895 – 2002.

Doleželová (2013) hodnotila extremitu srážek a její vývoj v čase v oblasti Brněnska pomocí několika indexů extremity, např. podle podílu vlhkých dní (tj. dní se srážkovým úhrnem ≥ 1 mm) na celkovém počtu dní, intenzity vlhkého dne (průměrný srážkový úhrn za vlhký den), srážkových úhrnů ve velmi vlhkých dnech (podíl sum srážkových úhrnů z dní s denním úhrnem větším než 95. percentil na celkovém úhrnu) atd. Ve své práci sledovala a prokázala významnou závislost srážek na nadmořské výšce v brněnské oblasti. Analýzou časové variability odhalila převážně rostoucí tendenci srážkových úhrnů Brněnska v době od 60. let 20. století, která se projevuje ve všech sezonách kromě zimy. Vypočtené indexy extremity ukázaly, že ve stejné době (tj. od 60. let 20. století do současnosti) došlo k nárůstu podílu srážek z extrémních situací na celkovém srážkovém úhrnu. Souběžné prodlužování délky suchých období a kladný trend intenzity srážkového dne svědčí o poklesu rovnoměrnosti rozložení a rostoucí koncentraci srážek v čase, což je konzistentní s pozorovaným nárůstem extremity srážkového režimu konstatovaným IPCC ve Čtvrté hodnotící zprávě (Doleželová, 2013).

S extrémními srážkami souvisí také pojem tzv. pravděpodobné maximální srážky (PMP – Probable Maximum Precipitation). Štekl et al. (2001) odhadují na základě analýzy všech extrémních srážkových epizod z historických i současných pramenů, že pro 95 % území ČR (s výjimkou okrajových pohoří na severu a severovýchodě republiky) odpovídá denní úhrn PMP cca 350 mm.

3.1.4 Trendy srážkových úhrnů ČR v souvislosti s klimatickou změnou

Možný dopad očekávaných klimatických změn na erozní ohrožení půd komentoval Toman (1994), kdy konstatuje, že podle předpovědí budoucích změn lze očekávat tyto nejen v četnosti výskytu erozně nebezpečných dešťů, ale též v sezonalitě jejich výskytu v jednotlivých měsících, vydatnosti, intenzitě a době trvání.

Dle Němce a Koppa (2009) vykazují roční srážkové úhrny na území Čech ve 20. století nepatrný nárůst zřetelnější v zimě, zatímco letní úhrny mírně klesají (viz Tab. 3). Na Moravě a ve Slezsku se projevuje výraznější rozdíl mezi zimou (vzestup srážek) a létem (pokles srážek), přičemž celkový trend je slabě klesající.

Tab. 3 Trendy změn územních srážkových úhrnů pro Česko od roku 1961 (v % normálu za 10 let) dle Němce a Koppa (2009)

Trendy za posledních	Jaro	Léto	Podzim	Zima	Rok
48 let	-2	+1	+3	+3	+1
25 let	+2	+2	+6	0	+3
15 let	-10	-8	-7	+16	-4

Výhled klimatu pro území České republiky je aktualizován na základě zpřesňovaných regionálních scénářů. Výsledky simulací modelem ALADIN/CLIMATE-CZ naznačují možnost mírného nárůstu ročních úhrnů (v průměru o cca 4 % oproti období 1961 – 1990), vyšších v zimě a na jaře, nižších v létě a na podzim. Hodnoty kvartilů Q_{25} v období od května do října (možnost poklesu srážkových úhrnů o 2 až 8 %), spolu se zvýšeným výparem v létě signalizují rizika nárůstu půdního vláhového deficitu. Je potřeba konstatovat, že shoda dřívějších simulací s výsledky stávajících pozorování je u srážek výrazně nižší než u teplot. Spíše lze očekávat, že srážkové úhrny se budou pohybovat na úrovni spodního kvartilu Q_{25} (viz Tab. 4), nicméně pravděpodobnost zvyšování zimních úhrnů je vysoká. (Němec, Kopp, 2009)

Tab. 4 Modelové změny srážkových úhrnů pro rok 2030 (v % normálu 1961 – 1990) dle Němce a Koppa (2009)

Očekávané rozpětí hodnot	Jaro	Léto	Podzim	Zima	Rok
Q ₂₅ (dolní kvartil)	-1	-4	-5	-1	+4
Q ₅₀ (střední hodnota)	+7	+3	+1	+4	+4
Q ₇₅ (horní kvartil)	+12	+8	+8	+7	+9

3.2 Vodní eroze

Půdní eroze je třífázový proces. Nejdříve se jednotlivé půdní částice uvolňují z půdní hmoty, v druhé fázi jsou transportovány erozními činiteli jako např. tekoucí vodou, větrem, ledem, sněhem, pohyblivými zvětralinami a nezpevněnými usazeninami. Není-li již dostupná dostatečná energie k transportu částic, nastává třetí fáze – ukládání materiálu (Morgan, 2005). Erozi však není chemické rozpouštění hornin (koroze). Eroze byla vždy existujícím přírodním procesem, na mnoha místech je však zvyšována antropogenní činností. Určitý stupeň eroze jako přírodního jevu může být prospěšný ekosystémům, její nadměrné působení však může vést k jeho poškození a ztrátě funkčnosti (Holý, 1994).

Obecně platí, že doba mezi orbou a vzrůstem plodiny do fáze sazenice obsahuje erozní riziko, pokud se shoduje s přivalovými dešti nebo silným větrem. Podle Cerdana et al. (2002) je v západní Evropě nejrizikovějším obdobím jaro, kdy srážky nejvíce degradují obnažený půdní povrch, a to zejména v době, kdy pokrytí povrchu plodinou nedosahuje alespoň 20 %.

V České republice je vodní erozí potenciálně ohroženo téměř 50 % zemědělské půdy, z toho 18 % silně až extrémně. V současné době je maximální ztráta půdy v ČR vyčíslena na přibližně 21 mil. tun ornice za rok, což lze vyjádřit jako ekonomickou ztrátu minimálně 4,3 mld. Kč. V ČR je nadprůměrně úrodných půd zhruba 40 %. Vlivem degradačních procesů v půdě, zejména pak procesů erozních, jsou však tyto neúrodnější oblasti značně znehodnocovány. Úrodnost půdy klesá, což vyžaduje vyšší přísuny potřebných živin zejména ve formě chemikálií. Další eskalací erozních událostí jsou pak tyto chemikálie spolu s odplavenou zeminou odnášeny do vodních recipientů,

do kanalizačních systémů obcí, dochází k usazování sedimentů na nežádoucích místech a nutnosti jejich likvidace. Nepříznivé účinky zrychlené eroze, zvýrazněné industrializačními a urbanizačními procesy, se tedy projevují nejen v ohrožení půdy, ale i v ohrožení dalšího základního přírodního zdroje – vody. (Podhrázská, 2014)

Ekonomickou ztrátu na ceně půdy vlivem dlouhodobého působení erozních procesů se pokusila vyjádřit Podhrázská (2014), a to na půdním bloku modelového území v oblasti jižní Moravy, v lokalitě s výskytem černozemních půd silně postihovaných vodní erozí. Ztráta zde byla vyčíslena na více než 2 mil. Kč, což je 18 % z původní ceny. K určení výše ekonomické ztráty byla zvolena metoda porovnání ceny 1m² půdy podle původních bonitovaných půdně-ekologických jednotek (BPEJ) a cena po aktualizaci BPEJ (při které byly degradované půdy přeřazeny do méně hodnotných BPEJ).

Současný stav degradačních procesů na zemědělské půdě, způsobovaných vodní a větrnou erozí, i případný návrh protierozních opatření se posuzuje na základě výpočtu průměrné dlouhodobé ztráty půdy a jeho porovnání s přípustnou hodnotou ztráty půdy (Dumbrovský, 2004).

Hodnoty **přípustné ztráty půdy erozí** jsou dle Janečka et al. (2012a) stanoveny především z hlediska dlouhodobého zachování funkcí půdy a její úrodnosti. Pozemky s mělkými půdami s hloubkou do 30 cm by neměly být využívány pro polní výrobu, a proto se doporučuje jejich převedení do kategorie trvalých travních porostů nebo zalesnění. U půd středně hlubokých (30 – 60 cm), ale i hlubokých (nad 60 cm) je doporučeno použít jednotnou hodnotu přípustné ztráty půdy ve výši 4 t.ha⁻¹.rok⁻¹, namísto původně doporučovaných 10 t.ha⁻¹.rok⁻¹ pro půdy hluboké, což jsou nejúrodnější půdy a je nutné zvýšit jejich ochranu před erozí (Janeček et al., 2012a).

Pro **výpočet erozního smyvu** se v ČR používá celosvětově platná univerzální rovnice ztráty půdy (USLE) dle Wischmeiera a Smithe (1978), která počítá erozní smyv (G) v závislosti na šesti faktorech podle vztahu:

$$G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2)$$

kde: G průměrná dlouhodobá ztráta půdy vodní erozí [t.ha⁻¹.rok⁻¹],
faktor R faktor erozní účinnosti dešťů [MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹],
faktor K faktor erodovatelnosti půdy,

faktor L	faktor délky svahu,
faktor S	faktor sklonu svahu,
faktor C	faktor ochranného vlivu vegetačního pokryvu,
faktor P	faktor účinnosti protierozních opatření.

Vypočtená hodnota představuje dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy a udává množství půdy, které se uvolňuje vodní erozí, nezahrnuje však ukládání na níže ležících plochách. Rovnici nelze používat pro kratší než roční období a pro zjišťování ztráty půdy erozí z jednotlivých srážek nebo z tání sněhu (Janeček et al., 2012a).

Faktor erozní účinnosti deště (R faktor)

Vztah pro faktor erozní účinnosti deště R byl odvozen v USA na základě velkého množství dat o dešťových úhrnech, které prokázaly, že jsou-li ostatní faktory USLE konstantní, je ztráta půdy z obdělávaného pozemku přímo úměrná součinu celkové kinetické energie přívalového deště a jeho maximální 30minutové intenzity. Wischmeier a Smith (1978) na základě dlouholetých pozorování dešťů v USA vyvrátili obecně přijímanou teorii, že erozi způsobují pouze velmi silné přívalové deště, které se vyskytují zřídka, ale prokázali, že za vznikem eroze stojí i deště střední intenzity.

Součin kinetické energie přívalového deště a jeho maximální 30minutové intenzity dle Wischmeiera a Smithe (1978), nazvaný index erozivity (EI_{30}), bývá kritizován za to, že jej nelze aplikovat v tropických oblastech s extrémními srážkami a také pro relativně nízký hraniční úhrn (12,5 mm). Ten dle jiných autorů nevystihuje skutečnou erozní schopnost srážek (Holý, 1994). Proto se různí autoři snažili o vytvoření vlastního indexu erozivity, např. Hudson (1965 in Morgan, 2005), Zanchi a Torri (1980, cit. podle Morgana, 2005), Van Dijk (2002, cit. podle Morgana, 2005) a další. Hudson (1965, cit. dle Morgana, 2005) vyloučil pro podmínky v Africe z úvah deště o intenzitách nižších než 25 mm.h^{-1} a zavedl parametr $E > 25$, což je násobek kinetické energie a intenzity deště pro dešťové úseky s intenzitou větší než 25 mm.h^{-1} . Morgan (2005) doporučuje toto kritérium snížit pro mírné pásmo na $KE > 10$ a zároveň upozorňuje, že indexy erozivity EI_{30} a $E > 25$ nemohou být vzájemně substituovány.

Roční hodnota faktoru R se určuje z dlouhodobých záznamů o srážkách a představuje součet erozní účinnosti jednotlivých přívalových dešťů, které se v daném roce vyskytly.

Dle Wischmeiera a Smithe (1978) se neuvažují deště s úhrnem menším než 12,5 mm, s výjimkou těch, u nichž během 15 minut napršelo více než 6,25 mm.

Dle metodiky Janečka et al. (2012a) se neuvažují deště s úhrnem menším než 12,5 mm a zároveň s intenzitou menší než 6,25 mm za 15 minut, což se blíží pojetí dle Hudsona (1965). Tato metodická úprava je založena na závěrech 9letého výzkumu (Janeček et al., 2006), kdy byla testována ztráta půdy ze standardních odtokových parcel v Třebšíně (Praha Západ). Z 63 dešťů splňujících jedno z kritérií (min. 12,5 mm úhrn či min. intenzita 6,25 mm za 15 minut), způsobilo 38 případů ztrátu půdy, z toho 28 případů byly ztráty významné. 12 případů významných ztrát půdy způsobila srážka pod 12,5 mm, avšak důvodem bylo nasycení půd z předchozího deště. V ostatních případech byla ztráta půdy malá nebo žádná. Janeček et al. (2006) konstatují, že dle Wischmeiera a Smithe (1978) by se měly zohlednit i deště středních intenzit (nesplňujících obě výše uvedené podmínky, ale alespoň jednu). Nicméně v následujících pracích (např. Janeček et al., 2012b) a v metodice (Janeček et al., 2012a) je za erozně nebezpečný déšť, pro který je hodnocen R faktor, uvažován takový, který splňuje obě podmínky. Toman (1996) považoval za erozně nebezpečné deště o intenzitě nad 20 mm.h⁻¹ a s vydatností nad 10 mm.

Srovnáním různých metod výpočtu kinetické energie a vlivem na výslednou hodnotu R faktoru na Slovensku se zabývali např. Šurda a Antal (2006), Rodný et al. (2010) nebo Maderková (2011). Středová et al. (2014) ověřovala vliv dvou metod zpracování vstupních intenzit na výši R-faktoru v ČR. Janeček et al. (2012a) při stanovení průměrného R faktoru pro ČR použil upravený aritmetický průměr (bez 2 nejmenších a 2 nejvyšších hodnot) s cílem omezit vliv přívalových dešťů s velmi nízkou periodicitou opakování.

Stanovením pravděpodobnosti překročení výskytu erozně nebezpečných dešťů se zabývali např. Toman a Volfová (1988).

Výše R faktoru v jiných zemích je velmi variabilní, např. Wischmeier a Smith vytvořili mapu isoerodent pro území USA, kde se hodnota R faktoru pohybuje cca od 17 do 1000 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹. V oblasti Středozemního moře v Itálii se R faktor pohybuje v rozmezí 47 – 321 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (Diodato, 2004). Průměrná hodnota R faktoru stanice Solčava ve Slovinsku (658 m n. m.) je 225 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹ (Mikoš et al., 2006). Pro vybrané stanice na Slovensku byl Maderkovou (2011) spočítán R faktor v rozmezí 27 – 90 MJ.ha⁻¹.cm.h⁻¹, avšak pro projekční praxi se na Slovensku používá mapa

regionalizovaného R faktoru, který má hodnoty nižší ($5 - 27,5 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$) – tyto nízké hodnoty pocházejí z výpočtů provedených v roce 1992, pravděpodobně stejným postupem jako v ČR dle Janečka et al. (1983, 1992).

Pro ČR ověřoval hodnotu R faktoru Janeček et al. (2006, 2012b), na základě tohoto výzkumu doporučil v metodice *Ochrana zemědělské půdy před erozí* (Janeček et al., 2012a) průměrnou hodnotu faktoru erozní účinnosti deště $40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, přičemž do dubna 2012 platila průměrná roční hodnota R faktoru $20 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ (Janeček et al., 2007), která byla určena na základě dlouhodobé řady pozorování srážek na 3 stanicích Českého hydrometeorologického ústavu Praha s tím, že k výpočtu R faktoru byly použity deště s úhrny sníženými o 12,5 mm. Tyto hodnoty pak ale neodpovídaly hodnotám v jiných zemích, proto byly Janečkem et al. (2012a,b) provedeny další výzkumy s novější a větší skupinou ombrografických záznamů a dospělo se k vyšším hodnotám R faktoru (60 – 120 v horských oblastech, 45 – 60 v podhůří, 30 – 45 pro většinu území ČR, 15 – 30 v oblasti dešťového stínu).

3.3 Hydrologické podklady protierozních opatření

3.3.1 Metoda CN křivek

Proces vodní eroze vzniká a probíhá v souvislosti s odtokem vody po povrchu území a bývá ovlivněn řadou faktorů. Dle Holého (1994) je teorie vodní eroze zaměřena zejména na zákonitosti plošného a soustředěného povrchového odtoku a na transportní procesy způsobené tekoucí vodou. Erozní jevy způsobené povrchově stékající vodou jsou výsledkem složitých přírodních procesů. Stanovení jejich průběhu, matematické vyjádření a předvídání erozních procesů určité intenzity a četnost výskytu v daných podmínkách je složitým hydrologickým problémem.

Povrchový odtok je definován jako část srážkové vody, jež po odečtení ztrát výparem, a retencí na povrchu půdy a vsakem do ní odtéká po povrchu území. Na svahu probíhá nejprve plošně, postupně však dochází vlivem nerovností půdního povrchu ke koncentraci odtékající vody a plošný odtok se mění v odtok soustředěný. Při vyšetřování povrchového odtoku pro zkoumání intenzity jím vyvolaných erozních procesů je vhodné vycházet z předpokladu, že povrchový odtok probíhá na svahu v souvislé vrstvě (plošný povrchový odtok). Pro zjištění hodnoty povrchového odtoku

ze svahu je nutno znát parametry svahu (sklon, délku), půdní vlastnosti (počáteční vlhkost půdy, infiltraci) a intenzitu a časový průběh srážek (Holý, 1994).

Janeček (2012a) uvádí, že hydrologické podklady pro návrh protierozních opatření (zejména technických) by měly vycházet z dlouhodobě sledovaných průtoků v uzávěrových profilech toků. Takové údaje jsou však k dispozici zřídka, především v malých povodích. I v případě, že jsou tyto údaje dostupné, nemusí být vždy spolehlivé, protože v krajině dochází k více či méně výrazným změnám ve využívání půdy, proto se odtokové charakteristiky povodí průběžně mění. V takových případech je potřeba zjistit návrhové hodnoty metodami nepřímými, které jsou založené na charakteristikách povodí a jsou zpravidla kompromisem mezi praktickou jednoduchostí a teoretickou přesností. Nejvyužívanější metodou v ČR je „*Metoda čísel odtokových křivek – CN*“, jež pochází z USA (USDA-SCS, 1985) a představuje jednoduchý srážkoodtokový model s poměrně snadno zjistitelnými vstupy a zároveň dostatečně přesný pro zemědělsky využívaná povodí o velikost do 10 km². Metoda umožňuje stanovit objem přímého odtoku a kulminačního průtoku způsobeného návrhovým přívalovým deštěm o zvolené pravděpodobnosti výskytu, což jsou základní vstupní údaje pro návrh protierozních opatření. Jak uvádí Janeček (2012a), v projekční praxi může být metoda využita pouze v souladu s ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“, a to k navrhování technických protierozních opatření, jako jsou dráhy soustředěného povrchového odtoku (zatravněné údolnice), průlehy, příkopy, ochranné hrázký a pro posuzování vlivu protierozních opatření na povrchový odtok. Metodu nelze použít pro výpočet odtoku z tání sněhu.

Přímý odtok zahrnuje dle Dumbrovského (2004) odtok povrchový a část odtoku podpovrchového (hypodermického). Podíly těchto odtoků se oceňují právě pomocí čísel odtokových křivek – CN. K hypodermickému odtoku dochází tehdy, když do půdy infiltrovaná voda stéká po mělce uložené, málo propustné vrstvě a vyvěrá opět na povrch – na rozdíl od základního odtoku, na jehož tvorbě se podílí voda, která infiltruje až k hladině podzemní vody a vtéká do koryt toků. Tento základní odtok se objevuje zřídka natolik brzy po přívalovém dešti, aby měl vliv na velikost povodňové vlny z přívalu. CN je tedy současně i ukazatelem pravděpodobnosti typu odtoku. Čím větší je hodnota CN, tím je pravděpodobnější, že se přímý odtok týká povrchového odtoku (Dumbrovský, 2004).

Základním vstupem metody CN křivek je srážkový úhrn návrhového deště zvolené doby opakování za předpokladu jeho stejnoměrného rozdělení po ploše povodí. Objem srážek je přeměněn na objem odtoku pomocí čísel odtokových křivek – CN. Jejich hodnoty jsou závislé na hydrologických vlastnostech půd, vegetačním pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové retenci (Janeček et al., 2012a).

Metoda CN křivek zohledňuje a kvantifikuje vlhkost půdy při přívalovém dešti, což má i fyzikální opodstatnění. Jak uvádí Morgan (2005), působení kapek deště na půdní částice je dvojího druhu - konsolidace a disperze. Konsolidační (utužující) efekt se projevuje tvorbou tenké povrchové krusty z rozložených půdních agregátů, kdežto disperze je přímé narušení půdních agregátů silou dopadající kapky a vystřelování částic půdy do vzduchu.

Aktuální reakce půdy na daný dešť záleží na její vlhkosti, struktuře a na intenzitě deště. Tři možné odezvy popisuje Morgan (2005):

- Je-li půda suchá a intenzita deště vysoká, půdní agregáty se rychle rozkládají (působením stlačeného vzduchu ještě před smočením). Infiltrační kapacita rychle klesá a na velmi hladkém povrchu může povrchový odtok vznikát již po několika milimetrech deště.
- Pokud jsou agregáty částečně vlhké nebo intenzita deště je velmi nízká, dochází ke zmenšování půdních agregátů, čímž se snižuje drsnost povrchu, avšak infiltrace zůstává vysoká díky velkým pórům mezi agregáty.
- Jsou-li agregáty již před deštěm nasycené, závisí infiltrační kapacita na hydraulické vodivosti půdy a ke zhutnění povrchu by bylo potřeba velké množství deště. Nicméně půdy s méně než 15 procenty jílu jsou v případě vysoké intenzity citlivé na zhutnění.

Povrch zasažený tvorbou krusty roste exponenciálně s kumulativní energií srážky, zároveň exponenciálně klesá infiltrační kapacita. Sklon k tvorbě krust klesá se zvyšujícím se obsahem jílu a organické hmoty. Nejvíce náchylné k tvorbě krusty jsou tedy hlíny a písčité hlíny.

Povědomí o důležitosti vlhkostních poměrů v půdě na počátku přívalového deště stálo za zavedením tzv. indexu předchozích srážek (IPS) v metodě CN křivek. Tento index kvantifikuje vlhkost půdy na základě celkového úhrnu srážek v pěti dnech předcházejících dni s přívalovým deštěm.

NRCS (2004) v rámci aktualizace vlastní metody CN křivek (USDA-SCS, 1985 a další verze) přejmenovala index předchozích srážek z dřívějšího AMC (antecedent soil moisture condition) na ARC (antecedent runoff condition), aby zdůraznila, že předchozí srážky vysvětlují jen část změny čísla CN, dalšími vlivy že jsou intenzita, trvání a úhrn deště, hustota pokryvu, růstová fáze vegetace a teplota. Zároveň zde upozornili na skutečnost, že výše předchozí srážky v předešlých 5 dnech podle provedených studií nekoreluje s maximální potenciální retencí tolik, jak se předpokládalo v dřívějších verzích metodiky. Nicméně postup podle metody CN křivek je ve světě nadále běžně používán, nejčastěji v její původní verzi USDA-SCS (1985). V České republice se rozdělení indexu předchozích srážek ve vybraných stanicích věnoval Toman (1999).

V Indii ověřoval Shakir et al. (2010), zda jiný srážkoodtokový model založený na odlišné metodě stanovení vlhkosti půdy před započítáním přívalového deště, tzv. NAPI (normalized antecedent precipitation index), je schopen dosáhnout srovnatelných výsledků s široce užívanou metodou CN křivek (USDA-SCS, 1985). Dospěl k závěru, že testovaný model vykazuje shodu s výstupy získanými metodou CN křivek.

Miliani et al. (2011) smysluplnost rozdělení indexu předešlých srážek podpořil, na modelových územích však empiricky a statisticky vyhodnotil, že změna čísla CN křivky provedená na základě změny varianty IPS má smysl jen tehdy, když upraví hraniční hodnoty rozdělující deště do jednotlivých tříd IPS (I, II, III). Modelová území byla v horských lokalitách a poměrně rozsáhlá, ač se metoda doporučuje pouze pro malá povodí do 10 km². Dospěl k závěru, že pro sledované území není potřeba rozlišovat vegetační a nevegetační období při stanovení IPS. Hranice mezi IPS I a IPS II pro dané lokality stanovil v rozmezí 1,3 – 13 mm, mezi IPS II a IPS III v rozmezí 19 – 42 mm.

Janeček et al. (2012a) doporučuje pro návrhové účely používat v České republice IPS II.

3.3.2 Problematika *N*-letých denních srážkových úhrnů

Pro výpočet objemu přímého odtoku metodou CN křivek je základním vstupem srážkový úhrn návrhového deště zvolené doby opakování. Tento návrhový dešť je potřeba pro každou lokalitu stanovit pomocí statistických metod a co nejdelší dostupné řady údajů o denních srážkových úhrnech, resp. o jejich ročních maximech.

Periodicita vyjadřuje poměr počtu případů dosažení a překročení hodnoty hydrologického prvku nebo charakteristiky ze souboru prahových hodnot k počtu roků

jejího pozorování. Jedná se tak vlastně o obrácenou hodnotu doby opakování. Jde o míru významnosti návrhové veličiny.

Doba opakování vyjadřuje míru významnosti návrhové veličiny. Pro soubor prahových hodnot udává počet roků, během nichž se prvek nebo charakteristika průměrně jednou dosáhne nebo překročí. (Kohnová, 2005)

Kemel (1996) upozorňuje, že relativně krátké řady pozorování neumožňují sestřit spolehlivou empirickou čáru překročení v oblastech malých a velkých procent překročení. Proto se používá teoretická křivka překročení – tou se vyrovná empirická čára v její střední části a navíc je možná její extrapolace do oblasti extrémních hodnot, jež se pro krátkost doby pozorování nevyskytly a které slouží pro návrhové účely (protierozní a protipovodňová opatření).

Prvním důležitým krokem analýzy početnosti jevů je rozhodování o tom, jakou metodou by se měli získat údaje výběrového souboru z množství naměřených údajů. Kohnová et al. (2005) uvádí tři možné modely:

- Řada ročních maximálních hodnot (Annual maximum series – AMS),
- Řada prahových hodnot: Partial duration series – PDS,
Peakover-threshold – POT.

Řada ročních maximálních hodnot zahrnuje jedinou, a to největší pozorovanou hodnotu z každého roku. Je to nejčastěji používaná metoda sestavování výběrového souboru i přesto, že při ní může dojít k ztrátě určitých informací – např. druhá nebo třetí největší hodnota v daném roce může být větší než maximální hodnota v jiném roce. Takové případy jsou vyloučené v hydrologické řadě prahových hodnot (PDS, POT), protože do následného statistického zpracování se vybírají všechny údaje, které jsou větší než první stanovená prahová hodnota. Prahová hodnota se většinou zvolí tak nízko, aby výběrový soubor obsahoval minimálně jednu hodnotu za každý rok.

Vzájemné souvislosti mezi řadami AMS, respektive PDS (POT) zkoumalo více autorů, např. Madsen et al. (1997) porovnával metody založené na AMS a POT a dospěl k závěru, že řady POT jsou obecně lepší v lokální i regionální analýze mimořádných úhrnů srážek. Na druhé straně však platí, že teoretické výhody, kterými se vyznačují řady POT, jsou kompenzované složitějším matematickým aparátem, který vyžaduje vhodné metody zpracování.

Kohnová et al. (2005) shrnuje několik teoretických rozdělení používaných pro analýzu extrémních srážek, z dvouparametrických např. exponenciální, Gumbelovo a log-normální. Z tříparametrických rozdělení se užívá generalizované rozdělení Pareto, generalizované extrémální (GEV), generalizované logistické (GLO), tříparametrické log-normální (LN3), Pearsonovo rozdělení III. typu (nazývané též gamma rozdělení), Weibullovo. Existují i rozdělení víceparametrická, např. čtyřparametrické rozdělení Kappa či pětiparametrické Wakebyho rozdělení. Rozdělení s minimálně třemi parametry dávají méně vychýlené odhady.

Nejčastěji se v současnosti pro hodnocení srážek používá Gumbelovo rozdělení a zobecněné rozdělení extrémních hodnot (GEV – Generalized Extreme Value).

Jak uvádí Brázdil (2007), při výpočtu N -letosti srážek (tj. hodnot srážek, které jsou dosaženy nebo překročeny v průměru jednou za N let) se empirické rozdělení měřených hodnot aproximuje teoretickým rozdělením o daných parametrech, které určují jeho specifický charakter. Teoretická rozdělení jsou také nazývána parametrická, protože jejich specifické atributy závisejí na číselných hodnotách jejich parametrů. Parametry rozdělení mohou být počítány pomocí různých metod (např. maximální věrohodnosti, momentů, L momentů), které mají své přednosti i nedostatky, jak řeší např. Kyselý (2005). Distribuční funkce teoretického rozdělení vypovídá o pravděpodobnosti výskytu daného jevu. Následně lze vypočítat periodu opakování N daného jevu.

V této disertační práci byly odhady návrhových N -letých srážek provedeny pomocí dvou typů teoretických rozdělení – Gumbelova a GEV.

Gumbelovo rozdělení

Frekvenční funkce Gumbelova rozdělení má tvar (Castillo, 1988):

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{(x-\alpha)}{\beta}\right) \exp\left[-\exp\left(-\frac{(x-\alpha)}{\beta}\right)\right]}{\beta} \quad (3)$$

Funkce má dva parametry: polohy α a měřítka β .

Distribuční funkce tohoto rozdělení se vypočítá ze vztahu:

$$F(x) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{(x-\alpha)}{\beta}\right)\right] \quad (4)$$

pro $-\infty < x < \infty$.

Toto dvouparametrické rozdělení prokládá na Gumbelově pravděpodobnostní škále empirickými hodnotami přímku.

Zobecněné rozdělení extrémních hodnot (GEV)

Zobecněné rozdělení extrémních hodnot představuje kombinaci tří teoretických rozdělení – Gumbelova, Fréchetova a Weibullova. Je zobecněním předchozího případu a vedle parametrů a , b zavádí navíc parametr k tvaru teoretické přímky (Jenkinson, 1955, cit. podle Brázdil, 2007).

Frekvenční funkce GEV rozdělení má tvar:

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \left[1 + k \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right) \right]^{-1/(k-1)} \cdot \exp \left\{ - \left[1 + k \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right) \right]^{-1/k} \right\} \quad (5)$$

Distribuční funkci GEV rozdělení lze pak vyjádřit následovně:

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 + k \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right) \right]^{-1/k} \right\} \quad (6)$$

Dle Brázdila et al. (2007) je výhodou tříparametrického GEV rozdělení možnost proložit empirickými hodnotami teoretickou křivku Weibullova rozdělení v případech, kdy parametr $k < 0$ a kdy teoretické hodnoty Gumbelova rozdělení výrazně podhodnocují naměřené hodnoty. Naopak, je-li $k > 0$, bude Gumbelovo rozdělení produkovat extrémně nadhodnocené N -leté odhady. Za této situace lze empirickými hodnotami proložit teoretickou křivku Fréchetova rozdělení. V případě analýzy maximálních hodnot (např. maximálních denních, resp. měsíčních úhrnů srážek) ovlivňuje parametr k tvar funkce rozdělení, především v intervalech hodnot vyskytujících se s nejmenší pravděpodobností, tedy s nejdelší dobou opakování N . Distribuční funkce má v jednotlivých typech obecného rozdělení extrémních hodnot následující tvar:

Typ I. Gumbelovo rozdělení $k = 0$

$$F(x) = \exp \left[- \exp \frac{-(x - \alpha)}{\beta} \right] \quad \text{pro } -\infty < x < \infty \quad (7)$$

Typ II. Fréchetovo rozdělení $k > 0$

$$F(x) = 0 \quad \text{pro } x \leq \alpha$$

$$F(x) = \exp \left[- \left(\frac{x - \alpha}{\beta} \right)^{-k} \right] \quad \text{pro } x > \alpha \quad (8)$$

Typ III. Weibullovo rozdělení $k < 0$

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[\frac{-(x - \alpha)}{\beta} \right]^{-k} \right\} \quad \text{pro } x < \alpha$$

$$F(x) = 1 \quad \text{pro } x \geq \alpha \quad (9)$$

Pro kvantil X_N s periodou opakování N je kumulativní pravděpodobnost dána vztahem:

$$F(X_N) = 1 - (1/N) \quad (10)$$

Dosažením do rovnice distribuční funkce a řešením pro x obdržíme vztah pro určení maximálních srážkových úhrnů s periodou opakování N roků:

$$X_N = \alpha + \frac{\beta}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(1 - \frac{1}{N} \right)^k \right] \right\} \quad \text{pro } k \neq 0 \quad (11)$$

$$X_N = \alpha - \beta \ln \left[- \ln \left(1 - \frac{1}{N} \right) \right] \quad \text{pro } k = 0 \quad (12)$$

Poprvé se problematikou maximálních N letých návrhových srážek komplexněji v ČSSR zabývali Šamaj et al. (1982; 1983; 1985) a Kulasová (1985). Šamaj et al. (1985) pro výpočet maximálních N -letých srážek zvolil Gumbelovo rozdělení a Pearsonovo rozdělení III. typu. V praxi jsou využívány návrhové srážky z této publikace počítané dle Gumbelova rozdělení.

Sevruk a Geiger (1981) uvádějí, že obvykle je dostačující časová řada 40 až 50 let pro frekvenční analýzu extrémních srážek. Toto potvrzuje i Šamaj et al. (1985), kde

porovnáním výsledků různě dlouhých období s referenční hodnotou 80 let potvrdil oprávněnost volby padesátiletého období jako nejkratšího pro dosažení přijatelné přesnosti výpočtů maximálních denních úhrnů. Autoři však také upozorňují, že 50 let měření nebylo v případě jejich výzkumu dodrženo kontinuálně. Chybějící údaje nebyly nahrazeny interpolací ani jinými metodami, a to vzhledem k velké prostorové variabilitě maximálních denních úhrnů srážek.

Z dalších autorů se výběru vhodného teoretického rozdělení N -letých srážkových úhrnů věnoval např. Gaál et al. (2004). V tomto případě bylo pro frekvenční analýzu extrémních úhrnů srážek na Slovensku vybráno jako vhodné Pearsonovo rozdělení III. typu a Gumbelovo rozdělení bylo zamítnuto jako problematické (GEV rozdělení nebylo mezi testovanými).

Halásová et al. (2007) zkoumala vhodné distribuční rozdělení návrhových maximálních N -letých srážek na několika stanicích v Krkonoších a dospěla k závěru, že Gumbelovo rozdělení má na testovaných stanicích tendenci podhodnocovat návrhové kvantily, obzvláště v případě vysokých dob opakování, a že jako nejvhodnější se jeví rozdělení GEV.

Hostýnek et al. (1999) se snažili zvýšit robustnost odhadu parametrů rozdělení tak, že eliminovali až tři hodnoty, které mají největší rozdíl mezi empirickou a teoretickou distribuční funkcí. Odstraněnými srážkami ve většině případů nebylo maximum nebo minimum, ale hodnoty mezi nimi. Touto úpravou algoritmu však dosáhli zlepšení parametrů šikmosti a špičatosti pouze u třetiny řešených případů, ze statistického hlediska se tento způsob úpravy souboru dat jeví jako problematický.

U návrhových N -letých srážek bývá testována také jejich závislost na nadmořské výšce, většinou však není prokázána (např. Hostýnek et al., 1999), zvláště pak u vyšších dob opakování a pro letní měsíce (v zimě je vyšší podíl frontálních srážek, které s nadmořskou výškou více korelují).

3.4 Kontrola kvality dat a homogenizace

V protierozní ochraně půd často pracujeme se vstupními klimatologickými daty. Délka pozorovacích řad, jejich přesnost, kvalita a homogenita ovlivňují výsledné návrhové hodnoty a následně i efektivnost (ekonomickou i ekologickou) navržených protierozních opatření. Pro území České republiky je prakticky jediným zdrojem

spolehlivých klimatologických dat databáze Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ). Je však zřejmé, že čím delší časové období hodnotíme, tím větší je pravděpodobnost, že se mezi naměřenými údaji vyskytnou chyby a nehomogenity. Cílem je maximální homogenita klimatologických řad, tj. aby jejich variabilita byla způsobena pouze kolísáním počasí a podnebí (Conrad, Pollak, 1950).

Přestože měření srážkových úhrnů je relativně jednoduché, bývají naměřená data zatížena nejen náhodnými, ale také značnými systematickými chybami (5 – 15 % u dešťů, 20 – 50 % u sněhu). Jak uvádí Sevruk (1985, cit. dle Brázdila, 1991), nejvíce chyb je vyvoláno aerodynamickým efektem, tj. deformací proudícího vzduchu nad zachytnou plochou srážkoměru (2 – 10 % pro déšť, 10 – 50 % pro sníh), smáčením vnitřních stěn srážkoměru (2 – 10 %), výparem srážkové vody ze srážkoměru (0 – 4 %) a rozstříkáním srážkové vody (1 – 2 %). Dále mohou chyby souviset s nevhodným umístěním srážkoměru (blízkost překážek, náklon srážkoměru) a špatným technickým stavem srážkoměru (korodovaný či jinak poškozený srážkoměr) (Lapin, Priadka, 1987). I samotný pozorovatel se při nedodržení metodiky měření stává původcem chyb, např. rozlitím vody ze srážkoměru při přelévání do odměrky. Některé z uvedených chyb (způsobených pozorovatelem) mohou být eliminovány použitím automatických srážkoměrů, kde však podle Kněžínkové et al. (2010) vznikají chyby jiného typu (výpadky v měření kvůli technickým poruchám, ucpání nálevky nečistotami apod.). Brázdil (1991) uvádí, že naměřené hodnoty srážek jsou podhodnocené odhady jejich skutečného množství.

Jistý vliv na výši srážek má dle různých autorů (např. Landsberg, 1981; Shepherd, 2005, Changnon, 1969) také míra urbanizace sledovaného území, kdy nad městy a v jejich závětrí vzrůstá množství srážek. V podmínkách Brna ověřovala tuto teorii Doleželová (2013), dříve také Brázdil (1979).

V časových řadách se může vyskytovat několik druhů nehomogenit. Některé neklimatické faktory způsobují skokovou změnu úrovně (rozdílný průměr), jiné změny, především změny v okolí stanice, mohou způsobovat postupnou změnu (trend). Další neklimatické faktory mohou mít za následek např. změnu rozptylu dané řady. (Prax et al., 2008)

Teprve v posledním desetiletí se rozvíjí možnosti zpřesňování naměřených dat pomocí matematicko-statistických metod a programů. V posledních letech se této problematice v ČR věnuje zejména Štěpánek (Štěpánek 2006; Štěpánek et al., 2011a,b, 2013). Přímo

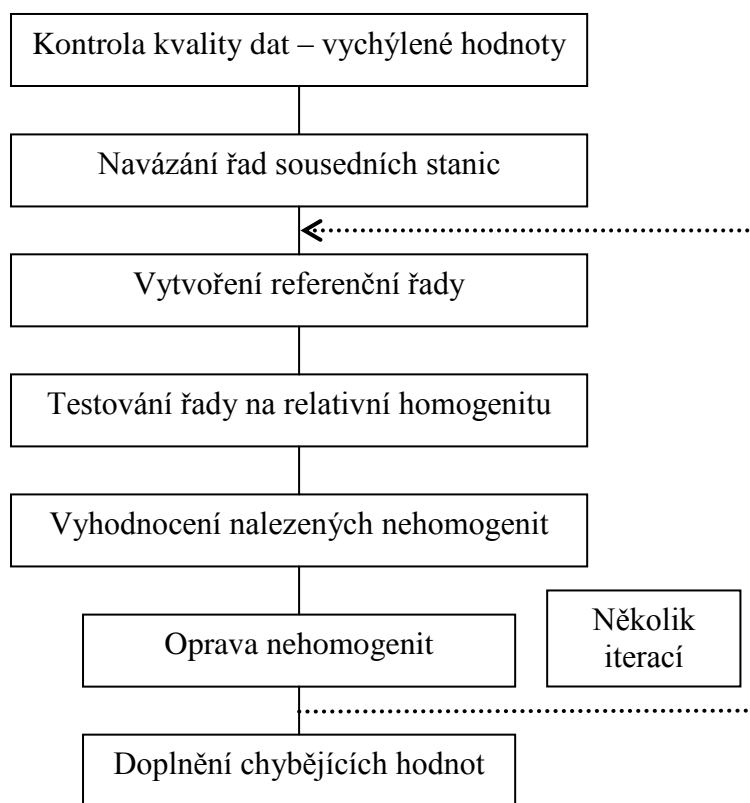
na ČHMÚ byla vyvinuta metodika kontroly denních srážkových úhrnů a homogenizace časových řad v denním kroku, včetně doplnění chybějících hodnot (Štěpánek et al., 2011a). Výsledkem jsou tzv. *technické řady*, které jsou bez zjevných chyb a jsou homogenní. (Prax et al., 2010)

Samotná kontrola kvality dat se na ČHMÚ provádí dle zmíněné metodiky (Štěpánek et al., 2011a), a to automatizovaně s použitím specializovaných softwarů ProClimDB (Štěpánek, 2010b) a AnClim (Štěpánek, 2010a). Software však pouze upozorní na možné chyby, které je nutno subjektivně ověřit (expertní posouzení). Hodnotitel má k dispozici většinou množství pomocných podkladů (radarové odhady srážek, data ze sousedních stanic, meteorologické jevy atd.).

Metodika kontroly kvality dat (Štěpánek et al., 2011a) kombinuje několik technik, které lze rozdělit do dvou velkých skupin. První skupina je založena na časové analýze pomocí mezikvartilových odchylek, druhá skupina metod využívá prostorové vazby (porovnání s daty okolních stanic). Vychýlené hodnoty jsou kontrolou kvality dat detekovány a případně opraveny. (Prax et al., 2010, Štěpánek et al., 2013; Zahradníček et al., 2014)

Časové řady srážkových úhrnů však mohou být také nehomogenní, což lze ověřovat až po provedené kontrole kvality dat a odstranění chyb. Ke vzniku nehomogenit může dojít např. při přemístění stanice, změny měřicího přístroje, změně v okolí stanice, zavedením rozdílných pozorovacích praktik apod. Proto další fází je test homogenity formou porovnání s *referenční řadou* (vypočtenou ze sousedních stanic, Štěpánek et al., 2011a). Kontrola a případná oprava nehomogenit, tedy tzv. homogenizace dat, může být provedena např. pomocí softwaru ProClimDB (Štěpánek, 2010b). Identifikace nehomogenit v časových řadách pomocí statistických nástrojů musí být samozřejmě doplněna podrobnou analýzou staničních metadat (tj. údajů o změnách na stanicích a v pozorování), aby se odlišily přirozené změny a kolísání klimatu od nehomogenit způsobených vnějšími zásahy (Štěpánek et al., 2011a).

Posledním krokem ve tvorbě tzv. technických řad je doplnění výpadků primárních dat pomocí geostatistických metod – s využitím závislosti srážkových úhrnů na nadmořské výšce a regionální lineární regrese (Prax et al., 2010; Štěpánek et al., 2011a). Obecné schéma postupu při kontrole kvality dat a homogenizaci je uvedeno na Obr. 3.



Obr. 3 Schéma postupu při kontrole kvality dat a homogenizaci (Štěpánek et al., 2011a)

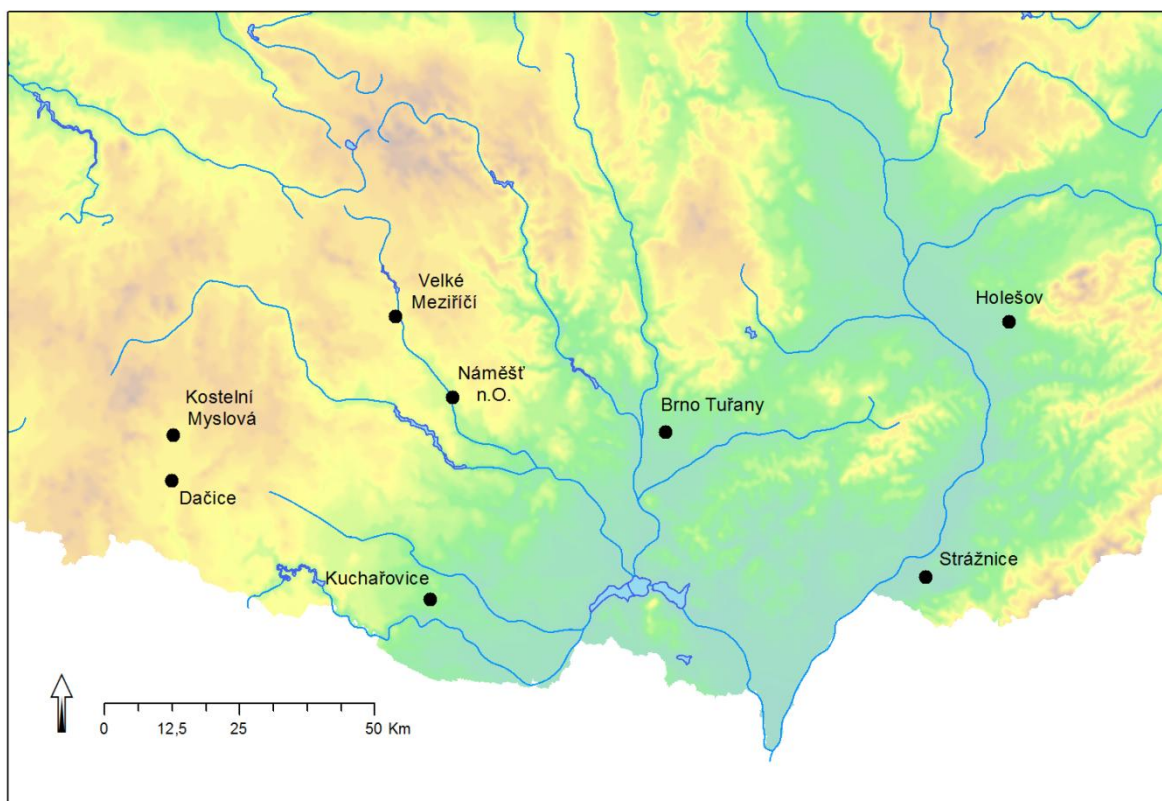
Pro ověření správnosti nastavení parametrů kontroly kvality údajů v programu ProClimDB prováděli Štěpánek et al. (2011a,b) testování na čtyřech vybraných stanicích v ČR (Plzeň-Bolevec, Churáňov, Brno-Tuřany a Červená) a jim nejbližších stanicích. Při výpočtu teoretických hodnot ztěžovaly práci nekvalita vstupních dat, chyby u sousedních stanic, nedostatek dlouhých řad, větší rozdíly v nadmořské výšce sousedních stanic apod. U srážkových úhrnů bylo nejvíce chyb detekováno v měsících květen až srpen během bouřkových situací, lokálních přeháněk a srážek spojených s přechody studených front. Zde jsou si ale autoři vědomi problematiky správné detekce opravdu chybových hodnot, jelikož bouřkové situace jsou velmi lokální záležitostí a i při velké hustotě srážkoměrné sítě, mohou být rozdíly na stanicích značné. Při testování denních srážkových úhrnů pro meteorologické stanice na území ČR bylo z celkového množství ověřovaných hodnot zjištěno cca 0,32 % chyb, a to s největším výskytem v 60. letech 20. století. Klesající trend výskytu chyb lze přičíst zkvalitňování měření, revizi a práci s daty na ČHMÚ (Štěpánek et al., 2011). Co se týče množství nehomogenit v řadách denních srážkových úhrnů, byl v rámci testování 761 stanic v ČR detekován zlom u 15 % řad (Štěpánek et al., 2013).

4 MATERIÁL A METODIKA

4.1 Charakteristika použitých stanic ČHMÚ

Na základě analýzy dostupnosti co nejdělsích časových řad denních srážkových úhrnů s co nejnižším množstvím chybějících úseků v původních měřeních v rámci působnosti brněnské pobočky ČHMÚ bylo vybráno 8 stanic (AMS, AKS, MSS), pro které jsou k dispozici data o denních srážkových úhrnech nejméně od roku 1961, tedy 53 let souvislého měření.

Jejich výčet a stručný popis je uveden níže. V Tab. 5 až Tab. 12 jsou popsány stanice ve čtyřech sekcích – umístění stanice, administrativní začlenění, přírodní podmínky a základní klimatické charakteristiky. V Příloze 1 je pak podrobný seznam těchto stanic i s jejich přesuny, souřadnicemi, obdobími měření a použitými typy srážkoměrů. Veškerá data z uvedených stanic a informace o umístění stanic včetně fotodokumentace byly poskytnuty Českým hydrometeorologickým ústavem, není-li v textu uvedeno jinak.



Obr. 4 Mapa rozmístění použitých stanic

Podklad: Reliéf ČR (<http://geoportal.gov.cz/>), zpracováno v programu ArcMap 10.2.2 (ESRI, 2014)

Na Obr. 4 jsou zaznačeny použité stanice ČHMÚ, přehlednější mapa celé republiky s rozmístěním a barevným rozlišením stanic podle typu tvoří

Příloha 2.

Na studovaných stanicích probíhá měření jedním ze dvou typů srážkoměrů (případně oběma najednou) – manuálním Hellmanovým srážkoměrem se záchytnou plochou 500 cm² a automatickým vyhřívaným člunkovým srážkoměrem MR3H firmy Meteoservis se záchytnou plochou 500 cm².

4.1.1 Brno Tuřany

V Brně měřily ve 20. století různé jiné stanice, viz Příloha 3 a Příloha 4. Stanice Brno Tuřany začala měřit až od roku 1958 a je umístěna v areálu letiště Tuřany. Zkratka této stanice použitá v dalším textu je **BTUR**.

Tab. 5 Popisné údaje klimatologické stanice Brno Tuřany

Stanice BRNO TUŘANY	
ID stanice	B2BTUR01
Typ stanice	AMS – Automatizovaná stanice s profesionální obsluhou
Typ srážkoměru	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
Nadmořská výška stanice	241 m
Souřadnice (Stříž, 2011)	49.1531 z.š., 16.6889 z.d.
Kraj	Jihomoravský
Okres	Brno-město
Obec	Brno (kód obce 582786)
Bioregion (Culek et al., 2013)	4.1 Lechovický
Klimatická oblast (Quitt, 1971)	T2/T4 (hranice prochází letištěm Tuřany)
Geomorfologický okrsek (Demek et al., 2006)	VIIIA – 1F – 1 Šlapanická pahorkatina, VIIIA – 1F – 6 Tuřanská plošina
Dlouhodobý srážkový normál (1961 - 1990)	484,8 mm
Průměrný roční úhrn srážek (1961 - 2013)	493,9 mm
Dlouhodobý normál teploty vzduchu (1961 - 1990)	8,7°C (Květoň, 2001)



Obr. 5 Klimatologická stanice Brno Tuřany

4.1.2 Dačice

Dačice jsou pouze srážkoměrnou stanicí, teplota se tam neměří. Dlouhodobý normál teploty vzduchu (1961 - 1990), uvedený v Tab. 6, je tedy použit z nejbližší stanice s měřením teplot a tou je stanice Kostelní Myslová. Zkratka stanice v Dačicích použitá v dalším textu je **DACI**.

Tab. 6 Popisné údaje srážkoměrné stanice Dačice

Stanice DAČICE	
ID stanice	B2DACI01
Typ stanice	MSS – Manuální srážkoměrná stanice
Typ srážkoměru	srážkoměr Hellmannův, záchytná plocha 500 cm ²
Nadmořská výška	486 m
Souřadnice (Stříž, 2011)	49.0831 z.š., 15.4344 z.d.
Kraj	Jihočeský
Okres	Jindřichův Hradec
Obec	Dačice (kód obce 546127)
Bioregion (Culek et al., 2013)	1.50 Velkomeziříčský
Klimatická oblast (Quitt, 1971)	MT9
Geomorfologický okrsek (Demek et al., 2006)	IIC – 5C Dačická kotlina
Dlouhodobý srážkový normál (1961 - 1990)	612,7 mm
Průměrný roční úhrn srážek (1961 - 2013)	615,5 mm
Dlouhodobý normál teploty vzduchu (1961 - 1990)	6,9°C



Obr. 6 Srážkoměrná stanice v Dačicích

4.1.3 Holešov

V období 1. 7. 1895 až 30. 6. 1954 probíhalo měření v budově školy – souřadnice a nadm. výška je uvedena v Příloha 4. Od dubna 1953 však v Holešově funguje i stanice na letišti (její „předchůdkyní“ byla stanice v Otrokovicích). Stanice na letišti je zároveň současnou stanicí Holešov (stanice ve škole skončila v roce 1954). Dne 19. 6. 2009 byla stanice přenesena do nové polohy (posun cca o 300 m – zanedbatelný rozdíl při zpracování dat).

Zkratka této stanice použitá v dalším textu je **HOLE**.



Obr. 7 Klimatologická stanice v Holešově

Tab. 7 Popisné údaje klimatologické stanice Holešov

Stanice HOLEŠOV	
ID stanice	B1HOLE01
Typ stanice	AMS – Automatizované stanice s profesionální obsluhou
Typ srážkoměru	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
Nadmořská výška	222,25 m
Souřadnice (Stříž, 2011)	49.3206 z.š., 17.5697 z.d.
Kraj	Zlínský
Okres	Kroměříž
Obec	Holešov (kód obce 588458)
Bioregion (Culek et al., 2013)	3.4 Hranický
Klimatická oblast (Quitt, 1971)	T2
Geomorfologický okrsek (Demek et al., 2006)	VIIIA – 3C Holešovská plošina
Dlouhodobý srážkový normál (1961 - 1990)	615,1 mm
Průměrný roční úhrn srážek (1961 - 2013)	626,7 mm
Dlouhodobý normál teploty vzduchu (1961 - 1990)	8,5°C (Květoň, 2001)

4.1.4 Kostelní Myslová

Stanice v Telči fungovala do roku 1955. Údaje v Tabulkách podnebí pro období 1901-1950 (Vesecký, 1961) jsou tedy z Telče. Později byla tato stanice zrušena a nyní je pro Telčsko stanice v Kostelní Myslové, která byla založena v roce 1950 a od té doby svou polohu neměnila. Pro porovnání některých klimatologických statistik období studovaného (1961 – 2013) a předešlého (1901 – 1950) byla použita data právě ze stanice Telč.

Zkratka této stanice použitá v dalším textu je **KMYS**.



Obr. 8 Klimatologická stanice Kostelní Myslová

Tab. 8 Popisné údaje klimatologické stanice Kostelní Myslová

Stanice KOSTELNÍ MYSLOVÁ	
ID stanice	B2KMYS01
Typ stanice	AMS – Automatizovaná stanice s profesionální obsluhou
Typ srážkoměru	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
Nadmořská výška	569 m
Souřadnice (Stříž, 2011)	49.16 z.š. 15.4392 z.d.
Kraj	Vysočina
Okres	Jihlava
Obec	Kostelní Myslová (kód obce 587419)
Bioregion (Culek et al., 2013)	1.50 Velkomeziříčský
Klimatická oblast (Quitt, 1971)	MT5
Geomorfologický okrsek (Demek et al., 2006)	IIC – 5C Dačická kotlina
Dlouhodobý srážkový normál (1961 - 1990)	582,8 mm
Průměrný roční úhrn srážek (1961 - 2013)	602,4 mm
Dlouhodobý normál teploty vzduchu (1961 - 1990)	6,9°C (Květoň, 2001)

4.1.5 Kuchařovice

Data v Tabulkách podnebí (Vesecký, 1961) pocházejí ze stanice umístěné přímo ve Znojmě, která existovala v období 1872 – 1961. Stanice v Kuchařovicích existuje od roku 1952 a od této doby je v nezměněné poloze ve výšce 334 m n. m. I tato původní stanice v Telči byla použita ke srovnání s analýzami z Kuchařovic.

Zkratka této stanice použitá v dalším textu je **KUCH**.



Obr. 9 Klimatologická stanice Kuchařovice

Tab. 9 Popisné údaje klimatologické stanice Kuchařovice

Stanice KUCHARŮVICE	
ID stanice	B2KUCH01
Typ stanice	AMS – Automatizované stanice s profesionální obsluhou
Typ srážkoměru	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
Nadmořská výška	334 m
Souřadnice (Stríž, 2011)	48.8825 z.š. 16.0864 z.d.
Kraj	Jihomoravský
Okres	Znojmo
Obec	Kuchařovice (kód obce 594300)
Bioregion (Culek et al., 2013)	1.23 Jevišovický
Klimatická oblast (Quitt, 1971)	T2
Geomorfologický okrsek (Demek et al., 2006)	IIC – 7D – 6 Únanovská sníženina
Dlouhodobý srážkový normál (1961 - 1990)	468,1 mm
Průměrný roční úhrn srážek (1961 - 2013)	484,5 mm
Dlouhodobý normál teploty vzduchu (1961 - 1990)	8,5°C (Květoň, 2001)

4.1.6 Náměšť nad Oslavou

Stanice Náměšť nad Oslavou se v období, ze kterého jsou zpracovány Tabulky podnebí (Vesecký, 1961) nacházela nejprve na zámku (1881-1913) a poté na lesním úřadě (do konce roku 1961). Od roku 1940 však začala v Náměšti měřit ještě stanice umístěná v hospodářské škole, která je opravdovou předchůdkyní současné stanice, ze které jsou v této práci používána data od roku 1961.

Tab. 10 Popisné údaje srážkoměrné stanice Náměšť nad Oslavou

Stanice NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	
ID stanice	B2NAMO01
Typ stanice	MSS – Manuální srážkoměrná stanice
Typ srážkoměru	srážkoměr Hellmannův, záchytná plocha 500 cm ²
Nadmořská výška	390 m
Souřadnice (Stríž, 2011)	49.2167 z.š., 16.15 z.d.
Kraj	Vysočina
Okres	Třebíč
Obec	Náměšť nad Oslavou (kód obce 591211)
Bioregion (Culek et al., 2013)	1.23 Jevišovický
Klimatická oblast (Quitt, 1971)	MT11
Geomorfologický okrsek (Demek et al., 2006)	IIC – 7D – 1 Náměšťská sníženina
Dlouhodobý srážkový normál (1961 - 1990)	561,8 mm
Průměrný roční úhrn srážek (1961 - 2013)	563,8 mm
Dlouhodobý normál teploty vzduchu (1961 - 1990)	7,3°C

Na stanici Náměšť nad Oslavou je od 1. 6. 2013 umístěn automatický srážkoměr (ASS). Od tohoto data zde tedy měří dva srážkoměry - jak starší manuální, tak i novější automatický. Jedná se o srážkoměr firmy Meteoservis typu MR3H. Záchytná plocha je (stejně jako u manuálního Hellmannova srážkoměru) 500 cm². Použitá data však pocházejí z převažující části z manuálního srážkoměru.

Zkratka této stanice použitá v dalším textu je **NAMO**.

4.1.7 Strážnice

Stanice Strážnice funguje od roku 1945, v letech 1979 a 1982 měnila umístění (viz Příloha 1).

Zkratka této stanice použitá v dalším textu je **STRZ**.

Tab. 11 Popisné údaje klimatologické stanice Strážnice

Stanice STRÁŽNICE	
ID stanice	B1STRZ01
Typ stanice	AKS – Automatizovaná stanice s dobrovolnou obsluhou
Typ srážkoměru	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
Nadmořská výška	176 m
Souřadnice (Stříž, 2011)	48.8992 z.š. 17.3381 z.d.
Kraj	Jihomoravský
Okres	Hodonín
Obec	Strážnice (kód obce 586587)
Bioregion (Culek et al., 2013)	3.3 Hlucký
Klimatická oblast (Quitt, 1971)	T2
Geomorfologický okrsek (Demek et al., 2006)	IXC – 1E – 7 Kněždubská kotlina
Dlouhodobý srážkový normál (1961 - 1990)	537,2 mm
Průměrný roční úhrn srážek (1961 - 2013)	535,2 mm
Dlouhodobý normál teploty vzduchu (1961 - 1990)	9,0°C (Květoň, 2001)



Obr. 10 Klimatologická stanice Strážnice

4.1.8 Velké Meziříčí

Údaje v Tabulkách podnebí (Vesecký, 1961) pocházejí ze stanice umístěné v hospodářské škole, která měřila do roku 1958. Stanice měřící v současnosti je umístěna na Nádražní ulici 18/130 v nadmořské výšce 452 m. Tato stanice je v nezměněné poloze od roku 1946 až do současnosti. V období 1946 – 1958 tedy ve Velkém Meziříčí existovaly 2 stanice měřící paralelně.

Zkratka této stanice použitá v dalším textu je **VMEZ**.

Tab. 12 Popisné údaje klimatologické stanice Velké Meziříčí

Stanice VELKÉ MEZIŘÍČÍ	
ID stanice	B2VMEZ01
Typ stanice	AKS – Automatizovaná stanice s dobrovolnou obsluhou
Typ srážkoměru	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
Nadmořská výška	452 m
Souřadnice	(Stříž, 49.3528 z.š. 16.0086 z.d. 2011)
Kraj	Vysočina
Okres	Žďár nad Sázavou
Obec	Velké Meziříčí (kód obce 597007)
Bioregion (Culek et al., 2013)	1.50 Velkomeziříčský
Klimatická oblast (Quitt, 1971)	MT9
Geomorfologický okrsek (Demek et al., 2006)	IIC – 5A – 11 Velkomeziříčská pahorkatina
Dlouhodobý srážkový normál (1961 - 1990)	594,2 mm
Průměrný roční úhrn srážek (1961 - 2013)	589,4 mm
Dlouhodobý normál teploty vzduchu (1961 - 1990)	7,2°C (Květoň, 2001)



Obr. 11 Klimatologická stanice Velké Meziříčí

4.1.9 Staniční srážkoměrná síť BVK, a.s.

K výpočtům pracujícím s intenzitami srážek byly použity údaje o intenzitách jednotlivých dešťů ze srážkoměrné sítě Brněnských vodáren a kanalizací, a.s. (BVK) na území města Brna. Bylo zvoleno 14 automatizovaných srážkoměrných stanic (viz Tab. 13 a Obr. 15) s nadmořskou výškou od 195 do 353 m n. m., jejichž průměrná minimální vzdálenost činí 2,2 km (na ploše cca 105 km²), tedy zhruba 4krát méně než v případě standardní sítě srážkoměrných stanic ČHMÚ. V současné době se jedná o nejhustší síť meteorologických stanic operujících v urbanizovaném území v ČR.



Obr. 12 Člunkový srážkoměr používaný v síti BVK, a.s.

Ze 14 stanic umístěných ve městě Brně (stanice 13MO v Moravanech není administrativně součástí Brna, ale geograficky ano, proto je součástí výzkumu) byly poskytnuty záznamy intenzit srážek od roku 2003 do roku 2012, tedy 10 let souvislého měření. Měření jsou prováděna automatickými srážkoměry MR 2 firmy Meteoservis s intervalem měření 1 minuta, bez vytápění, se zachytnou plochou 200 cm². Vzhledem k absenci vyhřívání jsou srážky v této síti měřeny pouze v nezimním období (březen až říjen). Pro účely zjištění nebezpečných přívalových dešťů v městském prostředí je toto období dostačující, jelikož přívalové deště se prokazatelně vyskytují téměř výhradně mimo zimní období. Kontrola kvality dat a homogenizace byla provedena poskytovatelem, použité metody popisuje Hellebrand (2011). Příklady umístění stanic BVK, a.s. jsou uvedeny na Obr. 13 a Obr. 14.

Veškeré materiály související s měřením na těchto stanicích byly pro studijní účely poskytnuty společností Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., což není dále v textu z důvodu přehlednosti opětovně uváděno.

Tab. 13 Použité stanice srážkoměrné sítě BVK, a.s.

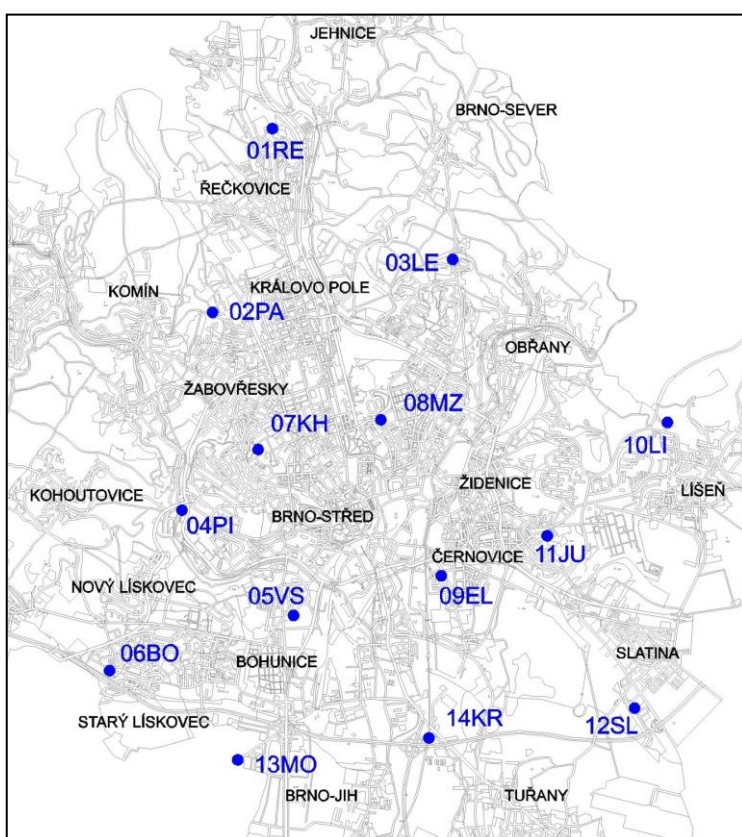
Stanice	Umístění	Nadm. výška [m n. m.]
01RE	VDJ (vodojem) Řečkovice	319
02PA	VDJ Palackého vrch (Žabovřesky)	291
03LE	VDJ Lesná	328
04PI	BVK - Pisárky	214
05VS	Vsetínská – výměník (Štýřice)	216
06BO	ZŠ Bosonožská (Starý Lískovec)	230
07KH	VDJ Kraví hora (Veveří)	276
08MZ	MENDELU (Černá pole)	230
09EL	MŠ El. Krásnohorské (Černovice)	200
10LI	VDJ Líšeň	353
11JU	ZŠ Juliánov	256
12SL	Wombat Slatina	250
13MO	VDJ Moravany	256
14KR	BVK - OK Královky (Brno-jih)	195



Obr. 13 Srážkoměrná stanice 09EL



Obr. 14 Srážkoměrná stanice 13MO



Obr. 15 Schéma rozmístění použitých srážkoměrných stanic sítě BVK, a.s.

4.2 Postup hodnocení změn srážkových řad po homogenizaci a kontrole kvality dat

Kontrola kvality dat a homogenizace, příp. doplnění chybějících dat, bylo provedeno postupem uvedeným v kapitole 3.4, a to pracovníky ČHMÚ za pomoci softwaru ProClimDB (Štěpánek, 2010b). Oba soubory srážkoměrných dat (naměřená data bez

úpravy a data doplněná, opravená a homogenizovaná, tzv. *technické řady*) byly v této práci porovnány a poté na nich bylo zjišťováno množství změn denních srážkových úhrnů v každé stanici a také konkrétní případy změn větších než 5 mm.

Postup hodnocení:

- I. *Kontrola a soupis chybějících měření* (evidence podle stanice, počet chybějících dní a měsíců, rok a měsíc výpadku měření, podíl chybějících údajů z celkového počtu měření)
- II. *Výpočet a porovnání základních statických ukazatelů* pro soubory měřených a teoretických řad denních úhrnů srážek (počet hodnot, průměr, směrodatná odchylka, šikmost, špičatost, maximální hodnota).
- III. *Stanovení rozdílů mezi srážkovými úhrny* v každém dni hodnoceného období a jejich sumarizace dle měsíců, let a stanic.
- IV. *Stanovení počtu dnů s nenulovým rozdílem hodnot srážkových úhrnů* a jejich rozdělení podle výše tohoto rozdílu.

Rozdělení oprav ve srážkových úhrnech dle významnosti:

- *Zanedbatelné změny* (opravy) = 0,1 – 0,9 mm,
- *Středně velké změny* (opravy) = 1 mm – 4,9 mm,
- *Významné změny* (opravy) \geq 5 mm.

Zanedbatelné opravy ve většině případů nesouvisí s chybami v měření, ale s procesem sladění s tzv. *referenčními* řadami okolních stanic. Mohou však být také součástí oprav detekované nehomogenity (viz kap. 3.4). *Významné změny* se vyskytují výjimečně a jde obvykle o chybu v měření či zápisu extrémní srážky (nejčastěji byla změřená srážka vyšší než skutečná, ale je možno najít i opačné případy). *Středně velké změny* mohou mít jakýkoli důvod z výše uvedených.

- V. *Určení počtu a podílu středně velkých změn* za celou sledovanou periodu (1961 – 2013) a odděleně také pro vegetační období (VO, tj. duben až říjen). Podíl byl vztážen k počtu dní hodnoceného období (19 358 dní).

- VI. *Podrobný výpis významných změn (≥ 5 mm) – přesné datum provedené opravy, výše změny (mm), původní naměřený denní srážkový úhrn, opravený srážkový úhrn.*
- VII. *Kontrola vlivu procesu homogenizace a opravy detekovaných chyb na důležité klimatologické údaje – na průměrný roční úhrn srážek a na průměrné měsíční srážkové úhrny.*

Použitý software: ProClimDB (Štěpánek, 2010b), MS Excel

4.3 Statistické zpracování srážkoměrných dat

Pro kompletní statistické vyhodnocení byly jako vstup použity *technické řady* denních srážkových úhrnů, tzn. po opravě detekovaných chyb a nehomogenit a po doplnění případných chybějících úseků (popis homogenizace a kontroly dat viz kap. 3.4).

U většiny stanic došlo v průběhu 20. století ke změnám polohy v rámci shodně pojmenované stanice (viz Příloha 1). Některé stanice však byly přemístěny do blízko ležících obcí, takže data nelze sice považovat za souvislou řadu, ale vzhledem k malým vzdálenostem byly použity k orientačnímu porovnání, např. průměrných ročních úhrnů srážek v letech 1901 – 1950 a 1961 – 2013. Jedná se o stanice Brno, Komárov jako nejbližší pro Brno-Tuřany, Telč pro Kostelní Myslovou a Znojmo pro Kuchařovice.

Některé hodnoty a statistiky byly počítány souhrnně za celý rok, některé také pro období duben až říjen, které je v této práci pro zjednodušení nazýváno vegetačním obdobím (VO). Různé charakteristiky vč. trendů byly zjišťovány i pro jednotlivé měsíce vegetačního období.

Téma bylo rozděleno do dvou kapitol:

- statistické zpracování průměrných úhrnů (ročních, měsíčních a sezónních)
- analýza extrémů a vyšších denních úhrnů srážek

Postup analýzy:

- I. *Vyhotovení krabicových grafů pro data denních úhrnů všech stanic*

Krabicové grafy umožňují posoudit symetrii rozdělení denních srážkových úhrnů, polohu aritmetického průměru, mediánu, rozsah přilehlých, odlehlých a extrémních hodnot.

Základem krabicového grafu (boxplot) je obdélník, jehož delší hrana je rovna nejčastěji *interkvartilovému rozpětí* R_F (tj. rozdílu horního a dolního kvartilu) Avšak při aplikaci na denní srážkové úhrny bylo toto rozpětí vyhodnoceno jako nevhodné, neboť kvůli kumulaci většiny hodnot kolem nuly by „krabice“ byla příliš malá. Proto bylo rozpětí rozšířeno na 5% – 95% kvantily a 1% – 99% kvantily. Uvnitř obdélníku je vyznačen *medián a aritmetický průměr*. Od obou protilehlých stran obdélníku pak pokračují úsečky, které jsou ukončeny *přilehlými hodnotami*, což jsou ty prvky, které leží nejbliže hranicím vymezeným vzdáleností $1,5R_F$ od strany obdélníku (Meloun, Militký, 2004), v tomto případě tedy od vybraného kvantilu (1% – 99%, 5% – 95 %). Body ležící mimo rozsah těchto úseček jsou považovány ze statistického hlediska za „podezřelé“ a jsou v grafu vyznačeny (odlehle hodnoty a extrémy).

II. *Výpočet měsíčních, ročních a sezónních sum, průměrů a maxim celého období (1961 – 2013)*

III. *Zpracování základních statistických charakteristik a trendů stanic pro různá období*

Přesný výčet period je uveden v Tab. 14.

Období 2011 – 2013 bylo zpracováno z důvodu doplnění analýz 10letých period až do konce hodnoceného období, ačkoli je zřejmé, že pro svou rozdílnou a velmi krátkou délku nemá srovnatelnou statistickou hodnotu.

Tab. 14 *Přehled období se zpracovanými statistickými charakteristikami*

Délka období	Hodnocené periody	Vstupní data
53 let	1961 – 2013	Denní úhrny, měsíční sumy, měsíční maxima
26/27 let	1961 – 1986, 1987 – 2013	Měsíční sumy, měsíční maxima
10leté periody	1961 – 1970, 1971 – 1980, 1981 – 1990, 1991 – 2000, 2001 – 2010	Denní úhrny, měsíční sumy, měsíční maxima
3 roky	2011 - 2013	Denní úhrny, měsíční sumy, měsíční maxima

Lineární trend byl vypočten a testován pomocí **t-testu** z hlediska jeho statistické významnosti. *Hladina významnosti* α je riziko, že rozhodnutí učiněné na základě výsledku testu bude chybné. Pro testování lineárního trendu byla zvolena standardní hladina významnosti $\alpha = 0,05$. Je-li výsledek testu (označený v této souvislosti jako *p-hodnota*) nižší než hladina významnosti α , nezamítáme nulovou hypotézu, neboli s pravděpodobností 95 % předpokládáme, že platí nulová hypotéza, tedy že vypočtený lineární trend je statisticky významný.

$p\text{-hodnota} \leq 0,05 \quad \rightarrow \quad \text{lineární trend je statisticky významný (pro } \alpha = 0,05)$

IV. *Analýza srážkových maxim podle stanic a jejich vývoj v čase*

V. *Stanovení četností dnů se srážkami nad určenou mez*

(nad 0 mm, nad 10 mm, nad 30 mm)

VI. *Vyhodnocení*

- a. Porovnání rozdílů statistických charakteristik dešťů mezi stanicemi,
- b. Zkoumání lineárních trendů srážkových úhrnů,
- c. Vyhodnocení a porovnání extremity stanic (podle četností vyšších denních srážkových úhrnů, podle absolutních hodnot a vývoje maxim).

Použitý software: ProClimDB (Štěpánek, 2010b), MS Excel, Statistica Cz (Statsoft, 2013)

4.4 Analýza indexu předchozích srážek

Index předchozích srážek byl stanoven u osmi klimatologických stanic, a to analýzou denních srážkových úhrnů v období 1961–2013. Z těchto dešťů byly vybrány pouze ty o celkovém úhrnu vyšším než 30 mm, které se vyskytly v měsících duben až říjen. Návrhová srážka 30 mm byla zvolena proto, že se vyskytuje ve studovaných oblastech přibližně jednou za rok.

Další postup odpovídal výpočtu indexu předchozích srážek podle metodiky USDA-SCS (1985). Veškeré analýzy srážkových úhrnů v této kapitole byly provedeny jak pro data

homogenizovaná, tak pro původní naměřené hodnoty (viz kap 4.2). Důvodem bylo porovnání dopadu volby datového souboru na výstupy používané v projekční praxi.

Postup analýzy:

- I. *Analýza dešťů s úhrnem ≥ 30 mm (četnost výskytů v měsících vegetačního období)*

- II. *Zjištění úhrnů srážek za předešlých pět dní u dešťů s úhrnem ≥ 30 mm a na základě toho zařazení epizody do kategorie IPS – dle kritérií popsanych v Tab. 15.*

Tab. 15 Hraniční hodnoty indexu předchozích srážek (IPS) podle celkového úhrnu v 5 dnech před hodnocenou srážkou – pro vegetační období (VO) a zimní období (ZO) dle USDA-SCS (1985)

	VO [mm]	ZO [mm]
IPS I	< 36	< 13
IPS II	36 - 53	13 - 28
IPS III	> 53	> 28

- III. *Vyhodnocení poměru epizod v daných kategoriích IPS na každé z lokalit*

- IV. *Výpočet vzorového objemu přímého odtoku za určitých modelových podmínek, pro všechny tři varianty IPS*

Objem přímého odtoku se stanoví dle vztahu (USDA-SCS, 1985):

$$O = 1000 \cdot P_p \cdot H_o \tag{13}$$

kde: O objem přímého odtoku [m³],
H_o přímý odtok [mm],

P_p plocha povodí [km^2].

Pro výpočet přímého odtoku se užívá rovnice:

$$H_o = (H_s - 0,2A)^2 / (H_s + 0,8A) \quad \text{pro } H_s \geq 0,2A, \quad (14)$$

kde: H_s úhrn přívalové (návrhové) srážky [mm],

A potenciální retence [mm].

Přímý odtok (H_o) tedy závisí na úhrnu návrhové srážky (H_s) a na potenciální retenci (A), která se počítá pomocí čísel odtokových křivek dle rovnice:

$$A = 25,4 \cdot (1000 / CN - 10) \quad (15)$$

Čísla odtokových křivek CN jsou tabelizována podle (USDA-SCS, 1985):

- hydrologických vlastností půd rozdělených do čtyř skupin (A, B, C, D) na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém nasycení;
- využití půdy, vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření;
- vlhkosti půdy určované na základě pětidenního úhrnu předcházejících srážek, tedy tzv. indexu předchozích srážek (IPS) ve třech stupních (viz Tab. 15), kdy IPS I odpovídá suché půdě, ale s takovým obsahem vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání. Při IPS III je půda přesycena vodou z předcházejících dešťů.

Výše celkového úhrnu v pěti dnech, které předcházejí posuzovanému dešti, je rozhodující pro zařazení do dané kategorie IPS, jejich hodnoty jsou uvedeny v Tab. 15. Janeček et al. (2012a) doporučuje pro návrhové účely používat IPS II.

4.5 Stanovení N -letých denních srážkových úhrnů

Úkolem analýzy četnosti výskytu extrémních úhrnů srážek je poskytnout odhad o velikosti srážkového úhrnu určitého trvání, který se může vyskytnout nebo být překročen na určité stanici nebo na určitém území s danou pravděpodobností nebo

dobou opakování. Takto vypočtenou výši návrhové srážky poté můžeme využít v projekční praxi, např. při výpočtu objemu přímého odtoku metodou CN křivek.

Návrhové N -leté srážky byly v této kapitole opět stanoveny jak pro data homogenizovaná, tak pro původní naměřené hodnoty (viz kap 4.2) z důvodu porovnání dopadu volby datového souboru na výstupy používané při projektování protierozních opatření.

Postup analýzy:

- I. Vytvoření řady ročních maximálních hodnot (Annual maximum series – AMS) pro všechny stanice*
- II. Stanovení N -letých návrhových srážek pro všechny stanice dvěma metodami – pomocí GEV rozdělení a pomocí Gumbelova rozdělení (v softwaru ProClimDB)*

Pro označení parametrů rovnice Gumbelova a GEV rozdělení používají různí autoři různá označení. V této práci jsou ve shodě se Štěpánkem (2010b) označovány takto: parametr polohy α , parametr měřítka β , parametr tvaru k (pouze u GEV rozdělení).

- III. Sestrojení křivek překročení pro výstupy z obou metod*
- IV. Testování shody modelového a empirického rozdělení hodnot*

K vyhodnocení shody modelových rozdělení s reálnými daty byly použity dvě metody – jednak grafická (pomocí Q-Q grafu), jednak test shody podle Kolmogorova Smirnovova.

Kolmogorov Smirnovův test shody (K-S test) patří mezi testy neparametrické, jelikož testované rozdělení nesplňuje kritérium normality, které je podmínkou použití testů parametrických. Nulovou hypotézou je v tomto případě skutečnost, že soubor empirických hodnot (ročních maximálních srážkových úhrnů) pochází z určitého základního souboru se známým teoretickým rozdělením (hustotou pravděpodobnosti) – GEV nebo Gumbelovým. ***P-hodnota*** zde signalizuje sílu testu. Lze říci, že čím je p -hodnota Kolmogorov Smirnovova testu vyšší, tím větší je shoda testovaných rozdělení.

Q-Q graf dle Melouna a Militkého (2004) porovnává kvantily experimentálního a vybraného teoretického rozdělení (tedy vlastně vzestupně uspořádané naměřené

hodnoty a odpovídající hodnoty stanovené pomocí příslušné pravděpodobnostní funkce daného rozdělení). Jsou konstruovány tak, že pokud experimentální rozdělení plně odpovídá teoretickému, potom je grafem přímka. Jakékoli odchylky od tohoto „ideálního“ tvaru indikují odchylky od předpokládaného teoretického rozdělení. Q-Q graf lze sestavit pro různá rozdělení, pouze se jinak stanovují příslušné hodnoty na osách X a Y.

V. *Porovnání vypočtených návrhových hodnot s údaji Šamaje et al. (1985)*

U některých stanic v publikaci Šamaje et al. (1985) se neshodovalo umístění se současným stavem, výsledky jsou proto porovnávány s nejbližší nalezenou stanicí – pro Brno Tuřany byla jako nejbližší vybrána stanice Brno Husovice, pro Kostelní Myslovou stanice Telč a pro Kuchařovice stanice Znojmo.

VI. *Výpočet vzorového objemu přímého odtoku*

– za určitých modelových podmínek, pro hodnoty návrhové dvouleté a stoleté srážky stanovené metodou GEV a Gumbel, porovnání rozdílů

Použitý software: ProClimDB (Štěpánek, 2010b), MS Excel

4.6 Analýza erozně nebezpečných dešťů pro území Brna

Síť 14 stanic BVK, a.s. pokrývá plochu města Brna (cca 105 km²). Z těchto stanic byly poskytnuty záznamy dešťů v 5minutových intervalech, proto je tento časový úsek považován za základní časový krok (dešťový oddíl) při dalších výpočtech týkajících se intenzity deště.

Postup analýzy:

I. Analýza maximálních intenzit dešťů na území Brna

Byly posuzovány maximální roční úhrny dešťů o určité délce trvání (5, 15, 30 a 60 minut) se zřetelem na maxima srážek trvajících 30 minut, rozložení výskytu všech

těchto maxim v měsících VO, porovnání průměrné roční max. 30minutové srážky a průměrného ročního R faktoru ve stanicích.

II. *Analýza erozní účinnosti dešťů na území Brna*

Postup výpočtu se řídil platnou metodikou (Janeček et al., 2012a), která vychází z univerzální rovnice pro výpočet dlouhodobé ztráty půdy erozí (Wischmeier, Smith, 1978). Ukazatelem charakterizujícím erozivitu dešťů v dané oblasti je tzv. faktor erozní účinnosti deště (R faktor), který se stanoví dle maximální 30minutové intenzity deště a jeho kinetické energie. Vstupní veličinou jsou tzv. erozně nebezpečné nebo také přívalové deště (END), za které považujeme dle Janečka (2012a) takové srážky, jejichž celkový úhrn dosáhne alespoň 12,5 mm a zároveň jejich intenzita překročí 6,25 mm za 15 minut. Za samostatnou srážkovou epizodu je považován déšť oddělený od ostatních dobou delší než 6 hodin.

R faktor byl vypočítán ve dvou variantách:

- *Varianta A* – všechny dešťové epizody s úhrnem nad 12,5 mm a zároveň s intenzitou vyšší než 6,25 mm za 15 minut (dle Janečka et al., 2012a, bez redukce hodnot)
- *Varianta B* - dešťové epizody s úhrnem nad 12,5 mm a zároveň s intenzitou vyšší než 6,25 mm za 15 minut, redukované o 1 nejnižší a 1 nejvyšší hodnotu (upraveno dle Janečka et al., 2012a)

Varianta B byla vytvořena z důvodu přiblížení se k metodice Janečka et al. (2012a,b), který při výpočtu průměrného R vynechal dvě nejvyšší a dvě nejnižší hodnoty (aby vyloučil extrémní deště s velmi nízkou periodicitou opakování). Jelikož však pracoval s delší řadou pozorování, než je k dispozici pro tento výzkum (minimálně dvojnásobnou), byla pro zde analyzované stanice provedena redukce pouze dvou hodnot namísto čtyř.

R faktor jednotlivého deště se stanovuje na základě následujících vztahů (Wischmeier a Smith, 1978):

$$R = E \cdot I_{30}/100, \quad (16)$$

kde: R faktor erozní účinnosti deště [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$],
E celková kinetická energie deště [$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$],

I_{30} max. 30 minutová intenzita deště [$\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$].

Celková kinetická energie deště E je:

$$E = \sum_{i=1}^n Ei, \quad (17)$$

kde: Ei – kinetická energie i-tého úseku deště [$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$],
 n – počet úseků deště.

$$Ei = (206 + 87 \log i_{si}) \cdot H_{si}, \quad (18)$$

kde: i_{si} – intenzita deště i-tého úseku [$\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$],
 H_{si} – úhrn deště v i-tém úseku [cm].

Trvá-li dešť méně než 30 minut, I_{30} je dvojnásobkem úhrnu srážky. Co se týče kinetické energie dešťových kapek, bylo experimentálně prokázáno, že nepřekročí hodnotu $283 \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$, tj. zhruba od intenzity $7,6 \text{ cm}\cdot\text{hod}^{-1}$ už hodnota kinetické energie neroste, což bylo zohledněno při výpočtech.

Roční hodnota R faktoru se určuje z dlouhodobých záznamů o srážkách a představuje součet erozní účinnosti jednotlivých přívalových dešťů, které se v daném roce vyskytly. Je však potřeba zdůraznit, že průměrná roční hodnota R faktoru v podmínkách České republiky je v podstatě hodnotou za vegetační období (duben až říjen), protože erozně nebezpečné deště se vyskytují prakticky výhradně (až na výjimky) v tomto období. I v této práci byly vzhledem k dostupnosti ombrografických záznamů zpracovávány pouze deště z vegetačního období.

Výstupem analýzy je porovnání variability R faktoru v rámci studované oblasti, rozložení R faktoru v průběhu vegetačního období, porovnání R faktorů jednotlivých let u vybraných stanic či porovnání variantních hodnot R faktorů.

5 VÝSLEDKY

5.1 Změny srážkových řad po homogenizaci a kontrole kvality dat

5.1.1 Analýza změn

Prvním krokem bylo nalezení měsíců, pro které chybí původní naměřená data. Ve stanicích Brno-Tuřany, Holešov, Kostelní Myslová, Kuchařovice a Velké Meziříčí nebyly v hodnoceném období detekovány dlouhodobé souvislé výpadky měření. Přehled stanic s chybějícími měřeními je uveden v Tab. 16, a to včetně výčtu konkrétních měsíců (spolu s rokem výskytu), ve kterých měření chybí a muselo být dopočítáno v rámci procesu kontroly a homogenizace dat.

Nejvíce údajů chybí ve stanici Náměšť nad Oslavou, v různých obdobích zde bylo přerušeno měření celkem ve 12 měsících, čímž vznikl výpadek 1,9 % dat (365 dní z celkového počtu 19 358 měřených denních údajů o srážkách). U dalších dvou stanic se dá podíl chybějících dat považovat za zanedbatelný (nepřesahuje 1 %). Na všech stanicích souvisí přerušené měření s ukončením provozu stanice na jedné lokalitě a jejím přesunem v rámci téhož města na jinou lokalitu (viz seznam v Příloha 1). Výjimku tvoří výpadek měření v květnu 1976 ve Strážnici a v prosinci 1981 v Náměšti nad Oslavou, kdy důvodem nebyl přesun stanice, příčina výpadku však nebyla zjištěna.

Tab. 16 Přehled chybějících údajů v měřených datech

Stanice	Počet chybějících měsíců	Rok	Chybějící měsíce	Podíl chybějících dat [%]
DAČICE	2	1986	IX, X	0,3
NÁMĚŠŤ N. O.	12	1980	X, XI, XII	1,9
		1981	I, II, III, IV, XII	
		1991	I	
		2007	IV, V, VI	
STRÁŽNICE	4	1976	V	0,6
		1979	I, II, III	

Jak vyplývá z Tab. 17, žádná z uvedených statistických veličin nebyla výrazněji ovlivněna procesem opravy a homogenizace dat. Největší změnou je mírné snížení špičatosti souboru dat ze stanice Holešov, které je způsobeno redukcí extrému ze 4. července 1995 o 72,4 mm, což je zároveň největší individuální změna provedená

v testovaných souborech (jak je patrné z Tab. 19). Tato oprava se projevila i na snížení maxima dosaženého na stanici Holešov (viz Tab. 17), jelikož redukována hodnota byla zároveň absolutním maximem zaznamenaným na dané stanici. Mezi srovnávanými statistickými charakteristikami chybí medián a minimální hodnota, neboť jsou ve všech případech rovny nule.

Tab. 17 Základní statistické charakteristiky souborů srážkoměrných dat před (NEHMG) a po (HMG) kontrole a homogenizaci dat za období 1961 – 2013

Statist. charakteristiky	BRNO-TUŘANY		DAČICE		HOLEŠOV		KOST. MYSLOVÁ	
	NEHMG	HMG	NEHMG	HMG	NEHMG	HMG	NEHMG	HMG
Počet hodnot	19358	19358	19297	19358	19358	19358	19358	19358
Průměr	1,37	1,35	1,66	1,69	1,72	1,72	1,65	1,65
Směrodatná odchylka	3,83	3,78	4,26	4,33	4,50	4,45	4,25	4,25
Šikmost	5,51	5,49	6,00	5,99	5,20	4,97	6,53	6,53
Špičatost	46,95	47,09	63,08	62,31	41,48	35,50	79,29	79,17
Maximální hodnota	82,10	82,00	107,20	107,00	89,60	71,60	118,10	118,00

Statist. charakteristiky	KUCHAŘOVICE		NÁMĚŠŤ N. O.		STRÁŽNICE		VEL. MEZIRÍČÍ	
	NEHMG	HMG	NEHMG	HMG	NEHMG	HMG	NEHMG	HMG
Počet hodnot	19358	19358	18993	19358	19237	19358	19358	19358
Průměr	1,33	1,33	1,54	1,54	1,47	1,47	1,62	1,61
Směrodatná odchylka	3,86	3,85	3,97	3,98	4,09	4,08	3,98	3,97
Šikmost	6,18	6,19	5,25	5,28	5,51	5,49	5,26	5,26
Špičatost	59,21	59,53	41,17	42,11	43,88	43,52	42,26	42,37
Maximální hodnota	71,80	71,80	71,10	71,10	76,40	75,60	63,30	63,30

Po sečtení veškerých změn (z nichž nejvíce tvoří *zanedbatelné opravy* do 1 mm) vyplynulo, že ve stanicích bez chybějících údajů nepřesahuje počet opravených chyb a nehomogenit 2 % (Tab. 18) a bude-li brán zřetel pouze na opravy 1 mm a větší, pak nepřekračují 1 %. Jiná je situace u stanic, kde musely být doplněny údaje v obdobích bez měření. Ve stanici Náměšť nad Oslavou takto bylo upraveno a přidáno 9,3 % dat, v Dačicích 6,6 % a ve Strážnici 3,6 %. Celkový počet změn se u jednotlivých stanic pohybuje od 123 do 1793. Jelikož zájmovým časovým intervalem je vegetační období (VO), bylo také prověřeno, kolik *středně velkých a významných oprav* bylo provedeno v tomto období. Jedná se o minimální zásah do původních dat v řádu setin procent, opět s výjimkou 3 stanic s chybějícími údaji, kde opravy dosáhly ve VO nejvýše 1,6 %, a to ve stanici Náměšť, která vykazuje ve všech zkoumaných veličinách nejvyšší rozdíly z důvodu nejdelšího chybějícího období.

Změna celkového úhrnu je uvedena v Tab. 18 v procentech i v milimetrech a vztahuje se k sumě všech úhrnů každé stanice (za celé období 1961 – 2013). Jelikož v případě 3 stanic s chybějícími údaji je změna ovlivněna absencí několika měsíců měření, které zkreslují celkovou představu o provedených opravách, je u těchto stanic uveden v závorce i údaj po odečtení chybějících období. Celkový úhrn se u 5 stanic lehce snížil, u tří stanic s doplněnými řadami výrazněji zvýšil. Jsou-li hodnoceny změny pouze měřených dat (bez dlouhodobých výpadků měření), pak ve stanici Strážnice je úhrn také snížen, ovšem v Dačicích a v Náměšti nad Oslavou zůstává kladné znaménko změn. Lze z toho usoudit, že v těchto stanicích po změně stanoviště bylo měření podhodnocováno a muselo být homogenizací zvýšeno. Je vyloučeno, že by tento kladný rozdíl byl způsoben nezachycením některých extrémních dešťů (viz Tab. 19).

Tab. 18 Počty změn u denních úhrnů srážek po provedení homogenizace a kontroly dat za období 1961 – 2013

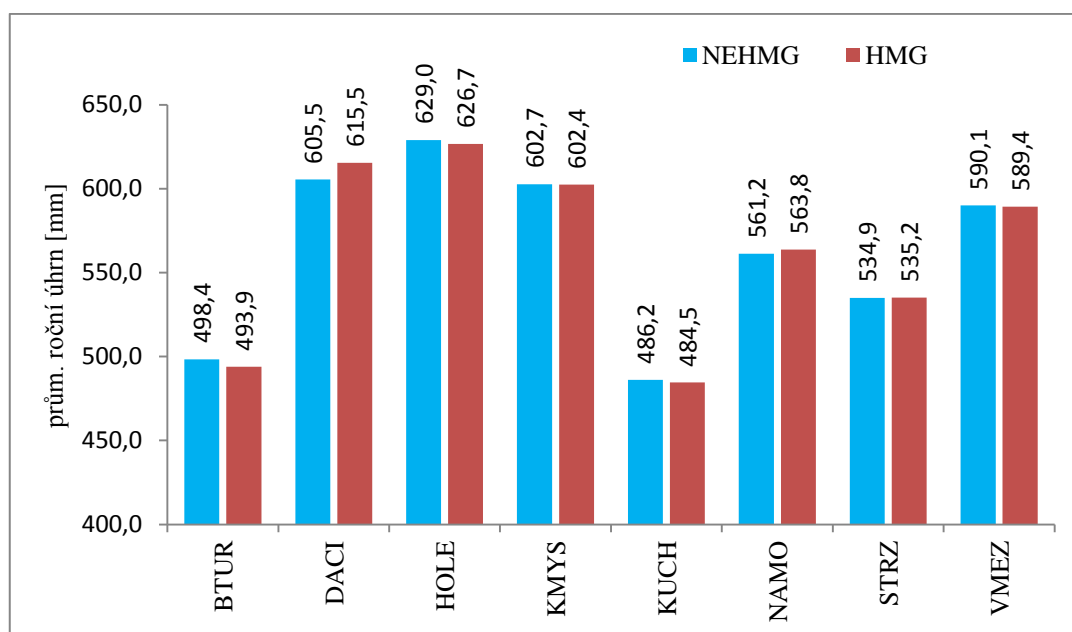
Stanice	Změna celkového úhrnu [%]	Změna celkového úhrnu [mm]	Změny $\geq 0,01$ mm		Změny ≥ 1 mm		Změny ≥ 1 mm ve VO	
			Počet	%	Počet	%	Počet	%
BRNO-TUŘANY	-0,91	-240	123	0,64	17	0,09	16	0,08
DAČICE	4,16 (1,76)	1303,7 (551,2)	1282	6,62	263	1,36	196	1,01
HOLEŠOV	-0,37	-123,4	137	0,71	4	0,02	4	0,02
KOST. MYSLOVÁ	-0,04	-12,9	315	1,63	2	0,01	1	0,01
KUCHAŘOVICE	-0,33	-85,8	328	1,69	9	0,05	8	0,04
NÁMĚŠŤ N. O.	9,09 (0,81)	2489,8 (220,8)	1793	9,26	524	2,71	300	1,55
STRÁŽNICE	4,05 (-0,05)	1105 (-14,3)	703	3,63	128	0,66	34	0,18
VEL. MEZIŘÍČÍ	-0,11	-35,7	145	0,75	3	0,02	3	0,02

Významné opravy, definované zde změnou původní hodnoty denního úhrnu o 5 mm a více, jsou podrobně popsány v Tab. 19, jejíž součástí nejsou časové úseky, které chyběly a byly dopočítávány. Většina *významných změn* má záporné znaménko (s výjimkou Dačic a zčásti Náměšti nad O.), což naznačuje redukci chybně naměřených extrémních úhrnů. Nejvíce *významných oprav* (15) bylo provedeno v Brně-Tuřanech, což je poměrně zajímavé, jelikož tato stanice patří mezi profesionální meteorologické stanice (AMS). Důvod těchto odchylek není spolehlivě vysvětlen. Naopak ve stanicích Strážnice a Velké Meziříčí pouze jedna hodnota byla upravena o více než 5 mm. Kostelní Myslová není v Tab. 19 uvedena vůbec, protože po homogenizaci a kontrole dat zde sice došlo ke 2 opravám o 1 mm a více, tyto změny však nedosáhly 5 mm.

Tab. 19 Změny ≥ 5 mm po provedení homogenizace a kontroly dat

Stanice	Datum	Rozdíl [mm]	Měřený úhrn [mm]	Opravený úhrn [mm]
BRNO-TUŘANY	7.5.1961	-11,3	11,4	0,1
	1.10.1966	-7,0	8,0	1,0
	14.6.1972	-27,8	33,0	5,2
	12.8.1975	-7,2	7,4	0,2
	10.5.1977	-22,7	22,7	0,0
	10.7.1978	-10,0	10,3	0,3
	7.6.1979	-9,4	9,9	0,5
	29.6.1986	-11,5	12,2	0,7
	29.6.1988	-45,9	49,9	4,0
	18.8.1989	-17,2	19,5	2,3
	2.6.1992	11,0	0,6	11,6
	7.7.1992	-22,1	23,4	1,3
	11.6.1993	-14,8	17,3	2,5
	9.6.1994	-13,8	16,7	2,9
14.7.2006	-32,0	39,3	7,3	
DAČICE	20.10.1961	5,9	25,6	31,5
	25.5.1963	7,0	66,7	73,7
	6.6.1964	6,0	57,2	63,2
	14.1.1968	6,1	26,5	32,6
	26.5.2009	-8,0	13,5	5,5
HOLEŠOV	1.10.1981	-6,8	7,2	0,4
	4.7.1995	-72,4	89,6	17,2
	9.7.2001	-14,6	18,6	4,0
	14.7.2005	-28,3	32,6	4,3
KUCHAŘOVICE	25.8.1968	-16,4	16,9	0,5
	14.5.1975	-20,6	22,0	1,4
	18.5.1982	-8,3	10,7	2,4
	4.8.1986	-14,4	16,5	2,1
	25.6.1989	-13,3	15,0	1,7
NÁMĚŠŤ N. O.	4.8.1967	6,5	61,8	68,3
	7.7.1980	5,0	1,2	6,2
	28.7.1980	6,2	8,9	15,1
	29.7.1980	-11,4	16,2	4,8
	14.5.1981	-6,7	10,6	3,9
	8.6.1981	-7,4	9,7	2,3
	26.6.1681	-15,0	34,6	19,6
	13.9.1981	-9,8	36,5	26,7
	14.9.1981	-6,7	8,2	1,5
	22.10.1981	-5,9	20,2	14,3
STRÁŽNICE	14.6.2007	-14,8	16,5	1,7
VEL. MEZIŘÍČÍ	10.7.1997	-22,0	24,1	2,1

Proces homogenizace a kontroly dat ovlivnil i velikost průměrného ročního úhrnu srážek ve stanicích. Tyto rozdíly ilustruje graf na Obr. 16, uvedené hodnoty platí pro období 1961 – 2013. Ovlivnění průměrných úhrnů koresponduje s výše uváděnými opravami, kdy u pěti stanic došlo k jejich snížení (o zanedbatelných 0,2 mm v Kostelní Myslové, ale také o 4,5 mm v Brně-Tuřanech), u tří stanic s výpadky měření byl průměrný roční úhrn naopak zvýšen (nejvíce v Dačicích, a to o 10 mm, ve Strážnici pouze minimálně, o 0,2 mm).



Obr. 16 Porovnání průměrných ročních úhrnů srážek (1961-2013) ve stanicích pro data naměřená (NEHMG) a upravená (HMG)

Průměry měsíčních srážkových úhrnů byly ovlivněny též, ale jen okrajově. Za zmínku stojí pokles červnového průměru ve stanici Brno-Tuřany o 2,2 mm (ze 72,5 mm na 70,3 mm), pokles červencového průměru v Holešově o 2,2 mm (z 84 mm na 81,8 mm) a zvýšení srpnového průměru v Náměšti nad Oslavou o 2,9 mm (z 66,3 mm na 69,2 mm). Žádný z těchto průměrů nesouvisí s výpadky měření a doplněním dat, protože v daných měsících není žádný výpadek evidován. V případě Holešova a Brna Tuřan se jedná především o vliv redukce jednoho výrazného extrému (viz Tab. 19), avšak v případě Náměšti nad Oslavou nebyl žádný extrém doplněn (průměr se zvýšil), ale celé období let 1961 – 1981 (nejen srpnové hodnoty) bylo detekováno jako nehomogenní (tedy původní měření nekorresponduje se současností) a opraveno velkým množstvím zanedbatelných a středně velkých změn. Jak je patrné z grafu (Obr. 16), měla tato nehomogenita v Náměšti n. O. vliv i na mírné zvýšení průměrného ročního úhrnu

srážek. Podobně v Dačicích je možno jasně rozlišit období s opravenými nehomogenitami (1961 – 1969), byť s menším vlivem na měsíční průměrné úhrny, zato však u více měsíců zároveň, což se odrazilo na větší změně ročního průměru úhrnu srážek (vzrostl o 10 mm). Naopak Brno-Tuřany lze uvést jako stanici s nejmenším součtem všech změn (bez rozlišení významnosti), zároveň však s nejvíce *významnými opravami*.

Při vyjádření relativní četnosti rozdělení opravených chyb podle velikosti je průměrně 80 % oprav do 1 mm (tedy *zanedbatelné změny*), 19 % oprav v kategorii 1-5 mm (*středně velké změny*) a méně než 1 % připadá na změny větší než 5 mm (*významné změny*). U jednotlivých stanic však tyto hodnoty různě kolísají (Tab. 20) v souvislosti s výše uvedenými skutečnostmi.

Tab. 20 Relativní četnosti detekovaných změn dle kategorií

	Zanedbatelné opravy [%]	Středně velké opravy [%]	Významné opravy [%]
BRNO-TUŘANY	86,2	1,6	12,2
DAČICE	79,5	20,1	0,4
HOLEŠOV	97,1	0,0	2,9
KOST. MYSLOVÁ	99,4	0,6	0,0
KUCHAŘOVICE	97,3	1,2	1,5
NÁMĚŠŤ	70,8	28,7	0,6
STRÁŽNICE	81,8	18,1	0,1
VEL. MEZIŘÍČÍ	97,9	1,4	0,7
Ø	80,3	18,8	0,9

5.1.2 Diskuze

V letech 2007 – 2011 probíhal projekt evropské iniciativy COST (European Cooperation in Science and Technology) Action ES0601: advances in homogenization methods of climate series: an integrated approach /HOME/ (HOME, 2014), která mimo jiné sdružovala autory a realizátory různých metod a softwarů směřujících ke stejnému cíli – odstranění nehomogenit a chyb z naměřených klimatologických řad. V roce 2011 proběhl test různých softwarů a metod homogenizace měsíčních a ročních řad teplot a srážek (Venema et al., 2012). Jedním z testovaných softwarů byl i AnClim (Štěpánek, 2010a), z jiných evropských softwarů např. ACMANT, Craddock, MASH, PRODIGE a

USHCN. Úspěšnost provedené homogenizace a oprav chyb byla u některých zahraničních softwarů vyšší než u AnClim, tento se však vyznačuje menší časovou náročností (vyšší mírou automatizace) a tím je možné ho použít pro větší soubory dat. Je však zřejmé, že žádný software není schopen zpětně rozpoznat všechny chyby a nehomogenity, obzvlášť u tak proměnlivé veličiny, jakou jsou denní srážkové úhrny.

Je též důležité vzít v úvahu, že chyby a nehomogenity dat se stávají statisticky prokazatelnými až s několikaletým odstupem, proto se u dat na konci časové řady neprovádí oprava zjištěných nehomogenit (Štěpánek et al., 2011a).

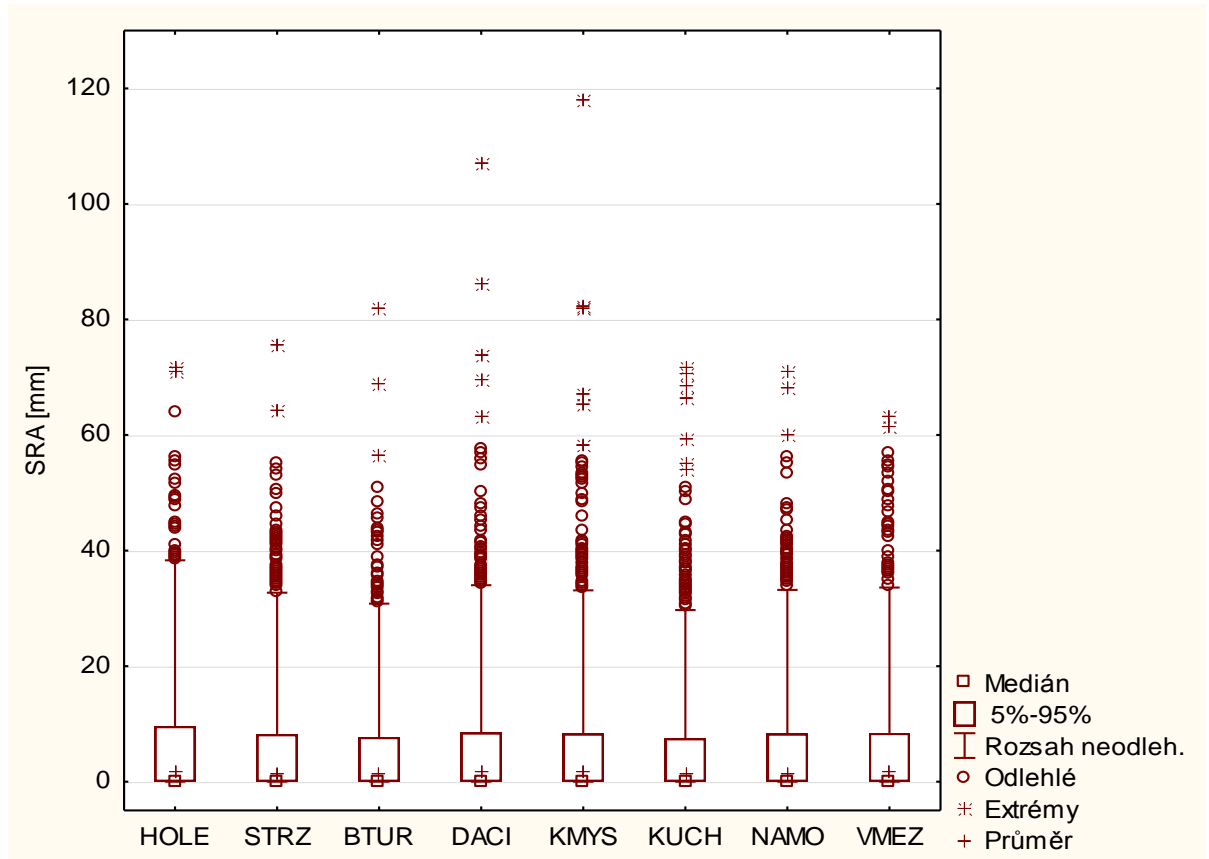
U některých stanic byly měsíční až sedmiměsíční úseky bez měření, což značně ovlivnilo počet detekovaných chyb, avšak téměř nezměnilo statistické charakteristiky souborů ani výši průměrného ročního úhrnu srážek (kromě stanice Dačice, kde došlo k navýšení o 10 mm vlivem opravy nehomogenity v letech 1961 – 1969).

U stanic bez chybějících dat v měření došlo k mírnému poklesu průměrných ročních úhrnů srážek, o 0,3 (KMYS) až 4,5 mm (BTUR). Jako stanici s největšími rozdíly v celkovém úhrnu lze označit Brno-Tuřany (pokles o 0,9 % vlivem redukce chybných extrémů) a také stanice Dačice a Náměšť nad Oslavou (nárůst celkového úhrnu o 1,8 % v Dačicích a o 0,8 % v Náměšti vlivem opravy nehomogenit – s vyloučením chybějících dat, která výslednou hodnotu rozdílu celkových úhrnů samozřejmě několikanásobně zvyšují). Důvod velkého podílu detekovaných a opravených odchylek nad 5 mm ve stanici Brno-Tuřany není spolehlivě vysvětlen, jelikož se jedná o profesionální stanici (AMS) s dlouhou tradicí měření.

Jelikož spolehlivost klimatologických dat je klíčová pro smysluplnost následných analýz používajících tato data jako vstup, měla by při nich mít značnou důležitost úvaha, zda se pracuje s naměřenými daty nebo s opravenými, homogenními daty (*technické řady*). Jelikož je v této práci zásadní právě přesnost a spolehlivost především extrémních srážkových úhrnů, jsou v dalších analýzách používány hlavně *technické řady*, aby se předešlo zkreslení výsledků, způsobenému neklimatickými faktory. U některých analýz je uveden pro ilustraci výsledek i z dat nehomogenizovaných, lze tak porovnat skutečný vliv homogenizace a kontroly dat na konkrétní výstupy v protierozní praxi.

5.2 Statistické vyhodnocení

5.2.1 Charakteristiky srážkových úhrnů za celé období 1961 - 2013



Obr. 17 Krabicové grafy denních srážkových úhrnů (1961 – 2013) podle stanic

Krabicové grafy (Obr. 17) ilustrují především množství extrémních hodnot u jednotlivých stanic a jejich výši. Ze studia rozložení extrémů denních úhrnů srážek konkrétních stanic vyplývá, že nejnižší extrémny byly zaznamenány ve stanici Velké Meziříčí (pod 70 mm), nejvyšší ve stanicích Dačice a Kostelní Myslová (nad 100 mm). Vztaheno k průměrným ročním úhrnům srážek (Obr. 16, Tab. 23), vyšší výskyt extrémů nekorresponduje s vyššími celkovými úhrny. Ve Velkém Meziříčí sice nedošlo ve sledovaném období k výrazným extrémům v porovnání s ostatními stanicemi, avšak z hlediska ročních úhrnů patří tato stanice k těm spíše nadprůměrným (s průměrným úhrnem 589 mm za rok). Velkými extrémny neoplývá ani stanice v Holešově, která má však absolutně nejvyšší průměrný roční úhrn (627 mm). Dačice i Kostelní Myslová mají jak vysoké roční úhrny, tak i nejvyšší extrémny.

Zatímco z Tab. 23 lze vyčíst, že 90 % všech hodnot denních úhrnů nepřekročí u žádné stanice hodnotu 5,5 mm, z krabicového grafu lze odečíst přibližnou polohu 95procentního kvantilu, která leží kolem hodnoty 10 mm. Zároveň lze konstatovat, že 99procentní kvantil se pohybuje kolem hodnoty 20 mm (Příloha 12). Dle krabicového grafu i údajů z Tab. 23 o rozložení hodnot a o míře nesouměrnosti (šikmosti) a špičatosti lze o všech stanicích s jistotou říci, že jejich rozdělení hodnot denních srážkových úhrnů je silně levostranné a hodně špičaté (medián je roven nule u všech stanic). To odpovídá skutečnosti, že většina dní v roce je beze srážek (průměrně 74 % ročně – viz Tab. 21), nebo s velmi nízkým úhrnem srážek, kdežto vyšších srážkových úhrnů (nad 10 mm) se v průběhu roku vyskytne jen několik (viz kap. 5.3).

Tab. 21 Průměrný podíl dní beze srážek [%] v roce podle stanic

%	BTUR	DACI	HOLE	KMYS	KUCH	NAMO	STRZ	VMEZ	PRŮMĚR
za rok	77	74	73	72	77	73	76	71	74
ve VO	73	71	72	71	74	72	75	71	72

Variační koeficient informuje o relativní variabilitě souboru dat (v %). O denních srážkových úhrnech naznačuje, že mají velmi vysokou variabilitu (nad 200 %). Nejvyšší variabilitu (290 %) mají denní data ve stanici Kuchařovice, nejnižší naopak ve Velkém Meziříčí (246 %). Míra variability denních srážkových úhrnů souvisí s povahou měřených dat (viz výše) a je tedy běžným jevem. U ročních úhrnů je variabilita samozřejmě řádově menší, a to od 61 % ve Velkém Meziříčí po 72 % v Brně-Tuřanech a Kuchařovicích.

Lineární trend je statisticky významný na hladině významnosti 0,05 (resp. 0,1), pokud *p-hodnota* je menší než 0,05 (resp. než 0,1). Hodnoty lineárního trendu ročních sum srážek jsou uvedeny v Tab. 22. Pouze ve stanici Kostelní Myslová je statisticky významný trend (+ 1,46) na hladině významnosti 0,1. Lze říci, že lineární trendy ročních sum srážek naznačují sice častěji kladnou odchylku, avšak žádný z trendů není statisticky významný na hladině významnosti 0,05.

Tab. 22 Hodnoty lineárního trendu stanic pro roční sumy srážek za období 1961 – 2013

(Vysvětlivky: Tučně zvýrazněn je statisticky významný trend na hladině významnosti 0,1)

	BTUR	DACI	HOLE	KMYS	KUCH	NAMO	STRZ	VMEZ
Lin. trend	0,73	0,14	0,56	1,46	0,94	0,37	-0,28	-0,21
p-hodnota	0,32	0,86	0,53	0,09	0,27	0,64	0,74	0,80

Tab. 23 Základní statistické charakteristiky stanic pro denní úhrny srážek a pro roční sumy srážek (1961 – 2013)

(Vysvětlivky: tučně je vyznačen statisticky významný lineární trend)

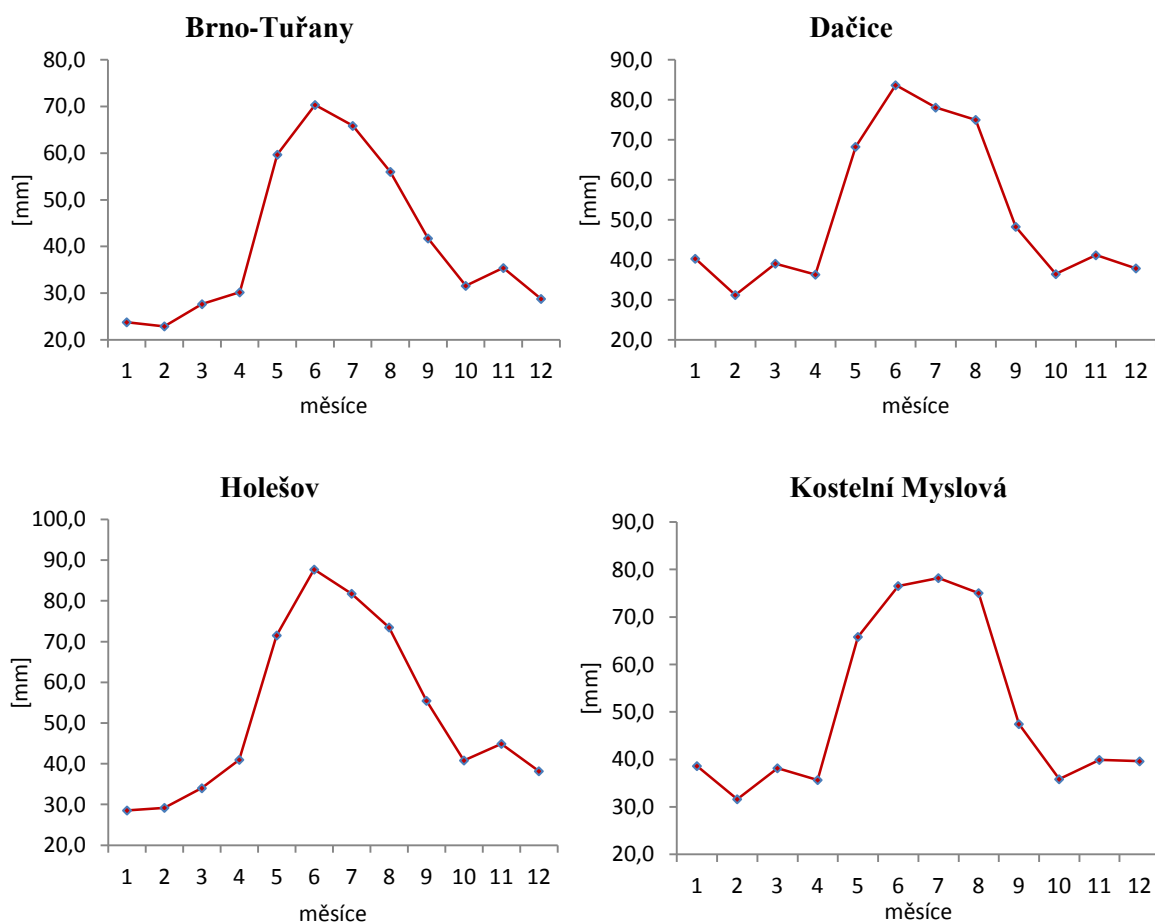
	BTUR		DACI		HOLE		KMYS	
	dný	sumy	dný	sumy	dný	sumy	dný	sumy
Počet hodnot	19358	636	19358	636	19358	636	19358	636
Průměr [mm]	1,4	41,2	1,7	51,3	1,7	52,2	1,6	50,2
Průměrná suma [mm]	493,9	493,9	615,5	615,5	626,7	626,7	602,4	602,4
Směrodatná odchylka	3,8	29,6	4,3	32,6	4,5	35,5	4,2	32,1
Rozptyl	14,3	878,8	18,8	1063,9	19,8	1257,5	18,0	1033,0
Variační koeficient [%]	279,7	72,0	257,0	63,6	259,3	67,9	257,5	64,0
Šikmost	5,5	1,6	6,0	1,1	5,0	1,6	6,5	1,3
Špičatost	47,1	3,9	62,3	1,2	35,5	4,3	79,2	2,8
Minimální hodnota [mm]	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,9	0,0	1,6
Maximální hodnota [mm]	82,0	223,3	107,0	188,0	71,6	281,1	118,0	232,1
Výskyt maxima (rmd)	700616	1997	806	1997	950601	1997	60629	2002
První decil (10%)	0,0	12,1	0,0	17,0	0,0	16,9	0,0	17,1
Dolní kvartil (25%)	0,0	20,2	0,0	27,2	0,0	26,8	0,0	26,2
Medián [mm]	0,0	32,9	0,0	44,5	0,0	44,5	0,0	43,8
Horní kvartil (75%)	0,7	56,5	1,4	66,9	1,2	69,1	1,3	66,0
Poslední decil (90%)	4,0	83,5	5,1	99,5	5,2	97,4	5,1	93,2

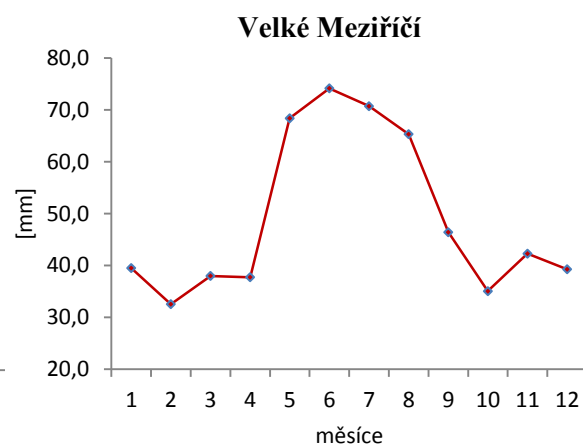
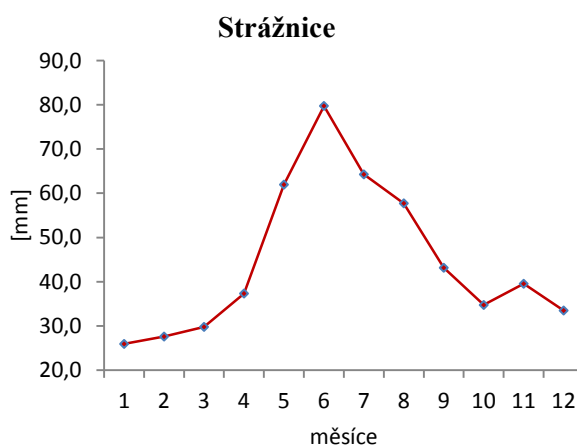
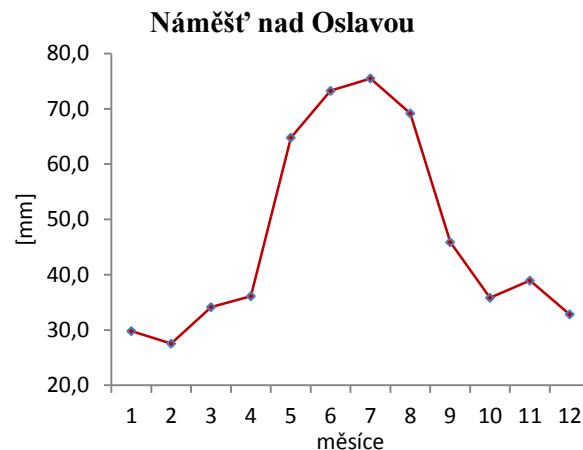
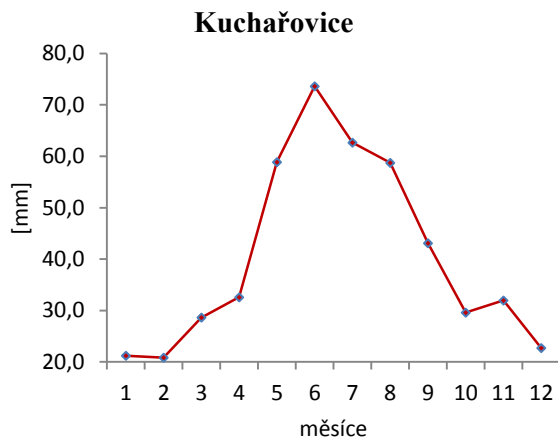
	KUCH		NAMO		STRZ		VMEZ	
	dný	sumy	dný	sumy	dný	sumy	dný	sumy
Počet hodnot	19358	636	19358	636	19358	636	19358	636
Průměr [mm]	1,3	40,4	1,5	47,0	1,5	44,6	1,6	49,1
Průměrná suma [mm]	484,5	484,5	563,8	563,8	535,2	535,2	589,4	589,4
Směrodatná odchylka	3,9	29,1	4,0	30,7	4,1	31,8	4,0	29,9
Rozptyl	14,8	849,6	15,8	942,0	16,6	1011,9	15,8	894,0
Variační koeficient [%]	290,1	72,2	257,8	65,3	278,2	71,3	246,0	60,9
Šikmost	6,2	1,3	5,3	1,2	5,5	1,5	5,3	1,2
Špičatost	59,5	2,2	42,1	2,1	43,5	2,7	42,4	1,8
Minimální hodnota [mm]	0,0	0,1	0,0	0,9	0,0	0,1	0,0	1,1
Maximální hodnota [mm]	71,8	205,8	71,1	207,6	75,6	206,2	63,3	169,4
Výskyt maxima (rmd)	130624	1997	130624	1997	650621	1965	130624	2002
První decil (10%)	0,0	10,0	0,0	15,0	0,0	12,9	0,0	16,8
Dolní kvartil (25%)	0,0	18,1	0,0	24,6	0,0	21,6	0,0	28,6
Medián [mm]	0,0	33,3	0,0	40,8	0,0	36,6	0,0	43,4
Horní kvartil (75%)	0,7	55,9	1,2	62,1	0,9	58,8	1,3	62,8
Poslední decil (90%)	3,7	80,5	4,6	89,0	4,4	88,7	5,0	88,3

U rozložení srážkových úhrnů do jednotlivých měsíců bývá v ČR obvykle uváděn jako měsíc s nejvyšším úhrnem červen nebo červenec. Na studovaných stanicích je to ve

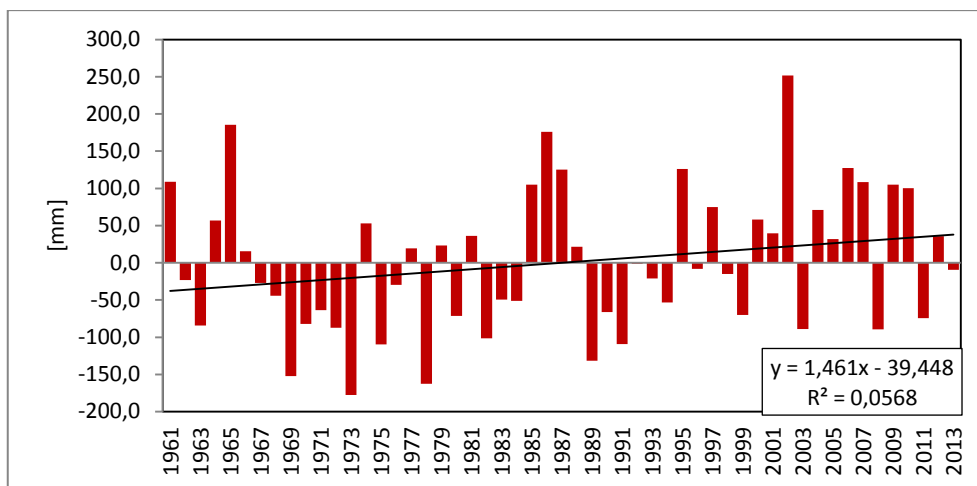
většině případů červen, kromě dvou stanic ležících v západní polovině území – Kostelní Myslové a Náměšti nad Oslavou. Spíše vyrovnané či jen s malými rozdíly mezi měsíci červen-červenec-srpen jsou úhrny stanic DACI, KMYŠ, NAMO, VMEZ (ležící v západní části hodnoceného území), ostatní 4 stanice na Moravě vykazují strmé klesání úhrnů od června do srpna.

Tab. 24 Rozložení průměrných měsíčních srážkových úhrnů (1961 – 2013)





Příklad rozkolísanosti ročních sum srážek oproti průměrnému ročnímu úhrnu celého období (1961 – 2013) je uveden na Obr. 18 pro stanici Kostelní Myslová (průměrný roční úhrn této stanice je 602 mm). Data byla proložena spojnici trendu, který odpovídá hodnotám z Tab. 22. Uvedený koeficient determinace potvrzuje velmi nízkou shodu modelového trendu a skutečného vývoje měřených dat. Grafy všech stanic ilustrující rozkolísanost ročních úhrnů a úhrnů srážek ve vegetačním období (VO) ve vztahu k průměru jsou uvedeny v Příloha 13. Analýzou odchylek ročních a ve VO v jednotlivých letech lze např. odvodit, zda případné extrémy ročních úhrnů v jednotlivých letech souvisí s vyššími úhrny ve VO či nikoliv.



Obr. 18 Odchylky ročních sum srážek (mm) od průměrného ročního úhrnu celého období (1961 – 2013) – stanice Kostelní Myslová

5.2.2 Statistiky podle dekád

Porovnání vývoje průměrných ročních úhrnů srážek pro 10leté periody na Obr. 19 je doplněno tabulkou (Tab. 25) s průměrem celého období a jeho rozdělením na dvě přibližně stejné části (o délce 26, resp. 27 let). Lze říci, že na většině stanic v druhé polovině období průměrný roční úhrn vzrostl, kromě Strážnice a Velkého Meziříčí, kde naopak klesl. V Dačicích zůstal v obou obdobích přibližně stejný.

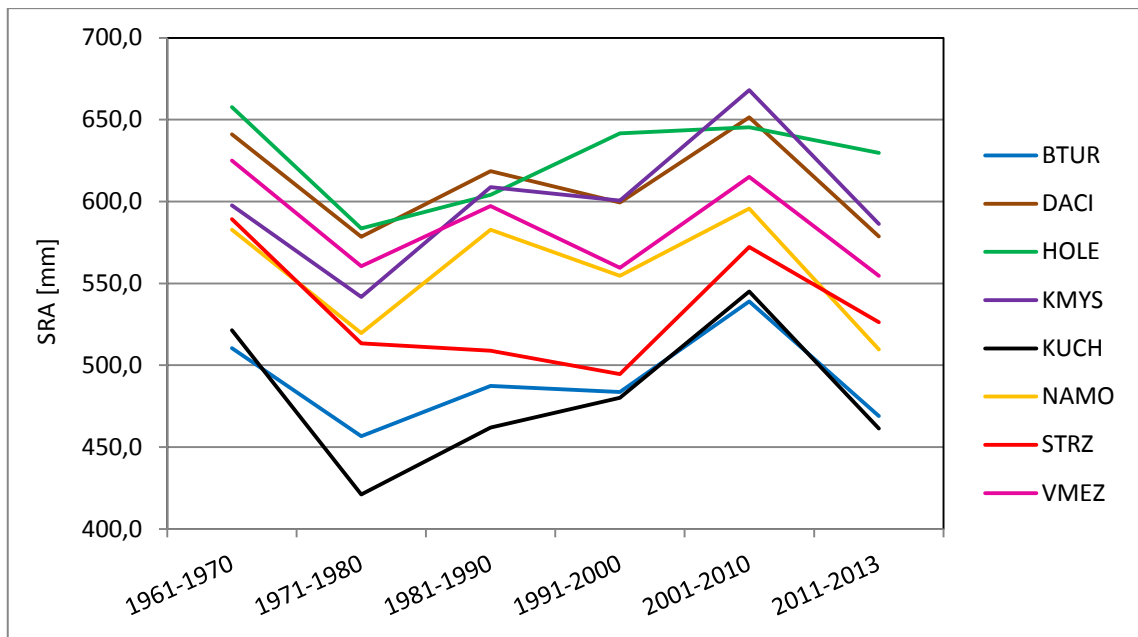
K porovnání s první polovinou 20. století jsou v Tab. 25 uvedeny i průměrné roční srážkové úhrny za období 1901 – 1950 podle Tabulek podnebí ČSSR (Vesecký, 1961). Poloha citovaných stanic je uvedena v Příloha 4, průměrné úhrny v jednotlivých měsících pro toto období (1901 – 1950) lze zjistit z Příloha 5. Rozdíly v průměrných ročních úhrnech jsou poměrně významné a kromě jedné lokality vždy záporné, tedy od první poloviny dvacátého století se úhrny snížily (o 15 až 79 mm dle lokalit). Pouze ve stanici Dačice se o 31 mm zvýšil průměrný roční úhrn. U tohoto porovnání je potřeba vzít v úvahu, že jednak v dřívějším období nebyly metody měření ani odstraňování chyb a homogenizace časových řad tak přesné a navíc se plně neshoduje umístění porovnávaných stanic.

Tab. 25 Průměrné roční úhrny srážek v uvedených periodách (mm)

(Vysvětlivky: v závorce název stanice, kde měření probíhalo v letech 1901 – 1950, není-li totožné se současným názvem.)

	1901-1950	1961-2013	1961-1986	1987-2013
BTUR (Brno, Komárov)	509	494	486	501
DACI	585	616	618	613
HOLE	690	627	615	638
KMYS (Telč)	617	602	582	622
KUCH (Znojmo)	564	485	472	496
NAMO	594	564	559	569
STRZ	597	535	549	522
VMEZ	617	589	598	581

Složitější je vývoj po rozdělení na desetileté periody. Z Obr. 19 lze vysledovat, že nejušší bylo desetiletí 1971 – 1980 téměř na všech stanicích kromě Strážnice (tam bylo nejméně srážek v letech 1991 – 2000) a Velkého Meziříčí, kde stejně nízkého ročního úhrnu bylo dosaženo i v období 1991 – 2000. Očekáváno bylo, že i přes rozdílné hodnoty celkových úhrnů, bude trend mezi desetiletími (pokles / nárůst) u všech stanic shodný, ovšem toto nebylo potvrzeno bez výjimek. Mezi první a druhou dekádu klesl průměrný úhrn u všech stanic, ovšem mezi druhou a třetí dekádu tvoří výjimku Strážnice, kde úhrny mírně klesly, zatímco na všech ostatních stanicích poměrně strmě stouply. Mezi třetí a čtvrtou dekádu se odlišuje stanice Holešov, na které v protikladu k ostatním úhrny stouply o téměř 40 mm. Ve stanici Holešov je odlišný trend i mezi čtvrtou a pátou dekádu, kdy ostatním stanicím úhrny strmě narostly a v Holešově zůstaly podobné jako v předešlém období. Ale jelikož si zde stanice drží svou pozici mezi 3 stanicemi s nejvyššími úhrny, lze chápat tuto odchylku v trendu spíše jako následek zvýšených úhrnů v předešlém období. Pro dokreslení vývoje až do posledních let s dostupným měřením je jako poslední zařazena tříletá perioda 2011 – 2013, jejíž údaj nemá srovnatelnou statickou hodnotu, nejedná-li se o stejně dlouhé období jako předešlá. Nicméně zatím je průměrný úhrn tohoto období nižší než u předešlé dekády, a to u všech stanic (v Holešově se však jedná o pokles velmi mírný).



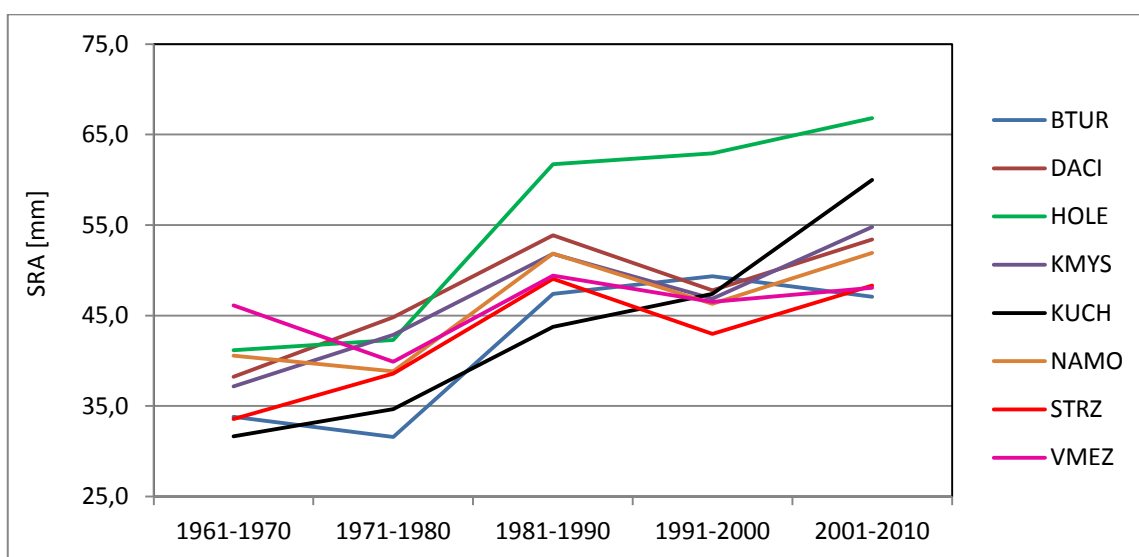
Obr. 19 Průměrné roční úhrny srážek v uvedených periodách (mm)

Trendy v časových řadách byly vyhodnoceny také pro jednotlivé měsíce podle dekád. Statisticky významných trendů (na hladině významnosti 0,05) bylo nalezeno pouze několik, jejich výčet je uveden v Tab. 26. Perioda 2011 – 2013 nebyla z hlediska trendů hodnocena (je příliš krátká). Jednotlivé stanice vykazují dosti odlišné výsledky, lze však nalézt několik shodných trendů. Ve třetím desetiletí (1981 – 1990) se shoduje únorový kladný trend na dvou stanicích – Dačice a Kostelní Myslová. V dekadě 1991 – 2000 se objevil záporný trend v prosincových průměrných úhrnech na 3 stanicích (DACI, KMYS, VMEZ), zároveň také v této dekadě byl slabý kladný trend u průměrných ročních úhrnů na stanicích Brno-Tuřany a Kuchařovice. V poslední dekádě se objevil stoupající trend u 3 stanic (HOLE, KUCH, STRZ) v měsíci květnu. Ostatní trendy jsou izolované vždy na jednu stanic v daném období a měsíci. Pro srovnání byl posouzen i trend v měsíčních sumách srážek celého období (1961 – 2013), kde byl nalezen statisticky významný slabě vzestupný trend zářijových úhrnů ve stanici Holešov a březnových úhrnů v Kostelní Myslové. Přestože statisticky významných trendů bylo prokázáno jen několik, tak například u průměrných úhrnů srážek v měsíci září naznačuje grafické znázornění (Obr. 20) zvýšení úhrnů ve druhé polovině období prakticky u všech stanic. Pro ostatní měsíce není vývoj takto jednoznačný.

Tab. 26 Statisticky významné trendy měsíčních sum srážek v dekádách podle stanic

(Vysvětlivky: číslo u stanice značí velikost trendu a jeho orientaci (+/-); v závorce je uvedeno číslo měsíce, který v dané periodě vykazuje trend nebo poznámka „rok“, byl-li prokázán trend u ročních sum dané periody.)

	BTUR	DACI	HOLE	KMYS	KUCH	NAMO	STRZ	VMEZ
1961 - 1970			7,6 (7)			5,9 (8)	-9,0 (5)	
1971 - 1980			3,5 (11)					
1981 - 1990		3,7 (2)	-3,3 (12)	3,9 (2) / 5,3 (6)		-1,8 (3)	2,7(4)	-5,2 (1)
1991 - 2000	0,2 (rok)	-4,1 (12)		-4,3 (12)	0,2 (rok)			-3,3 (12)
2001 - 2010			12,3 (5)		5,6 (5)	6,7 (6)	9,0 (5)	
1961 - 2013			0,7 (9)	0,5 (3)				



Obr. 20 Vývoj průměrných srážkových úhrnů měsíce září v dekádách (mm)

5.2.3 Diskuze

Souvislost výše úhrnů i počtu srážkových dní se zeměpisnou polohou a orografií se zdá být u studovaných stanic významnějším faktorem než nadmořská výška – nejsušší stanicí jsou Kuchařovice na jihu Moravy a hned po nich Brno-Tuřany, což podle nadmořské výšky nejsou stanice v nejnižších polohách. Je však prokázáno, že oblast Brna patří k nejsušším v ČR (Dobrovolný et al., 2012). Naopak nejvíce srážek dlouhodobě padá v Holešově, který je v nižší nadmořské výšce než Brno i Kuchařovice. Kromě Holešova většinou více prší ve stanicích západní poloviny hodnoceného území. Tento fakt však nesouvisí s výskytem absolutních extrémů, které jsou v Holešově, Náměšti nad Oslavou a Velkém Meziříčí nižší než u ostatních stanic.

Co se týče vývoje srážek v čase, tak sice oproti první polovině hodnoceného období průměrné úhrny stouply, avšak při porovnání s úhrny v letech 1901 – 1950 jsou nižší. Porovnáním úhrnů podle dekád jsou průměry poslední dekády podobné jako u první dekády, avšak nárůst je výrazně vyšší v Kostelní Myslové, méně výrazný v Brně-Tuřanech a Strážnici. S jistotou lze ale poukázat na fakt, že druhá dekáda období (1971 – 1980) byla srážkově nejslabší a v dalších dekádách úhrny oproti tomuto minimu pouze stouply. To odpovídá dlouhodobějšímu trendu celého Česka podle Němce a Koppa (viz Tab. 3). Nicméně trendy ročních úhrnů pro kratší období jsou v Česku spíše klesající (Němec a Kopp, 2009), na sledovaných stanicích je tomu naopak.

Z měsíčních trendů ve vegetačním období lze potvrdit zvyšování úhrnů v měsíci září, byť pouze v Holešově i se statistickou významností. Květnový lineární trend v poslední dekádě souvisí spíše s vyrovnáním poklesu minulé dekády, úhrny nepřevyšují průměry z jiných dekád. Výsledky analýz Doleželové (2013) pro brněnskou oblast se shodují v nalezeném stoupajícím trendu pro měsíc září, méně již v trendu klesajícím měsíce srpna – tento se sice na některých stanicích též projevil, ale spíše nevýrazně.

Vývoj v posledních třech letech (2011 – 2013) naznačuje sice pokles celkových úhrnů ročních, příp. i měsíčních sum, jde však o příliš krátké období, než aby bylo možno jej hodnotit.

5.3 Analýza extrémů a vyšších denních úhrnů srážek

Základním údajem, uváděným při hodnocení extrémních srážkových epizod je absolutní maximum jednodenního úhrnu srážek pro danou stanici a hodnocené období. Tato charakteristika je pro sledované stanice (za období 1961 – 2013) uvedena v Tab. 27, včetně data výskytu této srážky. Pro porovnání je možné nalézt maxima za období 1901 – 1950 (Vesecký, 1961) v Příloha 7. Výskyt absolutních maxim v souvislosti s denními úhrny srážek je komentován v předešlé kapitole.

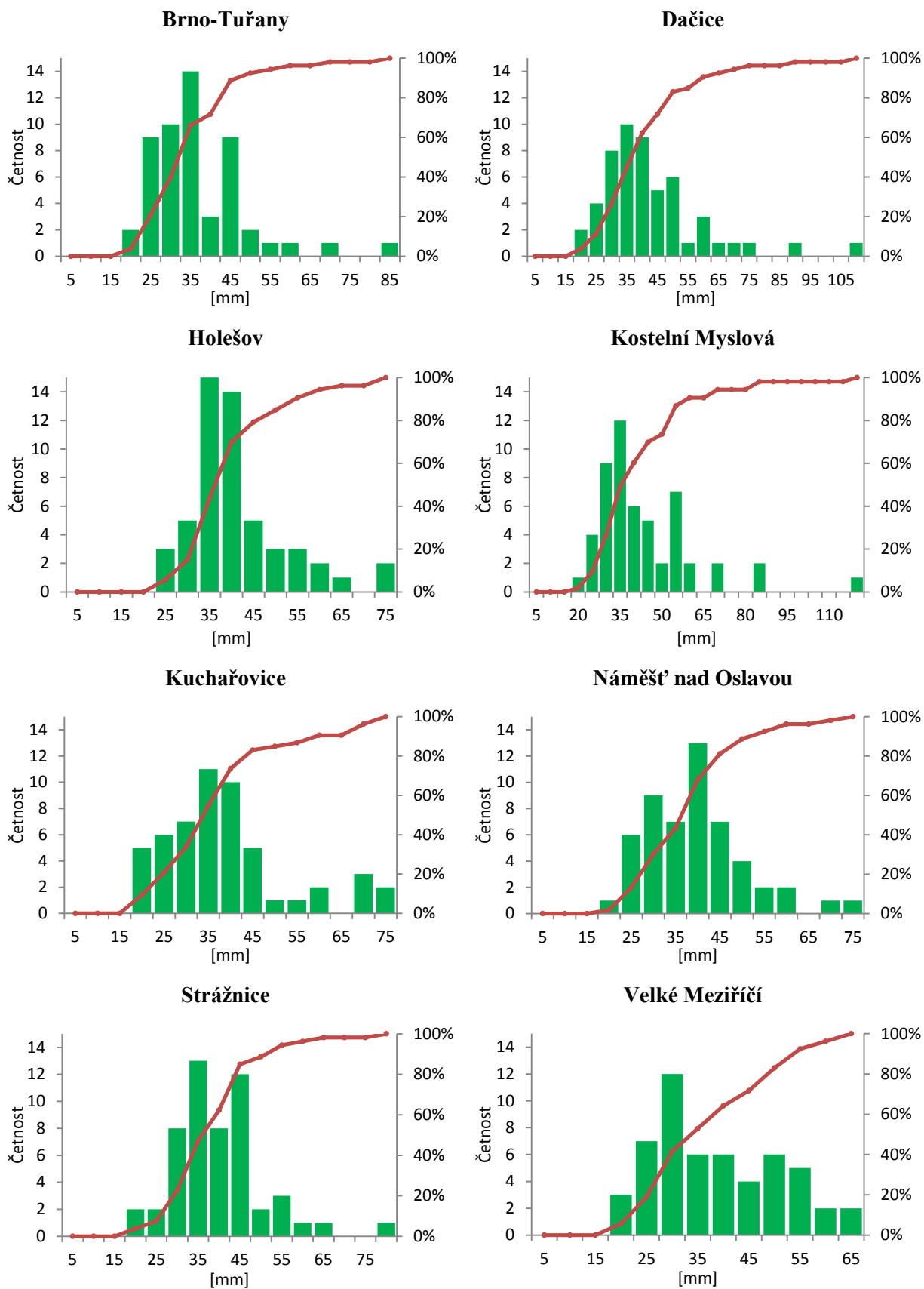
Zajímavou charakteristikou je rozdělení ročních srážkových maxim do intervalů (zde po pěti milimetrech), které je ve formě histogramů znázorněno na Obr. 21. Lze tak porovnat, v jakém intervalu hodnot se nejčastěji pohybují srážková maxima na sledovaných stanicích. Nejčastěji dosahují maxima hodnot 30 – 35 mm, avšak v Náměšti nad Oslavou bývají maxima vyšší (převažují hodnoty 35 – 40 mm). Ve

Velkém Meziříčí je sice nejvyšší výskyt ročních maxim v intervalu 25 – 30 mm, ale oproti ostatním stanicím se zde častěji vykytují maxima s vyššími úhrny, což vysvětluje i jiný tvar křivky kumulativní četnosti. Dalo by se tedy říci, že ve Velkém Meziříčí je nejvyrovnanější rozdělení četností maxim do velikostních tříd. Opakem jsou pak stanice Brno-Tuřany, Holešov a Strážnice, kde jsou maxima koncentrována do dvou (v Holešově) až čtyř tříd a v dalších intervalech se maxima objevují jen sporadicky.

Tab. 27 Absolutní maxima srážek pro stanice v období 1961 - 2013

	Absolutní maximum denního úhrnu [mm]	Datum výskytu
BTUR	82,0	16.6.1970
DACI	107,0	6.8.2000
HOLE	71,6	1.6.1995
KMYS	118,0	29.6.2006
KUCH	71,8	24.6.2013
NAMO	71,1	24.6.2013
STRZ	75,6	21.6.1965
VMEZ	63,3	24.6.2013

U ročních a měsíčních maxim jednodenních úhrnů srážek nás zajímá také vývojový trend ve sledovaném období (1961 – 2013). Tab. 28 obsahuje výčet statisticky významných lineárních trendů (na hladině významnosti 0,05), které se projeví v celém hodnoceném období. Nelze přehlédnout především vzestupný trend denních maxim v měsíci září u poloviny testovaných stanic (DACI, HOLE, KMYS, KUCH) a taktéž kladný trend (byť slabý) ročních maxim u více než poloviny stanic (BTUR, HOLE, NAMO, STRZ, VMEZ). Klesající trend se prokázal pouze u jedné stanice (VMEZ), a to pro denní maxima srážek v listopadu.



Obr. 21 Histogram četností ročních maxim jednodenního deště doplněný křivkou kumulativní četnosti (%)

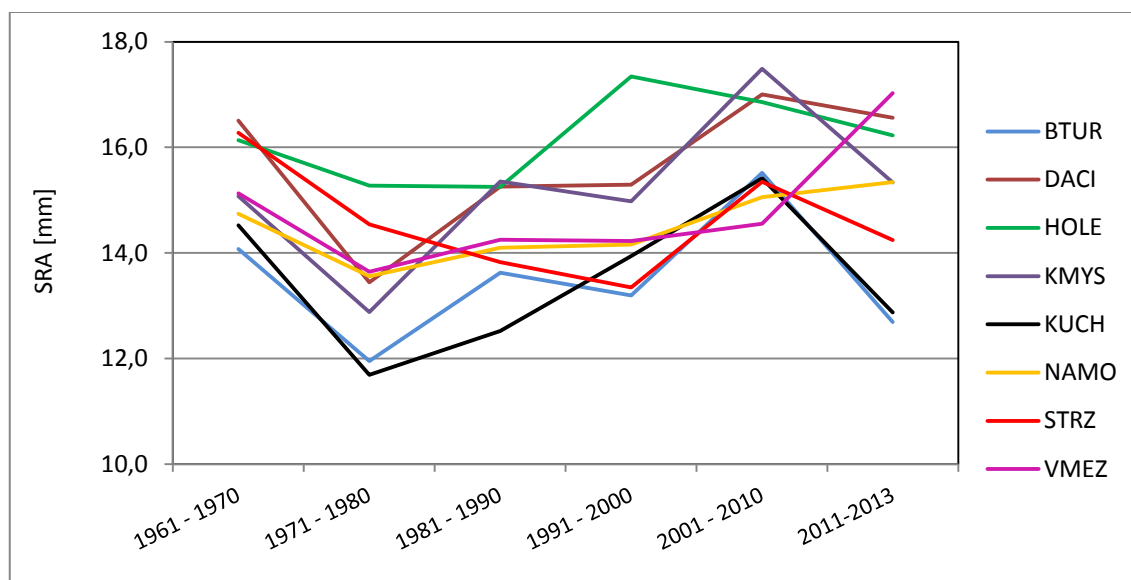
(Vysvětlivky: Číslo intervalu označuje jeho horní hranici [mm], rozsah intervalu je 5 mm.)

Tab. 28 Statisticky významné trendy měsíčních a ročních Idenních maxim srážek v období 1961 – 2013 podle stanic

(Vysvětlivky: číslo u stanice značí velikost trendu a jeho orientaci (+/-); v závorce je uvedeno číslo měsíce, který vykazuje trend nebo poznámka „rok“, byl-li prokázán trend u ročních maxim.)

BTUR	DACI	HOLE	KMYS	KUCH	NAMO	STRZ	VMEZ
	0,215 (7)	0,082 (1)	0,119 (3)			0,089 (1)	-0,105 (11)
	0,212 (9)	0,250 (9)	0,214 (9)	0,246 (9)			
0,006 (rok)		0,011 (rok)			0,005 (rok)	0,011 (rok)	0,004 (rok)

Trend průměrných ročních maxim byl sledován mezi jednotlivými dekádami, pro všechny stanice je znázorněn na Obr. 22. Zde je vidět, že nejvyšších maxim bylo dosaženo v dekádě 2001 – 2010 (kromě stanice HOLE, kde nejvyšší maxima padla v dekádě předcházející, tedy 1991 – 2000). Nejnižší extrémy byly zaznamenány u všech stanic v dekádě 1971 – 1980. Rozdělení průměrných maxim v dekáдах přibližně kopíruje rozdělení průměrných srážkových úhrnů (viz Obr. 19). Výjimku tvoří pouze vzestup průměrných ročních maxim v posledních třech letech ve stanicích NAMO a VMEZ, který není potvrzen nárůstem průměrného ročního úhrnu. Nicméně toto období je příliš krátké pro relevantní vyhodnocení.



Obr. 22 Průměrná roční maxima srážek v uvedených periodách

Další analýza posuzovala výskyt dnů s vyššími úhrny srážek. U dnů s úhrnem ≥ 10 mm byl ověřován lineární trend, tedy změny ve výskytu těchto dnů v průběhu období 1961 – 2013. Zaznamenány byly trendy pro jednotlivé měsíce i pro celoroční součty. Pro

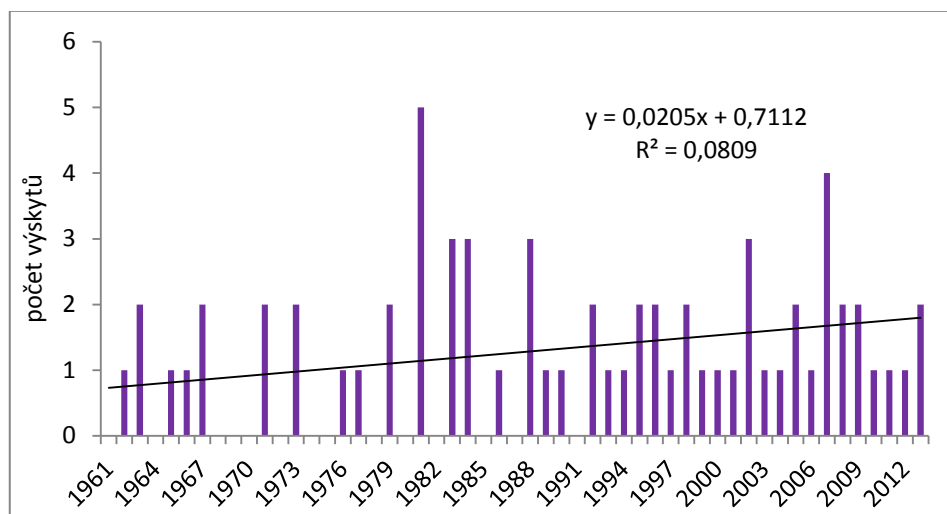
většinu měsíců nebyl nalezen žádný prokazatelný trend, Tab. 29 uvádí výčet těch měsíců, kde byly na konkrétní stanici trendy zaznamenány. Vzestupný trend se nejčastěji projevil u měsíců září, březen a červenec. Klesající trend byl nalezen především u listopadových a říjnových četností, méně pak i v dubnu. Statistická významnost vzestupného zářijového trendu dnů se srážkami ≥ 10 mm byla prokázána na hladině významnosti 0,05 pouze ve stanici Kuchařovice, avšak i u ostatních stanic lze tento trend považovat za prokázáný, byť s nižší statistickou významností. Výskyt ostatních trendů je sice patrný, avšak statisticky méně průkazný.

Tab. 29 Trend počtu dní ≥ 10 mm v měsících pro období 1961 – 2013

(Vysvětlivky: číslo uvedené pro stanici značí měsíc s nalezeným trendem nebo roční trend.)

	VZESTUPNÝ TREND	KLESAJÍCÍ TREND
BTUR	9	4, 11
DACI	3, 7, 9	10, 11
HOLE	3, 5, 9	4, 10
KMYS	3, 7, 8, 9, rok	10
KUCH	3, 4, 7, 8, 9, rok	10, 11
NAMO	3, 4	8, 11
STRZ	3, 7, 9	4, 11
VMEZ	3, 7, 9	5, 6

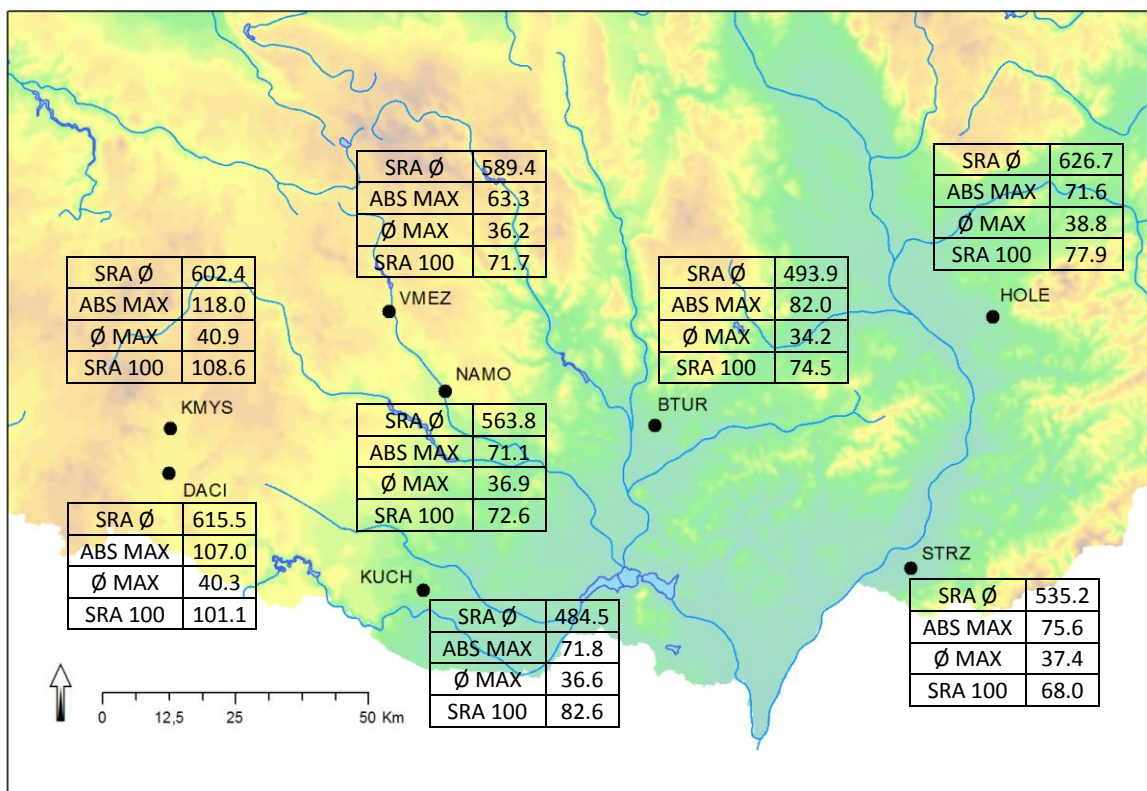
Na Obr. 23 je znázorněno rozložení četností dnů ≥ 10 mm v měsíci září ve stanici Kuchařovice.



Obr. 23 Četnost srážek ≥ 10 mm v měsíci září ve stanici Kuchařovice (1961 – 2013)

V rámci různých analýz může být nepostradatelná znalost rozložení dnů s vyššími úhrny srážek do jednotlivých měsíců, a to hlavně pro účely protierozní ochrany především v zájmovém období od dubna do října (VO), kdy se tyto úhrny vyskytují v převažující míře (okolo 80 % úhrnů ≥ 10 mm a 92 – 100 % úhrnů nad 30 mm). Rozložení četností dnů se srážkami ≥ 10 mm a ≥ 30 mm u všech stanic uvádí Tab. 30. Nejčastěji se tyto vyšší úhrny vyskytují v červnu, u některých stanic také v červenci, příp. v srpnu. Není pravidlem, že by rozložení dnů s úhrny ≥ 10 mm kopírovalo rozložení dnů s úhrny ≥ 30 mm, např. ve stanici VMEZ úhrny nad 10 mm převažují v červnu, avšak silnější srážky nad 30 mm se koncentrují v červenci. Obecně jsou extrémní úhrny nad 30 mm mnohem více koncentrovány do tří letních měsíců než srážky nad 10 mm, které jsou četné i v dalších měsících VO.

Mapa (Obr. 24) naznačuje prostorové rozložení základních srážkových charakteristik podle hodnocených stanic. Nejvyšší hodnoty všech uvedených charakteristik vykazují dvě stanice položené nejzápadněji – Dačice a Kostelní Myslová. Nejnižší průměrné úhrny lze zaznamenat v trojúhelníku mezi stanicemi BTUR – KUCH – STRZ, tedy v nižších polohách jižní Moravy. Ukazatelé extremity srážek (absolutní maximum, průměrné maximum a návrhová 100letá srážka) již není možno podobně prostorově rozlišit, kromě výše uvedených nejzápadněji situovaných stanic (DACI, KMYS) s nejvyššími hodnotami všech ukazatelů. Stanice VMEZ má poměrně nízké hodnoty extremity srážek, jižně položená stanice KUCH s nejnižšími průměrnými úhrny však vykazuje poměrně vysokou srážkovou extremitu. Ve Strážnici je nejnižší 100letá návrhová srážka, průměrné maximum srážek však patří k těm vyšším.



Obr. 24 Mapa stanic se srážkovými charakteristikami

Podklad: Reliéf ČR (<http://geoportal.gov.cz/>), zpracováno v programu ArcMap 10.2.2 (ESRI, 2014)

(Vysvětlivky: SRA Ø = průměrný roční úhrn srážek; ABS MAX = absolutní maximum denní srážky; Ø MAX = průměrné maximum denní srážky za období 1961 – 2013; SRA 100 = návrhová 100letá srážka vypočtená pomocí GEV rozdělení.)

Tab. 30 Charakteristiky četností dnů se srážkami ≥ 10 mm a ≥ 30 mm

STANICE		DUBEN	KVĚTEN	ČERVEN	ČERVENEC	SRPEN	ZÁŘÍ	ŘÍJEN	VO	ROK
BTUR	Rozložení dnů se srážkami ≥ 10 mm [%]	5,79	13,65	17,80	15,73	13,80	9,50	6,38	82,64	100,00
	Ø počet srážek ≥ 10 mm	0,74	1,74	2,26	2,00	1,75	1,21	0,81	10,51	12,72
	Rozložení dnů se srážkami ≥ 30 mm [%]	0,00	12,50	25,00	22,92	20,83	16,67	2,08	100,00	100,00
	Ø počet srážek ≥ 30 mm	0,00	0,11	0,23	0,21	0,19	0,15	0,02	0,91	0,91
DACI	Rozložení dnů se srážkami ≥ 10 mm [%]	5,15	13,59	16,49	15,57	16,36	8,58	5,67	81,40	100,00
	Ø počet srážek ≥ 10 mm	0,74	1,94	2,36	2,23	2,34	1,23	0,81	11,64	14,30
	Rozložení dnů se srážkami ≥ 30 mm [%]	1,23	11,11	22,22	27,16	22,22	9,88	2,47	96,30	100,00
	Ø počet srážek ≥ 30 mm	0,02	0,17	0,34	0,42	0,34	0,15	0,04	1,47	1,53
HOLE	Rozložení dnů se srážkami ≥ 10 mm [%]	5,74	14,02	16,11	16,00	14,24	10,15	6,18	82,45	100,00
	Ø počet srážek ≥ 10 mm	0,98	2,40	2,75	2,74	2,43	1,74	1,06	14,09	17,09
	Rozložení dnů se srážkami ≥ 30 mm [%]	2,20	9,89	26,37	19,78	17,58	13,19	3,30	92,31	100,00
	Ø počet srážek ≥ 30 mm	0,04	0,17	0,45	0,34	0,30	0,23	0,06	1,58	1,72
KMYS	Rozložení dnů se srážkami ≥ 10 mm [%]	4,67	13,32	15,93	16,07	16,21	8,10	6,04	80,36	100,00
	Ø počet srážek ≥ 10 mm	0,64	1,83	2,19	2,21	2,23	1,11	0,83	11,04	13,74
	Rozložení dnů se srážkami ≥ 30 mm [%]	1,47	13,24	19,12	26,47	27,94	10,29	1,47	100,00	100,00
	Ø počet srážek ≥ 30 mm	0,02	0,17	0,25	0,34	0,36	0,13	0,02	1,28	1,28

Tab. 30 pokračování

STANICE		DUBEN	KVĚTEN	ČERVEN	ČERVENEC	SRPEN	ZÁŘÍ	ŘÍJEN	VO	ROK
KUCH	Rozložení dnů se srážkami ≥ 10 mm [%]	5,62	13,07	19,60	15,20	14,59	10,18	5,47	83,74	100,00
	Ø počet srážek ≥ 10 mm	0,70	1,62	2,43	1,89	1,81	1,26	0,68	10,40	12,42
	Rozložení dnů se srážkami ≥ 30 mm [%]	0,00	14,55	23,64	16,36	27,27	14,55	1,82	98,18	100,00
	Ø počet srážek ≥ 30 mm	0,00	0,15	0,25	0,17	0,28	0,15	0,02	1,02	1,04
NAMO	Rozložení dnů se srážkami ≥ 10 mm [%]	6,18	14,42	16,35	15,80	15,38	9,34	6,04	83,52	100,00
	Ø počet srážek ≥ 10 mm	0,85	1,98	2,25	2,17	2,11	1,28	0,83	11,47	13,74
	Rozložení dnů se srážkami ≥ 30 mm [%]	0,00	15,25	23,73	28,81	23,73	5,08	3,39	100,00	100,00
	Ø počet srážek ≥ 30 mm	0,00	0,17	0,26	0,32	0,26	0,06	0,04	1,11	1,11
STRZ	Rozložení dnů se srážkami ≥ 10 mm [%]	6,46	14,84	17,17	14,29	13,46	7,69	6,18	80,08	100,00
	Ø počet srážek ≥ 10 mm	0,89	2,04	2,36	1,96	1,85	1,06	0,85	11,00	13,74
	Rozložení dnů se srážkami ≥ 30 mm [%]	1,37	6,85	34,25	17,81	15,07	13,70	5,48	94,52	100,00
	Ø počet srážek ≥ 30 mm	0,02	0,09	0,47	0,25	0,21	0,19	0,08	1,30	1,38
VMEZ	Rozložení dnů se srážkami ≥ 10 mm [%]	6,26	14,42	16,46	14,15	14,56	9,12	5,58	80,54	100,00
	Ø počet srážek ≥ 10 mm	0,87	2,00	2,28	1,96	2,02	1,26	0,77	11,17	13,87
	Rozložení dnů se srážkami ≥ 30 mm [%]	0,00	11,54	21,15	26,92	25,00	11,54	3,85	100,00	100,00
	Ø počet srážek ≥ 30 mm	0,00	0,11	0,21	0,26	0,25	0,11	0,04	0,98	0,98

5.3.1 Diskuze

V rámci této kapitoly byly mimo jiné ověřovány stoupající tendence letních srážkových maxim od západu k východu a od hor do nížin, jak uvádí Kotrnec (1976). Na posuzovaných stanicích se neprojevila ani jedna z výše uvedených tendencí, snad s výjimkou stanice Kuchařovice, kde letní maxima jsou vyšší než např. ve výše položeném Velkém Meziříčí (viz Obr. 24).

Srážky s úhrnem 30 mm a více jsou důležité například při stanovení indexu předchozích srážek pro výpočet objemu přímého odtoku (viz kap. 5.4), úhrny nad 10 mm (resp. nad 12,4 mm) jsou nezbytné při stanovení N -letých návrhových srážek.

Vyhodnocování trendů je vždy závislé na zvoleném studovaném období. Při srovnání počtu dní nad 10 mm pro období 1961 – 2013 s hodnotami v období 1901 – 1950 (Příloha 10) pro dostupné stanice (Dačice nejsou uvedeny) zjistíme, že průměrné roční počty těchto dnů byly vyšší v období 1901 – 1950. Z dostupných analýz tak lze vyvodit pouze vývoj od 60. let 20. století do současnosti. Z tohoto pohledu je velmi zřetelný nárůst vyšších denních srážkových úhrnů (10 mm a více) i jednodenních maxim v měsíci září (ve všech sledovaných stanicích kromě Náměšti nad Oslavou). Tento trend zaznamenali již pro období 1961 - 1990 Toman a Rožnovský (1995) ve stanici Brno Tuřany, v dalších 23 letech zde vzestupný trend dále pokračoval. I Doleželová (2013), která hodnotila extremitu srážek v brněnské oblasti, dospěla k závěru, že od 60. let 20. století do současnosti došlo k nárůstu podílu srážek z extrémních situací na celkovém srážkovém úhrnu, k poklesu rovnoměrnosti rozložení a rostoucí koncentraci srážek v čase. To by mělo vzbuzovat u odborné veřejnosti pozornost vzhledem ke zvyšujícímu se riziku eroze na nezakryté zemědělské půdě v období po sklizni.

5.4 Index předchozích srážek

Vzhledem k tomu, že pro analýzu IPS byly pro zjišťování vlhkosti půdy před přívalovou srážkou zvoleny denní úhrny přesahující 30 mm (jejichž periodicita výskytu je přibližně jednou ročně a lze předpokládat, že jsou erozně účinné i bez znalosti jejich intenzity), byly tyto podrobeny analýze. Rozdělení dešťů nad 30 mm ve stanicích podle měsíců je pro homogenizované řady uvedeno v Tab. 30 na straně 82. Jejich výskyt v měsících duben a říjen je velmi sporadický (max. třikrát za 53 let v jedné stanici). V měsících

květen a září se déšť o úhrnu nad 30 mm vyskytl pětkrát až dvanáctkrát (dle stanic), s výjimkou u stanice NAMO, kde spadl pouze třikrát. Průměrné rozdělení těchto dešťů v měsících vegetačního období uvádí Tab. 31. Nejvíce se jich vyskytuje v červnu, extrémním případem je stanice STRZ, kde na červen připadá až 36 % všech těchto dešťů. U dvou stanic (KMYS, KUCH) bylo zaznamenáno maximum výskytu srážek nad 30 mm v srpnu, u ostatních v červnu nebo v červenci. Nejméně dešťů nad 30 mm je zaznamenáno ve stanicích BTUR (48), VMEZ (52) a KUCH (55), nejvíce na stanicích HOLE (91) a DACI (81).

Tab. 31 Průměrné rozdělení dešťů s úhrnem ≥ 30 mm v měsících VO na studovaných stanicích

DUBEN	KVĚTEN	ČERVEN	ČERVENEC	SRPEN	ZÁŘÍ	ŘÍJEN
0,8	12,1	25,3	23,6	22,9	12,2	3,1

Rozdělení dešťů do kategorií IPS proběhlo na základě výše úhrnu v 5 předešlých dnech. Příklad výčtu všech dešťů přesahujících 30 mm, výše srážky v pěti předcházejících dnech a zařazení do kategorie IPS je uvedeno v Příloha 14, a to pro stanici Brno Tuřany. Jsou zde zařazeny a označeny i deště, které sice byly zaznamenány s úhrnem nad 30 mm, ale po provedení homogenizace a kontroly kvality dat jejich úhrn klesl pod tuto hranici.

Tab. 32 Počet dešťů s vydatností nad 30 mm dle jednotlivých IPS

	Nehomogenizovaná data				Homogenizovaná data			
	IPS I	IPS II	IPS III	Σ	IPS I	IPS II	IPS III	Σ
BRNO-TUŘANY	47	1	3	51	44	1	3	48
DAČICE	71	3	0	74	74	4	0	78
HOLEŠOV	72	11	3	86	70	11	3	84
KOSTELNÍ MYSLOVÁ	64	4	1	69	64	4	1	69
KUCHAŘOVICE	53	1	0	54	53	1	0	54
NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	51	5	2	58	51	5	2	58
STRÁŽNICE	60	5	4	69	60	5	4	69
VELKÉ MEZIRÍČÍ	45	7	0	52	45	7	0	52
PRŮMĚR	58	4	2	64	57	5	2	64

Porovnáním hodnot v Tab. 32 a Tab. 33 (četnost dešťů s vydatností nad 30 mm a relativní podíl v měsících) lze vyvodit, že v případě stanovení indexu předchozích srážek nemá homogenizace na výsledek zaznamenanatelný vliv (v průměru o 0,2 % se homogenizací snížil podíl IPS I ve prospěch IPS II).

Tab. 33 Procento dešťů s vydatností nad 30 mm dle jednotlivých IPS

	Nehomogenizovaná data			Homogenizovaná data		
	IPS I	IPS II	IPS III	IPS I	IPS II	IPS III
BRNO-TUŘANY	92,2	2,0	5,9	91,7	2,1	6,3
DAČICE	95,9	4,1	0,0	94,9	5,1	0,0
HOLEŠOV	83,7	12,8	3,5	83,3	13,1	3,6
NÁMĚŠŤ NAD OSLAVOU	87,9	8,6	3,4	87,9	8,6	3,4
STRÁŽNICE	87,0	7,2	5,8	87,0	7,2	5,8
KOSTELNÍ MYSLOVÁ	92,8	5,8	1,4	92,8	5,8	1,4
VELKÉ MEZIŘÍČÍ	86,5	13,5	0,0	86,5	13,5	0,0
KUCHAŘOVICE	98,1	1,9	0,0	98,1	1,9	0,0
PRŮMĚR	90,5	7,0	2,5	90,3	7,2	2,5

Stav půdy dle podmínek IPS I se reálně vyskytl průměrně v 90 % případů (83 % – 98 % dle stanice), kdežto IPS II bylo zaznamenáno pouze u 7,2 % případů (v rozmezí 2 % – 14 % dle stanice). Výskyt situace, kdy je půda přesycená předešlými dešti lze považovat za nevýznamný s průměrem 2,5 % (0 % až 6 %).

Modelový příklad vlivu volby IPS na vypočtenou hodnotu objemu přímého odtoku

Při stanovení potenciální retence povodí je v případě IPS I nutno volit jinou hodnotu CN křivky než u IPS II, a to korekcí uvedenou v metodice (Janeček, 2007).

Číslo CN křivky pro modelovou lokalitu, kde odtok probíhá na čerstvě zkeypřeném úhoru půdy se střední rychlostí infiltrace (hydrologická skupina půd B), je 86. Na téže lokalitě při změněných vlhkostních poměrech půdy se změní číslo CN křivky na 72 pro suché podmínky (IPS I), resp. na 94 pro vlhké půdy (IPS III). Ostatní podmínky se nemění, výše návrhové srážky je 30 mm, což odpovídá zhruba jednoleté srážce. Pro tyto parametry byla spočtena potenciální retence povodí a objem přímého odtoku, viz Tab. 34.

Příklad demonstruje významnost volby IPS pro výši potenciální retence a přímého odtoku z povodí. Běžně používaný IPS II by v tomto příkladě vedl k výši potenciální retence povodí 41 mm, kdežto reálná hodnota dle IPS I by se zvýšila na 99 mm. Toto se projeví i v dalších návrhových hodnotách, například objem přímého odtoku z povodí (zde tedy z 1 km²) by se výrazně snížil ze 7486 m³ na 963 m³. Výše uvedené hodnoty návrhových parametrů pro IPS I by platily průměrně v 90 % případů, což je poměrně významný podíl, v praktických případech však nezohledňovaný.

Tab. 34 Potenciální retence povodí - příklad čerstvě zkeypřeného úhoru na půdě se střední rychlostí infiltrace (B)

	IPS II	IPS I	IPS III
číslo CN křivky	86	72	94
potenciální retence A [mm]	41,3	98,8	16,2
Návrhová srážka [mm]	30,0	30,0	30,0
Plocha povodí [km ²]	1,0	1,0	1,0
Přímý odtok [mm]	7,5	1,0	16,7
Objem přímého odtoku [m ³]	7486,0	963,0	16662,0

5.4.1 Diskuze

Při stanovení odtoku z povodí metodou CN křivek se u nás používají hodnoty CN křivek pro IPS II, aniž by se provádělo skutečné ověření správnosti této volby. Výsledky tohoto výzkumu však ukázaly, že paušální použití IPS II není opodstatněné. Na osmi zkoumaných stanicích jednoznačně převažují deště s IPS I, a to průměrně v 90 procentech případů.

Jistým rizikem může být příliš suchá půda se sklonem k tvorbě krust (především hlíny a písčité hlíny), která má podle Morgana (2005) při vysokých srážkových intenzitách podstatně sníženou infiltrační schopnost (voda stéká po krustě), tudíž ani takové podmínky nejsou ideální z hlediska retence přívalových dešťů. IPS I je charakterizován jako stav, kdy je půda suchá, ale s takovým obsahem vody, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání. Ovšem vysušenou půdu nad mez, kdy je již obdělávání problematické (a lze tudíž očekávat sníženou infiltrační schopnost), tato metodika nezohledňuje.

Dále bývá diskutováno, zda je vhodně zvolená hraniční hodnota úhrnu předchozí srážky pro IPS I a III (Miliani et al., 2011). I NRCS (2004) uznává jistý nesoulad s novějšími empirickými zjištěními a konstatuje, že podmínky IPS I a IPS III (ARC I a ARC III) lépe statisticky vystihuje 90% a 10% kumulativní pravděpodobnost překročení výše odtoku daného deště.

Rozdíly ve volbě IPS mají poměrně významný vliv na rozsah navržených protierozních a protipovodňových opatření v povodí, tedy i na jejich finanční náročnost.

5.5 Návrhové N -leté denní úhrny srážek

Na základě souboru 53 maximálních ročních úhrnů srážek pro každou stanici byly v programu ProClimDB vypočteny návrhové hodnoty srážek s dobou opakování 2 – 5 – 10 – 20 – 50 – 100 – 200 let, a to dvěma způsoby – pomocí Gumbelova a GEV rozdělení. Vznikly tedy dvě sady návrhových srážek pro každou stanici a bylo nutné vyhodnotit, která z řad vykazuje spolehlivější odhady těchto srážek. To bylo provedeno konstrukcí Q-Q grafů (viz Obr. 25), z nichž lze vizuálně posoudit, který model lépe vystihuje data (ten, kde jsou body, tj. měřené hodnoty blíže přímce, tedy modelovým hodnotám). Jelikož shoda je u obou modelů podobná, tato metoda zde nepomůže k relevantnímu rozhodnutí o správném modelu. Proto byla shoda vyhodnocena také pomocí statistického Kolmogorov Smirnovova testu shody. Shoda se zde posuzuje na základě p -hodnoty, a to tak, že čím vyšší číslo, tím lepší shoda (maximum je 1, značí 100% shodu). Ze dvou testovaných rozdělení je vždy vhodnější ten model, který má vyšší p -hodnotu. P -hodnota je uvedena na Obr. 25 v grafu u daného rozdělení, ale také v Příloze 16 společně s parametry rovnice (parametrů polohy α , měřítka β , tvaru k) obou testovaných rozdělení pro všechny stanice.

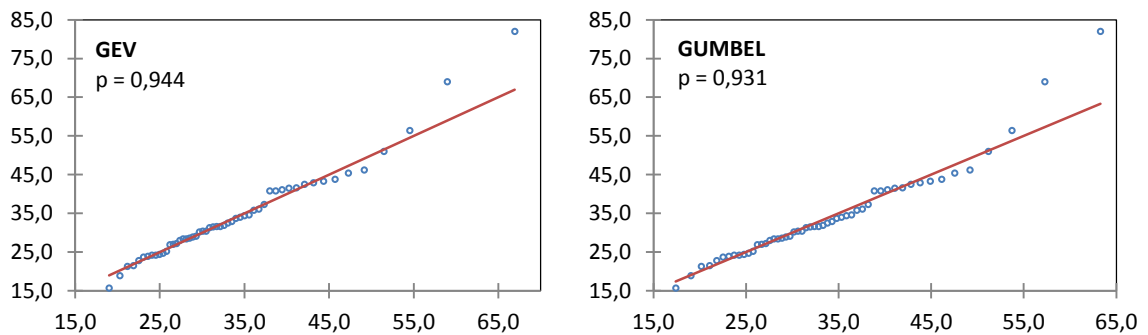
Lze říci, že u většiny stanic vyšla lepší shoda u GEV rozdělení. Ve stanici NAMO byla shoda obou modelů prakticky totožná (rozdíl 0,005 byl vyhodnocen jako zanedbatelný), z důvodu větší univerzálnosti použití zde byl vybrán model GEV. Tato volba však na návrhové hodnoty nemá příliš vliv, protože se u této stanice pro obě rozdělení téměř shodují. Na základě znalosti teoretických základů GEV rozdělení se lze domnívat, že v tomto případě bylo při softwarové aplikaci modelu GEV vyhodnoceno Gumbelovo rozdělení jako nejvhodnější (parametr k je roven nule, viz kap. 3.3.2).

U stanic KUCH a STRZ se také p -hodnoty obou rozdělení hodně blížily, avšak Gumbelovo rozdělení vyšlo o několik setin lépe než GEV rozdělení, proto byla u těchto

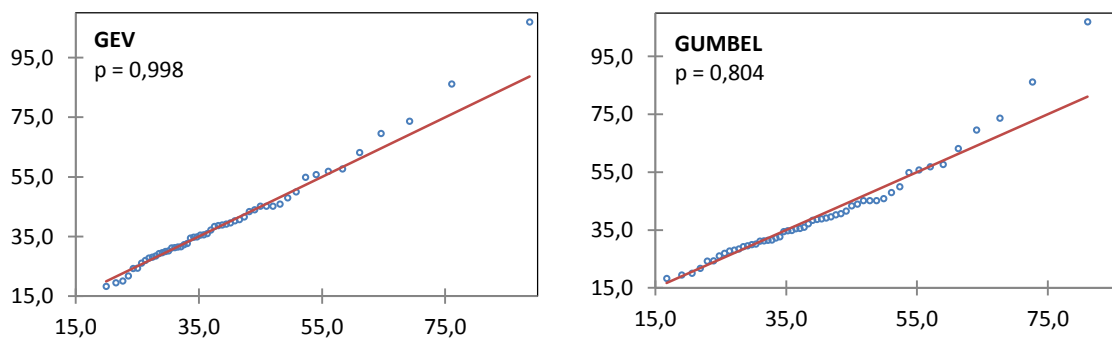
stanic za spolehlivější vybrána řada návrhových hodnot vypočtených podle Gumbela. Ani zde však rozdíly návrhových srážek nejsou vysoké (méně než 3 mm pro stoletou srážku). Celkově lze tedy říci, že u studovaných stanic nejlépe vyhovovala metoda GEV rozdělení a vzhledem k malým rozdílům u těch stanic, kde vyšla lepší shoda pro Gumbelovo rozdělení, by nevznikly chybné odhady návrhových srážek, pokud by se u všech stanic aplikovala metoda GEV rozdělení. Toto konstatování nelze v žádném případě paušalizovat pro univerzální použití. Například u stanice VMEZ sice vyšla lepší shoda s rozdělením GEV, ale p-hodnota pro GEV se rovnala 0,7, což je shoda 70 % a je možné se domnívat, že při aplikaci jiného typu rozdělení by vyšla shoda lepší. Cílem této práce však bylo prověření pouze dvou citovaných rozdělení.

Následuje Obr. 25 Q-Q graf porovnání shody teoretického modelu a empirických hodnot denních maxim studovaných stanic: pro GEV rozdělení (GEV), pro Gumbelovo rozdělení (GUMBEL) Pozn. U Q-Q grafů nejsou uvedeny jednotky, neboť nejsou směrodatné, ale jedná se o poměrné rozdělení, tedy procenta na obou osách.

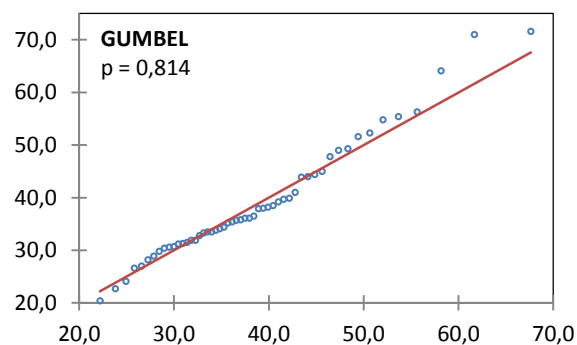
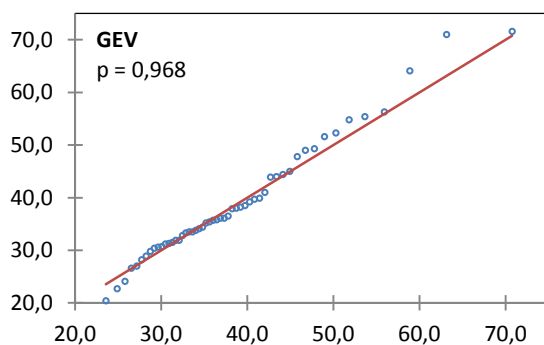
Brno Tuřany



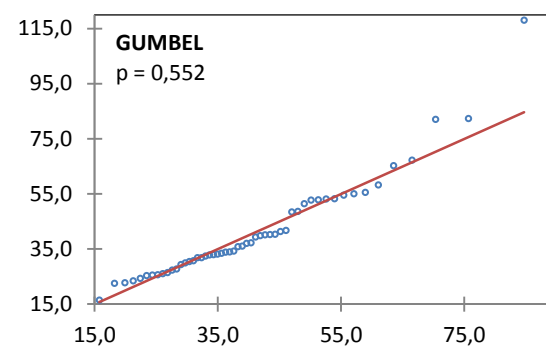
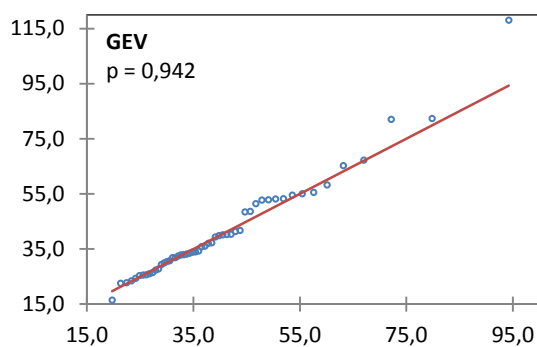
Dačice



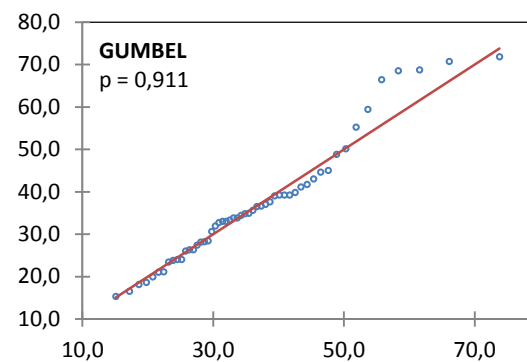
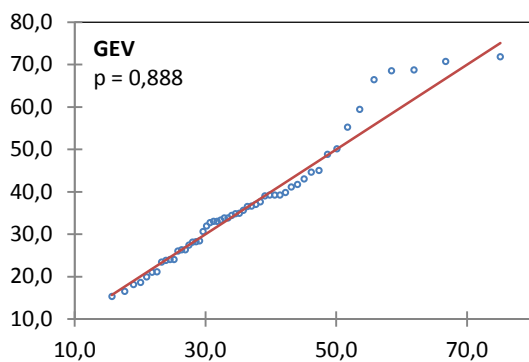
Holešov



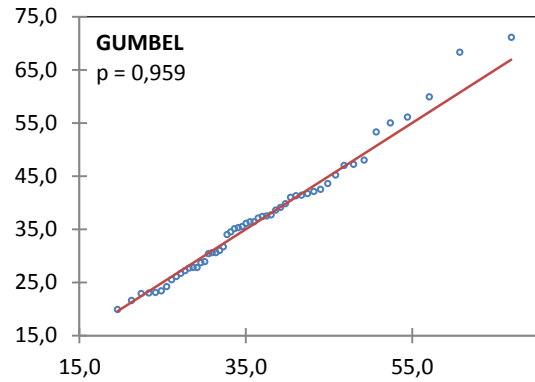
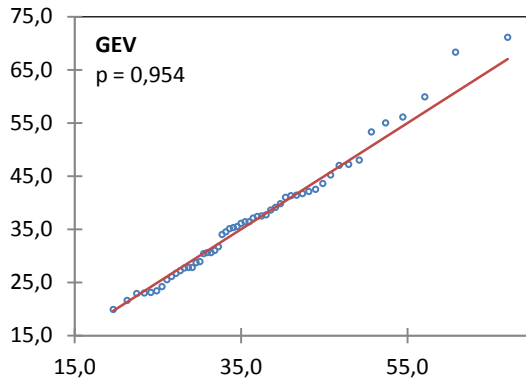
Kostelní Myslová



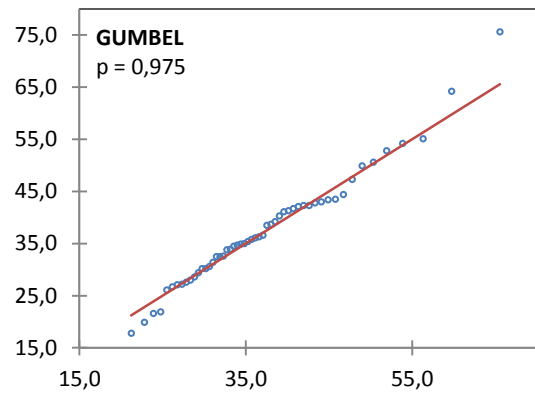
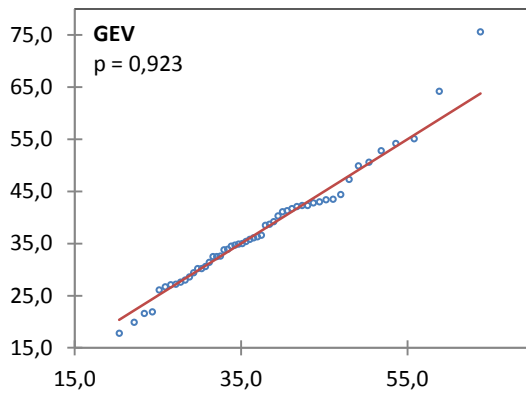
Kuchařovice



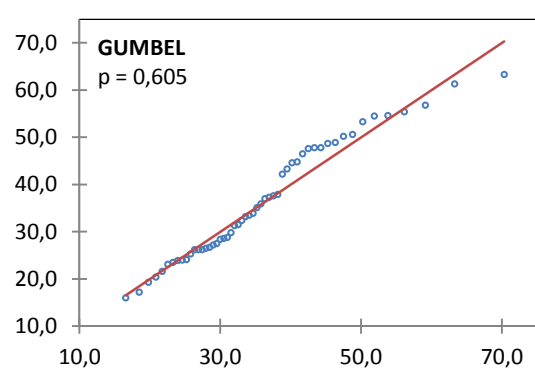
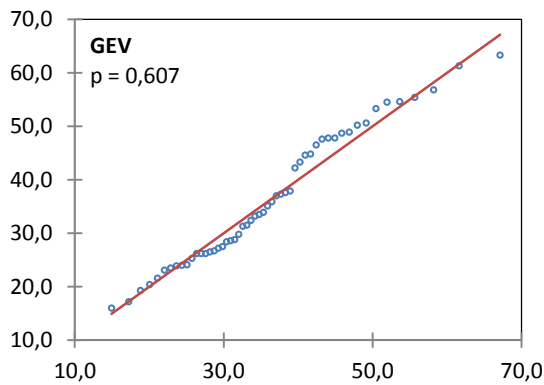
Náměšť nad Oslavou



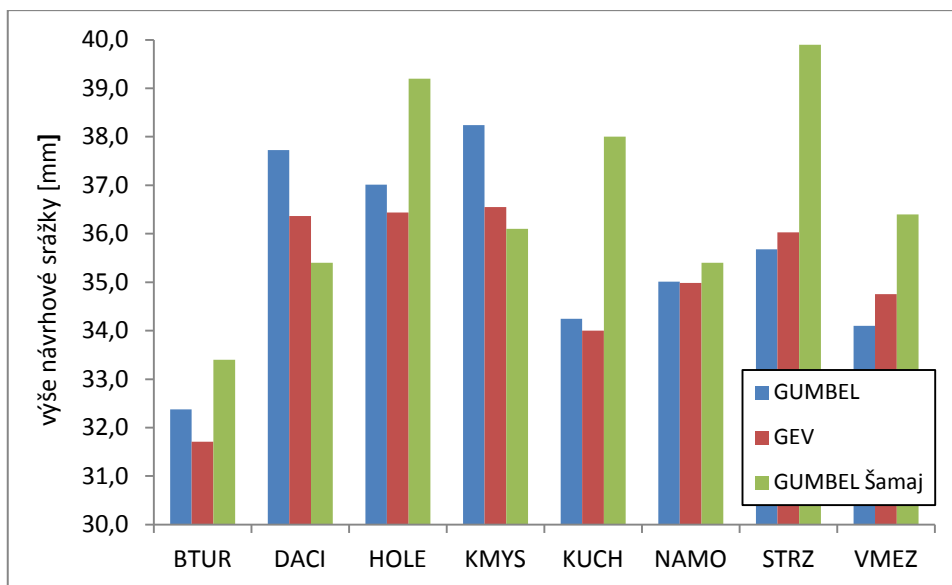
Strážnice



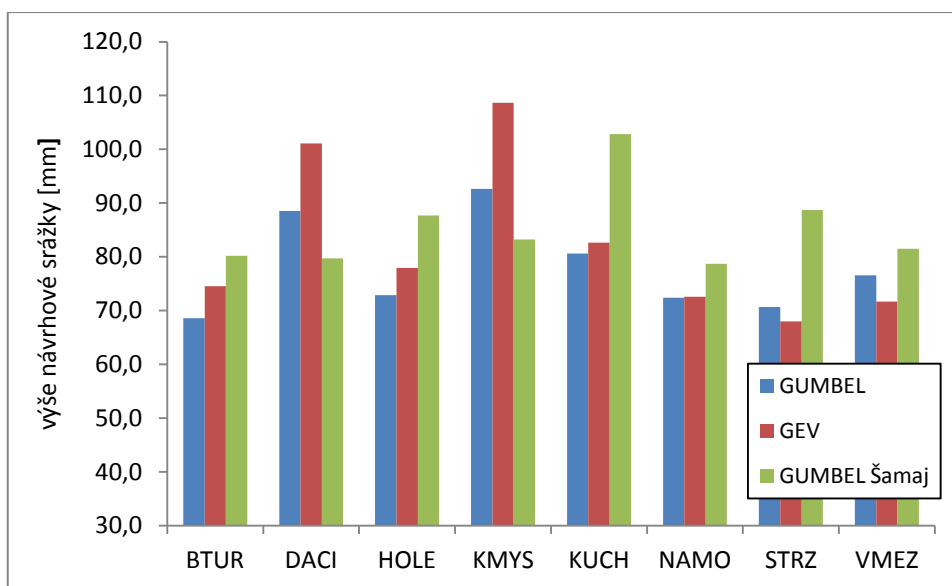
Velké Meziříčí



Obr. 25 Q-Q graf porovnání shody teoretického modelu a empirických hodnot denních maxim studovaných stanic: pro GEV rozdělení (GEV), pro Gumbelovo rozdělení (GUMBEL)



Obr. 26 Srovnání výše dvouleté návrhové srážky vypočtené 2 metodami a dle Šamaje et al. (1985)



Obr. 27 Srovnání výše stoleté návrhové srážky vypočtené 2 metodami a dle Šamaje et al. (1985)

Hodnoty návrhových srážek s různou dobou opakování vypočtené dvěma metodami (Gumbel a GEV) jsou uvedeny v Tab. 36. Součástí tabulky jsou i návrhové srážky dle Šamaje et al. (1985), které vznikly analýzou dat z let 1901 – 1980 (délka pozorování byla u stanic různá a v případě chybějících let pozorování nebyly dle autorů tyto hodnoty doplňovány). Šamaj et al. (1985) vypočetl tyto návrhové hodnoty pomocí Gumbelova rozdělení. Porovnat tak lze v uvedené tabulce, jaký rozdíl ve výši návrhové

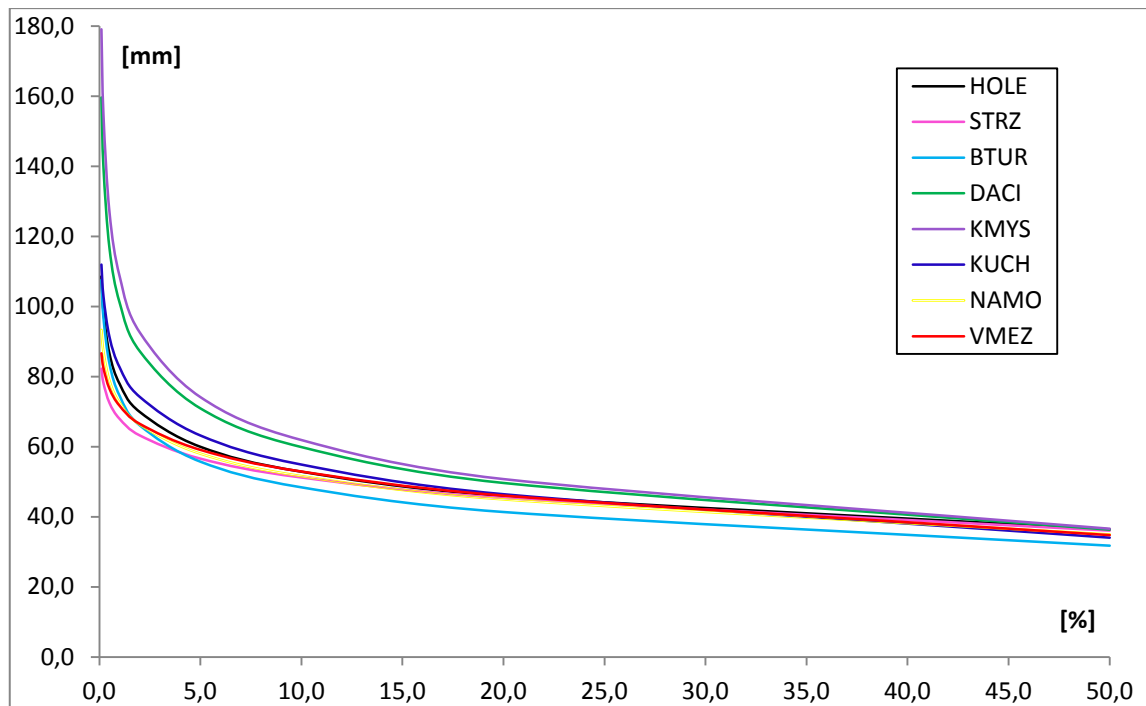
srážky vznikne při použití dvou různých metod a starších či aktuálních vstupních dat, ale také rozdíl návrhových srážek vypočtených stejnými metodami (GEV, Gumbel) za stejné časové období, ale s daty opravenými procesem homogenizace a kontroly kvality dat a daty neupravenými, původně naměřenými.

Grafické porovnání rozdílů návrhových srážek pro dvě vybrané výše dob opakování (2 roky a 100 roků) vyjadřují Obr. 26 a Obr. 27. Pro každou stanicí je zde vyznačena návrhová srážka ve třech variantách (GEV, Gumbel a Gumbel dle Šamaje et al., 1985). U dvouleté srážky lze vysledovat především větší rozdíly mezi Šamajovými hodnotami a zde spočtenými u stanic HOLE, KUCH a STRZ. Zajímavé je, že poměr rozdílu mezi metodou GEV a Gumbel se na většině stanic změnil mezi dvouletou a stoletou srážkou. Nejvýrazněji lze tento jev sledovat u stanic DACI a KMYS. U stanic STRZ a VMEZ je dle GEV dvouletá návrhová srážka vyšší než stoletá, u ostatních stanic přesně naopak. Pouze stanice NAMO se téměř shoduje v odhadu oběma metodami. Lze z toho vyvodit, že ve většině hodnocených případech GEV rozdělení při nízkých dobách opakování vykazuje nižší odhady návrhových srážek a při vysokých dobách opakování vyšší odhady srážek než Gumbelovo rozdělení (kromě dvou výše uvedených stanic, kde je tomu naopak).

Křivky překročení pro všechny stanice pro návrhové srážky vypočtené metodou GEV rozdělení jsou znázorněny na Obr. 28. Grafické porovnání křivky překročení pro GEV a Gumbelovo rozdělení je potom pro všechny stanice uvedeno v Příloze 15. Padesát procent na křivce překročení odpovídá dvouleté návrhové srážce, což je nejnižší predikovaná doba opakování dle Šamaje et al. (1985) i jako výstup softwaru ProClimDB. Vztah dob opakování a pravděpodobností překročení, použitých pro konstrukci křivky překročení, je uveden v Tab. 35.

Tab. 35 Vztah doby opakování a pravděpodobnosti překročení

Doba opakování N [roky]	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Pravděpodobnost překročení [%]	50	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1



Obr. 28 Křivky překročení maximálních denních úhrnů dle GEV rozdělení pro všechny stanice

V programu ProClimDB byly také provedeny výpočty návrhových srážek ze zkrácené datové řady (1961 – 2000) za účelem zjištění vlivu jiné délky hodnoceného období (o 13 let méně) a bylo zjištěno, že návrhové srážky se pak liší na některých stanicích poměrně výrazně. Pro novější data (a delší řady) vychází návrhové srážky obvykle vyšší, rozdíl činí 0,5 % (NAMO) až 16 % (KMYS – zde je např. stoletá srážka o 21 mm vyšší s novějšími údaji). Je jisté, že na výši návrhové srážky má vliv i to, zda se v hodnoceném období vyskytly extrémní úhrny srážek, ale právě tyto extrémní epizody dokazují, že na dané stanici je možno vysokých úhrnů dosáhnout a je potřeba s tím počítat i v návrhové praxi.

Porovnání návrhových srážek vypočtených z dat za období 1961 – 2013 ve verzi upravené (homogenizací a kontrolou dat, tzv. technické řady) a neupravené (naměřená data) naznačilo, že záleží na míře změny v datech po provedené homogenizaci (viz kap. 5.1) a potom rozdíly u návrhových srážek kolísají v průměru mezi 0,1 až 4,2 % na stanici. Největší rozdíl u stoleté srážky byl zjištěn v Holešově, a to snížení po homogenizaci o 6,3 mm. Je potřeba zdůraznit, že v této práci jsou za směrodatné údaje považovány technické řady.

Tab. 36 Návrhové N-leté srážky – porovnání výsledků dle použitých metod a s údaji Šamaje et al. (1985)

(Vysvětlivky: Šamaj et al. (1985) z dat pro období 1901 – 1980, ostatní z dat let 1961 – 2013; zvýrazněné údaje byly vyhodnoceny jako nejspolehlivější.)

Stanice	Kontrola kvality dat a homogenizace	Metoda	Max. denní úhrn srážek s pravděpodobností opakování za N let [mm]						
			2	5	10	20	50	100	200
Brno Tuřany BTUR	ANO	Gumbel	32,4	42,1	48,5	54,6	62,6	68,6	74,5
		GEV	31,7	41,3	48,4	55,7	66,0	74,5	83,6
	NE	Gumbel	32,7	42,6	49,2	55,5	63,7	69,8	76,0
		GEV	32,0	41,8	49,1	56,6	67,3	76,0	85,4
Brno Husovice	?	Gumbel (Šamaj et al, 1985)	33,4	45,8	53,8	62,1	72,3	80,2	87,7
Dačice DACI	ANO	Gumbel	37,7	51,3	60,3	69,0	80,1	88,5	96,8
		GEV	36,4	49,7	59,9	71,0	87,2	101,1	116,6
	NE	Gumbel	36,6	49,3	57,8	65,8	76,3	84,1	91,9
		GEV	35,2	47,7	57,3	67,8	83,5	96,9	112,0
Dačice	?	Gumbel (Šamaj et al, 1985)	35,4	47,1	54,6	62,5	72,1	79,7	86,7
Holešov HOLE	ANO	Gumbel	37,0	46,6	53,0	59,1	67,0	72,9	78,8
		GEV	36,4	46,0	52,9	60,0	69,9	77,9	86,5
	NE	Gumbel	37,3	47,4	54,2	60,6	69,0	75,2	81,5
		GEV	36,3	46,3	53,9	62,1	74,1	84,2	95,5
Holešov	?	Gumbel (Šamaj et al, 1985)	39,2	52,1	60,3	68,9	79,5	87,7	95,4
Náměšť nad Oslavou NAMO	ANO	Gumbel	35,0	45,0	51,6	58,0	66,2	72,4	78,5
		GEV	35,0	45,0	51,6	58,0	66,3	72,6	78,8
	NE	Gumbel	34,7	44,7	51,3	57,7	65,9	72,1	78,2
		GEV	34,7	44,7	51,3	57,7	66,0	72,2	78,4
Náměšť nad Oslavou	?	Gumbel (Šamaj et al, 1985)	35,4	46,9	54,3	61,9	71,4	78,7	85,6

Tab. 36 – pokračování

Stanice	Kontrola kvality dat a homogenizace	Metoda	Max. denní úhrn srážek s pravděpodobností opakování za N let [mm]						
			2	5	10	20	50	100	200
Strážnice STRZ	ANO	Gumbel	35,7	45,0	51,2	57,2	64,9	70,7	76,4
		GEV	36,0	45,4	51,2	56,6	63,2	68,0	72,5
	NE	Gumbel	35,3	44,6	50,8	56,7	64,4	70,1	75,8
		GEV	35,6	44,8	50,8	56,3	63,3	68,4	73,4
Strážnice	?	Gumbel (Šamaj et al, 1985)	39,9	52,8	61,1	69,8	80,4	88,7	96,5
Kostelní Myslová KMYS	ANO	Gumbel	38,2	52,8	62,5	71,7	83,7	92,7	101,6
		GEV	36,6	50,7	61,9	74,1	92,6	108,6	126,8
	NE	Gumbel	38,3	52,8	62,5	71,8	83,8	92,7	101,7
		GEV	36,6	50,7	61,9	74,2	92,7	108,8	127,1
Telč	?	Gumbel (Šamaj et al, 1985)	36,1	48,6	56,6	64,9	75,2	83,2	90,6
Velké Meziříčí VMEZ	ANO	Gumbel	34,1	45,5	53,0	60,2	69,6	76,6	83,5
		GEV	34,8	46,0	52,9	59,1	66,5	71,7	76,5
	NE	Gumbel	34,1	45,5	53,0	60,2	69,6	76,6	83,6
		GEV	34,8	46,0	52,9	59,1	66,5	71,7	76,6
Velké Meziříčí	?	Gumbel (Šamaj et al, 1985)	36,4	48,4	56	64	73,9	81,5	88,7
Kuchařovice KUCH	ANO	Gumbel	34,2	46,7	54,9	62,7	72,9	80,6	88,2
		GEV	34,0	46,4	54,9	63,2	74,2	82,6	91,2
	NE	Gumbel	34,3	46,7	55,0	62,9	73,1	80,7	88,4
		GEV	34,0	46,5	54,9	63,3	74,3	82,8	91,4
Znojmo	?	Gumbel (Šamaj et al, 1985)	38	55,2	66,2	77,7	91,7	102,8	113

Modelový příklad vlivu volby návrhové N -leté srážky na vypočtenou hodnotu objemu přímého odtoku

Stanovení objemu přímého odtoku z povodí odpovídalo postupu popsanému v kap. 4.4.

Konstantní vstupní parametry byly zvoleny takto:

Číslo CN křivky	86
Potenciální retence A [mm]	41,3
Plocha povodí [km ²]	1

Tyto parametry odpovídají podmínkám zvoleným i v modelovém příkladu na straně 86, tedy čerstvě zkyplenému úhoru na půdě se střední rychlostí infiltrace (hydrologická skupina půd B), vlhkost půdy z předchozích srážek je střední (IPS II). Návrhová srážka byla použita u všech stanic s dobou opakování 2 roky a 100 let, porovnání v Tab. 37 ukazuje rozdílnou výši objemu přímého odtoku při použití návrhových srážek vypočtených pro tutéž dobu opakování dvěma metodami (GEV, Gumbel) z dat let 1961 – 2013. Třetí hodnota návrhové srážky je dle údajů z publikace Šamaje et al. (1985), které byly vypočteny pomocí Gumbelova rozdělení z dat pro období 1901 – 1980. Jelikož výše objemu je přímo závislá na výši návrhové srážky, rozdíly u návrhových srážek způsobí rozdíl ve výši objemu přímého odtoku při nezměněných ostatních podmínkách. Velikost návrhového povodí byla zvolena 1 km², proto uvedené objemy přímého odtoku jsou v m³ na 1 km².

U dvouleté návrhové srážky jsou nejmenší rozdíly mezi třemi variantami ve stanici NAMO (max. 263 m³), největší naopak ve stanici STRZ (až 2783 m³). U stoleté návrhové srážky jsou rozdíly řádově větší, nejméně výrazné z testovaných stanic opět v Náměšti (do 5400 m³). Absolutně největší rozdíl u stoleté srážky mezi variantami byl zjištěn ve stanici KMYS, kdy při použití návrhové hodnoty z tabulek Šamaje et al. (1985) bude objem přímého odtoku o 22790 m³ nižší než při použití hodnoty z aktualizovaných dat spočítaných metodou GEV rozdělení.

Tab. 37 Objem přímého odtoku pro varianty návrhových dvouletých a stoletých srážek

(Vysvětlivky: GEV = metoda GEV, období 1961 – 2013; GUMBEL = metoda Gumbelova rozdělení, období 1961 – 2013; ŠAMAJ = návrhové srážky dle Šamaje et al. (1985) počítané pro období 1901 – 1980)

N = 2	BTUR			DACI			HOLE			KMYS		
	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ
Návrhová srážka [mm]	31,7	32,4	33,4	36,4	37,7	35,4	36,4	37,0	39,2	36,6	38,2	36,1
Objem přímého odtoku [m ³]	8481	8879	9500	11366	12254	10749	11414	11787	13236	11487	12595	11196
N = 2	KUCH			NAMO			STRZ			VMEZ		
	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ
Návrhová srážka [mm]	34,0	34,2	38	35,0	35,0	35,4	36,0	35,7	39,9	34,8	34,1	36,4
Objem přímého odtoku [m ³]	9870	10022	12435	10485	10500	10749	11151	10926	13709	10338	9932	11389
N = 100	BTUR			DACI			HOLE			KMYS		
	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ
Návrhová srážka [mm]	74,5	68,6	80,2	101,1	88,5	79,7	77,9	72,9	87,7	108,6	92,7	83,2
Objem přímého odtoku [m ³]	40782	35784	45674	64240	52948	45241	43706	39390	52237	71075	56634	48285
N = 100	KUCH			NAMO			STRZ			VMEZ		
	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ	GEV	GUMBEL	ŠAMAJ
Návrhová srážka [mm]	82,6	80,6	102,8	72,6	72,4	78,7	68,0	70,7	88,7	71,7	76,6	81,5
Objem přímého odtoku [m ³]	47781	46015	65764	39147	38978	44377	35261	37522	53121	38382	42528	46803

Doporučený postup při stanovení *N*-letých návrhových srážek

Na základě zjištěných výsledků a studia souvisejících odborných textů bylo sestaveno několik základních bodů, které by v ideálním případě měly vést k nejpřesnějším odhadům návrhových *N*-letých srážek.

1. Pro požadovanou klimatologickou stanicí s alespoň 50 lety souvislého měření srážek zjistit maximální roční úhrny srážek pro nejdelší možné (dostupné) období, použít technické řady dat (upravené homogenizací a kontrolou kvality dat). Toto období by mělo končit posledním ukončeným kalendářním rokem, ve výjimečných případech lze užít data ze stanic s ukončeným měřením, nejdéle však před 5 lety (návrhové srážky zpracované za starší období vykazují již znatelné rozdíly a nevystihují současný vývoj podnebí).
2. Zvolit vhodnou metodu odhadu parametrů teoretického rozdělení (v současnosti je uváděna jako nejvhodnější metoda L momentů).
3. Zvolit alespoň 2 teoretická rozdělení extrémních hodnot, proložit je empirickými daty a statistickými metodami otestovat shodu teoretického a empirického rozložení dat (QQ graf, Kolmogorov Smirnovův test, Chíkvadrát test apod.). Mezi vybranými rozděleními by nemělo chybět GEV rozdělení, jelikož je obecně považováno za velmi vhodné pro tento typ dat – nemusí však pro každou lokalitu být tím nejvhodnějším. I Gumbelovo rozdělení lze na základě provedených analýz doporučit ke srovnání, na některých lokalitách vykazuje lepší shodu než GEV. Ve výjimečných případech nízké shody u dvou vybraných rozdělení je možné ověřit shodu ještě s jiným modelem (z používaných lze zmínit např. LN3 rozdělení).
4. Vybrat modelové rozdělení nejlépe se shodující s empirickými daty a na základě něj stanovit návrhové srážky pro požadované doby opakování.

5.5.1 Diskuze

Hodnoty návrhových srážek dle Šamaje et al. (1985) byly doporučovány k použití jako relevantní hydrologický podklad výpočtů protierozních opatření ještě v předešlé verzi metodiky Janečka et al. (2007). V současně platné metodice (Janeček et al., 2012a) je uvedeno, že o hodnotu návrhového deště pro vyšetřovanou lokalitu je nutné požádat

ČHMÚ, ale že rámcově lze použít hodnoty úhrnů maximálních 24hodinových srážek s návrhovou četností výskytu dle Šamaje et al. (1985). Pro zjednodušení a úsporu se využívají v mnoha případech tyto zastaralé údaje dodnes, a jak lze vidět v provedených analýzách, často se od hodnot spočtených z aktuálních dat dosti podstatně liší.

Použití návrhových srážek vypočtených pro jednotlivé izolované stanice přináší při použití pro celý přílehlý region jistou míru nepřesnosti právě z důvodu již v předchozích kapitolách diskutované velké prostorové variability a lokální omezenosti obzvláště u přívalových srážek. Tento nedostatek se snaží redukovat různí autoři pomocí statistických metod, kupříkladu regionální frekvenční analýzou. Pro území České republiky se tématu věnovali např. Kyselý a Píček (2007), kteří rozdělili území státu na 4 relativně homogenní regiony (z hlediska polohy, ale také rozdílů v klimatických podmínkách a synoptických jevech způsobujících přívalové srážky). V rámci regionů se věnovali regionalizaci odhadů návrhových srážek a testovali 4 typy rozdělení. Ve většině případů se jako nejvhodnější prokázalo GEV rozdělení. LN3 rozdělení nevykazovalo lepší výsledky než GEV, pouze pro jeden region vykazovalo menší odchylky rozdělení GLO (Generalized Logistic Distribution). Autoři důrazně odmítli používání Pearsonova rozdělení III. typu, které vykazovalo v testech velmi špatné shody modelu s měřenými hodnotami.

Regionalizace dle autorů nejen umožní stanovit návrhové srážky i mimo místa s měřením srážek, ale i u samotných stanic upravuje výši návrhové srážky směrem k menším výkyvům, což se jeví jako vhodné zejména u 50 a víceletých odhadů, které při výpočtu pro některé stanice dosahují příliš vysokých hodnot.

Pro porovnání hodnot návrhových srážek vypočtených v této práci s výsledky Kyselého a Píčka (2007) je uvedena tabulka vybraných stanic, které jsou použity v této práci a testovali je i autoři (data za období 1961 – 2000). V tabulce (Tab. 38) jsou uvedeny doby opakování pro déšť určité výše (nad 80 mm) stanovené metodou GEV rozdělení, v prvním sloupci jsou hodnoty dob opakování odečtené z křivky překročení (Obr. 28). Období hodnocení vlastních dat je o 13 let delší (1961 – 2013) než u výsledků dalších dvou sloupců dle Kyselého a Píčka (2007), což je potřeba brát v úvahu.

Tab. 38 Doby opakování jednodenní návrhové srážky o úhrnu nad 80 mm (v rocích)

Stanice	Doba opakování deště > 80 mm (roky)		
	Pro stanici (Kozlovská, GEV)	Pro stanici (Kyselý, Píček, 2007)	Po regionalizaci (Kyselý, Píček, 2007)
Brno-Tuřany	143	119	87
Holešov	114	52	42
Kostelní Myslová	25	53	53
Kuchařovice	76	128	59
Velké Meziříčí	308	> 1000	69

Výpočet parametrů daného teoretického rozdělení je možný více metodami (viz. kap. 3.3.2). Software ProClimDB používá metodu vážených momentů, Kyselý (2005) považuje za vhodnější metodu L-momentů.

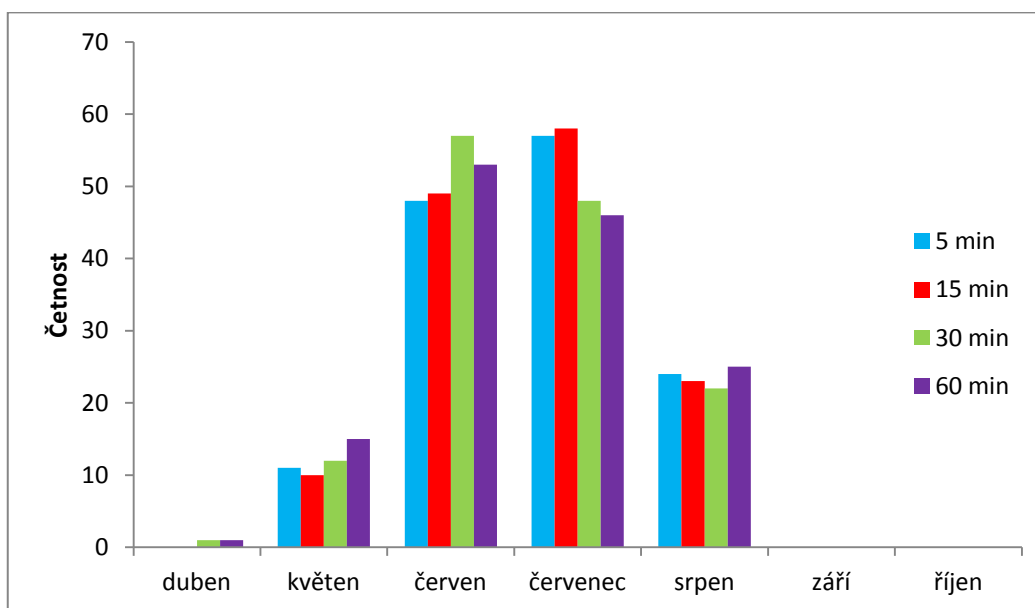
Ideální by bylo individuálně posuzovat každou lokalitu, určit návrhovou srážku z nejnovějších dat a z nejdelších možných časových řad denních maxim a zároveň testovat minimálně dvěma metodami (teoretickými rozděleními – např. GEV a Gumbel), jejichž parametry se navrhnou aktuálně prokázanou nejvhodnější metodou (např. metodou L momentů). Další zpřesnění by pravděpodobně přinesla regionalizace (zohledňuje nadmořskou výšku, orografii atd.) s možností odpočtu návrhové srážky v jakémkoli místě zpracované oblasti. Provedení regionalizace návrhových srážek nebylo cílem této práce vzhledem k malému počtu stanic a jejich velké vzájemné vzdálenosti.

5.6 Analýza erozně nebezpečných dešťů pro území Brna

5.6.1 Analýza maximálních intenzit dešťů na území Brna

Za erozně nebezpečné deště považujeme takové srážkové epizody, kdy dešť jednak dosáhne určitého úhrnu, jednak překročí určitou intenzitu (viz kap. 5.6.2). U takto vybraných dešťů je nutné pro stanovení míry erozního účinku mimo jiné určit jejich maximální 30minutovou intenzitu. Detailní rozbor ombrografických záznamů je tedy nezbytnou součástí analýzy erozní účinnosti dešťů, která je provedena v následující kapitole (5.6.2).

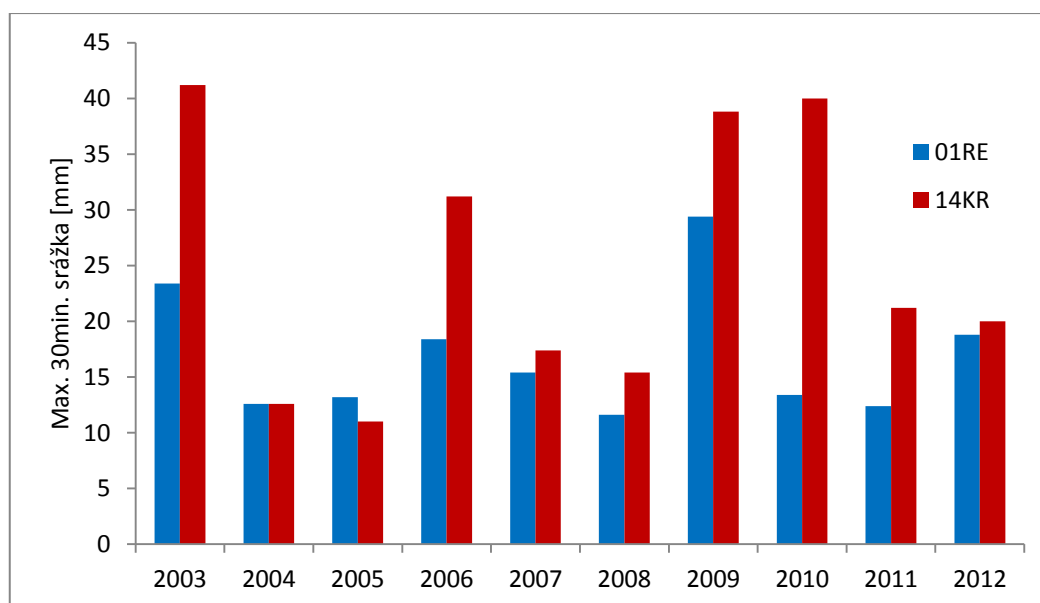
Maximální roční úhrny dešťů o určité délce trvání (5, 15, 30 a 60 minut) se vyskytovaly na sledovaných stanicích nejčastěji v letních měsících, méně také v květnu (viz Obr. 29). V dubnu šlo o ojedinělý případ déletrvajícího intenzivního deště, a to v roce 2011 na stanici 06BO ve Starém Lískovci. Kratší intenzivní deště (5 a 15 minut) se častěji vyskytují v červenci, delší přívally (30 a 60 minut) pak v červnu.



Obr. 29 Rozložení počtu ročních maxim dešťů dané délky trvání dle měsíců VO (2003 – 2012) – souhrnně pro všech 14 stanic BVK, a.s.

Další analýza se zaměřila na maximální 30minutové úhrny, jakožto součásti řešené problematiky erozní nebezpečnosti dešťů. Obr. 30 ilustruje vývoj maximálního ročního 30minutového úhrnu během sledovaného období (2003 – 2012) na dvou vybraných stanicích, 01RE a 14KR. Tyto stanice byly zvoleny jako nejvíce kontrastní – 01RE vykazuje dlouhodobě nejnižší intenzity srážek, 14KR naopak. Z grafu lze také

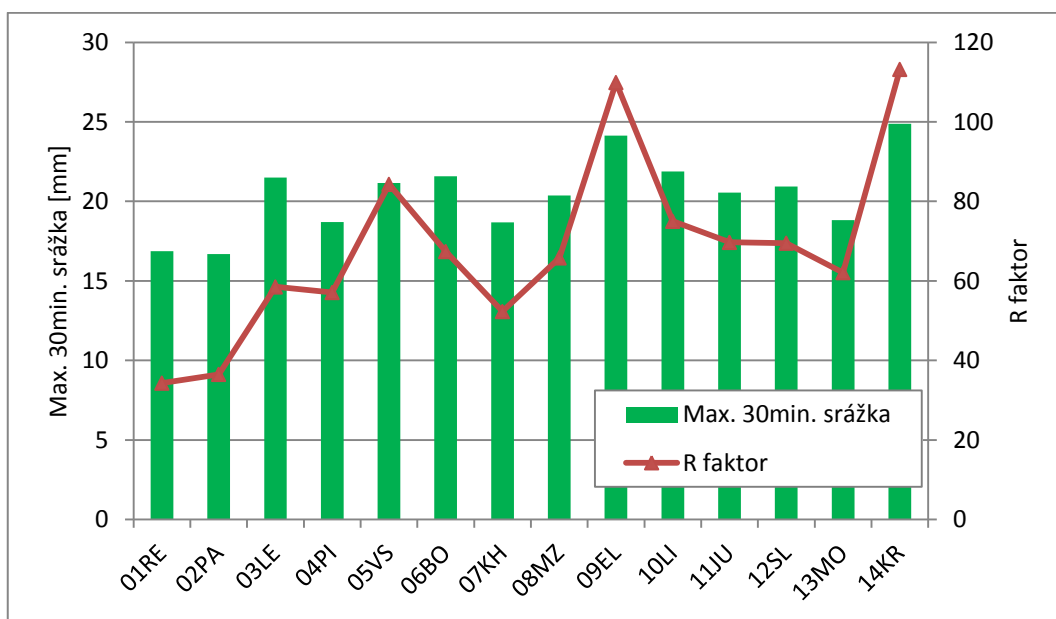
vysledovat, že k nejvyšším rozdílům v hodnotách 30minutových úhrnů došlo v letech 2003 a 2010. V roce 2010 nebyl na stanici 01RE v Řečkovicích vůbec zaznamenán extrémní příval ze dne 23.7.2010, který se na osmi ze čtrnácti stanic zapsal jako roční maximum 30minutové srážky. Ani příval z 6.6.2003 (roční maximum na 6 stanicích) se v Řečkovicích neprojevil. Naopak déšť dne 15.7.2009 se dostal i do Řečkovic, které se tak staly jednou z deseti stanic, kde bylo toho dne dosaženo ročního maxima 30minutové srážky. Vliv těchto maximálních 30minutových úhrnů srážek na výši R faktoru v jednotlivých letech lze zjistit porovnáním Obr. 30 a Obr. 33.



Obr. 30 Porovnání maximálních 30minutových srážek v letech u dvou stanic – 01RE a 14KR

Z deseti maximálních ročních 30minutových intenzit byl pro každou stanici stanoven průměr, který byl vyneseno do grafu (Obr. 31) spolu s hodnotou R faktoru dané stanice (R faktor je spočítán a vyhodnocen v kapitole 5.6.2). Průměrná roční maximální 30minutová srážka se na sledovaných stanicích pohybuje od 17 do 25 mm, rozdíly mezi stanicemi jsou menší než u hodnot R faktoru. Na většině stanic je evidentní korelace mezi výší maximálních 30minutových intenzit a výší R faktoru, ačkoli to neplatí bez výjimky. Kupříkladu mezi stanicemi 03LE a 05VS, kde rozdíl roční maxim 30minutové intenzity je minimální, se hodnoty R faktoru liší o $25 \text{ MJ} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{h}^{-1}$. Příčiny mohou být různé a je vždy potřeba pozorně prostudovat podklady. V tomto případě vysokou hodnotu R faktoru na stanici 05VS ovlivnil extrémní přívalový déšť ze dne 23.7.2010 (na této stanici o úhrnu 83 mm). Srážky nejvyšší 30minutové intenzity se vyskytly na

stanicích 09EL (Černovice) a 14KR (Brno-jih), kde byly zjištěny i nejvyšší hodnoty R faktoru.



Obr. 31 Souvislost průměrné roční maximální 30minutové srážky s hodnotou R faktoru podle stanic

5.6.2 Analýza erozní účinnosti dešťů na území Brna

Pro účely této práce byly analyzovány všechny deště na 14 srážkoměrných stanicích v Brně. Z nich byly nejprve vybrány deště, jejichž úhrn byl vyšší než 12,5 mm a zároveň byly od dalších dešťů oddělené pauzou alespoň 6 hodin. Takových dešťů se za 10 let během vegetačního období vyskytlo celkem 125. Z nich dále splnilo podmínku erozně nebezpečného deště (v průběhu 15 minut napršelo minimálně 6,25 mm) 67 epizod, vyskytujících se vždy alespoň na jedné stanici. Počet stanic splňujících podmínky erozivity se pohyboval v rozmezí 1 až 14, překvapující však je, že i přes malé vzdálenosti mezi jednotlivými stanicemi se za 10 let pouze 5 END vyskytlo na všech stanicích současně. To byl první signál o vysoké prostorové variabilitě přívalových dešťů na území Brna a o silně lokálním charakteru těchto srážek.

Základní charakteristiky erozně nebezpečných dešťů jsou popsány v Tab. 39. Za rok se END vyskytly průměrně 2,4krát, ovšem za desetiletí kolísají počty END na stanicích od 17 do 30 výskytů. Zajímavé je, že roční průměr počtu END se přesně shoduje s hodnotou vypočtenou z 31 stanic po celé ČR, kde byly k dispozici mnohem delší časové řady srážkoměrných dat (viz Janeček et al., 2012b).

Tab. 39 Charakteristiky erozně nebezpečných dešťů (END) na sledovaných stanicích (2003 – 2012)

Stanice	Ø srážk. úhrn END [mm]	Počet END			
		celkem	Ø/rok	min/rok	max/rok
01RE	20,6	21	2,1	1	5
02PA	24,5	17	1,7	0	4
03LE	27,5	24	2,4	1	6
04PI	26,8	24	2,4	0	5
05VS	30,1	26	2,6	1	5
06BO	29,1	24	2,4	0	5
07KH	28,2	26	2,6	0	5
08MZ	30,0	24	2,4	0	6
09EL	38,4	30	3	1	6
10LI	34,3	24	2,4	1	6
11JU	34,2	21	2,1	0	6
12SL	33,0	28	2,8	0	5
13MO	27,6	24	2,4	0	5
14KR	37,6	29	2,9	1	7
Ø Brno	30,1	24,4	2,4		

Následoval výpočet maximálních 30minutových intenzit, kinetických energií všech END a faktoru erozní účinnosti deště R (viz Tab. 41). Průměrná hodnota maximální 30minutové intenzity jednoho END pro celé Brno je 3,4 cm.hod⁻¹, s rozpětím od 3,0 cm.hod⁻¹ do 4,2 cm.hod⁻¹. Při porovnání maximálně dosažených 30minutových intenzit na jednotlivých stanicích lze opět pozorovat velké kolísání – od 5,9 cm.hod⁻¹ v Řečkovících (01RE) po 9,4 cm.hod⁻¹ v ul. Bosonožská (06BO) ve Starém Lískovci.

Z úhrnu deště za dobu trvání 30 minut lze stanovit jeho periodicitu opakování dle Trupla (1958). V Tab. 40 jsou uvedeny mimo jiné úhrny v centimetrech za 30 minut (poloviční hodnota oproti I₃₀ z Tab. 41) a jim odpovídající periodicity výskytu.

Deště nejvyšších intenzit se nejčastěji v průběhu studovaného desetiletí vyskytovaly na stanicích 14KR (Brno-jih) a 09EL (Černovice), naopak nejnižší intenzity jsou obvykle dosaženy na stanici 01RE (Řečkovice) a také na stanici 02PA, ačkoli zde v roce 2009 spadl přívalový déšť s parametry stoleté srážky.

Během 10letého období se na každé stanici vyskytl alespoň jeden dešť s periodicitou $p = 0,05/\text{rok}$ (1krát za 20 let). Na devíti stanicích byla však překročena i hodnota tzv. 100letého deště ($p = 0,01$; $I_{30} \geq 7,7 \text{ cm.hod}^{-1}$), ve stanicích 14KR a 09EL dokonce opakovaně. Nejčastěji se 100letý dešť vyskytl v roce 2009 (u sedmi stanic), u čtyř stanic v roce 2008.

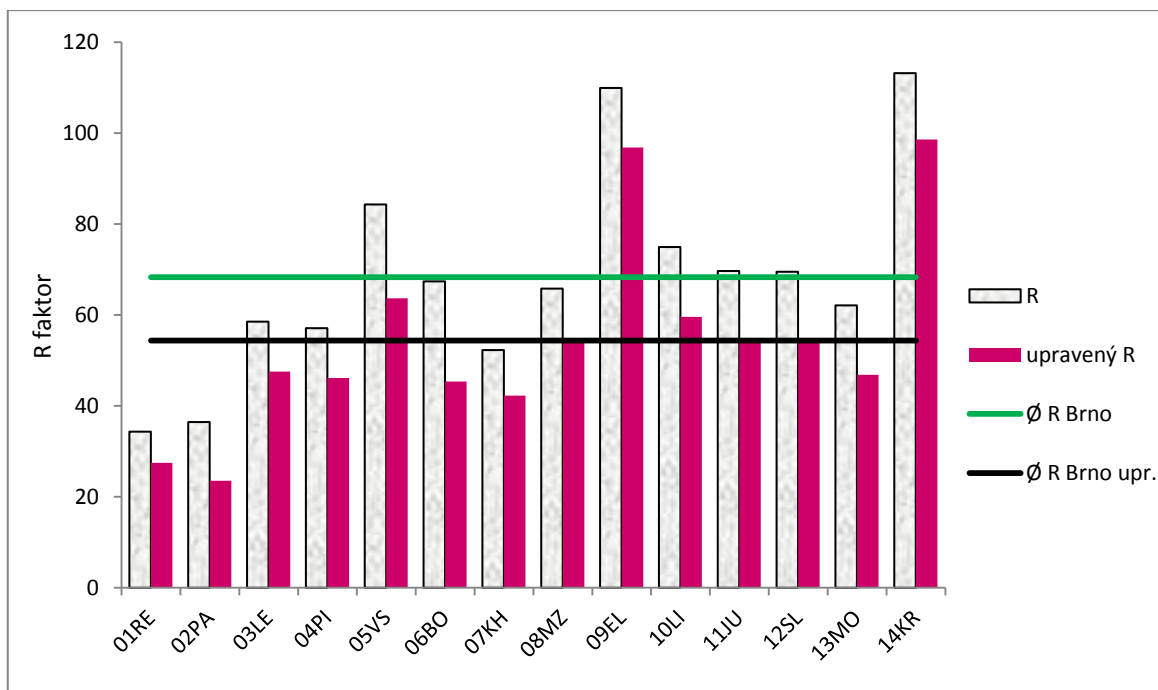
Tab. 40 Klasifikace dešťů dle Trupla (1958) pro stanici Brno, extrapolace dle Hellebranda (2011)

Doba trvání deště t [min]	Celkový úhrn deště [cm] za dobu t při periodicitě p							EXTRAPOLACE	
	5	2	1	0.5	0.2	0.1	0.04	0.02	0.01
5	0.38	0.54	0.66	0.80	0.97	1.10	1.27	1.40	1.53
10	0.49	0.76	0.98	1.21	1.51	1.73	2.02	2.24	2.46
15	0.56	0.89	1.16	1.45	1.83	2.12	2.50	2.77	3.05
30	0.62	1.04	1.37	1.74	2.25	2.63	3.13	3.47	3.83
60	0.69	1.18	1.58	2.03	2.66	3.15	3.78	4.17	4.62
120	0.75	1.32	1.79	2.33	3.08	3.66	4.44	4.89	5.43

Závěrečná analýza spočívala ve stanovení a porovnání faktoru erozní účinnosti deště R (Wischmeier, Smith, 1978) a upraveného R faktoru s vyloučením extrémních hodnot (maxima a minima, upraveno dle Janečka et al., 2012). Průměrně vychází pro Brno R $68 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$, po odstranění nejvyšší a nejnižší hodnoty z výpočtu pak upravený R $54 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$. I po provedené redukci extrémů je hodnoty R faktoru o $15 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$ vyšší než doporučený standard $40 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{cm.h}^{-1}$. Ostatní veličiny (E , I_{30}) jsou v Tab. 41 uvedeny pro všechny END, tedy bez uvažované redukce. Na Obr. 32 je grafické porovnání rozdílů upraveného a neupraveného R faktoru, kde lze pozorovat významný vliv extrémních srážek - dešťů přesahujících svým úhrnem 100letou srážku. Největší rozdíl R a upraveného R je ve stanicích 05VS a 06BO.

Tab. 41 Hodnoty faktoru erozní účinnosti deště *R* a souvisejících veličin na sledovaných stanicích (2003 – 2012)

Stanice	I_{30} [cm.hod ⁻¹]		ΣE [J.m ⁻²]	R-faktor (varianta A)				Upravený R-faktor (varianta B)			
	Σ	max.		Σ /rok	Σ /srážka	R min	R max	Σ /rok	Σ /srážka	R min	R max
01RE	3,0	5,9	497	34,3	16,4	5,3	63,4	27,5	14,5	6,8	38,8
02PA	3,0	8,5	578	36,5	21,4	5,7	123,3	23,6	15,7	5,9	40,1
03LE	3,1	6,9	642	58,5	24,4	4,7	105,0	47,6	21,6	4,9	67,1
04PI	3,2	8,0	628	57,1	23,8	5,3	104,1	46,2	21,0	6,4	87,6
05VS	3,6	9,3	718	84,3	32,4	5,6	200,8	63,7	26,5	5,6	84,6
06BO	3,4	9,4	616	67,4	28,1	5,7	214,5	45,4	20,6	6,0	72,4
07KH	3,0	7,5	560	52,3	20,1	5,2	94,9	42,3	17,6	5,8	65,2
08MZ	3,6	6,3	647	65,8	27,4	4,9	104,9	54,8	24,9	5,1	69,2
09EL	3,9	8,6	770	109,9	36,6	5,2	125,9	96,8	34,6	6,2	120,3
10LI	3,7	9,3	697	75,0	31,2	6,1	147,5	59,6	27,1	7,6	104,0
11JU	3,9	8,7	731	69,7	33,2	6,3	141,1	54,9	28,9	6,8	70,3
12SL	3,4	8,9	626	69,5	24,8	7,5	144,3	54,3	20,9	7,6	69,3
13MO	3,4	7,2	668	62,1	25,9	6,4	146,4	46,8	21,3	7,1	56,7
14KR	4,2	8,2	794	113,2	39,0	6,3	139,3	98,6	36,5	7,1	133,5
Σ Brno	3,4	8,1	655,2	68,3	27,5	5,7	132,5	54,4	23,7	6,3	77,1



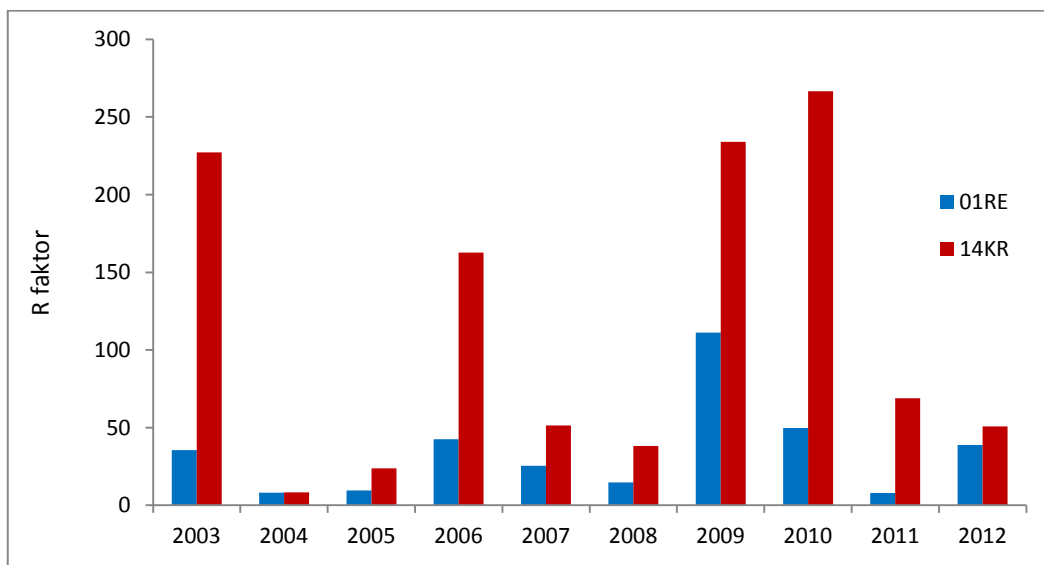
Obr. 32 Porovnání původního a upraveného R faktoru na stanicích (2003 – 2012)

Rozdělení R faktoru v měsících má v Brně (průměrně za všechny stanice) odlišný průběh než činí celorepublikový průměr – absolutně nejvíce END (47 %) se zde vyskytuje v červenci, vyšší podíl mají END také v červnu (viz Tab. 42). V ostatních měsících je výskyt těchto dešťů spíše výjimkou. Tomu odpovídá i rozložení maximálních intenzit dané doby trvání (viz Obr. 29). Oproti tomu doporučené rozdělení dle Janečka (2012a), které je průměrem z 31 stanic po celé ČR a spočetla ho Kubátová et al. (2009), je vyrovnanější v rámci letních měsíců a více se projevuje i v měsíci září.

Tab. 42 Průměrné rozdělení R faktoru do měsíců VO pro ČR (dle Kubátové et al., 2009) a pro Brno

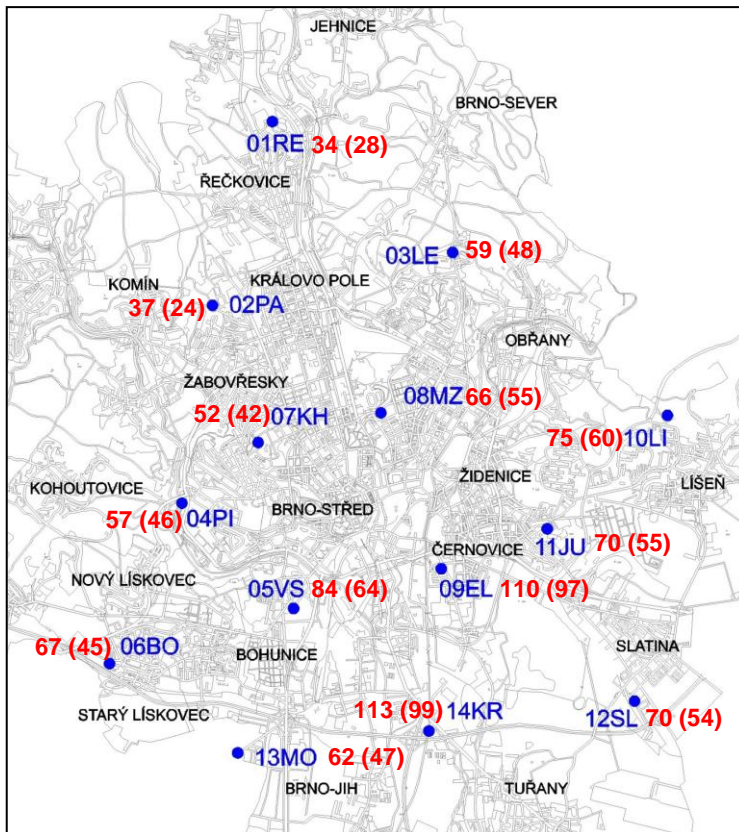
Měsíc	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
R faktor ČR [%] (Kubátová et al., 2009)	0,9	10,9	22,3	29,9	25,8	8,3	1,7
R faktor Brno [%]	0,3	8,2	29,1	47,1	15,2	0,1	0,0

Velké rozdíly ročních hodnot R faktoru v jednotlivých stanicích ilustruje Obr. 33, kde jsou pro dvě vybrané stanice – 01RE v Řečkovicích (nejnižší průměrný R faktor) a 14KR na jihu Brna (nejvyšší průměrný R faktor) – uvedeny hodnoty R faktoru v jednotlivých letech. Tyto stanice jsou od sebe vzdáleny 11 km. Graf pro tytéž dvě stanice, zobrazující vývoj ročních maxim 30minutové srážky (Obr. 30) naznačuje souvislost těchto dvou veličin.



Obr. 33 Srovnání R faktorů v jednotlivých letech u dvou stanic – 01RE a 14KR

Co se týče prostorového rozložení přivalových dešťů, dlouhodobě se nejintenzivnější srážky vyskytují v jihovýchodní části Brna, naopak západ Brna mívá srážky méně intenzivní (což potvrzuje také Prax et al., 2010). Tomu odpovídají i vyšší hodnoty R faktoru v této části města (viz Obr. 34).



Obr. 34 Schéma rozmístění R faktoru v Brně podle stanic

(Vysvětlivky: Vedle názvu stanice je červeně označen R faktor neupravený, v závorce upravený s odebráním nejnížší a nejvyšší hodnoty).

5.6.3 Diskuze

V této práci byla využita ojedinělá možnost srovnání dat z míst ležících jen několik kilometrů od sebe. Takto hustá síť dat přináší nové poznatky nejen z pohledu základního zpracování intenzit dešťů, ale i do dalších oblastí aplikovaného výzkumu, např. do zde studované problematiky erozivity dešťů a jejich prostorového rozdělení.

Spolehlivost vypočteného R faktoru pro relativně krátký časový úsek (2003 – 2012) je jistě diskutabilní. Cílem práce však nebylo přesné stanovení R faktoru, ale především jeho vzájemné porovnání v síti blízko položených stanic. Minimální doba, kterou by již bylo možné považovat za přiměřenou, je 20 let, jak lze soudit podle Wischmeiera a Smithe (1978), kteří sestavili metodiku na výpočet R faktoru na základě analýz 22letých ombrografických záznamů. I Janeček et al. (2012b) použil nejméně 19leté záznamy o deštích. Redukce nejmenší a nejvyšší hodnoty byla založena na stejné úvaze, jakou aplikoval Janeček et al. (2012a,b), tedy snahou omezit vliv největších extrémů s velmi nízkou dobou opakování, které mohou průměrnou hodnotu R faktoru nadhodnocovat

(zde kupříkladu extrémní srážka z 23.7.2010 nebo z 6.8.2012). Je však nutné poznamenat, že s tímto způsobem úpravy dat Wischmeier a Smith (1978) ani jiní autoři kromě Janečka et al. (2012a) nepočítají.

Analýza R faktoru pro oblast Brna poukázala na to, že průměrné roční hodnoty R faktoru byly nejvyšší v jihovýchodní části města Brna (Horní Heršpice, Černovická terasa, Slatina) a nejméně se END projevují na západě, v oblasti městských čtvrtí Královo Pole, Řečkovice a Žabovřesky. Druhotné maximum připadlo na východ až severovýchod Brna (Líšeň, Lesná). Tyto výsledky jsou konzistentní i s poznatky Praxe et al. (2010), který analyzoval srážkové intenzity v oblasti Brna. Z dalších analýz (Dobrovolný et al., 2012) však vyplývá, že co se týče průměrných ročních i sezónních srážkových úhrnů, je jejich rozložení v rámci Brna téměř opačné než u maximálních intenzit dešťů a R faktoru – tedy nejvyšší úhrny jsou dlouhodobě pozorovány v severozápadní části Brna. Tato prostorová variabilita může mít více důvodů, vliv města nebyl jednoznačně prokázán, dalšími významnými faktory jsou i přírodní faktory (nadmořská výška a expozice stanic vůči převládajícím větrům).

Janeček et al. (2012a) vytvořil mapu regionalizace R faktoru v České republice, avšak uvádí, že vzhledem k problémům metodického a podkladového charakteru, které provázejí stanovení R faktoru (jak popisuje např. v publikaci Janeček et al., 2012b) se nezdá být účelné R faktor pro ČR regionalizovat, ale doporučuje používat v USLE pro naprosto převažující plochu zemědělské půdy ČR průměrnou hodnotu R faktoru $40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$. Pro oblast Brna byla vypočtena průměrná hodnota R faktoru $68 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, po úpravě odstraněním nejnižší a nejvyšší hodnoty se R faktor snížil na $54 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$, což se s uvedeným průměrem pro ČR příliš neshoduje.

Studované desetileté období (2003 – 2012) bylo poměrně bohaté na přívalové deště, tudíž lze usoudit, že vypočtené hodnoty R faktoru jsou nadhodnocené a bylo-li by možno sledovat zpětně delší časový horizont, byl by R faktor nižší. Nicméně budoucí vývoj počasí nelze předem odhadnout, předpovědi změny klimatu však naznačují prodlužování suchých period a přitom extrémnější dešťové epizody (viz Němec a Kopp, 2009). Tento trend lze vysledovat v určitých oblastech již nyní (např. Doleželová, 2013 pro oblast Brna). I z těchto důvodů se do budoucna jeví vhodnější neužívat neměnnou hodnotu R faktoru pro celou ČR, ale snažit se přizpůsobovat nastalým podmínkám změněného klimatu, které se mohou vyvíjet v každém regionu velmi odlišně. Přidáme-li k této úvaze poznání, že prostorová variabilita R faktoru je v některých oblastech velmi

vysoká (případ Brna patří vzhledem k rozmanité orografii nejspíš k extrémnějším), opět vzrůstá potřeba regionálního zpřesnění R faktoru. Další záležitostí ke zvážení, či spíše k dalším empirickým výzkumům, je způsob stanovení R faktoru („osekávat“ či „neosekávat“ největší extrémy, je-li očekáván trend zvyšování četnosti jejich výskytu).

Jak vyplývá z provedených analýz, i rozdělení END do měsíců ve vegetačním období (v zimním období se prakticky nevyskytují) vykazuje ve studované lokalitě velkou odlišnost od doporučeného celorepublikového rozdělení. Při výpočtu protierozních opatření je tedy v oblasti Brna toto univerzální rozdělení nevyhovující a může přinášet zkreslené výsledky.

K distribuci regionalizovaných R faktorů směrem k praktickému využití lze doporučit portál SOWAC GIS (VÚMOP, 2013), kde může zemědělec využít nástroj „Protierozní kalkulačka“, který mu na základě výběru půdního bloku předvyplní většinu faktorů pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí dle Wischmeiera a Smithe (1978). Uživatel pouze nastaví požadovaný osevní postup a případně upraví některé faktory dle aktuálních podmínek. U faktoru erozní ohroženosti je zatím přednastavena hodnota $20 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ a její výši nelze měnit. Tato hodnota by mohla být individualizována pro každý půdní blok (resp. region, ve kterém se nachází) jako i jiné parametry.

Z výše diskutované vysoké časové a prostorové variability v rozložení a výskytu jak přívalových dešťů, tak i na ně vázaného R faktoru na poměrně malé ploše města Brna a záležitostí týkajících se metodického přístupu ke stanovení R faktoru lze usoudit, že:

- a. regionalizace R faktoru je velmi náročnou záležitostí především z hlediska dostupných údajů o intenzitách srážek (a dalších metodických náležitostí, viz Janeček et al., 2012b);
- b. použití univerzální hodnoty $40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ není vzhledem k variabilitě orografických a klimatických podmínek ČR ideálním řešením a alespoň v oblastech, kde je k dispozici spolehlivě spočítaný R faktor, měl by tento být užíván;
- c. v případě dostupných dat je vhodné ověřit i rozdělení R faktoru do jednotlivých měsíců VO, může se i významně lišit od doporučeného standardu v metodice dle Janečka et al. (2012a);
- d. je otevřen velký prostor pro další zpřesňování metodického postupu i samotných hodnot R faktorů.

6 ZÁVĚR

Půda je nejen základním výrobním prostředkem zemědělství, ale také nenahraditelnou součástí ekosystémů. Proto je potřeba jí věnovat maximální pozornost, péči a ochranu. Významnou hrozbou pro kvalitu i kvantitu svrchního půdního horizontu (tedy ornice) je i vodní eroze, která snižuje úrodnost odnosem živin a organické složky a snižováním hloubky vrstvy využitelné kořenovým systémem rostlin. Dalším důsledkem vodní eroze je sedimentace odplavených půdních částic v nižších oblastech povodí a zanášení a eutrofizace toků. Přímým důsledkem pro zemědělce je pak snížení hodnoty půdy z důvodu ztráty její kvality a úrodnosti. Preventivní opatření omezující vodní erozi zemědělských půd by tak měla být prioritou nejen pro ekology a pracovníky státní správy, ale i pro zemědělce samotné. Způsob, kterým lze proti těmto negativním vlivům přívalových dešťů bojovat, je především důsledná aplikace vhodných protierozních opatření. Aby tato opatření byla účinná dle očekávání, musí být do hydrologických výpočtů podle ověřených metodik vkládána relevantní a spolehlivá vstupní data. Kromě co nejpřesnější znalosti posuzovaného povodí je také potřeba mít k dispozici data o úhrnech srážek a vhodným způsobem je zpracovat tak, aby co nejlépe charakterizovala danou lokalitu. O takové zpracování dlouhodobých srážkových řad se snažila tato disertační práce.

Na osmi klimatologických stanicích ČHMÚ byly provedeny kompletní statistické analýzy. V první fázi bylo ověřováno, zda je rozdíl mezi použitím tzv. technických řad, které byly upraveny homogenizací a kontrolou kvality dat a řad neupravených, naměřených srážkoměry. Zde bylo zjištěno, že záleží na konkrétní stanici a kvalitě jejího měření a rozdíly mohou být i poměrně zřetelné, například ve stanici Dačice bylo pozorováno zvýšení průměrného dlouhodobého srážkového úhrnu o 15 mm. Na poměrné rozložení dešťů do kategorií IPS nemělo použití homogenizovaných dat vliv. Při stanovení *N*-letých návrhových srážek se již tento vliv projevil, rozdíly se pohybovaly od 0,1 do 4,2 % na stanici a nejvýraznějším rozdílem u návrhových stoletých úhrnů bylo snížení odhadu srážky o 6,3 mm po provedení homogenizace.

Nejvíce srážkových úhrnů se vyskytuje v měsíci červnu, a to jak průměrných, tak těch extrémních (nad 10 mm, resp. nad 30 mm). Nejvyšší hodnoty srážkových průměrů i maxim vykazují dvě stanice položené nejzápadněji – Dačice a Kostelní Myslová. Nejnižší průměrné úhrny lze zaznamenat v trojúhelníku mezi stanicemi Brno Tuřany – Kuchařovice – Strážnice, tedy v nižších polohách jižní Moravy.

Byly sledovány i trendy ve výskytu srážkových úhrnů, zde stojí za zmínku především vzestupný trend úhrnů průměrných i extrémních v měsíci září. U ostatních měsíců či ročních hodnot jsou mezi stanicemi velké rozdíly. Zde je třeba upozornit na fakt, že v září již bývají zemědělské půdy odkryté po sklizni a hrozí tedy zvýšené riziko vodní eroze a zemědělci by měli být na tyto trendy v dotčených oblastech upozorněni.

Analýzou indexu předchozích srážek pro všechny deště přesahující svým úhrnem 30 mm vyplynulo, že průměrně 90 % těchto dešťů se realizovalo v podmínkách odpovídajících suché půdě, tedy IPS I.

Dále byly provedeny výpočty návrhových *N*-letých srážek pro studované stanice, a to z nejaktuálnějších dat (1961 – 2013). K tomu posloužily dvě metody, z nichž byla na každé stanici vybrána ta s lepší shodou modelu a vstupních dat. Součástí této analýzy bylo i porovnání výsledných návrhových hodnot s doporučenými a používanými odhady návrhových srážek dle publikace Šamaj et al. (1985). Byly zjištěny poměrně významné rozdíly (až 4 mm u dvouleté návrhové srážky a až 20 mm u stoleté návrhové srážky) a doporučeno používat vždy aktuální data získaná za pomoci důkladné statistické analýzy.

Objem přímého odtoku je veličinou spočtenou metodou CN křivek na základě vstupních dat o srážkových úhrnech a vlastnostech povodí. Konečným výstupem, který měl ověřit vliv aplikace návrhových dat získaných z různých zdrojů, byl tedy výpočet objemu přímého odtoku z modelového území a byl prokázán ve většině případů naprosto zásadní vliv této volby na výsledné hodnoty, který prokazuje opodstatněnost použití co nejpřesnějších metod a vstupních dat.

Problematické hodnocení vodní eroze v ČR byla v posledních letech věnována zvýšená pozornost a bylo učiněno několik zásadních výzkumů vedoucích k postupné aktualizaci metodik pro výpočet eroze a návrhy protierozních opatření. Faktor erozní účinnosti *R* byl pro Českou republiku revidován a upraven z hodnoty $20 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ na hodnotu $40 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{cm}\cdot\text{h}^{-1}$ (Janeček et al., 2012a). Významným přínosem k těmto aktivitám by měl být i výzkum regionálního rozložení *R* faktoru na území Brna, provedený v této práci. Ten je jedinečný svou velkou koncentrací srážkoměrných údajů na malé ploše a mohl tak prokázat neočekávaně vysokou prostorovou variabilitu v rozložení hodnot *R* faktoru, která naznačuje, že použití jednotné doporučené hodnoty *R* faktoru pro celou republiku není vhodné. Pozornost by tedy měla směřovat k postupné regionalizaci *R* faktoru a její zavedení do praxe.

7 SEZNAM LITERATURY

BLIŽŇÁK Vojtěch a Zbyněk SOKOL, 2008. Plošné rozložení krátkodobých srážek na území České republiky s využitím meteorologických radarů. *Meteorologické zprávy*. Praha: 61, 6: 176–184. ISSN 0026-1173.

BRÁDKA J., 1972: Srážky na území ČSSR při jednotlivých typech povětrnostních situací. *Sborník prací Hydrometeorologického ústavu v Praze*, 18, s. 8–62.

BRÁZDIL Rudolf, 1979. Vliv města Brna na srážkový režim brněnské oblasti. *Scripta Facultatis Scientiarum Naturalium Universitatis Purkynianae Brunensis*, Geographia, 9 (1), s. 9–20.

BRÁZDIL Rudolf, 1991. *Kolísání vybraných meteorologických prvků ve střední Evropě v období přístrojových pozorování*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 56 s. ISBN 80-900206-6-6.

BRÁZDIL Rudolf a Karel KIRCHNER, 2007. *Vybrané přírodní extrémy a jejich dopady na Moravě a ve Slezsku*. Brno: Masarykova univerzita, 431 s. ISBN 978-80-210-4173-8.

CASTILLO Enrique, 1988. *Extreme value theory in engineering*. Academic Press Series in Statistical Modeling and Decision Science, San Diego, CA. ISBN 0-12-163475-2.

CERDAN O., Y. LE BISSONNAIS, A. COUTURIER, H. BOURENNANE, a V. SOUCHÈRE, 2002. Rill erosion on cultivated hillslopes during two extreme rainfall events in Normandy, France. *Soil and Tillage Research*. 67: 99–108.

CHANGNON S.A., Jr, 1969. Recent studies of urban effects on precipitation in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 50, s. 411–421.

CONRAD Victor a Leo Wenzel POLLAK, 1950. *Methods in Climatology*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 459 s.

CULEK Martin, Vít GRULICH, Zdeněk LAŠTŮVKA a Jan DIVÍŠEK, 2013. *Biogeografické regiony České republiky*. Brno: MUNI press, 2013. 448 s. ISBN 978-80-210-6693-9.

DEMEK Jaromír et al., 2006. *Hory a nížiny. Zeměpisný lexikon ČR*. 2. vyd. Brno: AOPK ČR. 582 s. ISBN 80-86064-99-9.

- DIODATO Nazzareno, 2004. Estimating RUSLE's rainfall factor in the part of Italy with a Mediterranean rainfall regime. *Hydrology and Earth System Sciences*, 8: 1. 103-107.
- DOBROVOLNÝ Petr et al. 2012. *Klima Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu*. Masarykova univerzita, Brno, 200 s. ISBN 978-80-210-6029-6.
- DOLEŽELOVÁ Marie, 2012. Proměnlivost srážkových úhrnů v brněnské oblasti. *Meteorologické zprávy*. Praha, 65, 4: 97–111. ISSN 0026-1173.
- DOLEŽELOVÁ, Marie, 2013. *Srážkové poměry města Brna*. Disertační práce (nepubl.). Brno: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce prof. RNDr. Rudolf Brázdil, DrSc.
- DUB O. 1957. *Hydrológia, hydrografia, hydrometria*. Bratislava, SVTL. 484 s.
- DUMBROVSKÝ Miroslav, 2004. *Pozemkové úpravy*. Brno: CERM, 2004, 263 s. ISBN 80-214-2668-3.
- FREI Christoph, Huw C. DAVIES, Joachim GURTZ a Christoph SCHÄR, 2000. Climate dynamics and extreme precipitation and flood events in Central Europe. *Integrated Assessment*. Vol 1, No 4 (2000). ISSN 1389-5176.
- FRYČ Tomáš, 2009. Meteorologická a klimatologická automatizovaná staniční síť Českého hydrometeorologického ústavu. *Meteorologické zprávy*. Praha: 62, 10–12. ISSN 0026-1173.
- GAÁL Ladislav, Milan LAPIN a Pavol FAŠKO, 2004. Maximálne viacdenné úhrny zrážok na Slovensku. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed). *Extrémy počasí a podnebí*. Brno, 2004, ISBN 80-86690-12-1.
- HABR Vladimír, 2005. *Analýza dešťoměrných podkladů pro potřeby navrhování, posuzování a řízení systémů městského odvodnění*. Disertační práce (nepubl.). Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební. Vedoucí disertační práce Doc. Ing. Jan Mičín, CSc.
- HALÁSOVÁ Olga, Eugenie HANČAROVÁ a Ilona VAŠKOVÁ. 2007. Časová a prostorová variabilita vybraných klimatologických a hydrologických prvků na území Krkonoš za období 1961–2000. – In: Štursa J. a Knapík R. (eds). *Geoekologické problémy Krkonoš*. Sborn. Mez. Věd. Konf., říjen 2006, Svoboda n. Úpou. Opera Corcontica, 44/1: 171–178. ISBN 978-80-86418-00.

HELLEBRAND Radek, 2011. *Srážko-odtokové scénáře pro návrh městského odvodnění*. Disertační práce (nepubl.). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí disertační práce Ing. Petr Prax, Ph.D. 129 s.

HOLÝ Miloš et al., 1994. *Eroze a životní prostředí*. Praha: ČVUT. ISBN 80-01-01078-3.

HOSTÝNEK Jiří, Zdeněk LEPKA, Vladimír SOSNA, 1999. Zpracování N-letých ročních a měsíčních maxim denních úhrnů srážek v západních Čechách. *Meteorologické Zprávy*. Praha: 52: 73–77. ISSN 0026-1173.

HUDSON N.W. 1965. *The influence of rainfall on the mechanics of soil erosion with particular reference to Southern Rhodesia*. MSc Thesis, University of Cape Town.

JANEČEK Miloslav, Vlastimil PASÁK a Miloslav ŠABATA, 1983. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, 77 s.

JANEČEK Miloslav et al. 1992. *Ochrana půdy před erozí*. Praha: Metodika ÚVTIZ č. 5.

JANEČEK Miloslav, Eliška KUBÁTOVÁ, Martin TIPPL, 2006. Revised Determination of the Rainfall-Runoff Erosivity Factor R for Application of USLE in the Czech Republic. *Soil & Water Research*. 1, 2: 65–71. ISSN 1805-9384.

JANEČEK Miloslav et al., 2007. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Metodika. 1. vyd. Praha: VÚMOP. 76 s. ISBN 978-80-254-0973-2.

JANEČEK Miloslav et al., 2012a. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. Metodika. Praha: ČZU.

JANEČEK Miloslav, Vít KVĚTOŇ, Eliška KUBÁTOVÁ a Dominika KOBZOVÁ, 2012b. Differentiation and Regionalization of Rainfall Erosivity Factor Values in the Czech Republic. *Soil & Water Research*. 7, 1: 1–9. ISSN 1805-9384.

JENKINSON A. F., 1955. The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) values of meteorological elements. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 81, 348: 158 – 171.

KARL Thomas R. a Richard W. KNIGHT, 1998. Secular Trends of Precipitation Amount, Frequency, and Intensity in the United States. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 79,

231–241. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477\(1998\)079<0231:STOPAF.2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1998)079<0231:STOPAF.2.0.CO;2).

KNĚŽÍNKOVÁ Barbora, Rudolf BRÁZDIL a Petr ŠTĚPÁNEK, 2010. Porovnání měření srážek srážkoměrem Metra 886 a automatickým člunkovým srážkoměrem MR3H ve staniční síti Českého hydrometeorologického ústavu. *Meteorologické zprávy*, Praha: Český hydrometeorologický ústav, 63, 5: 147–155. ISSN 0026-1173.

KEMEL Miroslav, 1996. *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Vydavatelství ČVUT, Praha. ISBN 80-01-01456-8.

KOHNNOVÁ Silvia, Ladislav GAÁL, Ján SZOLGAY a Kamila HLAVČOVÁ, 2005. *Analýza maximálnych úhrnov zrážok v povodí horného Hrona*. Bratislava: Vydavateľstvo STU. 107 s. ISBN 80-227-2339-8.

KOTRNEC Josef, 1976. Vydátné deště a jejich hodnocení. *Vodní hospodářství*, 26, 2: 35–42.

KOVÁŘOVÁ Milena a Jan POKORNÝ, 2005. Hodnocení dlouhodobých dat teploty, vlhkosti vzduchu a srážek z Mokřých luk u Třeboně. *Meteorologické zprávy*. Praha, 58, 2: 51–60. ISSN 0026-1173.

KRŠKA Karel a Ferdinand ŠAMAJ, 2001. *Dějiny meteorologie v českých zemích a na Slovensku*. Praha: Karolinum, 563 s., ISBN 80-7184-951-0.

KUBÁTOVÁ Eliška, Miloslav JANEČEK a Dominika KOBZOVÁ, 2009. Time Variations of Rainfall Erosivity Factor in the Czech Republic. *Soil & Water Res.*, 4, 4: 131–141. ISSN 1805-9384.

KULASOVÁ, B., a kol. 1985. *Zpracování N-letých srážkových úhrnů*. ČHMÚ Praha.

KVĚTOŇ Vít, 2001. *Normální teploty vzduchu na území České republiky v období 1961-1990 a vybrané teplotní charakteristiky období 1961-2000*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 197 s. ISBN 8085813912.

KYSELÝ Jan, 2005. Odhad parametrů rozdělení extrémních hodnot metodou L momentů. *Meteorologické zprávy*. Praha, 58, 6: 161–167. ISSN 0026-1173.

KYSELÝ Jan a Jan Pícek, 2007. Regional growth curves and improved design value estimates of extreme precipitation events in the Czech Republic. *Climate Research*, 33: 243–255.

LANDSBERG H. E., 1981. *The Urban Climate* (Volume 28 in the International Geophysics Series). Academic Press, New York, 275 s.

LAPIN Milan a O. PRIADKA, 1987. Korekcie systematických chýb merania atmosférických zrážok. *Meteorologické zprávy*. Praha, 40, 1: 9–19. ISSN 0026-1173.

LITSCHMANN Tomáš a Jaroslav ROŽNOVSKÝ, 2010. Vyhodnocení intenzit srážek v letech 2008 a 2009 v Hodoníně a Břeclavi. In.: *Hydrologické podklady pro potřeby městského odvodnění*. Brno, 15. 6. 2010, ISBN 978-80-214-4096-8, s. 79–88.

MADERKOVÁ Lucia, 2011. *Výpočet charakteristik erózne účinných dažďov pre územie Slovenska*. Dizertační práce (nepubl.). Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva.

MADSEN H., P. F. RASMUSSEN a D. ROSBJERG, 1997. Comparison of Annual Maximum Series and Partialduration Series Methods for Modeling Extreme Hydrologic Events: 1. At-site Modeling. *Water resources Research* 33, 4: 747–746.

MELOUN Milan a Jiří MILITKÝ, 2004. *Statistická analýza experimentálních dat*. Praha: Academia. ISBN 80-200-1254-0.

MICHÁLEK Jaroslav, Rudolf BRÁZDIL a Marie BUDÍKOVÁ, 1993. *Metody odhadu trendu časové řady na příkladu středoevropských teplotních řad*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 53 s. ISBN 80-85813-01-7.

MILIANI Fausto, Giovanni RAVAZZANI a Marco MANCINI, 2011. Adaptation of Precipitation Index for the Estimation of Antecedent Moisture Condition in Large Mountainous Basins. *J. Hydrol. Eng.*, 16(3), 218–227.

MIKOŠ Matjaž, Darja JOŠT & Gregor PETKOVŠEK, 2006. Rainfall and runoff erosivity in the alpine climate of north Slovenia: a comparison of different estimation methods. *Hydrological Sciences Journal*, 51:1, 115-126, DOI: 10.1623/hysj.51.1.115.

MOLIBA Jacques C., Radan HUTH a Romana BERANOVÁ, 2006. Roční chod trendů klimatických prvků v České republice. *Meteorologické Zprávy*. 59 (5): 129–134. ISSN 0026-1173.

MORGAN Royston Philip Charles, 2005. *Soil erosion and conservation*. 3rd ed. Malden: Blackwell. 304 s. ISBN 1-4051-1781-8.

- NĚMEC Jan a Jan KOPP (eds.), 2009. *Vodstvo a podnebí v České republice v souvislosti se změnou klimatu*. Praha: Pro Ministerstvo zemědělství ČR vydal Consult, 255 s. ISBN 978-80-903482-7-1.
- NRCS (Natural Resources Conservation Service), 2004. *Chapter 10 – Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall*. Part 630 Hydrology, National Engineering Handbook. Washington, DC: Natural Resources Conservation Service.
- PODHRÁZSKÁ Jana, 2014. Degradace půdy erozí v podmínkách jižní Moravy. In: Rožnovský, J., Litschmann, T., Středa, T., Středová, H., (eds). *Extrémy oběhu vody v krajině*. Mikulov, 8. – 9. 4. 2014, ISBN 978-80-87577-30-1.
- PRAX Petr, Jaroslav ROŽNOVSKÝ, Radek HELLEBRAND a Petr ŠTĚPÁNEK, 2008. Změny hydrologických podmínek, vliv na návrh a provozování systémů městského odvodnění. In: *Optimalizace návrhu a provozu stokových sítí a ČOV*. Brno: Ardec, s. 85–93. ISBN 80-86020-59-2.
- PRAX Petr, Jaroslav ROŽNOVSKÝ a Milan PALÁT, 2010. *Měření, validace a analýza dlouhodobých dešťových řad v městské hydrologii*. Brno: VUTIUM [i.e. Vysoké učení technické], 108 s. ISBN 978-80-214-4131-6.
- QUITT Evžen, 1971. *Klimatické oblasti Československa*. Brno: Geografický ústav ČSAV. *Studia geographica*, 16.
- RODNÝ Marek, Lucia MADERKOVÁ, Milan ONDERKA, Peter ŠURDA, 2010. Rainfall kinetic energy, erosivity, and their possible impact on soil resilience in ten growing periods. In *Növénytermelés*, 2010, vol. 59, supplement, p. 97–100. ISSN 0546-8191.
- ROŽNOVSKÝ Jaroslav a Vladimír HAVLÍČEK. 1998. *Bioklimatologie*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 155 s. ISBN 80-7157-291-8.
- SEVRUK, Boris a Heinz GEIGER, 1981. Selection of Distribution Types for Extremes of Precipitation. *Operational Hydrology*, Report No. 15 (WMO – No. 560), World Meteorological Organization, Geneva, 64 s. ISBN 978-92-631-0560-8.
- SEVRUK Boris (ed.), 1985. Correction of Precipitation Measurements. *Zürcher Geographische Schriften*, 23. 288 s.

SHAKIR Ali, N.C. GHOSH a Ranvir SINGH, 2010. Rainfall–runoff simulation using a normalized antecedent precipitation index. *Hydrological Sciences Journal*. 55, 2: 266 – 274. DOI:10.1080/02626660903546175.

SHEPHERD J. M., 2005. A Review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future. *Earth Interactions*, 9, s. 1–27.

SCHÖNWIESE C.D., J. GRIESER, a S. TRÖMEL, 2003. Secular change of extreme monthly precipitation in Europe. *Theoretical and Applied Climatology*. 75: 245-250. Online ISSN 1434-4483. DOI 10.1007/s00704-003-0728-6.

SMOLÍK Ladislav a Vladimír STRUŽKA, 1959. *Inženýrská meteorologie a klimatologie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury.

STŘEDOVÁ Hana, Petr ŠTĚPÁNEK, Ivan NOVOTNÝ a Josef KRÁSA, 2014. Stanovení R faktoru na jižní Moravě. In: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T., STŘEDA, T., STŘEDOVÁ, H. *Extrémy oběhu vody v krajině*. Praha: ČHMÚ. ISBN 978-80-87577-30-1.

SUPPIAH Ramasamy a Kevin J. HENNESSY, 1998. Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910–1990. *Int. J. Climatol.*, 18: 1141–1164. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0088(199808)18:10<1141::AID-JOC286>3.0.CO;2-P

ŠAMAJ Ferdinand a Šimon VALOVIČ, 1973. Intenzita krátkodobých dažd'ov na Slovensku. *Zborník prác HMÚ*. Bratislava: HMÚ, 5. 93 s.

ŠAMAJ Ferdinand, Šimon VALOVIČ, Rudolf BRÁZDIL, 1983. Extrémne denné úhrny atmosferických zrážok v ČSSR. *Meteorologické zprávy*. Praha, 36, 1: 14–21. ISSN 0026-1173.

ŠAMAJ Ferdinand, Šimon VALOVIČ a Rudolf BRÁZDIL, 1984. Klimatické zmeny ročných a mesačných úhrnov zrážok v ČSSR v období 1881–1980. *Práce a štúdie*. Bratislava: SHMÚ, 33: 17–31.

ŠAMAJ Ferdinand, Šimon VALOVIČ a Rudolf BRÁZDIL, 1985. Denné úhrny zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901–1980. *Zborník prác SHMÚ Bratislava*, 24: 9–112.

ŠAMAJ Ferdinand, Šimon VALOVIČ, Rudolf BRÁZDIL a Věra GULČÍKOVÁ, 1982. Maximálne denné úhrny atmosferických zrážok v ČSSR. *Meteorologické zprávy*. Praha, 35, 5: 129–135. ISSN 0026-1173.

ŠTEKL Josef, Rudolf BRÁZDIL, Vilibald KAKOS, Jaroslav JEŽ, Radim TOLASZ a Zbyněk SOKOL 2001. *Extrémní denní srážkové úhrny na území ČR v období 1879-2000 a jejich synoptické příčiny*. Národní klimatický program České republiky, sv. 31, Praha, 140 s.

ŠTĚPÁNEK Petr, 2006. *Variabilita teploty vzduchu na území České republiky v období přístrojových měření*. Disertační práce (nepubl.). Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta.

ŠTĚPÁNEK Petr, 2010a. *AnClim – software for time series analysis*. Brno: Department of Geography, Faculty of Natural Sciences, MU, 1,47 MB. Dostupné z: <http://www.climahom.eu/AnClim.html>.

ŠTĚPÁNEK Petr, 2010b. *ProClimDB – software for processing climatological datasets*. CHMI, regional office Brno. Dostupné z: <http://www.climahom.eu/ProcData.html>.

ŠTĚPÁNEK Petr, Pavel ZAHRADNÍČEK, Rudolf BRÁZDIL a Radim TOLASZ, 2011a. *Metodologie kontroly a homogenizace časových řad v klimatologii*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 118 s. ISBN 978-808-6690-971.

ŠTĚPÁNEK Petr, Pavel ZAHRADNÍČEK a Radan HUTH, 2011b. Interpolation techniques used for data quality control and calculation of technical series: an example of Central European daily time series. *Időjárás*. 115, 1–2: 87–98.

ŠTĚPÁNEK Petr, Pavel ZAHRADNÍČEK a Aleš FARDA, 2013. Experiences with data quality control and homogenization of daily records of various meteorological elements in the Czech Republic in the period 1961–2010. *Időjárás*. 117: 123–141.

ŠURDA Peter a Jaroslav ANTAL, 2006. Stanovenie erozivity dažďa na základe dažďových charakteristik. In: LAPIN, M. A F. MATEJKA. *Bioclimatology and Water In The Land*. Strečno: FMFI, Comenius University Bratislava, s. 88. ISBN 80-89186-12-2.

TOLASZ Radim (ed.), 2007. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

TOMAN František. 1994. Možný dopad očekávaných klimatických změn na erozní ohrožení půd. In ROŽNOVSKÝ, J. – LITSCHMANN, T. (ed.) *Klimatická změna a zemědělství*. Sborník referátů, Brno. s. 50–52.

TOMAN František, 1997. Seasonality and the trend of the occurrence of higher precipitation sums with regard to their erosion effects. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae Mendeliana Brunensis*, Brno, 1997, roč. XLV, č. 1, s. 57–64. ISSN 1211-8516.

TOMAN František. 1996. Vliv četnosti výskytu vyšších denních srážkových úhrnů na vodní erozi. *Rostlinná výroba*, 42, 8: 371–373. ISSN 0370-663X.

TOMAN František, 1999. Vliv indexu předchozích srážek na stanovení potenciální retence povodí. *Acta universitatis agriculturae et silviculturae Mendeliana Brunensis*. Brno, 47, 5: 7–12. ISSN 1211-8516.

TOMAN František a Iva VOLFOVÁ, 1988. Sezonality výskytu erozně nebezpečných dešťů. *Meliorace*, sborník ÚVTIZ. Praha: 24, 1: 29–34.

TOMAN František a Jaroslav ROŽNOVSKÝ, 1995. Trend výskytu vyšších srážkových úhrnů z hlediska jejich erozní účinnosti. *Rostlinná výroba*, 41, 10: 481–484. ISSN 0370-663X.

TRÖMEL S. a C.-D. SCHÖNWIESE, 2007. Probability chase of extreme precipitation observed from 1901 to 2000 in Germany. *Theoretical and Applied Climatology*. 87: 29–39. Online ISSN 1434-4483. DOI 10.1007/s00704-005-0230-4.

TRUPL Josef, 1958. *Intensity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy*. Praha-Podbaba: Výzkumný ústav vodohospodářský. Práce a studie, 97.

USDA-SCS, 1985. *National Engineering Handbook, Section 4 - Hydrology*. Washington, D.C.: USDA-SCS.

VAN DIJK A.I.J.M., L.A. BRUIJNZEEL a C.J. ROSEWELL, 2002. Rainfall intensity – kinetic energy relationships: a critical literature review. *Journal of Hydrology*. 261: 1–23.

VENEMA V. K. C. et al., 2012. Benchmarking monthly homogenization algorithms. *Clim. Past*. 8, 89–115. Dostupné z: www.clim-past.net/8/89/2012/ doi:10.5194/cp-8-89-2012

VESECKÝ Antonín, (ed.), 1961. *Podnebí Československé socialistické republiky: tabulky*. Praha: Hydrometeorologický ústav, 379 s.

WISCHMEIER W. H. a D. E. SMITH, 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington DC: *USDA-ARS Agriculture Handbook* N° 537. 58 p.

ZAHRADNÍČEK Pavel, Dubravka RASOL, Ksenija CINDRIČ a Petr ŠTĚPÁNEK, 2014. Homogenisation of monthly precipitation time series in Croatia. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.3934

ZANCHI C. a D. TORRI, 1980. Evaluation of rainfall energy in central Italy. In DE BOODT, M. a D. GABRIELS, (eds). *Assessment of erosion*. Wiley, London: 133–42.

Internetové zdroje:

HOME, 2014. *Homepage of the COST Action ES0601 – Advances in Homogenisation Methods of Climate Series: an Integrated Approach (HOME)* [online]. ACTION COST-ES0601, 2014 [cit. 2014-06-06]. Dostupné z: <http://www.homogenisation.org>

STŘÍŽ Martin, 2011. *Meteorologické stanice ČHMÚ*. Český hydrometeorologický ústav [online]. ČHMÚ, 18.06.2012 [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html

STATSOFT, Inc. 2013. *STATISTICA Cz* (data analysis software system), version 12 [online]. STATSOFT, Inc. [cit. 2013-10-25]. Dostupné z: www.statsoft.cz

VÚMOP, v.v.i., 2013. *Geoportál SOWAC-GIS* [online]. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i. [cit. 2014-05-25]. Dostupné z: <http://www.sowac-gis.cz>

Jiné zdroje:

ČHMÚ, 2014. Emailová korespondence s pracovníci Českého hydrometeorologického ústavu (duben 2014).

ČSN 75 1400 „Hydrologické údaje povrchových vod“

ESRI, 2014. *ArcGIS ArcMap 10.2.2*. Copyright © 1995–2014 Esri.

8 SEZNAM ZKRATEK

AMS	Automatizovaná meteorologická stanice
AMS	Annual Maximum Series (řada ročních maximálních hodnot)
AKS	Automatizovaná klimatologická stanice
AMC	Antecedent Soil Moisture Condition
ARC	Antecedent Runoff Condition
ASS	Automatizovaná srážkoměrná stanice
BPEJ	Bonitované půdně-ekologické jednotky
BTUR	Stanice Brno-Tuřany
BVK	Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.
C	Cyklona nad střední Evropou
CN	Curve Number (číslo odtokové křivky)
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
DACI	Stanice Dačice
END	Erozně nebezpečný déšť
GEV	Generalized Extreme Value (statistické rozdělení)
GLO	Generalized Logistic Distribution (statistické rozdělení).
HMG	Soubor srážkoměrných dat upravených homogenizací a kontrolou kvality dat
HOLE	Stanice Holešov
IPS	Index předchozích srážek
KMYS	Stanice Kostelní Myslová
KUCH	Stanice Kuchařovice
MSS	Manuální srážkoměrná stanice
MŠ	Mateřská škola
NAMO	Stanice Náměšť nad Oslavou
NWC	Severozápadní cyklonální situace (North West cyklon)
NEHMG	Původní měřená srážkoměrná data bez úprav
PDS	Partial Duration Series (řada prahových hodnot)
POT	Peakover-threshold (řada prahových hodnot)
PMP	Probable Maximum Precipitation (pravděpodobná maximální srážka)
STRZ	Stanice Strážnice
USLE	Universal Soil Loss Equation (univerzální rovnice ztráty půdy)

VDJ	Vodojem
VMEZ	Stanice Velké Meziříčí
WMO	World Meteorological Organization (Světová meteorologická organizace)
ZŠ	Základní škola

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Klasifikace dešťů podle jejich intenzity (Rožnovský, Havlíček, 1998)	10
Tab. 2 Klasifikace významu měsíců z hlediska extremity srážek (Kemel, 1996)	12
Tab. 3 Trendy změn územních srážkových úhrnů pro Česko od roku 1961 (v % normálu za 10 let) dle Němce a Koppa (2009)	19
Tab. 4 Modelové změny srážkových úhrnů pro rok 2030 (v % normálu 1961 – 1990) dle Němce a Koppa (2009)	20
Tab. 5 Popisné údaje klimatologické stanice Brno Tuřany	37
Tab. 6 Popisné údaje srážkoměrné stanice Dačice	38
Tab. 7 Popisné údaje klimatologické stanice Holešov	40
Tab. 8 Popisné údaje klimatologické stanice Kostelní Myslová	41
Tab. 9 Popisné údaje klimatologické stanice Kuchařovice	42
Tab. 10 Popisné údaje srážkoměrné stanice Náměšť nad Oslavou	43
Tab. 11 Popisné údaje klimatologické stanice Strážnice	44
Tab. 12 Popisné údaje klimatologické stanice Velké Meziříčí	45
Tab. 13 Použité stanice srážkoměrné sítě BVK, a.s.	47
Tab. 14 Přehled období se zpracovanými statistickými charakteristikami	51
Tab. 15 Hraniční hodnoty indexu předchozích srážek (IPS) podle celkového úhrnu v 5 dnech před hodnocenou srážkou – pro vegetační období (VO) a zimní období (ZO) dle USDA-SCS (1985)	53
Tab. 16 Přehled chybějících údajů v měřených datech	59
Tab. 17 Základní statistické charakteristiky souborů srážkoměrných dat před (NEHMG) a po (HMG) kontrole a homogenizaci dat za období 1961 – 2013	60
Tab. 18 Počty změn u denních úhrnů srážek po provedení homogenizace a kontroly dat za období 1961 – 2013	61
Tab. 19 Změny ≥ 5 mm po provedení homogenizace a kontroly dat	62
Tab. 20 Relativní četnosti detekovaných změn dle kategorií	64
Tab. 21 Průměrný podíl dní beze srážek [%] v roce podle stanic	67
Tab. 22 Hodnoty lineárního trendu stanic pro roční sumy srážek za období 1961 – 2013	67
Tab. 23 Základní statistické charakteristiky stanic pro denní úhrny srážek a pro roční sumy srážek (1961 – 2013)	68
Tab. 24 Rozložení průměrných měsíčních srážkových úhrnů (1961 – 2013)	69

Tab. 25 Průměrné roční úhrny srážek v uvedených periodách (mm).....	72
Tab. 26 Statisticky významné trendy měsíčních sum srážek v dekadách podle stanic ..	74
Tab. 27 Absolutní maxima srážek pro stanice v období 1961 - 2013	76
Tab. 28 Statisticky významné trendy měsíčních a ročních 1denních maxim srážek v období 1961 – 2013 podle stanic	78
Tab. 29 Trend počtu dní ≥ 10 mm v měsících pro období 1961 – 2013.....	79
Tab. 30 Charakteristiky četností dnů se srážkami ≥ 10 mm a ≥ 30 mm.....	82
Tab. 31 Průměrné rozdělení dešťů s úhrnem ≥ 30 mm v měsících VO na studovaných stanicích	85
Tab. 32 Počet dešťů s vydatností nad 30 mm dle jednotlivých IPS	85
Tab. 33 Procento dešťů s vydatností nad 30 mm dle jednotlivých IPS	86
Tab. 34 Potenciální retence povodí - příklad čerstvě zkyprěného úhoru na půdě se střední rychlostí infiltrace (B).....	87
Tab. 35 Vztah doby opakování a pravděpodobnosti překročení	93
Tab. 36 Návrhové N-leté srážky – porovnání výsledků dle použitých metod a s údaji Šamaje et al. (1985)	95
Tab. 37 Objem přímého odtoku pro varianty návrhových dvouletých a stoletých srážek	98
Tab. 38 Doby opakování jednodenní návrhové srážky o úhrnu nad 80 mm (v rocích)	101
Tab. 39 Charakteristiky erozně nebezpečných dešťů (END) na sledovaných stanicích (2003 – 2012).....	105
Tab. 40 Klasifikace dešťů dle Trupla (1958) pro stanici Brno, extrapolace dle Hellebranda (2011)	106
Tab. 41 Hodnoty faktoru erozní účinnosti deště R a souvisejících veličin na sledovaných stanicích (2003 – 2012).....	107
Tab. 42 Průměrné rozdělení R faktoru do měsíců VO pro ČR (dle Kubátové et al., 2009) a pro Brno	108

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Závislost intenzity deště na době trvání	11
Obr. 2 Člunkový srážkoměr.....	13
Obr. 3 Schéma postupu při kontrole kvality dat a homogenizaci (Štěpánek et al., 2011a)	35
Obr. 4 Mapa rozmístění použitých stanic	36
Obr. 5 Klimatologická stanice Brno Tuřany.....	38
Obr. 6 Srážkoměrná stanice v Dačicích.....	39
Obr. 7 Klimatologická stanice v Holešově	39
Obr. 8 Klimatologická stanice Kostelní Myslová.....	41
Obr. 9 Klimatologická stanice Kuchařovice.....	42
Obr. 10 Klimatologická stanice Strážnice	44
Obr. 11 Klimatologická stanice Velké Meziříčí	46
Obr. 12 Člunkový srážkoměr používaný v síti BVK, a.s.	46
Obr. 13 Srážkoměrná stanice 09EL	48
Obr. 14 Srážkoměrná stanice 13MO.....	48
Obr. 15 Schéma rozmístění použitých srážkoměrných stanic sítě BVK, a.s.....	48
Obr. 16 Porovnání průměrných ročních úhrnů srážek (1961-2013) ve stanicích pro data naměřená (NEHMG) a upravená (HMG)	63
Obr. 17 Krabicové grafy denních srážkových úhrnů (1961 – 2013) podle stanic	66
Obr. 18 Odchytky ročních sum srážek (mm) od průměrného ročního úhrnu celého období (1961 – 2013) – stanice Kostelní Myslová	71
Obr. 19 Průměrné roční úhrny srážek v uvedených periodách (mm).....	73
Obr. 20 Vývoj průměrných srážkových úhrnů měsíce září v dekáдах (mm)	74
Obr. 21 Histogram četností ročních maxim jednodenního deště doplněný křivkou kumulativní četnosti (%).....	77
Obr. 22 Průměrná roční maxima srážek v uvedených periodách	78
Obr. 23 Četnost srážek ≥ 10 mm v měsíci září ve stanici Kuchařovice (1961 – 2013)..	79
Obr. 24 Mapa stanic se srážkovými charakteristikami	81
Obr. 25 Q-Q graf porovnání shody teoretického modelu a empirických hodnot denních maxim studovaných stanic: pro GEV rozdělení (GEV), pro Gumbelovo rozdělení (GUMBEL).....	91

Obr. 26 Srovnání výše dvouleté návrhové srážky vypočtené 2 metodami a dle Šamaje et al. (1985).....	92
Obr. 27 Srovnání výše stoleté návrhové srážky vypočtené 2 metodami a dle Šamaje et al. (1985).....	92
Obr. 28 Křivky překročení maximálních denních úhrnů dle GEV rozdělení pro všechny stanice	94
Obr. 29 Rozložení počtu ročních maxim dešťů dané délky trvání dle měsíců VO (2003 – 2012) – souhrnně pro všech 14 stanic BVK, a.s.	102
Obr. 30 Porovnání maximálních 30minutových srážek v letech u dvou stanic – 01RE a 14KR.....	103
Obr. 31 Souvislost průměrné roční maximální 30minutové srážky s hodnotou R faktoru podle stanic	104
Obr. 32 Porovnání původního a upraveného R faktoru na stanicích (2003 – 2012)	108
Obr. 33 Srovnání R faktorů v jednotlivých letech u dvou stanic – 01RE a 14KR	109
Obr. 34 Schéma rozmístění R faktoru v Brně podle stanic	110

11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Kompletní seznam použitých stanic s údaji o umístění, dobách měření a použitých srážkoměrech

Příloha 2 Rozmístění použitých klimatologických stanic

Příloha 3 Seznam stanic použitých v publikaci Šamaj et al. (1985)

Příloha 4 Seznam a umístění stanic měřících v letech 1901 - 1950 (Vesecký, 1961)

Příloha 5 Průměrný úhrn srážek (mm) za období 1901 - 1950

Příloha 6 Nejvyšší úhrn srážek (mm) a rok jeho výskytu za období 1901 - 1950

Příloha 7 Nejvyšší denní úhrn srážek (mm)

Příloha 8 Průměrný počet dnů se srážkami 0,1 mm nebo více za období 1901 – 1950

Příloha 9 Průměrný počet dnů se srážkami 1,0 mm nebo více za období 1901 – 1950

Příloha 10 Průměrný počet dnů se srážkami 10,0 mm nebo více za období 1901 – 1950

Příloha 11 Hodnoty maximálních denních úhrnů srážek (mm) s pravděpodobností opakování za N let podle Gumbelovy statistiky extrémů (Šamaj et al., 1985)

Příloha 12 Krabicové grafy denních srážkových úhrnů (1961 – 2013) podle stanic

Příloha 13 Kolísání srážkových úhrnů (mm) v jednotlivých letech kolem dlouhodobého průměru (1961 – 2013)

Příloha 14 Výčet dešťů přesahujících 30 mm ve stanici Brno Tuřany a zařazení do kategorie IPS dle výše srážek v předešlých 5 dnech

Příloha 15 Porovnání křivek překročení pro Gumbelovo a GEV rozdělení podle stanic

Příloha 16 Parametry rovnice a p-hodnota testovaných rozdělení

12 PŘÍLOHY

Příloha 1 Kompletní seznam použitých stanic s údaji o umístění, dobách měření a použitých srážkoměrech

ID	Začátek období	Konec období	Název stanice	Poznámka	Okres	Nadm. výška (m)	Zem. šířka (s.š.)	Zem. délka (v.d.)	Přístroj k měření srážek
B2BTUR01	14.4.1958	31.12.1996	Brno	letišťe	Brno-město	241,00	49,1597	16,6956	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	1.1.1997	současnost	Brno	letišťe	Brno-město	241,00	49,1531	16,6889	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
B2DACI01	1.7.1959	31.12.1969	Dačice	Tyršova 59	Jindřichův Hradec	495,00	49,0839	15,4331	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	1.1.1970	31.8.1986	Dačice	Bezručova 173	Jindřichův Hradec	480,00	49,0847	15,4331	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	1.11.1986	současnost	Dačice	Hradištko 25	Jindřichův Hradec	486,00	49,0831	15,4344	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
B1HOLE01	1.4.1953	24.9.1996	Holešov	letišťe. Stěhování z Otrokovic do Holešova 2.4.1953	Kroměříž	223,60	49,3186	17,5733	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	25.9.1996	18.6.2009	Holešov	letišťe	Kroměříž	223,60	49,3186	17,5733	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
	19.6.2009	30.6.2009	Holešov	přemístěno na nový pozemek 300 m na SZ	Kroměříž	222,30	49,3206	17,5697	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
	1.7.2009	současnost	Holešov		Kroměříž	222,25	49,3206	17,5700	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
B2KMYS01	1.9.1950	31.12.1998	Kostelní Myslová	vrch Buzový	Jihlava	569,00	49,1592	15,4389	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	1.1.1999	současnost	Kostelní Myslová	vrch Buzový	Jihlava	569,00	49,1592	15,4392	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis

Příloha 1 - pokračování

ID	Začátek období	Konec období	Název stanice	Poznámka	Okres	Nadm. výška (m)	Zem. šířka (s.š.)	Zem. délka (v.d.)	Přístroj k měření srážek
B2KUCH01	1.5.1952	31.12.1998	Kuchařovice		Znojmo	334,00	48,8825	16,0864	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	1.1.1999	současnost	Kuchařovice		Znojmo	334,00	48,8811	16,0853	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
B2NAMOO1	1.12.1953	30.9.1980	Náměšť nad Oslavou	č. 462	Třebíč	387,00	49,2103	16,1436	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	1.5.1981	31.12.1990	Náměšť nad Oslavou		Třebíč	395,00	49,2033	16,1564	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	1.2.1991	31.3.2007	Náměšť nad Oslavou		Třebíč	415,00	49,2039	16,1478	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	1.7.2007	současnost	Náměšť nad Oslavou		Třebíč	390,00	49,2167	16,1500	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
B1STRZ01	1.5.1945	31.12.1978	Strážnice	Malý Lán 950, školka JZD	Hodonín	176,00	48,8992	17,3381	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	20.4.1979	30.11.1982	Strážnice	Družstevní 1340	Hodonín	187,00	48,8925	17,3131	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	1.12.1982	9.6.1999	Strážnice	Malý Lán 950, soukromý dům	Hodonín	176,00	48,8992	17,3381	srážkoměr, Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	10.6.1999	současnost	Strážnice	Malý Lán 950	Hodonín	176,00	48,8992	17,3381	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis
B2VMEZ01	28.5.1946	28.9.1999	Velké Meziříčí	Nádražní ul. 18/130	Žďár nad Sázavou	452,00	49,3528	16,0086	srážkoměr Helmannův, záchytná plocha 500 cm ²
	29.9.1999	současnost	Velké Meziříčí	Nádražní ul. 18/130	Žďár nad Sázavou	452,00	49,3528	16,0086	srážkoměr automatický, typ MR 3H, výrobce Meteoservis

Příloha 2 Rozmístění použitých klimatologických stanic

Vysvětlivky: AKS – automatizovaná klimatologická stanice, AMS – automatizovaná meteorologická stanice, MSS – manuální srážkoměrná stanice

Podklad: Reliéf ČR a hranice krajů ČR (<http://geoportal.gov.cz/>), zpracováno v programu ESRI ArcGIS ArcMap 10.2.2 (ESRI, 2014)



Příloha 3 Seznam stanic použitých v publikaci Šamaj et al. (1985)

	Nadmořská výška [m]	Zem. šířka	Zem. délka	Počet let měření	Abs. max.	Datum výskytu
Brno - Husovice	276	49°10'	16° 35'	51	96,2	1.8.1934
Dačice	471	49°05'	15°26'	69	69,5	8.7.1914
Holešov	231	49°19'	17°34'	79	89,8	12.6.1943
Náměšť nad Oslavou	412	49°13'	16°10'	69	80,6	23.7.1925
Strážnice	175	48°54'	17°20'	66	95,6	2.7.1954
Telč	527	49°11'	15°27'	79	67,3	6.8.1968
Velké Meziříčí	452	49°21'	16°01'	79	76,6	27.10.1930
Znojmo	306	48°52'	16°02'	60	111,0	23.7.1914

Příloha 4 Seznam a umístění stanic měřících v letech 1901 - 1950 (Vesecký, 1961)

	Nadmořská výška [m]	Zem. šířka	Zem. délka
Brno, Bohunice	225	49°10'	16° 35'
Brno, Komárov	200	49°10'	16°38'
Brno, Královo Pole	221	49°14'	16°36'
Brno, Pisárky	204	49°,12'	16°34'
Dačice	495	49°05'	15°26'
Holešov	234	49°20'	17°35'
Náměšť nad Oslavou	412	49°13'	16°10'
Strážnice	175	48°54'	17°20'
Telč	527	49°11'	15°27'
Velké Meziříčí	425	49°21'	16°01'
Znojmo	306	48°52'	16°03'

Příloha 5 Průměrný úhrn srážek (mm) za období 1901 - 1950 (Vesecký, 1961)

(Vysvětlivky: tučně označen měsíc s nejvyšším úhrnem)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	IV-IX
Brno, Bohunice	28	25	28	34	57	69	72	60	43	46	40	35	537	335
Brno, Komárov	25	22	23	32	54	68	71	62	41	42	38	31	509	328
Brno, Kr. Pole	25	23	25	34	52	74	75	61	42	43	40	37	531	338
Brno, Pisárky	27	24	27	37	57	70	77	63	42	46	41	36	547	346
Dačice	36	34	29	45	58	69	80	66	46	46	38	38	585	364
Holešov	32	28	35	47	69	85	89	89	63	61	51	41	690	442
Náměšť n.O.	33	33	33	44	54	78	83	66	43	45	41	41	594	368
Strážnice	30	26	32	41	63	65	85	75	51	51	43	35	597	380
Telč	42	38	30	45	61	71	84	69	46	47	42	42	617	376
Velké Meziříčí	39	35	34	45	58	71	79	70	49	50	45	42	617	372
Znojmo	30	30	27	40	62	73	72	69	42	43	39	37	564	358

Příloha 6 Nejvyšší úhrn srážek (mm) a rok jeho výskytu za období 1901 - 1950 (Vesecký, 1961)

(Vysvětlivky: tučně označen měsíc s nejvyšším úhrnem)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	IV-IX
Brno, Pisárky	75	57	78	76	166	158	185	148	133	130	108	89	796	471
	1948	1947	1909	1942	1911	1915	1927	1938	1910	1944	1910	1920	1910	1925
Dačice	79	113	67	97	144	170	179	215	(140)	138	86	74	950	658
	1923	1946	1915	1941	1949	1939	1939	1938	1906	1935	1903	1930	1939	1939
Holešov	81	87	117	109	177	193	172	204	180	178	117	92	996	639
	1948	1904	1937	1903	1940	1926	1907	1931	1910	1930	1903	1937	1939	1912
Telč	83	130	86	99	145	168	171	155	128	130	97	100	907	590
	1948	1909	1915	1941	1925	1926	1914	1931	1906	1935	1910	1902	1939	1939
Velké Meziříčí	85	82	103	94	156	198	146	238	124	172	129	88	939	674
	1915	1935	1906	1904	1910	1926	1914	1938	1910	1930	1903	1902	1910	1910
Znojmo	91	89	72	117	181	218	197	309	137	123	104	85	1028	758
	1941	1941	1941	1941	1910	1910	1914	1938	1937	1944	1910	1930	1910	1910

Příloha 7 Nejvyšší denní úhrn srážek (mm) (Vesecký, 1961)

(Vysvětlivky: tučně označen měsíc s nejvyšším úhrnem)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Datum abs.max.	Období
Brno, Pisárky	26,0	20,0	32,2	29,1	58,0	95,0	65,0	90,3	49,0	40,7	33,9	37,5	29.6.1915	1901-1950
Dačice	22,0	24,0	24,0	47,5	47,0	50,6	58,9	57,8	65,9	53,8	30,2	32,4	9.9.1949	1901-1906 1909-1950
Holešov	33,0	32,9	29,9	42,0	54,5	89,8	58,3	62,2	57,6	62,8	41,4	32,4	12.6.1943	1901-1950
Telč	30,3	42,8	26,0	34,0	67,3	59,0	61,5	56,0	64,5	32,5	29,5	32,1	21.5.1944	1901-1945 1947-1950
Velké Meziříčí	24,5	22,6	38,8	25,2	47,2	68,0	54,2	62,5	51,0	76,0	28,7	21,4	27.10.1930	1901-1950
Znojmo	22,8	40,0	48,0	45,9	42,6	73,1	76,0	71,8	44,0	32,0	35,8	40,6	23.7.1914	1902-1904 1906-1915 1921-1950

Příloha 8 Průměrný počet dnů se srážkami 0,1 mm nebo více za období 1901 – 1950 (Vesecký, 1961)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	IV-IX
Brno, Pisárky	12,2	10,9	10,2	11,7	12,6	12,7	12,8	12,0	10,0	12,2	13,0	14,5	144,8	71,8
Holešov	13,1	11,5	11,0	12,1	12,8	13,5	13,1	12,8	10,6	12,0	13,1	13,9	149,5	74,9
Náměšť n.O.	13,3	11,3	10,4	12,7	12,1	12,3	12,5	11,8	9,9	10,5	12,9	15,4	145,1	71,3
Strážnice	11,1	9,7	9,4	11,0	11,1	12,0	12,1	11,6	9,4	10,4	10,9	11,7	130,4	67,2
Telč	13,6	13,0	11,2	13,2	13,1	12,8	14,0	13,4	10,8	12,0	13,0	14,9	155,0	77,3
Velké Meziříčí	14,8	13,1	12,2	13,5	12,9	12,7	14,0	12,8	11,1	12,4	14,4	15,2	159,1	77,0
Znojmo	10,6	9,5	9,4	11,1	11,4	12,1	12,2	11,2	9,2	10,0	11,0	12,1	129,8	67,2

Příloha 9 Průměrný počet dnů se srážkami 1,0 mm nebo více za období 1901 – 1950 (Vesecký, 1961)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	IV-IX
Brno, Pisárky	6,9	5,8	5,7	7,7	8,5	8,8	9,2	8,3	7,0	7,4	7,6	7,8	90,7	49,5
Holešov	7,8	6,7	6,8	8,6	9,5	10,0	10,3	10,0	7,6	8,3	8,7	9,0	103,3	56,0
Náměšť n.O.	7,5	7,0	6,8	8,3	8,4	8,5	9,4	8,8	6,9	7,4	7,6	9,9	96,5	50,3
Strážnice	7,2	6,5	6,1	7,8	8,4	8,9	9,3	8,9	7,2	7,3	7,4	7,7	92,7	50,5
Telč	9,2	8,5	7,7	9,1	9,5	9,8	10,4	10,1	7,7	7,9	8,2	9,7	107,8	56,6
Velké Meziříčí	9,1	8,0	7,3	9,3	9,2	9,1	10,1	9,7	7,8	8,1	8,5	9,4	105,6	55,2
Znojmo	6,7	6,4	5,8	7,5	8,8	9,4	9,2	8,4	6,7	7,0	7,6	7,6	91,1	50,0

Příloha 10 Průměrný počet dnů se srážkami 10,0 mm nebo více za období 1901 – 1950 (Vesecký, 1961)

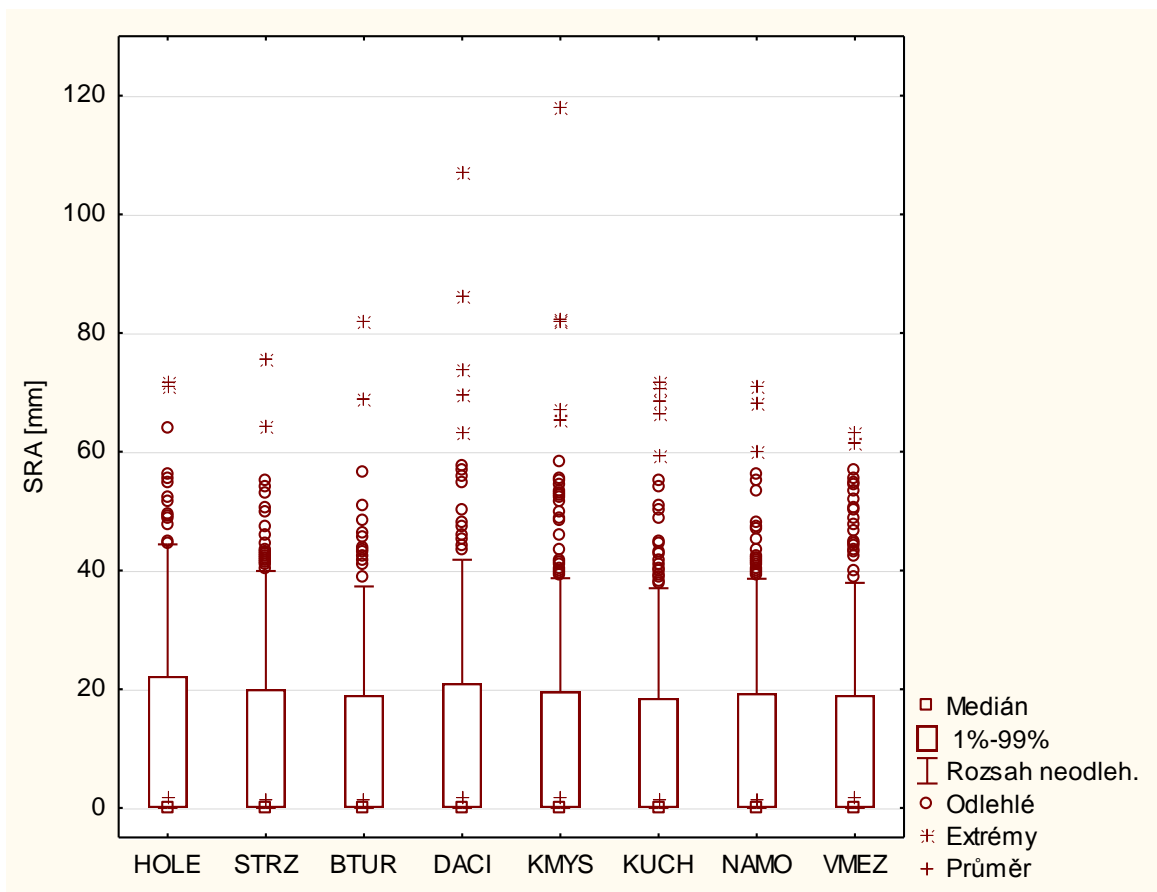
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok	IV-IX
Brno, Pisárky	0,2	0,3	0,6	0,9	1,6	2,1	2,5	1,8	1,1	1,3	1,1	0,6	14,1	10,0
Holešov	0,4	0,4	0,8	1,1	2,0	2,8	2,8	3,0	1,9	1,8	1,3	0,8	19,1	13,6
Náměšť n.O.	0,4	0,5	0,5	0,9	1,5	2,7	2,1	2,0	1,3	1,1	1,3	0,7	15,0	10,5
Strážnice	0,6	0,4	0,7	0,9	1,9	2,1	2,8	2,2	1,4	1,5	1,1	0,7	16,3	11,3
Telč	0,7	0,6	0,4	1,0	1,6	2,0	2,4	2,0	1,3	1,4	1,0	0,6	15,0	10,3
Velké Meziříčí	0,5	0,7	0,5	1,0	1,5	2,2	2,5	2,0	1,3	1,3	1,1	0,6	15,2	10,5
Znojmo	0,5	0,6	0,5	0,8	1,9	2,2	2,0	1,9	1,3	1,1	1,0	0,6	14,4	10,1

Příloha 11 Hodnoty maximálních denních úhrnů srážek (mm) s pravděpodobností opakování za N let podle Gumbelovy statistiky extrémů (Šamaj et al., 1985)

Stanice	Pravděpodobnost opakování za N let									
	2	5	10	20	30	50	80	90	100	200
Brno-Husovice	33,4	45,8	53,8	62,1	66,7	72,3	77,6	79,0	80,2	87,7
Dačice	35,4	47,1	54,6	62,5	66,9	72,1	77,2	78,5	79,7	86,7
Holešov	39,2	52,1	60,3	68,9	73,8	79,5	85,0	86,5	87,7	95,4
Náměšť nad Oslavou	35,4	46,9	54,3	61,9	66,2	71,4	76,3	77,6	78,7	85,6
Strážnice	39,9	52,8	61,1	69,8	74,6	80,4	86,0	87,5	88,7	96,5
Telč	36,1	48,6	56,6	64,9	69,6	75,2	80,5	81,9	83,2	90,6
Velké Meziříčí	36,4	48,4	56,0	64,0	68,5	73,9	79,0	80,4	81,5	88,7
Znojmo	38,0	55,2	66,2	77,7	84,1	91,7	99,1	101,1	102,8	113,0

Příloha 12 Krabicové grafy denních srážkových úhrnů (1961 – 2013) podle stanic

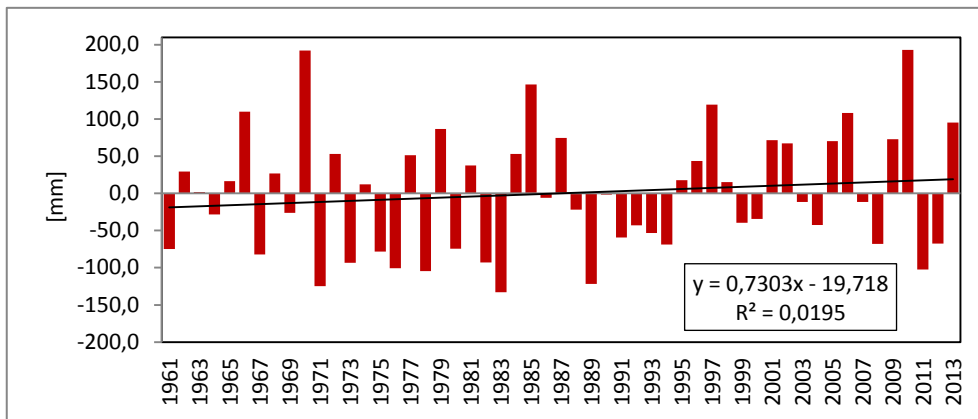
(krabice = 1% – 99% kvantil)



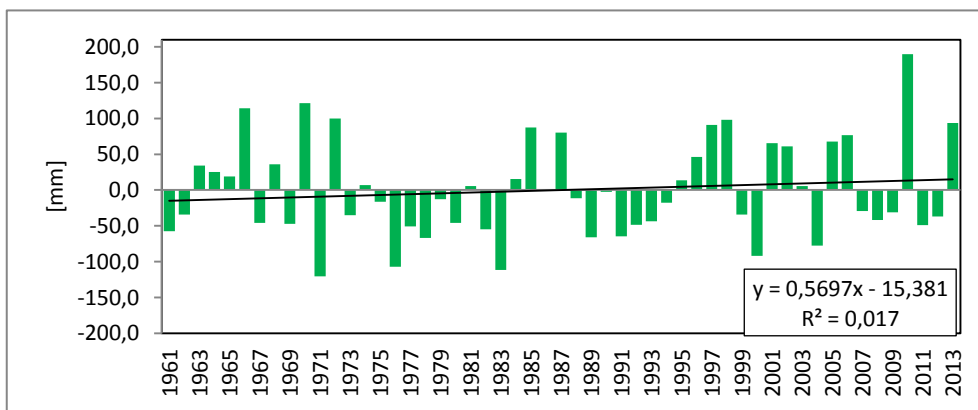
Příloha 13 Kolísání srážkových úhrnů (mm) v jednotlivých letech kolem dlouhodobého průměru (1961 – 2013)

(Vysvětlivky: pro roční úhrny srážek a úhrny ve vegetačním období (VO), s vyznačením lineárního trendu.)

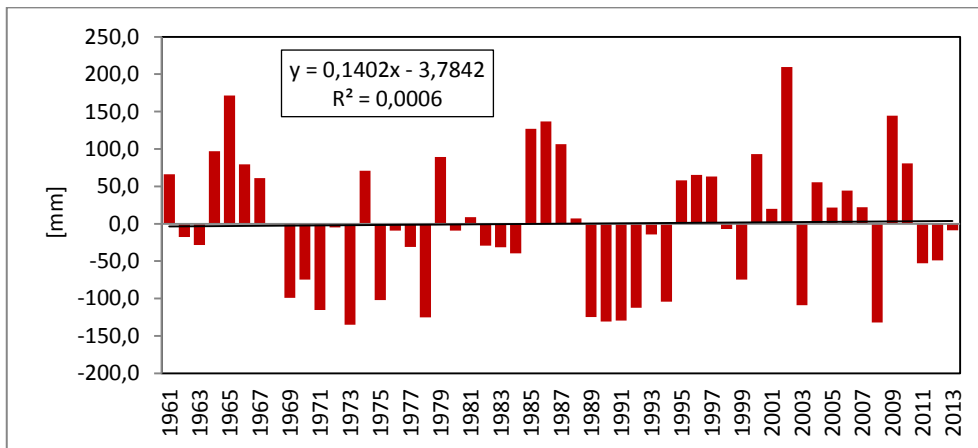
Brno-Tuřany – roční úhrny (Ø 494 mm)



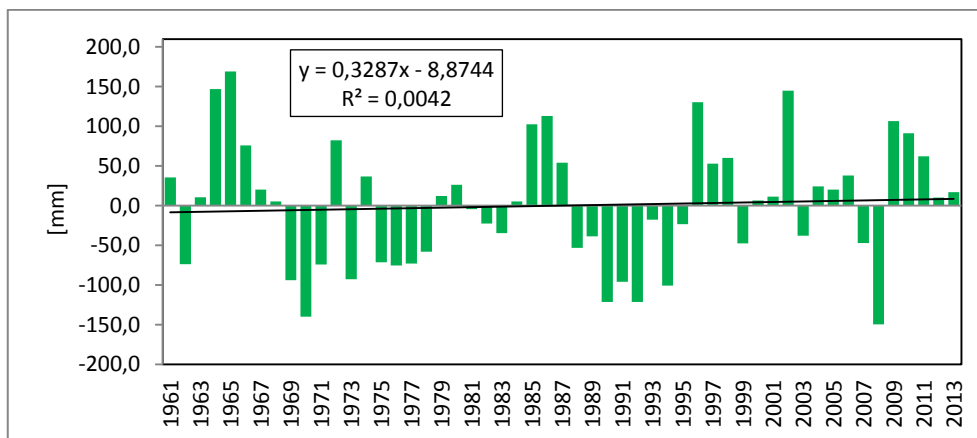
Brno-Tuřany – úhrny ve VO (Ø 355 mm)



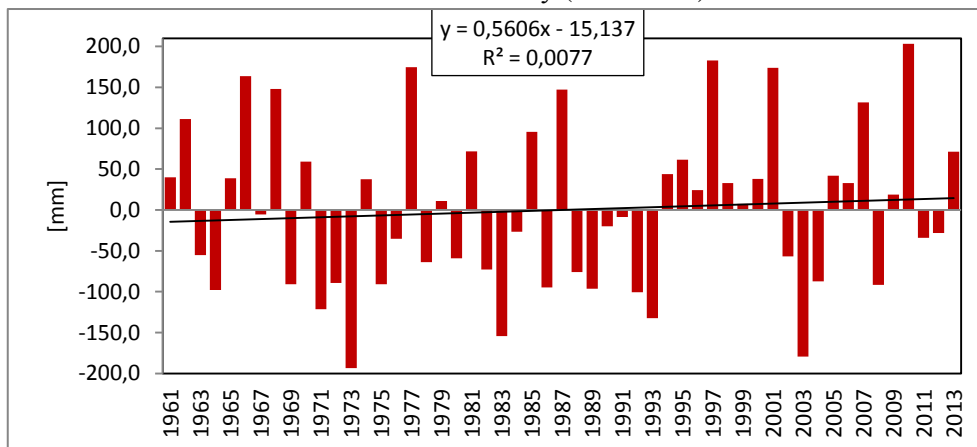
Dačice – roční úhrny (Ø 616 mm)



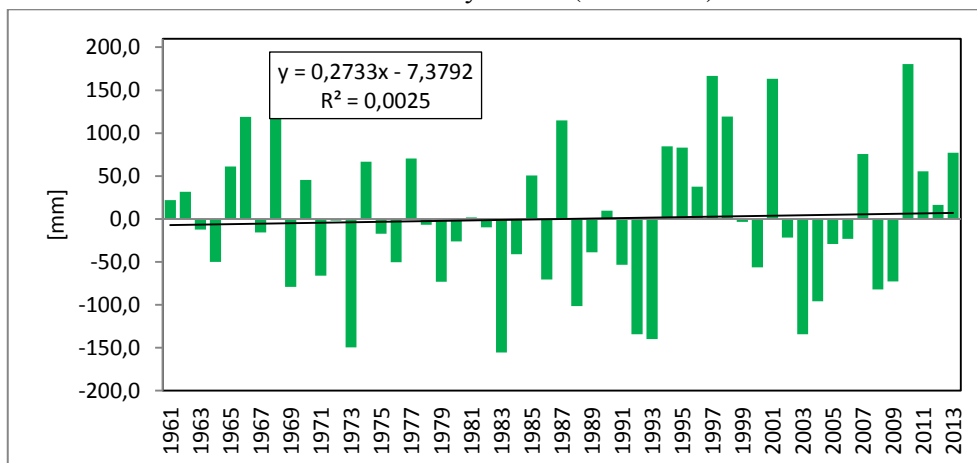
Dačice – úhrny ve VO (Ø 426 mm)



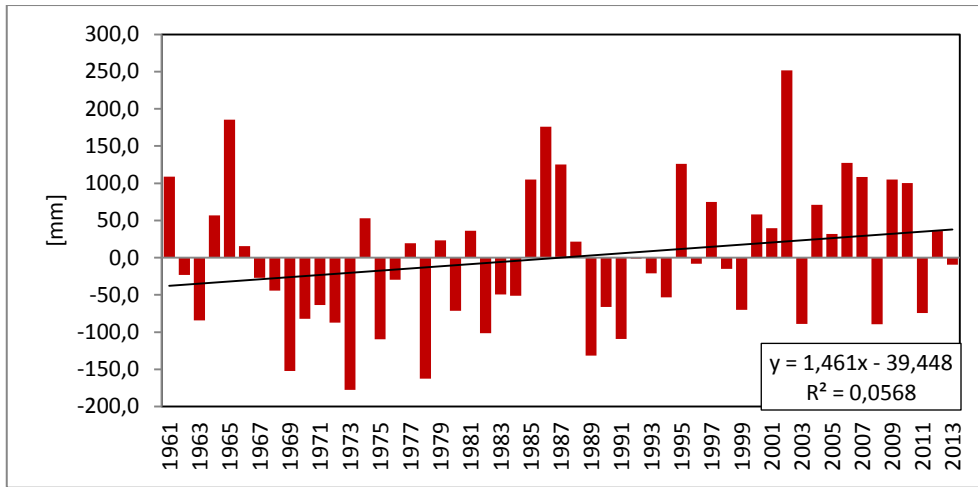
Holešov – roční úhrny (Ø 627 mm)



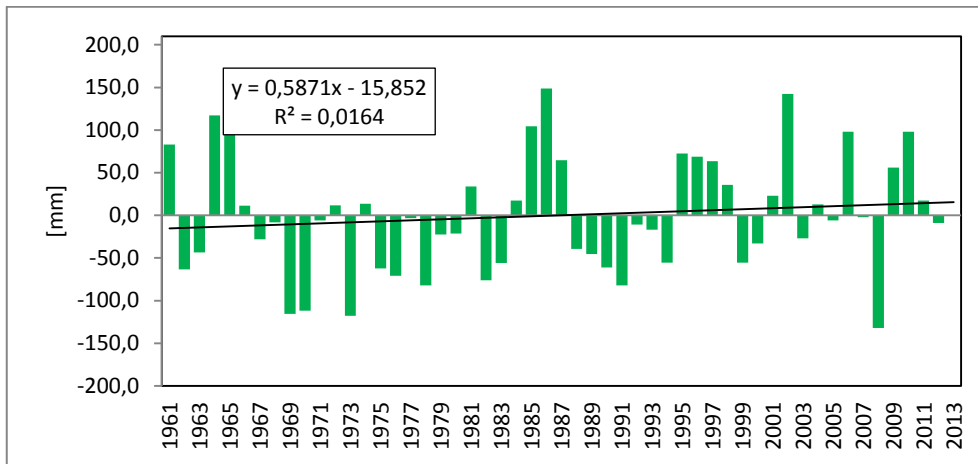
Holešov – úhrny ve VO (Ø 452 mm)



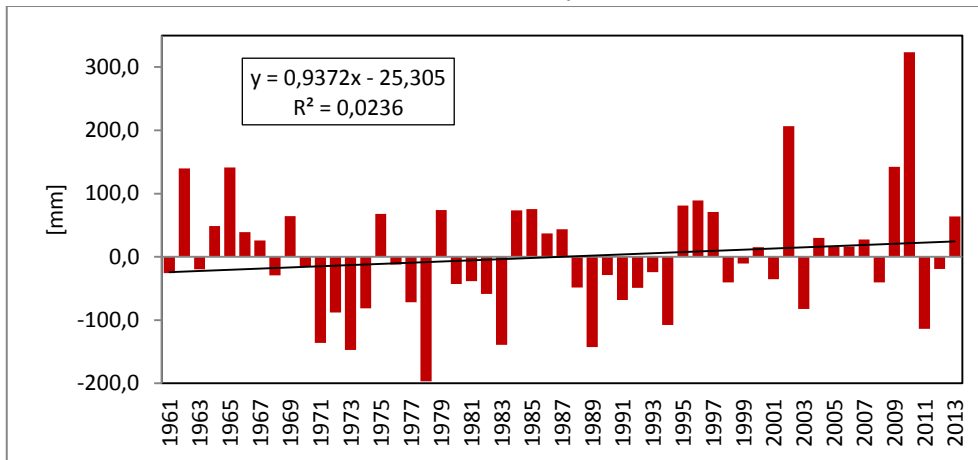
Kostelní Myslová – roční úhrny (Ø 602 mm)



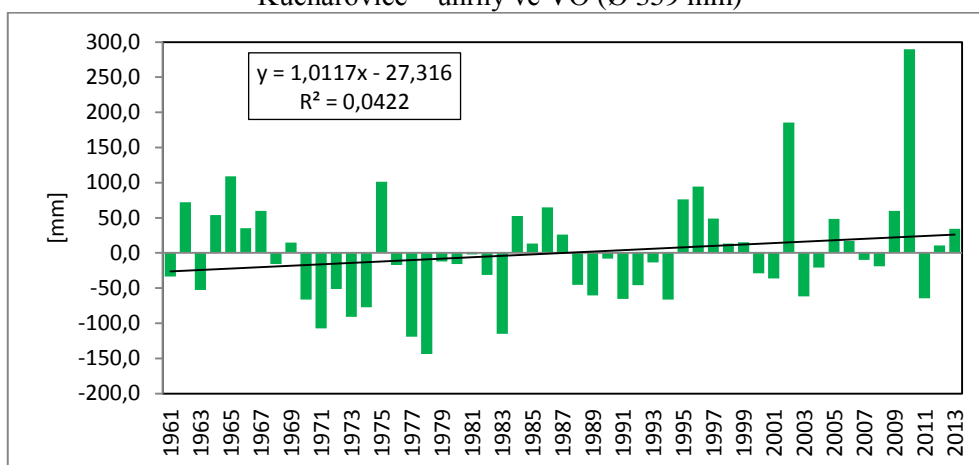
Kostelní Myslová – úhrny ve VO (Ø 415 mm)



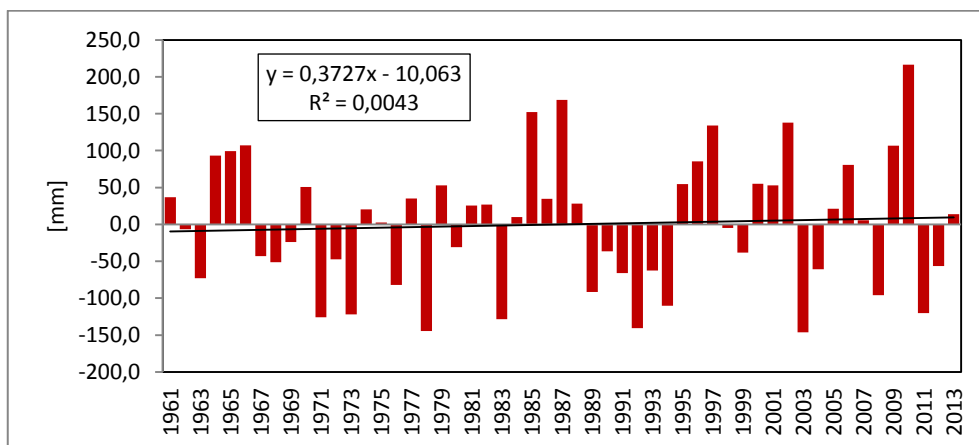
Kuchařovice – roční úhrny (Ø 485 mm)



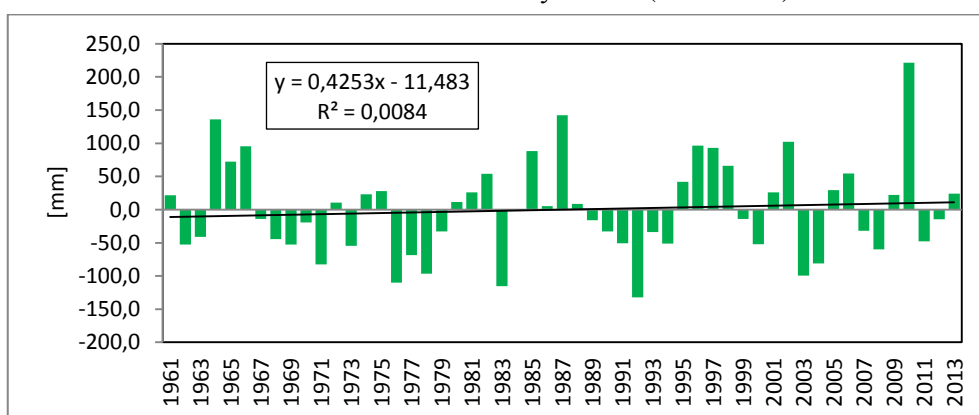
Kuchařovice – úhrny ve VO (Ø 359 mm)



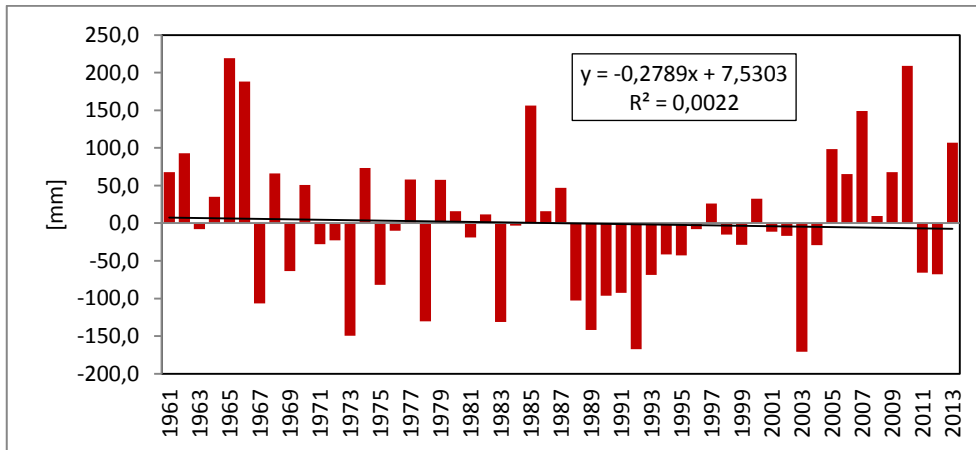
Náměšť nad Oslovou – roční úhrny (Ø 564 mm)



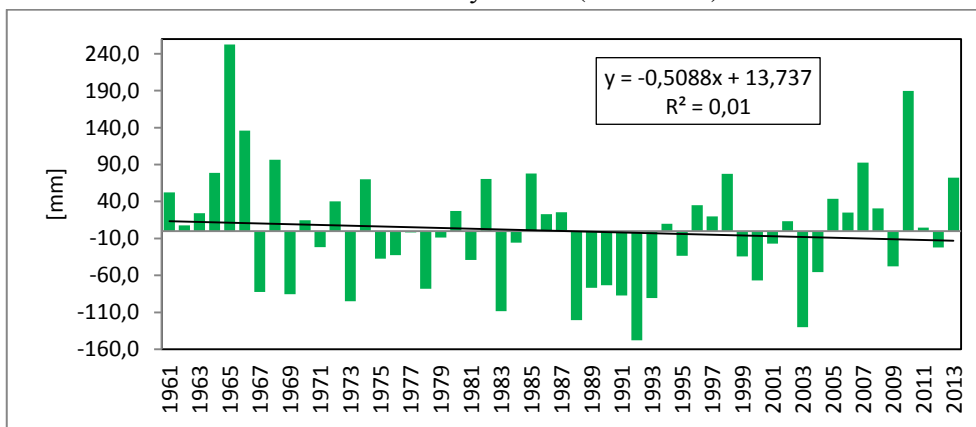
Náměšť nad Oslovou – úhrny ve VO (Ø 401 mm)



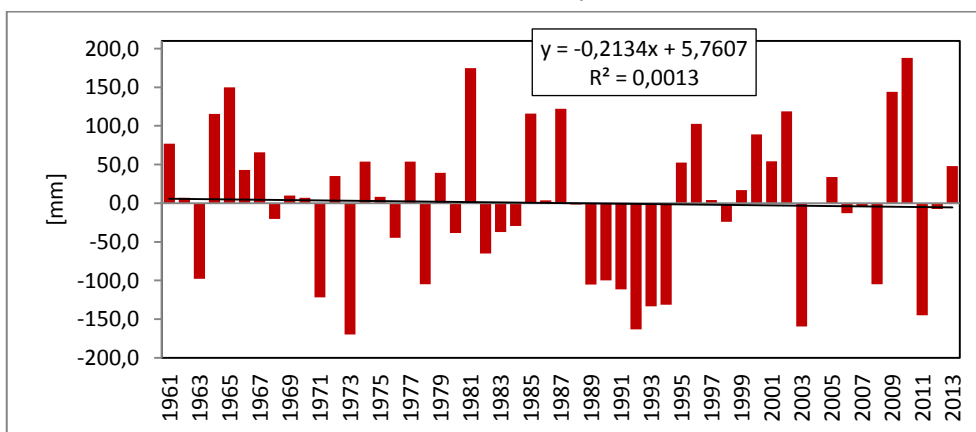
Strážnice – roční úhrny (Ø 535 mm)



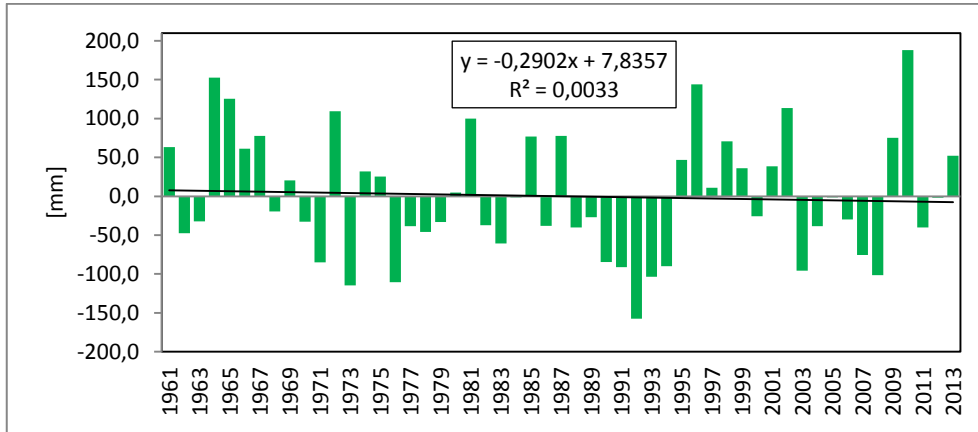
Strážnice – úhrny ve VO (Ø 379 mm)



Velké Meziříčí – roční úhrny (Ø 589 mm)



Velké Meziříčí – úhrny ve VO (Ø 398 mm)

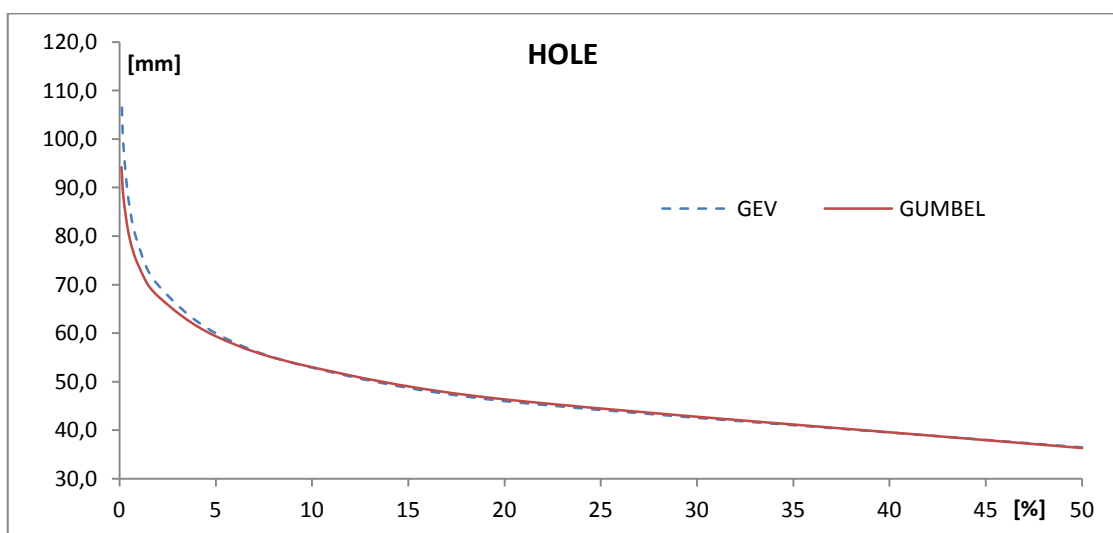
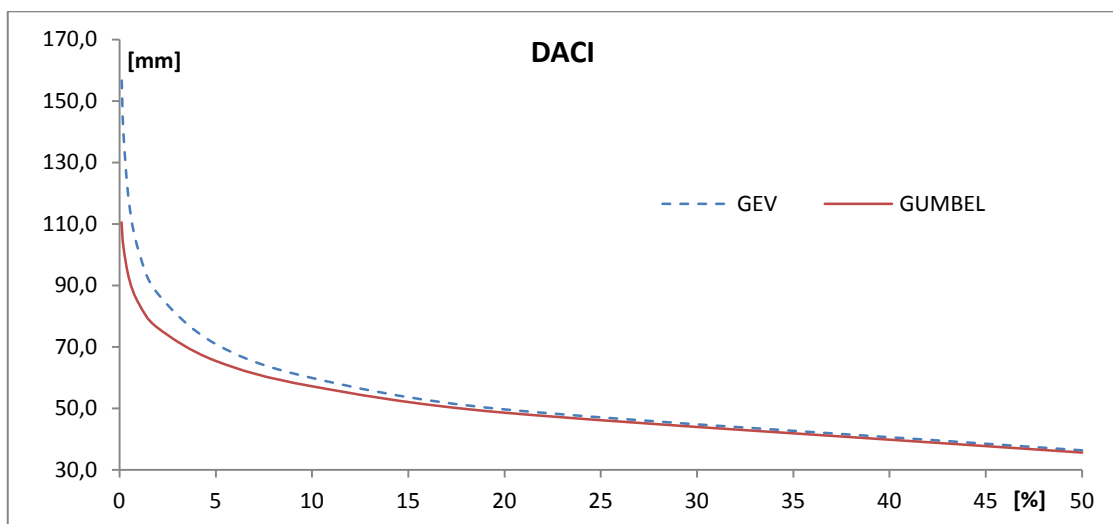
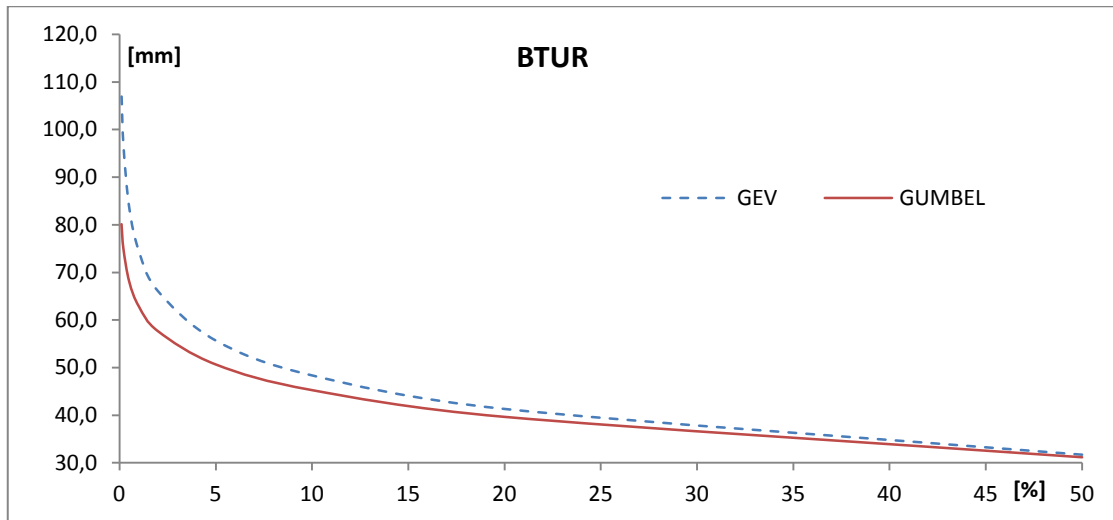


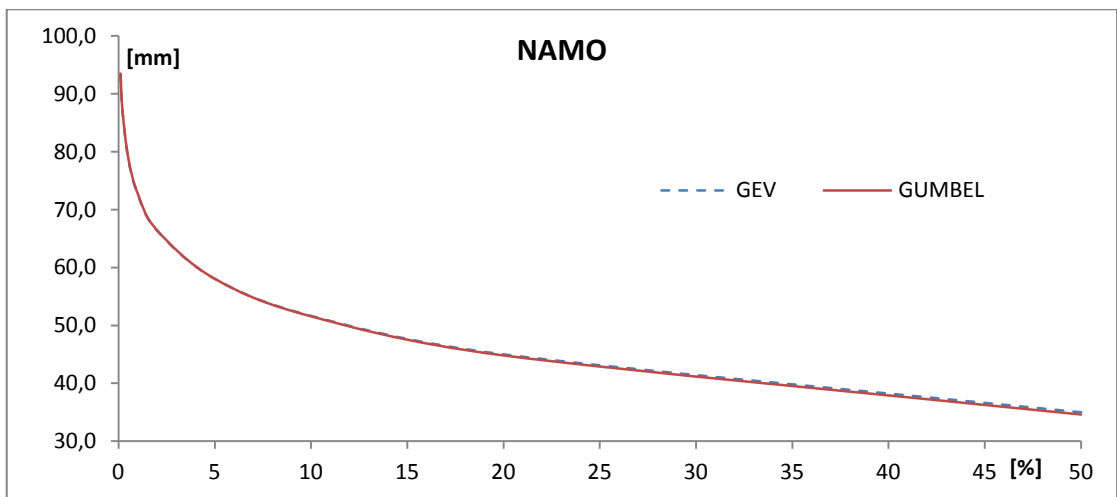
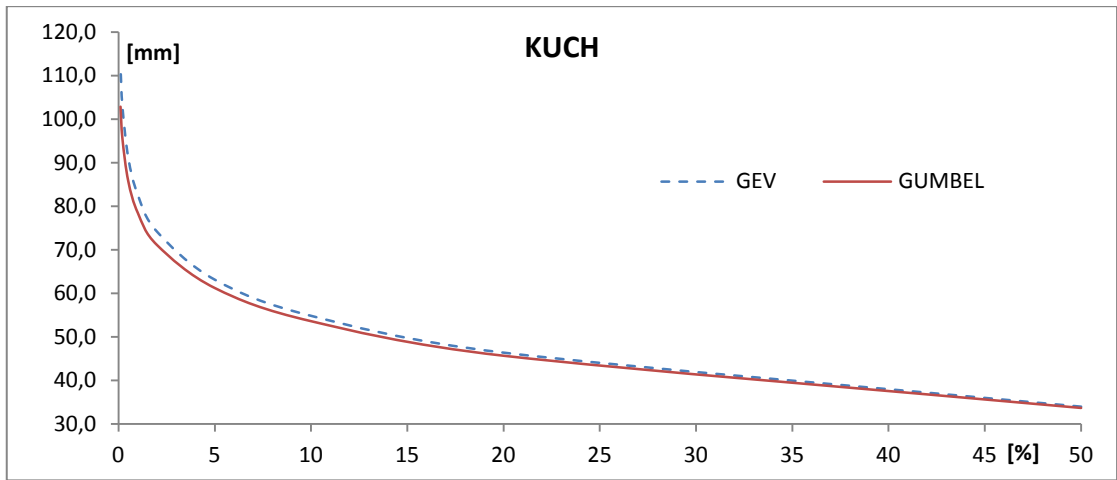
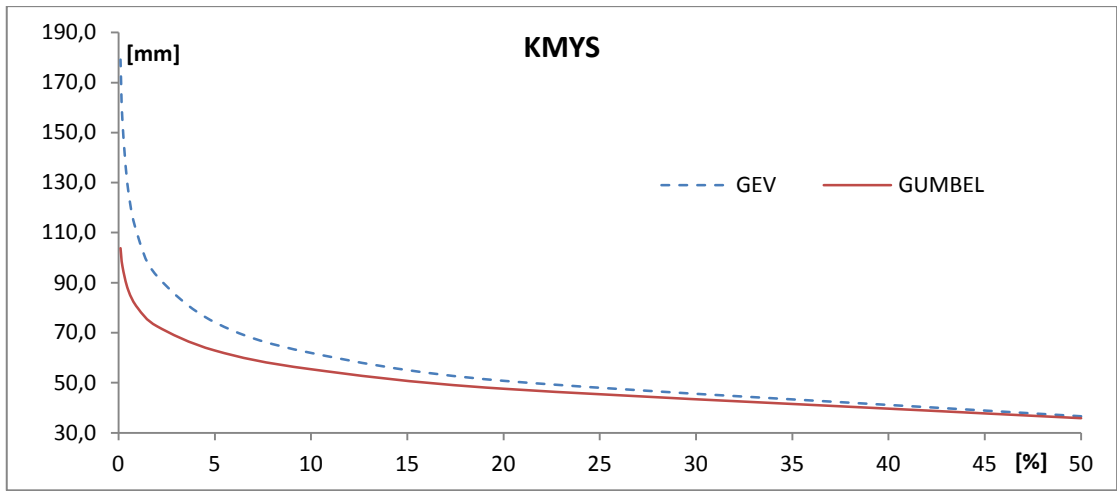
Příloha 14 Výčet dešťů přesahujících 30 mm ve stanici Brno Tuřany a zařazení do kategorie IPS dle výše srážek v předešlých 5 dnech

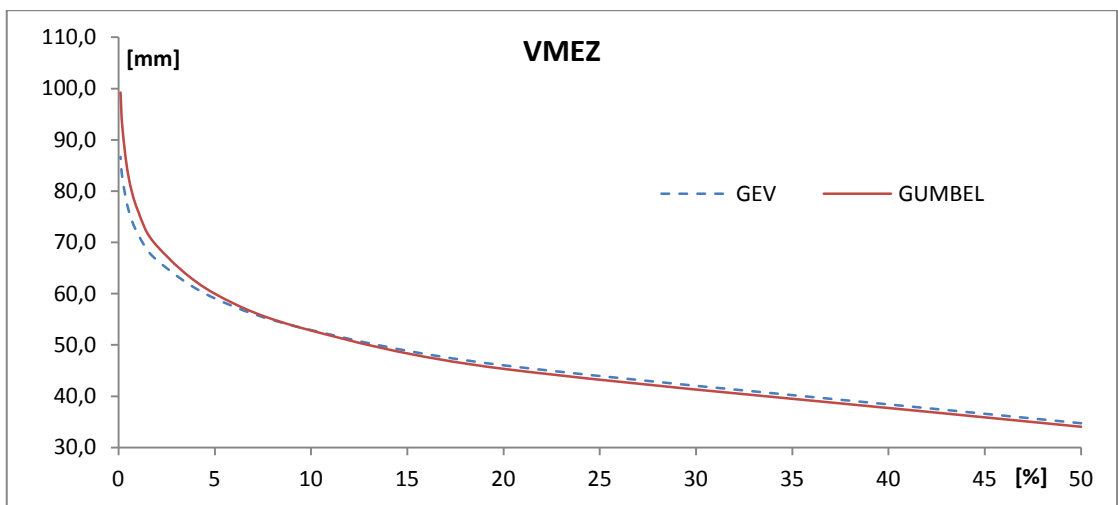
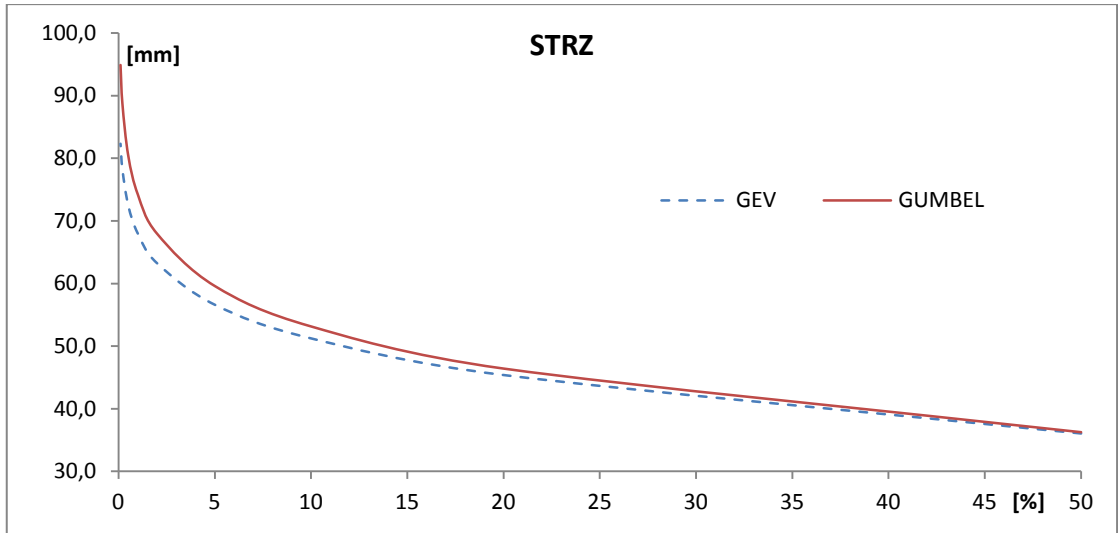
(Vysvětlivky: červeně označené jsou deště, které byly zaznamenány, ale kontrolou dat a homogenizací klesl jejich úhrn pod 30 mm a byly z hodnocení vyřazeny.)

Datum	Srážkový úhrn (mm)	Předchozí srážky za 5 dní (mm)	IPS	Datum	Srážkový úhrn (mm)	Předchozí srážky za 5 dní (mm)	IPS
13.5.1962	43,8	32,9	I	26.6.1991	34,0	0,0	I
29.8.1963	32,5	9,8	I	26.5.1994	56,4	5,1	I
27.6.1965	31,5	8,2	I	14.9.1995	37,3	0,3	I
28.7.1966	40,8	20,2	I	5.10.1996	30,4	0,6	I
13.9.1966	30,8	0,0	I	5.7.1997	30,7	15,8	I
16.6.1970	82,0	0,6	I	18.7.1997	41,6	37,7	II
21.8.1970	48,3	17,3	I	13.6.1998	31,3	29,3	I
14.6.1972	33,0	7,4	I	5.9.1998	41,5	13,6	I
10.7.1972	30,7	1,2	I	12.9.1998	33,8	1,8	I
22.7.1972	46,2	5,4	I	4.8.2001	43,3	2,1	I
25.7.1972	39,0	63,3	III	26.5.2003	42,9	1,6	I
26.7.1972	37,0	102,3	III	14.8.2005	40,8	0,0	I
13.7.1974	30,4	15,4	I	1.6.2006	30,1	26,7	I
17.9.1976	31,9	1,8	I	8.7.2006	31,6	0,0	I
16.6.1979	32,9	7,4	I	14.7.2006	39,3	0,1	I
13.9.1981	30,2	13,3	I	7.8.2006	51,0	54,7	III
26.6.1982	31,6	0,6	I	21.6.2007	32,9	0,0	I
27.6.1983	31,6	0,7	I	5.9.2007	34,6	3,1	I
6.8.1985	36,1	14,4	I	18.5.2008	45,4	0,2	I
14.5.1986	31,3	5,6	I	15.8.2008	31,9	1,0	I
6.6.1988	34,4	21	I	17.7.2010	31,2	0,4	I
29.6.1988	49,9	1,8	I	23.7.2010	69,0	1,0	I
29.8.1988	31,1	0,2	I	8.6.2011	35,8	0,6	I
2.9.1988	31,6	31,1	I	24.6.2013	42,5	14,3	I
27.8.1989	33,7	1,0	I	4.8.2013	31,3	0,5	I
24.5.1990	41,1	0,5	I				

Příloha 15 Porovnání křivek překročení pro Gumbelovo a GEV rozdělení podle stanic







Příloha 16 Parametry rovnice a p-hodnota testovaných rozdělení

Stanice	Metoda	p-hodnota KS testu	Parametr α	Parametr β	Parametr k
BTUR	GEV	0,944	7,658	28,847	0,108
	GUMBEL	0,931	8,553	29,243	0,000
DACI	GEV	0,998	10,125	32,543	0,159
	GUMBEL	0,804	11,994	33,330	0,000
HOLE	GEV	0,968	7,704	33,565	0,094
	GUMBEL	0,814	8,470	33,909	0,000
KMYS	GEV	0,942	10,507	32,568	0,184
	GUMBEL	0,552	12,853	33,530	0,000
KUCH	GEV	0,888	10,632	30,083	0,031
	GUMBEL	0,911	10,947	30,234	0,000
NAMO	GEV	0,954	8,798	31,757	0,004
	GUMBEL	0,959	8,829	31,772	0,000
STRZ	GEV	0,923	8,697	32,876	-0,058
	GUMBEL	0,975	8,263	32,649	0,000
VELMEZ	GEV	0,700	10,816	30,851	-0,089
	GUMBEL	0,605	10,027	30,426	0,000