

SS02030040-V46

Souhrnná výzkumná zpráva (Vsouhrn)

Návrhové hodnoty srážek

Lenka Crhová, Vojtěch Bližňák, Marek Kašpar, Miloslav Müller, Vojtěch Svoboda, Petr Šercl, Petr Štěpánek

Obsah

Úvod.....	3
Zpracování návrhových srážek ze staničních měření.....	3
Dostupnost a příprava dat	3
Zpracování návrhových hodnot.....	8
Křivky závislosti úhrnu (intenzity) návrhových srážek na délce trvání	11
Výstupy pro veřejnost.....	15
Vztah mezi návrhovou plošnou srážkou a velikostí uvažované plochy ..	16
Zpracování subdenních srážek z radarových měření.....	16
Zpracování denních srážek ze staničních měření.....	17
Srážkové charakteristiky ve výstupech klimatických modelů	19
Předešlé studie.....	19
Validace modelu ALADIN-Climate	20
Změny srážkových charakteristik ve výstupech klimatických modelů.....	25
Závěr	31
Literatura	32
Příloha 1.....	36

Úvod

Návrhové hodnoty krátkodobých úhrnů srážek jsou velmi potřebným podkladem pro další výpočty v hydrologické a technické praxi, pro plánování a údržbu odvodňovacích systémů a vyhodnocení dalších rizik spojených s intenzivními srážkami (např. přívalové povodně či plošná eroze půdy). V technické praxi (např. pro navrhování odvodnění stavebních konstrukcí či liniových staveb) jsou potřebné návrhové srážky i pro velmi krátké doby trvání, často jsou požadovány i 5 – 15 min úhrny. Podklady dosud používané v technické praxi jsou často více než půl století staré (často dodnes užívány výsledky práce Trupl, 1958) a nové zpracování je tedy velmi potřebné.

V rámci dílčího cíle 6.1 projektu PERUN je věnována pozornost této problematice, tj. aktualizaci návrhových hodnot srážek a také hodnocení možných dopadů klimatické změny na tuto charakteristiku. Připraveny byly odhady 2-100letých srážek pro délky trvání 5 min až 3 dny z vybraných stanic sítě ČHMÚ. Zpracování bylo provedeno z dostupných měření srážkových úhrnů v 1min a 10min kroku z období 1951–2022 metodou region-of-influence (ROI). Výsledné hodnoty pro 164 stanic jsou publikovány na stránkách projektu PERUN (<https://www.perun-klima.cz/srazky/>). Pozornost je také věnována odvození vztahu mezi návrhovou plošnou srážkou a velikostí uvažované plochy potřebného v hydrologické praxi. Možné dopady klimatické změny na srážkové charakteristiky jsou hodnoceny na základě simulace modelu ALADIN-Climate provedené v rámci tohoto projektu.

Zpracování návrhových srážek ze staničních měření

Dostupnost a příprava dat

Určení návrhových hodnot krátkodobých úhrnů srážek je poměrně obtížným úkolem, neboť síť automatických srážkoměrů (i jejich předchůdců manuálních ombrografů) Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) s dostatečně dlouhou řadou měření intenzit srážek (srážkových úhrnů v 1min či 10min kroku) pro zpracování návrhových srážek je poměrně řídká a tato data vykazují poměrně časté výpadky a chyby (Crhová et al., 2022).

Pro odhady návrhových hodnot srážek na základě dat staničních měření byla využita primárně data srážkových intenzit (srážkových úhrnů v 1min či 10min kroku) z digitalizovaných historických ombrografických záznamů a měření automatických srážkoměrů, které byly do sítě stanic ČHMÚ postupně osazovány od konce 90. let 20. století. Pro delší doby akumulace srážek (24–72hodinové srážky) byla pro doplnění těchto dat využita data denních úhrnů srážek měřená v pevném termínu 7 h SEČ. Zpracování těchto dat bylo provedeno pro období 1951–2022.

Příprava a kontrola dat intenzit srážek

Historická měření ombrografů byla zaznamenávána na registrační pásy, před dalším zpracováním je tedy nutná jejich digitalizace. Digitalizace ombrografických záznamů v 1minutovém kroku byla v ČHMÚ zahájena v roce 1985 a probíhá postupně dodnes dle metodiky (Květoň, Zahradníček 1998; Květoň et al. 2004). V rámci řešení projektu PERUN byly přednostně zdigitalizovány další ombrografické záznamy, které bylo možné využít k doplnění řad srážkových intenzit, a to především vzhledem k nižší hustotě dlouhých řad v oblasti západních a východních Čech a k prodloužení již dříve pořízených ombrografických záznamů více do historie, aby byly získány co nejdelší řady pro analýzu charakteristik krátkodobých srážek.

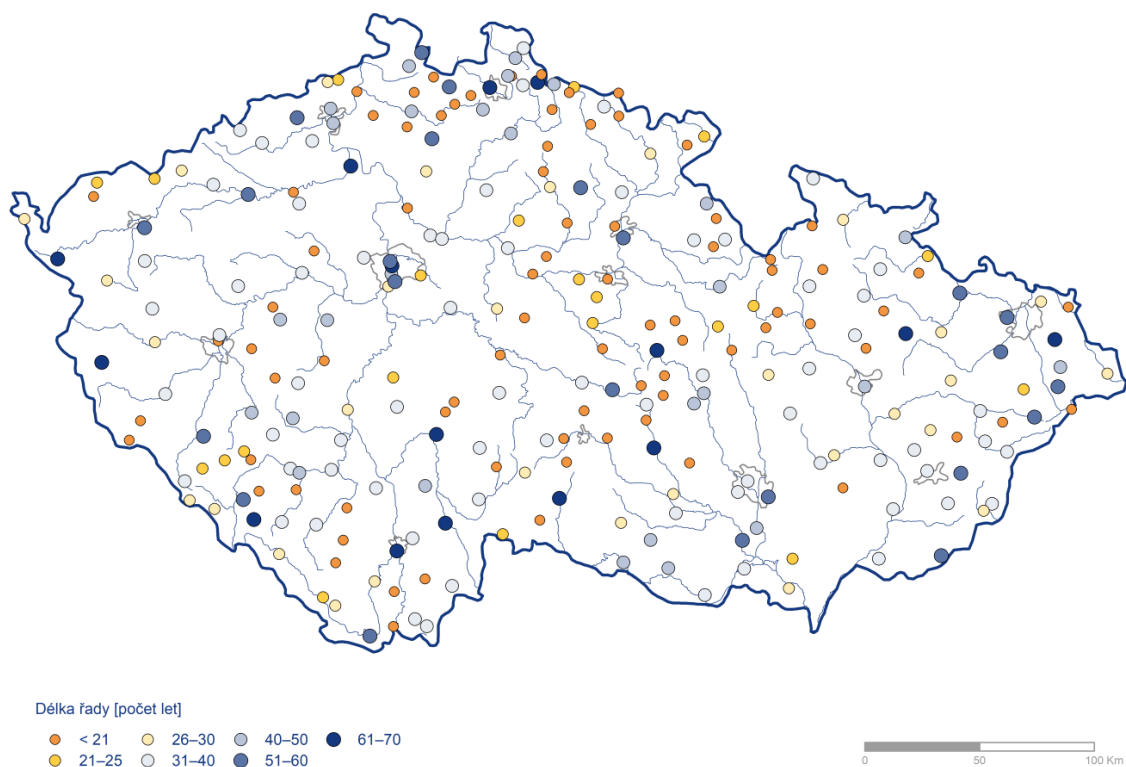
Data z automatických měření jsou automaticky importována do klimatologické databáze ČHMÚ (CLIDATA) a mohou tak být následně počítačově zpracována. Data intenzit srážek z automatických srážkoměrů nebyla však do

roku 2018 systematicky opravována a doplňována, proto bylo nutné před dalším zpracováním provést kontrolu těchto dat.

Pro účely projektu PERUN bylo nejprve vytipováno přibližně 180 stanic s dostatečně dlouhou řadou dat intenzit srážek po spojení dat z měření ombrografů a automatických srážkoměrů (alespoň 21 let v období 1951–2022). Vzhledem k nedostatečnému pokrytí území v některých oblastech republiky byl soubor těchto stanic posléze doplněn i o stanice s řadou měření intenzity srážek 15–20 let (cca 80 stanic), které byly v případě potřeby využity k doplnění primárně vybraných stanic. Rozmístění těchto stanic, vybraných pro další kontrolu a zpracování, včetně délky jejich řady je uveden na obr. 1.

Pro tento soubor vybraných stanic byla v databázi CLIDATA provedena přednostní kontrola dat intenzit srážek. Nejprve byla provedena kontrola srážkových 1min intenzit nad určeným limitem (3,4 mm) úhrnu, kdy byly chybné hodnoty opraveny nebo vymazány. Dále byla data srážkových intenzit porovnávána s naměřenými denními srážkovými úhrny, které procházely pravidelnou kontrolou a opravou. Případy, kdy denní sumy intenzit převyšovaly denní úhrn o 4 mm a více, byly dále analyzovány. Falešné vysoké intenzity pak byly také opraveny nebo vymazány v databázi.

Provedené kontroly sloužily primárně k odstranění chybných vysokých intenzit srážek, které by nejvíce mohly ovlivnit výsledky cílových návrhových hodnot (především pro krátké doby trvání). I po této kontrole se mohly v datech intenzit srážek vyskytovat chybné údaje, a především velké množství výpadků měření, které nebylo možné doplnit. Při dalším zpracování dat bylo nutné tato omezení zohlednit. Je tedy zřejmé, že po kontrole a ověření kompletnosti dat v jednotlivých letech byl finální výběr stanic a délka jejich řad pro zpracování nižší.



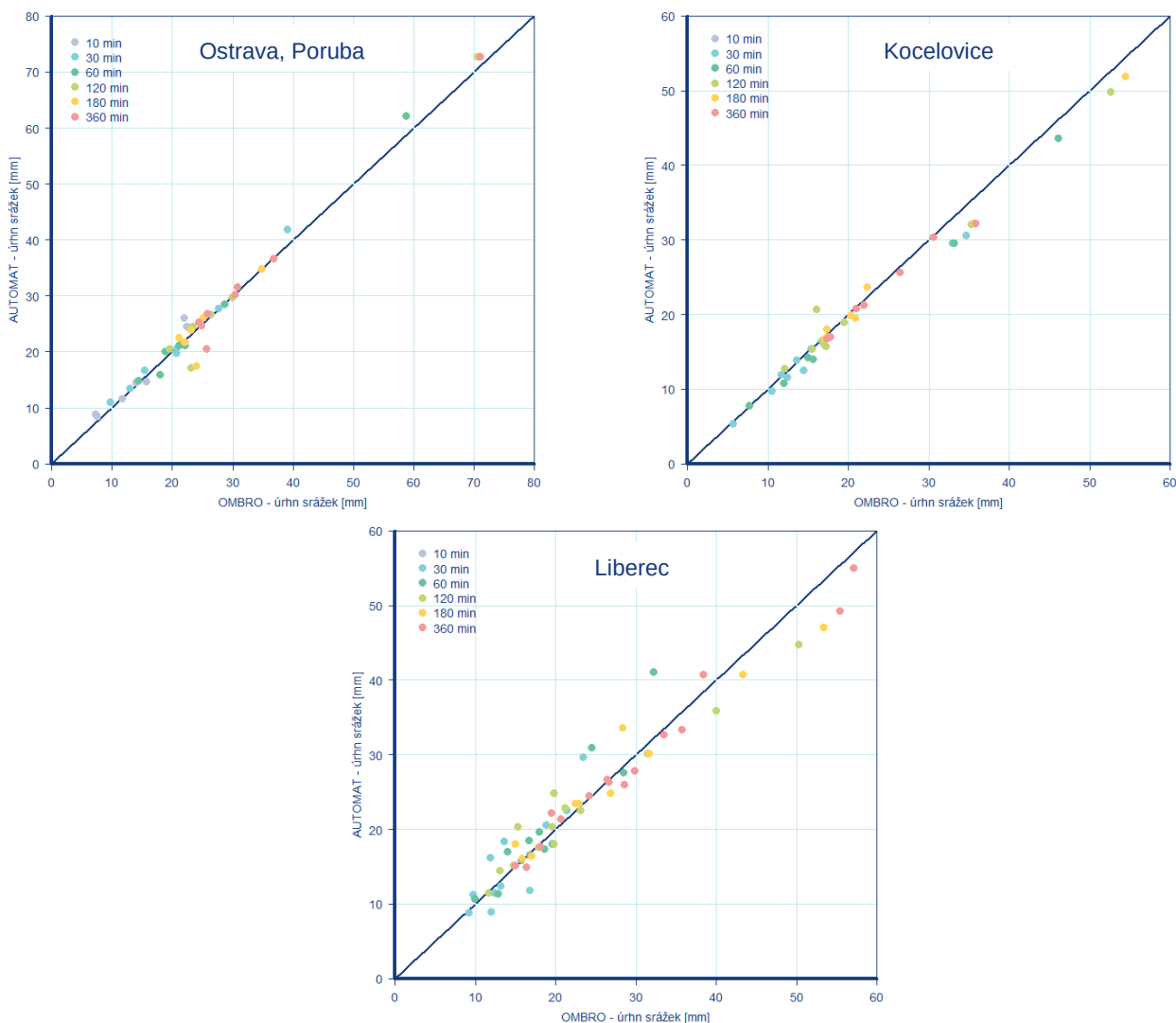
Obr. 1 Rozmístění stanic s řadou měření intenzit srážek dlouhou alespoň 15 let po spojení dat z automatických srážkoměrů a klasických ombrografů před provedení kontroly dat intenzit srážek a ověření jejich kompletnosti v jednotlivých letech.

Homogenita řad intenzit srážek

V řadách vzniklých spojením dat z měření ombrografů a automatických srážkoměrů lze předpokládat výskyt nehomogenit způsobených změnou typu měřicího přístroje (na některých stanicích se vystřídaly tři typy měřicích přístrojů - ombrograf, automatický srážkoměr klopný a automatický srážkoměr váhový). Další nehomogenity také mohly být způsobeny stěhováním či změnou okolí stanice.

Nehomogenity způsobené přechodem z manuálních ombrografů na automatické měření byly posouzeny dle porovnání ročních maxim krátkodobých úhrnů srážek naměřených ombrografem a automatickým srážkoměrem na stanicích se souběžným měřením ze stanic Ostrava, Poruba (1998–2004), Liberec (2002–2013) a Kocelovice (2000–2009).

Dle tohoto porovnání (obr. 2) panuje relativně dobrá shoda v hodnotách ročních maxim naměřenými ombrografem a automatickým srážkoměrem (rozdíl většinou do 10 %). Nebyl nalezen systematický posun, hodnota maxima je někdy vyšší u měření automatem, někdy ombrografem, záleží na konkrétní situaci (aktuální kvalitě měření a pořízení záznamu). Výraznější rozdíly nastaly většinou v případech, kdy byl pořízený ombrografický záznam označen kódem 040 (tzn. přšlo a neúplný záznam je doplněn v rozsahu denního úhrnu srážkoměru). Řady maxim získané z ombrografických záznamů a automatů tak byly napojeny pro další zpracování bez další úpravy.



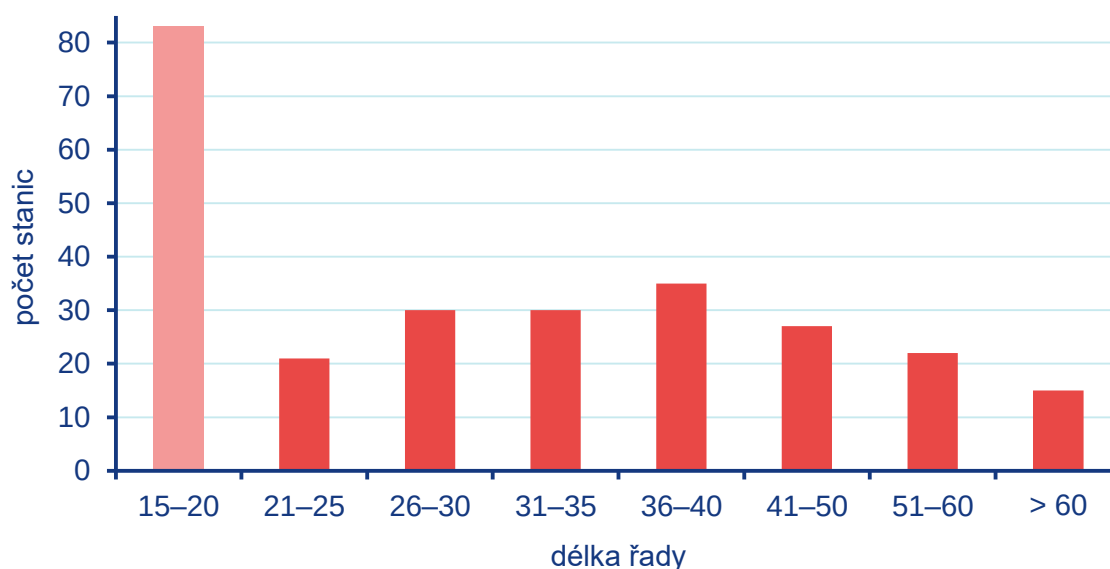
Obr. 2 Porovnání ročních maxim ze souběžných měření ombrografů a automatických srážkoměrů ze stanic Ostrava, Poruba (1998–2004), Kocelovice (2000–2009) a Liberec (2002–2013).

Příprava řad ročních maxim srážkových úhrnů

Z připravených řad intenzit srážek byly napočteny klouzavé úhrny srážek s délkami trvání 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 360, 480, 600, 720, 1080, 1440, 2880 a 4320 minut. Z nich byly pro potřeby zpracování návrhových hodnot srážek připraveny řady ročních maxim srážkových úhrnů pro dané délky trvání (dále roční maxima).

I přes provedené kontroly a opravy se mohly v datech intenzit srážek vyskytovat chybné údaje, a především velké množství výpadků měření, které nelze doplnit. Při dalším zpracování dat bylo potřebné tato omezení zohlednit a rozhodnout o relevantnosti ročních maxim vzhledem k počtu a povaze chybějících dat v daný rok. Roční maxima nebyla uvažována pro roky s velkým množstvím chybějících nebo značně podhodnocených denních sum srážkových intenzit v porovnání s naměřenými denními úhrny srážek. Z řad maxim byla označena maxima z let, kde chybělo (nebo bylo podhodnoceno) více než 40 % denních srážek nad 6 mm nebo více než 40 % denních srážek nad 12 mm. Před jejich odstraněním však byla data v těchto problematických letech znovu individuálně posouzena, aby nedošlo k odstranění zajímavých (vysokých) intenzit. Některá roční maxima byla tedy ponechána, i když příslušný rok nesplňoval výše uvedenou podmínku.

Vzhledem k provedeným odstraněním nevyhovujících maxim byly finální řady ročních a měsíčních maxim většinou kratší, než bylo u vybraných stanic původně zjištěno.



Obr. 3 Počet stanic dle finální délky řady ročních maxim po kontrole relevantnosti ročních maxim dle množství chybějících hodnot v jednotlivých letech. Uvažována jsou data intenzity srážek po spojení digitalizovaných ombrografických záznamů a měření automatickým srážkoměrem v období 1951–2022. V některých letech byly dostupné oba typy měření, v celkovém součtu je rok pak započten pouze jedenkrát.

Doplnění maxim 24–72 hodinových úhrnů srážek denními úhrny

Pro delší doby akumulace (24–72 h) srážek byly řady ročních maxim napočtených klouzavě z 1min a 10min dat doplněny z měření denních srážkových úhrnů (měřených v pevném klimatologickém termínu 7 h SEČ), které na rozdíl od dat intenzit srážek procházely pravidelnou kontrolou a opravou a jsou dostupné v hustší síti stanic a za delší časová období. V případech, kdy nebylo k dispozici měření ombrografu nebo automatického srážkoměru a byl k dispozici denní úhrn, byl použit tento údaj, který byl upraven korekčním koeficientem redukujícím vliv použití pevného časového intervalu měření.

Korekční koeficient, tzv. Hershfieldův faktor (H_f , Hershfield, 1961) byl odvozen jako poměr maximální roční srážky spočtené klouzavě z intenzit pro 24–72 h úhrny srážek a z denních dat (1–3 denní úhrny srážek). Pro 1denní srážky vyšel průměrný H_f 1,16, pro 2denní 1,06 a 3 denní 1,04. U 1denních srážek byla však zjištěna závislost na velikosti úhrnu a ročním období (Tab. 1 a Tab. 2). Pro 1denní srážky byly proto stanoveny hodnoty $H_f=1,18$ pro denní úhrny menší nebo rovno 40 mm a $H_f=1,12$ pro denní úhrny vyšší než 40 mm.

Tab. 1 Závislost korekčního koeficientu (H_f) na velikosti denního úhrnu srážek

úhrn [mm]	počet případů	průměrný H_f
0-20	123	1,28
20-40	2968	1,17
40-60	2022	1,12
60-80	537	1,11
80-100	167	1,13
100-120	45	1,12
120-140	25	1,09
140-160	12	1,12
> 160	10	1,10
≤ 40	3091	1,18
> 40	2818	1,12

Tab. 2 Závislost korekčního koeficientu (H_f) na ročním období (měsíc)

měsíc	počet případů	průměrný H_f
4	88	1,13
5	618	1,13
6	1367	1,14
7	1512	1,13
8	1496	1,17
9	607	1,16
10	221	1,17

Poté byl testován vliv použití H_f na odhad návrhových srážek, kdy byly použity denní úhrny (nikoliv sumy intenzity) pouze v letech, kde je dostupné maximum napočtené klouzavě z intenzit. Maxima z denních úhrnů srážek byla použita ve dvou verzích, a to bez úpravy a s úpravou H_f . Získané odhady návrhových srážek byly

porovnány s původními odhady z 24, 48 a 72 h sum intenzit. Z tohoto srovnání vyplývá, že korekce H_f má velký vliv především u 1denních srážek.

Odhady návrhových srážek z denních úhrnů (bez korekce H_f) jsou

- U 1denních srážek v cca 60 % případů nižší o 10–20 % než odhady z intenzit
- U 2denních srážek v cca 40 % případů nižší o 5–10 % než odhady z intenzit
- U 3denních srážek v cca 15 % případů nižší o 5–10 % než odhady z intenzit

Odhady návrhových srážek z denních úhrnů (s korekcí H_f) jsou

- U 1denních 100letých srážek v cca 10 % případů nižší a v cca 10 % případů vyšší o 10–20 % než odhady z intenzit
- U 2denních 100letých srážek v cca 20 % případů vyšší o 5–10 % než odhady z intenzit
- U 3denních 100letých srážek v cca 10 % případů vyšší o 5–10 % než odhady z intenzit

Na základě této analýzy byly koeficienty H_f dodatečně upraveny na finálně použité hodnoty (Tab. 3).

Tab. 3 Použité hodnoty korekčního koeficientu při použití denních srážkových úhrnů

Doba trvání srážky	Korekční koeficient (H_f)
1denní	1,18 (pro úhrny ≤ 40 mm) 1,12 (pro úhrny > 40 mm)
2denní	1,05
3denní	1,03

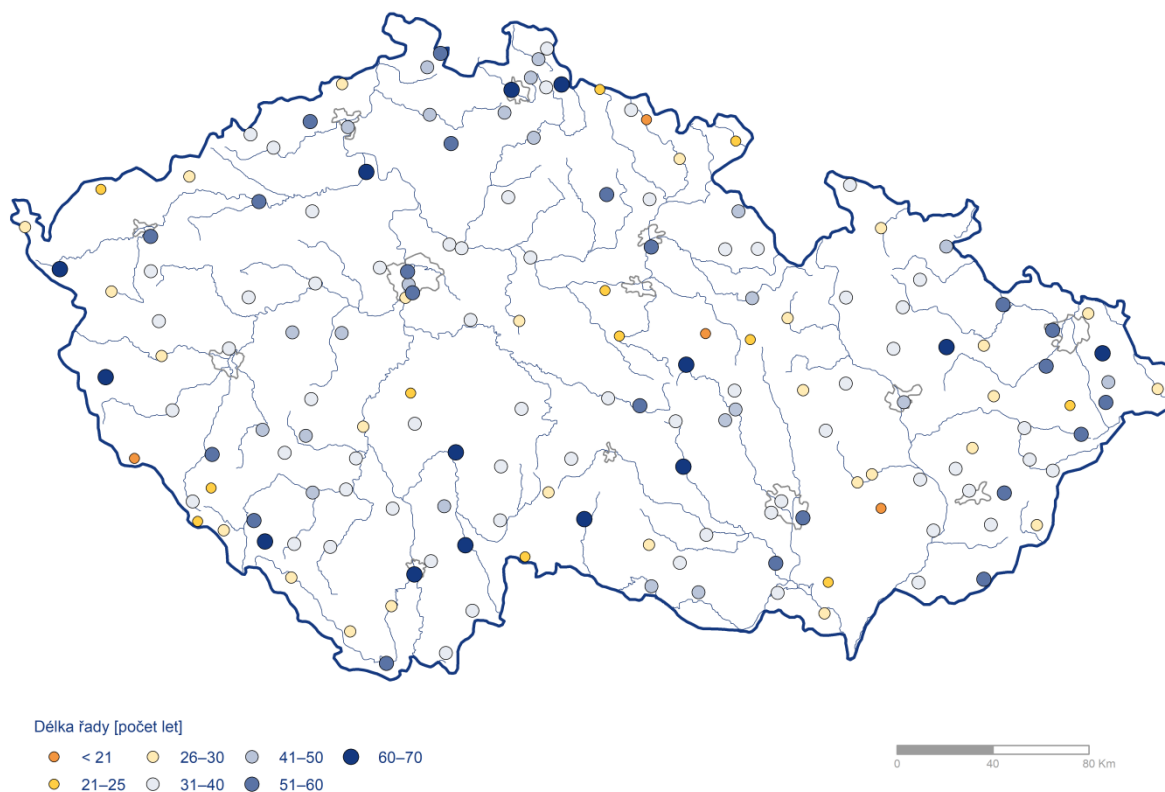
Takto doplněné řady pro celé období 1951–2022 byly využity k výpočtu parametrů extrémního rozdělení pro 24–72 hod srážky. Pro přepočet parametrů extrémního rozdělení regionální metodou (ROI) u těchto délek trvání srážek byl soubor stanic rozšířen o stanice, pro něž nejsou dostupné řady subdenních srážek, tj. řady maxim vychází pouze z denních úhrnů srážek (upravených korekčním koeficientem) a řada je delší než 50 let v období 1951–2022.

Zpracování návrhových hodnot

Z připravených řad maxim úhrnů srážek pro různé doby trvání byly na základě proložených extrémních rozdělení, dvoupárametrového Gumbelova a tříparametrového generalizovaného extrémního (GEV) rozdělení, provedeny odhady návrhových srážek, přičemž odhad parametrů těchto rozdělení byl proveden dvěma způsoby, a to pomocí L-momentů (LM) a metody maximální věrohodnosti (MLE). Výsledky byly analyzovány na základě 100letých hodnot, přičemž byla posuzována stabilita odhadu porovnáním výsledků různých metod odhadu, konzistence odhadu s okolními stanicemi a průběhu křivek závislosti návrhového úhrnu a doby trvání srážky. K dalšímu zpracování (regionální metodou ROI) bylo ponecháno 174 stanic s řadou 20–70 let (pouze 5 stanic s řadou pod 20 let) v období 1951–2022.

Výsledné hodnoty návrhových hodnot srážek však byly finálně publikovány pouze pro 164 stanic, několik stanic bylo dále vyřazeno na základě finálních kontrol výsledných DDF a IDF křivek (viz další kapitola). Stanice vybrané k finálnímu zpracování a publikaci hodnot návrhových srážek jsou uvedeny na obr. 4 a v Tab. 1 Přílohy 1).

V této fázi byly také identifikovány stanice s extrémně odlehlými maximy, což mělo za následek velké ovlivnění odhadu návrhových srážek. U těchto stanic byla provedena úprava parametrů GEV rozdělení metodikou používanou v hydrologii (IACWD, 1982) a zavedenou i do metodických postupů Úseku hydrologie ČHMÚ (Svoboda et al., 2019).



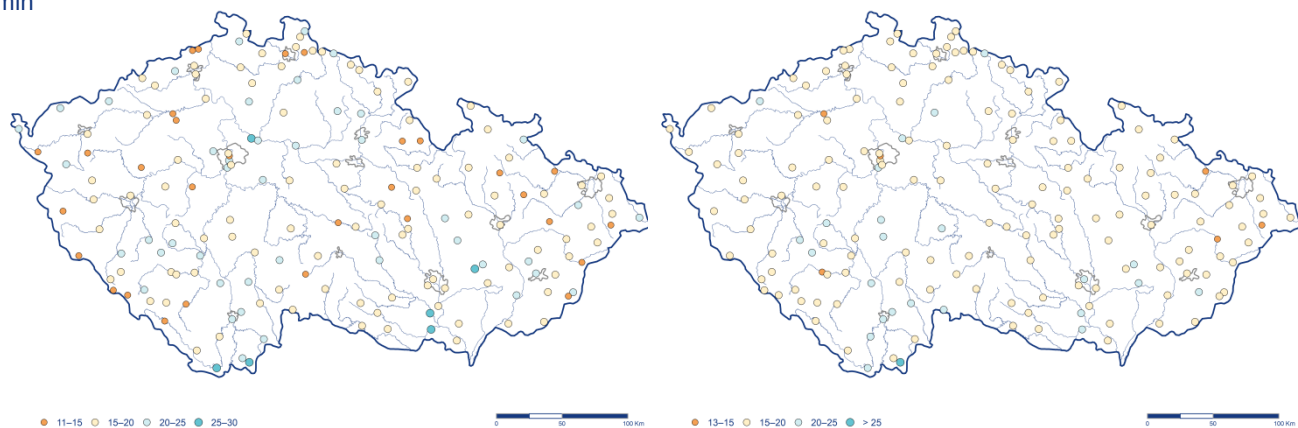
Obr. 4 Rozmístění finálně použitých 164 stanic pro výpočet a publikaci návrhových srážek dle délky řady po spojení dat z automatických srážkoměrů a klasických ombrografů po provedení kontroly dat intenzit srážek a ověření jejich kompletnosti v jednotlivých letech.

Výsledné parametry GEV rozdělení byly upraveny pomocí metody oblasti vlivu (dále jen ROI z anglického „region-of-influence“; Burn, 1990) kombinované s metodou L-momentů. Metoda ROI umožňuje pro uvažovanou stanici odvodit hodnoty tzv. regionálních L-momentů z hodnot lokálních L-momentů pro jednotlivé stanice v jejím statisticky homogenním okolí. Nedostatek informací o extrémech, zejména kvůli omezené délce vstupující časové řady úhrnů srážek v dané lokalitě, je tak nahrazen dodatečnou informací v ploše. Tímto způsobem je dále snížen vliv náhodných historických událostí (tj. příliš vysokých, příp. nízkých ročních maxim) na odhad návrhových srážek. Obzvláště pro malé a střední výběry dat tak odhady parametrů GEV z regionálních L-momentů vykazují poměrně vysokou robustnost ve srovnání s jinými postupy (Hosking, 1990).

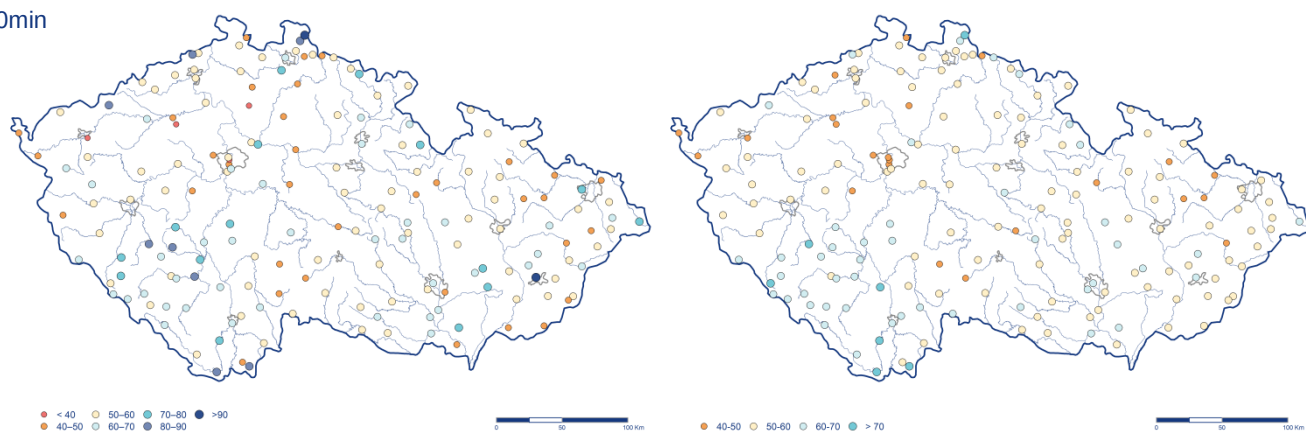
Nejdříve byly pro každou stanici standardizovány hodnoty druhého a třetího L-momentu (L_2 , L_3) hodnotou prvního L-momentu, která odpovídá střední hodnotě ročních maxim na stanici. Standardizované regionální hodnoty L-momentů pro uvažovanou stanici pak byly odvozeny ze vzdáleností inverzně váženého průměru standardizovaných hodnot L-koefficientu rozptylu (L_2) a hodnot L-šikmosti (L_3/L_2) ve statisticky homogenním souboru obsahující uvažovanou stanici a určitý počet nejbližších stanic. Soubor byl sestavován iteračním postupem doporučeným a popsáným v práci Kyselý et al. (2011). Homogenita souboru byla testována způsobem uvedeným v práci Lu a Stedinger (1992) podle hodnot L_2 a L_3/L_2 , tj. z pohledu podobnosti rozptylu a šikmosti rozdělení maxim standardizovaných jejich střední hodnotou. Takto získané standardizované regionální L-momenty byly nakonec přenásobeny střední hodnotou maxim na uvažované stanici.

Po použití regionální metody je patrné výrazné prostorové shlázení odhadů (obr. 5).

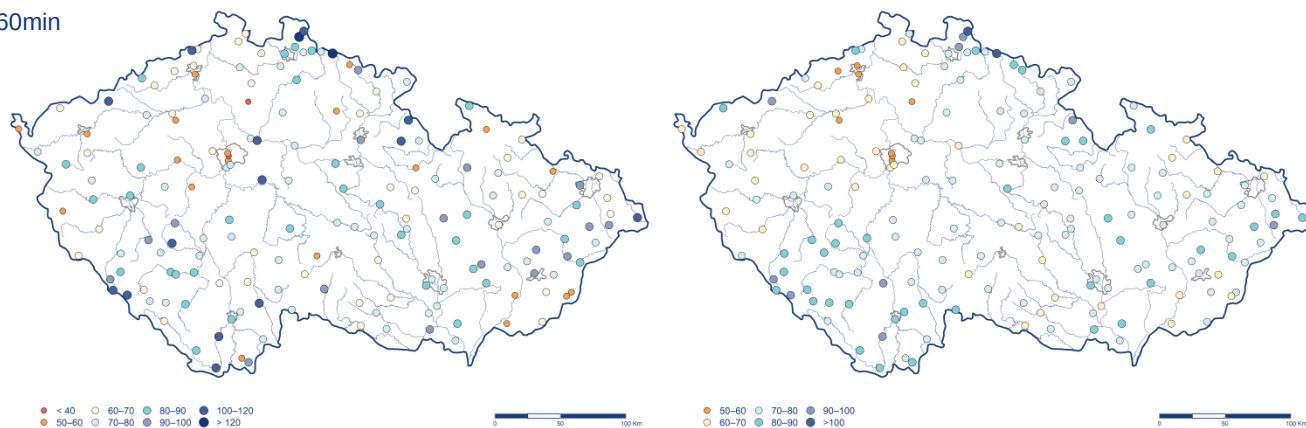
5min



60min



360min



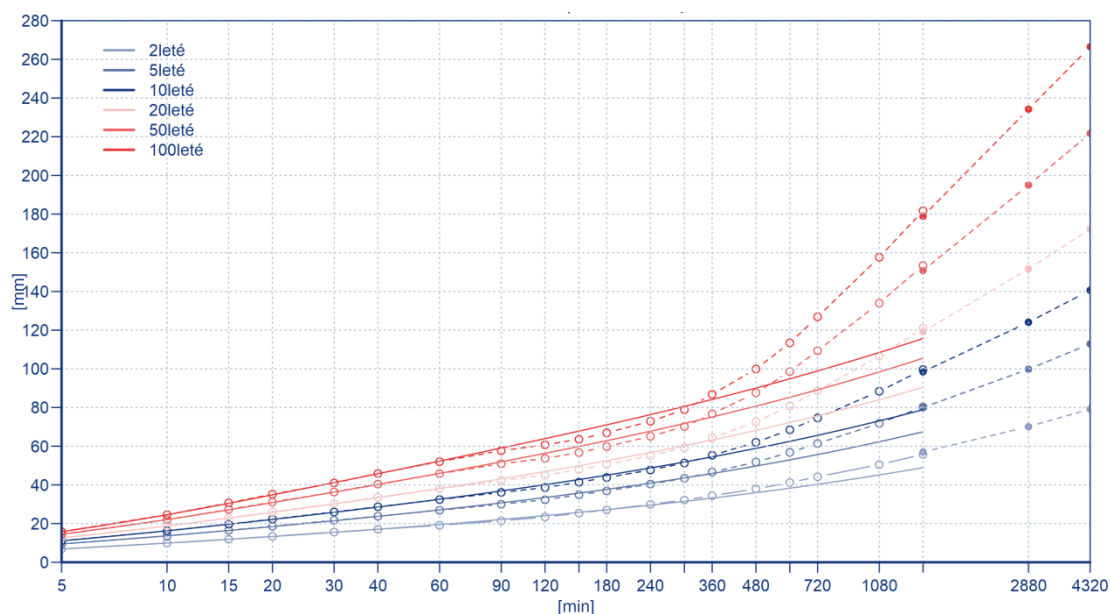
Obr. 5 Odhady 100letých hodnot 5min (nahore) a 60min (uprostřed) a 360min (dole) srážkových úhrnů provedené bodově metodou GEV-LM (vlevo) a regionálně metodou ROI (vpravo). Po použití regionální metody je patrné výrazné prostorové shlázení odhadů.

Křivky závislosti úhrnu (intenzity) návrhových srážek na délce trvání

Získané odhady návrhových srážek pro různé délky časového okna byly podkladem pro zhotovení výsledných DDF a IDF křivek (z angl. Depth-, resp. Intensity-Duration-Frequency), které pro danou dobu opakování zobrazují závislost úhrnu (intenzity) návrhových srážek na délce jejich trvání. Pro konstrukci těchto křivek je volena taková matematická funkce, která co nejpřesněji popisuje vztah mezi veličinami, shazuje průběh studované závislosti a mj. zajišťuje, aby byla křivka v celém svém rozsahu rostoucí (v případě DDF křivek), resp. klesající (v případě IDF křivek). Standardně se k tomuto účelu používá parametrizace DDF/IDF křivek 3parametrickou rovnicí intenzitní křivky ve tvaru

$$i = \frac{C}{(t + a)^\alpha}$$

kde i je intenzita návrhové srážky, t značí délku časového okna a C , a a α jsou parametry specifické pro danou stanici a zvolenou dobu opakování. Takto odvozená křivka je však vhodná k parametrizaci pouze v dolní části křivky pro časové úseky cca 5–180 min, jak je zřejmé z obr. 6.



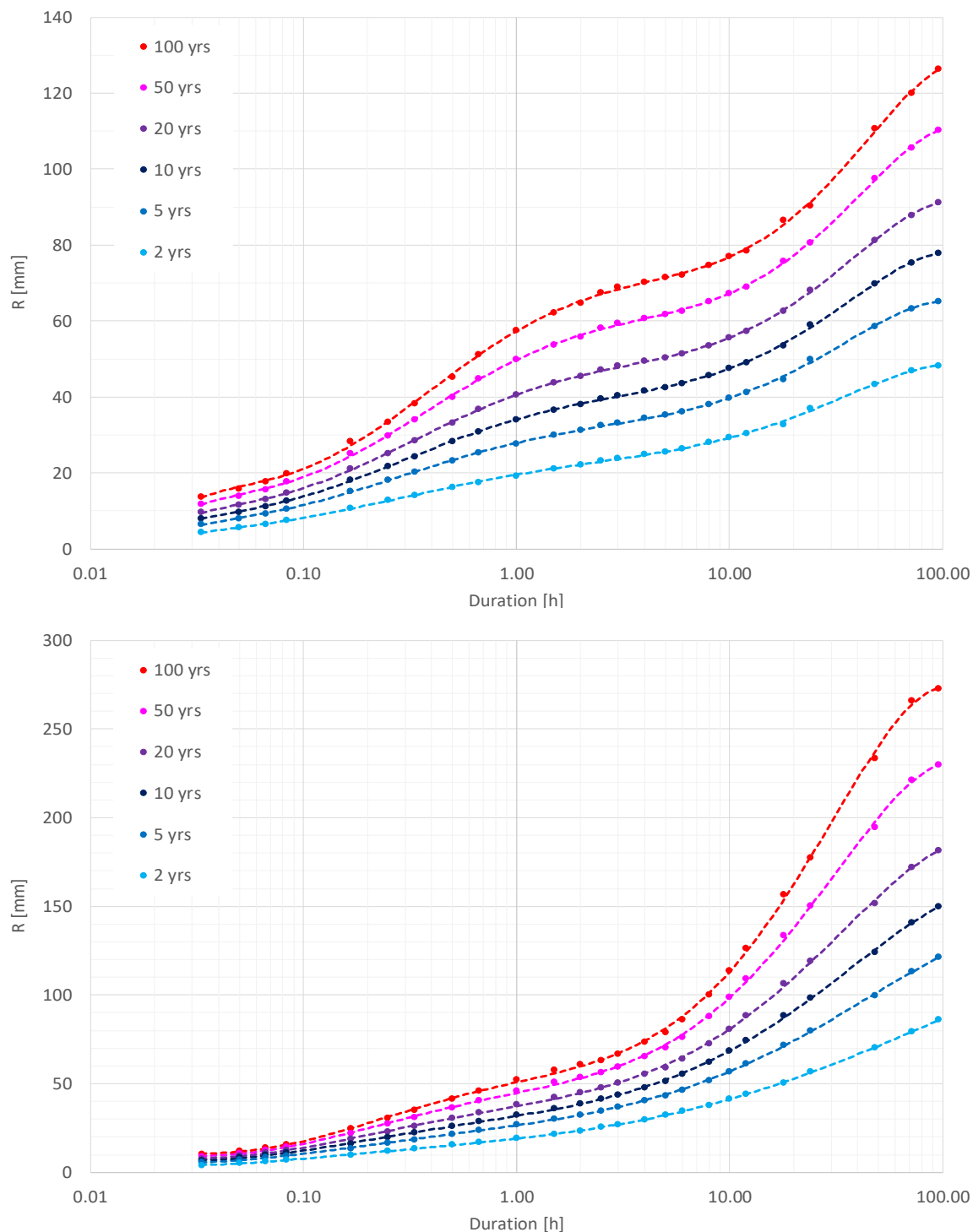
Obr. 6 Příklad DDF křivek vzniklých proložením spočtených odhadů návrhových srážek na stanici Desná, Souš 3parametrickou intenzitní křivkou odvozenou z odhadů pro časová okna 5 až 24 h. Body spojené přerušovanou čarou značí napočtené hodnoty, plná čára je vykreslením proložené 3parametrické křivky.

V našem případě bylo zapotřebí nalézt vztah vystihující křivku pro časové úseky od 5 min až do 72 h, jejíž tvar je složitější. Jako vhodná aproximace se ukázala polynommická funkce 6. řádu, aplikovaná na závislost mezi logaritmem délky trvání srážky a jejím úhrnem. Návrhový úhrn srážky R za časový úsek t s dobou opakování n se určí podle vztahu

$$R_{tn} = a (\log t)^6 + b (\log t)^5 + c (\log t)^4 + d (\log t)^3 + e (\log t)^2 + f (\log t) + g$$

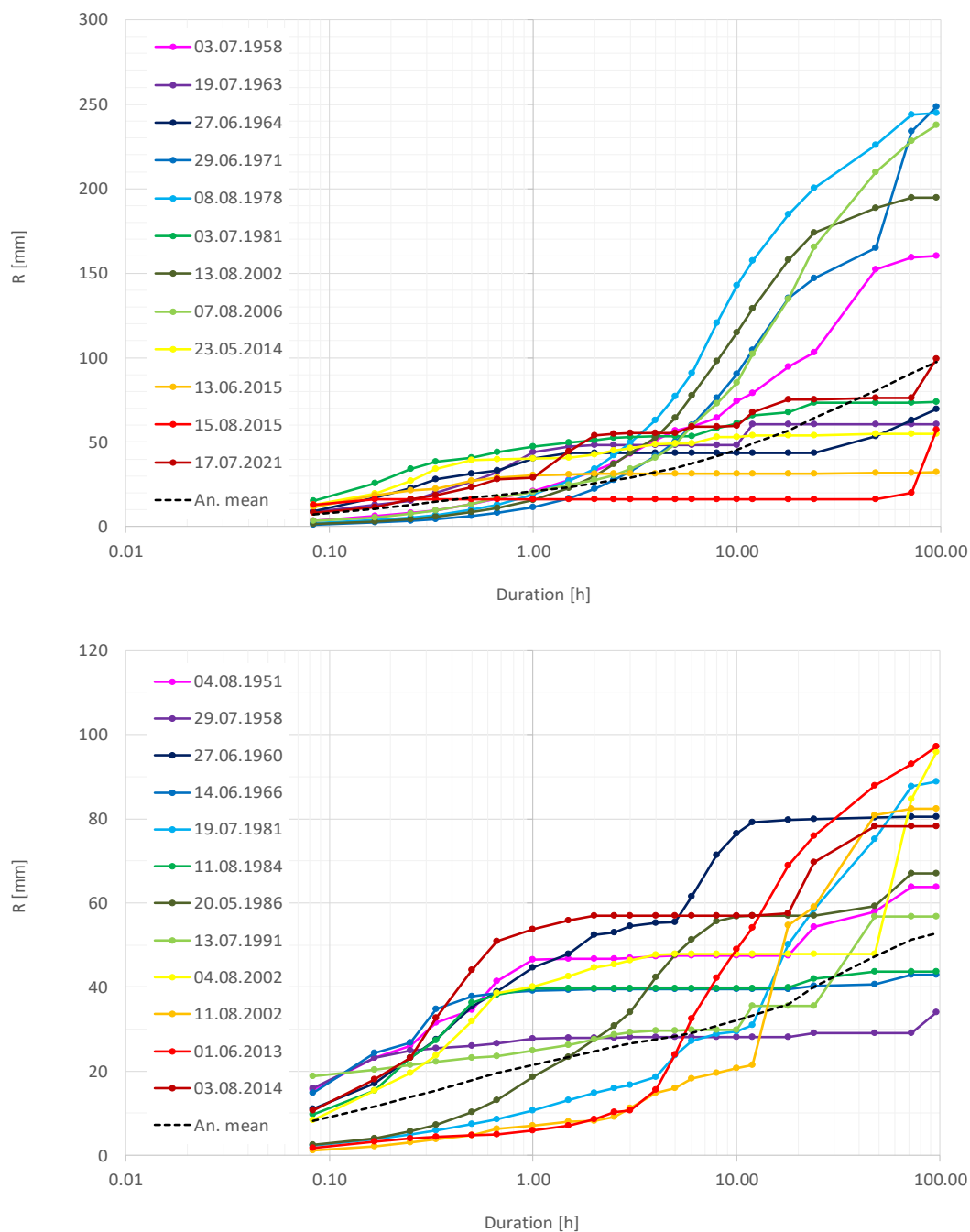
kde a až g značí parametry specifické pro danou stanici a zvolenou dobu opakování. Funkce byla standardně prokládána návrhovými úhrny s délkou od 2 min do 96 hodin, přičemž rozsah uvažovaných časových úseků byl v jednotlivých případech krácen tak, aby křivky co nejlépe sledovaly odhady pro jednotlivé časové úseky, a to především tehdy, pokud křivky vykazovaly nerealistická prohnutí na svých okrajích. U cca 10 % stanic by z tohoto důvodu DDF křivky začínaly až od 10 minut, proto u nich byly 5minutové intenzity doplněny expertním přístupem.

Příklad proložení polynomické funkce diskrétními odhady pro jednotlivé časové úseky je znázorněn na obr. 7, a to pro stanice Tábor a Desná-Souš. Tyto stanice se vyznačují téměř 70letými řadami srážkových intenzit a zároveň reprezentují dva typické průběhy DDF křivek, a to pro stanice v nižších polohách, resp. stanice orograficky ovlivněné. Obecně můžeme konstatovat, že DDF křivky mají typický tvar dvojité vlny s prudšími vzestupy pro časové úseky v řádu desítek minut a desítek hodin a naopak pozvolnějšími vzestupy pro časové úseky v řádu jednotek minut a jednotek hodin. Výrazně se přitom liší tvar křivek pro orograficky ovlivněné stanice, na nichž je dominantní prudký vzestup křivky od cca 4hodinových do 48hodinových úseků.



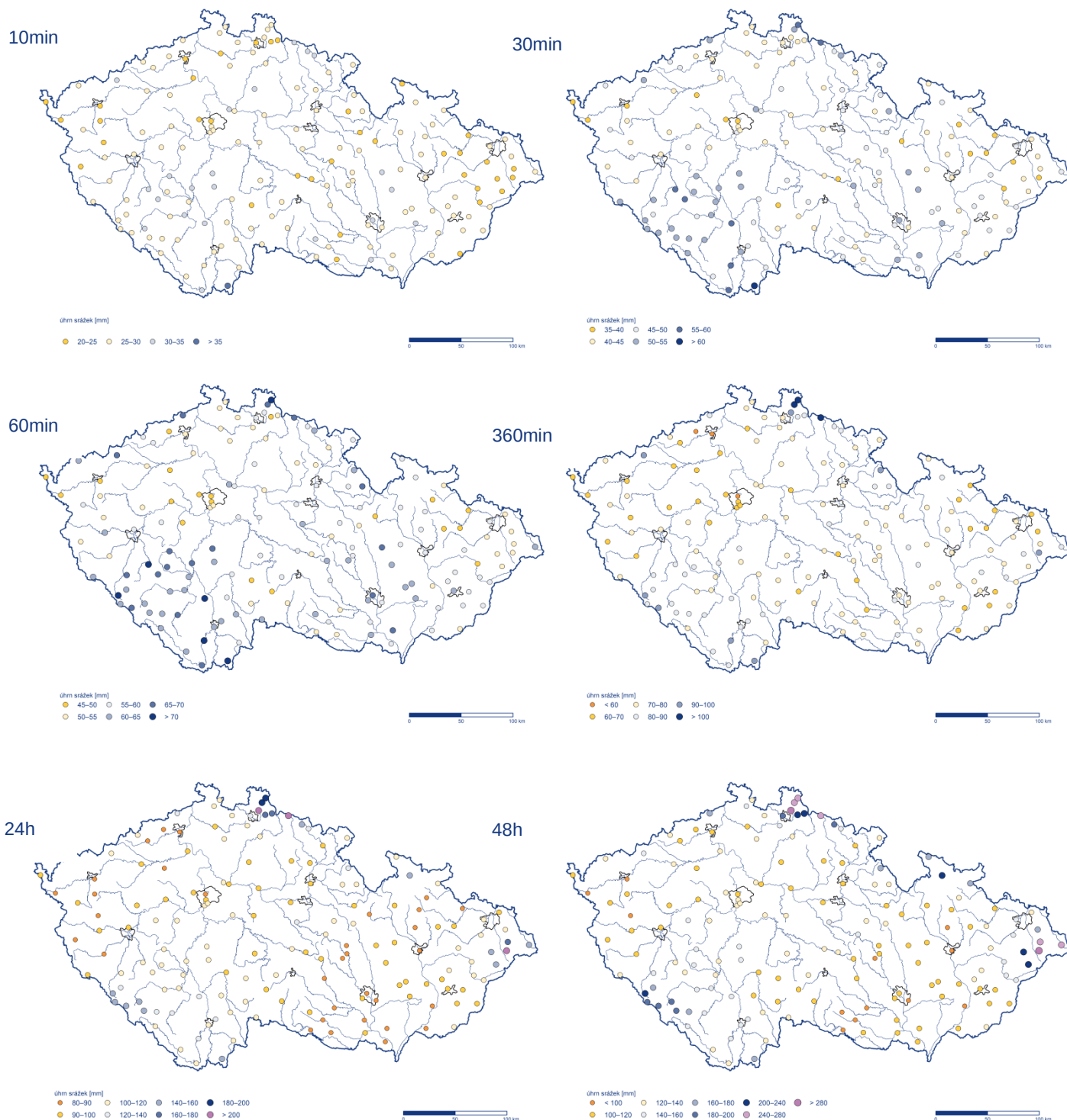
Obr. 7: DDF křivky pro stanice Tábor (nahore) a Desná-Souš (dole), vyjadřující závislost návrhových úhrnů srážek R s dobou opakování 2 až 100 roků na délce trvání srážky.

Vysvětlení zvlněného tvaru DDF křivek spočívá v rozlišení vlivu krátkodobých (zjevně konvektivních) a dlouhodobých (zjevně stratiformních) srážkových událostí a charakteristického rozdělení srážkových intenzit během nich. Oba druhy událostí lze zřetelně odlišit především u nejkratších časových úseků (do 30 minut), kdy extrémní stratiformní události mají krátkodobé intenzity podstatně nižší než události konvektivního původu (obr. 8). Dolní část DDF křivek je pak určována tím, že křivka maximálních intenzit během konvektivní srážkové události se nejčastěji kolem 1 hodiny začíná narovnávat, ovšem stratiformní srážky začnou nad konvektivními převažovat teprve u delších časových úseků (v nižších polohách až od zhruba 12 hodin, na orograficky ovlivněných stanicích již cca od 4 hodin). V tomto úseku proto DDF křivky opět začínají prudce stoupat; nárůst se pak začne zpomalovat kolem 48 hodin.



Obr. 8: Maxima úhrnů srážek za různě dlouhé časové úseky při událostech, kdy alespoň pro jeden z uvažovaných úseků patřil dosažený úhrn do trojice nejvyšších zaznamenaných, a to na stanicích Tábor (nahore) a Desná-Souš (dole).

Prostorové rozložení finálních odhadů návrhových 100letých srážek o délce trvání 10 min, 30min, 60 min, 360 min a 24 a 48 h odečtených s výsledných DDF a IDF křivek je uvedeno na mapách níže (obr. 9)

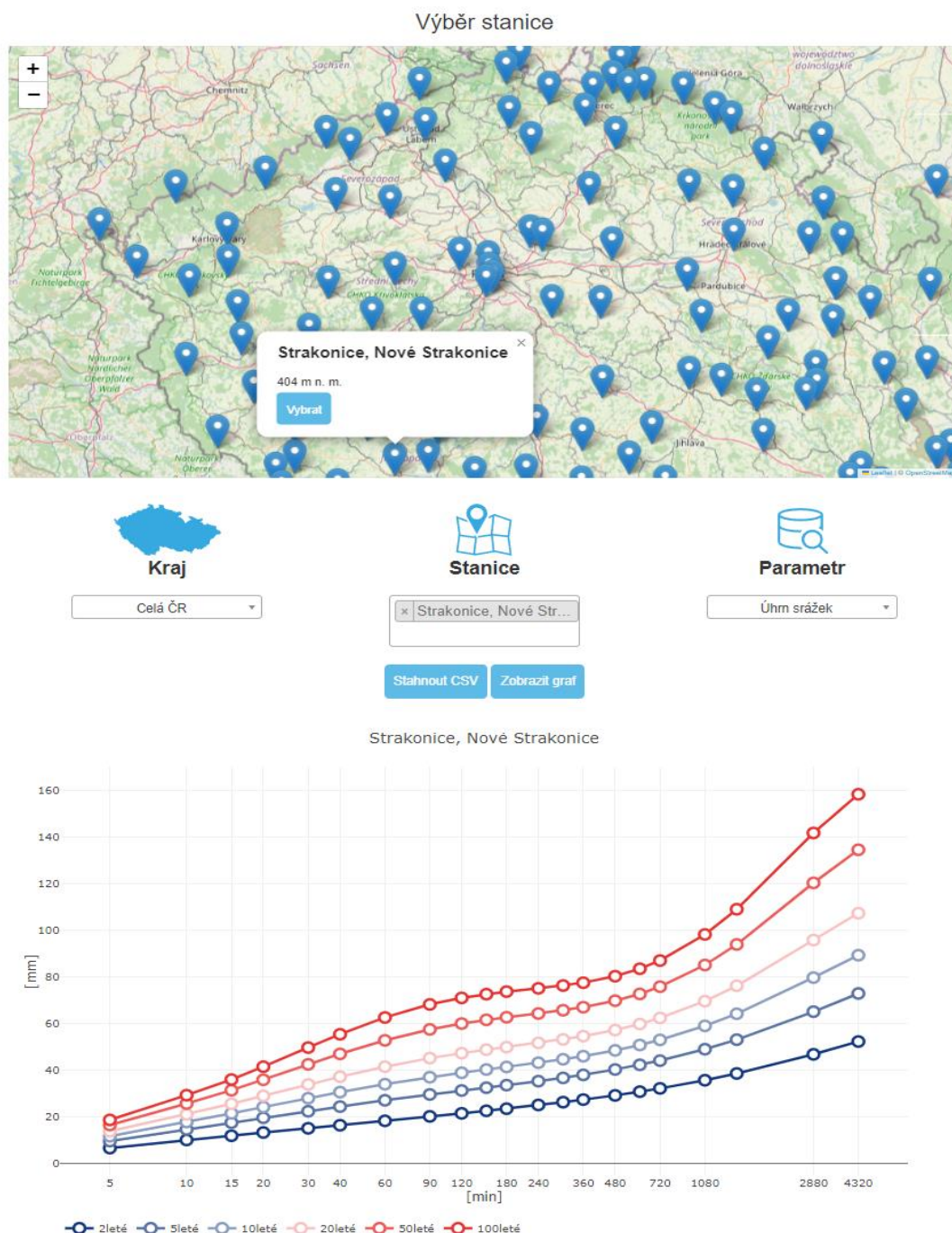


Obr. 9: Prostorové rozložení výsledných návrhových hodnot 100letých 10min, 30min, 60min, 360min, 24h a 48h srážkových úhrnů.

Výstupy pro veřejnost

Výsledné odhady návrhových srážek jsou pro veřejnost k dispozici ke stažení na projektovém webu (<https://www.perun-klima.cz/srazky>). Publikovány jsou zde odhady 2–100letých srážek pro délky trvání 5 min až 72 h v lokalitách 164 vybraných stanic.

K dispozici ke stažení jsou dva typy výstupů - datový CSV soubor a interaktivní graf zobrazující IDF nebo DDF křivky. Požadovanou stanicí lze vybrat v seznamu nebo přímo v mapě, dostupná jsou data návrhových úhrnů i intenzit srážek.



Obr.10 Ukázka výběru stanice a vykreslení dat ve veřejně dostupné prohlížečce dat odhadů návrhových srážek dostupné na <https://www.perun-klima.cz/srazky/>

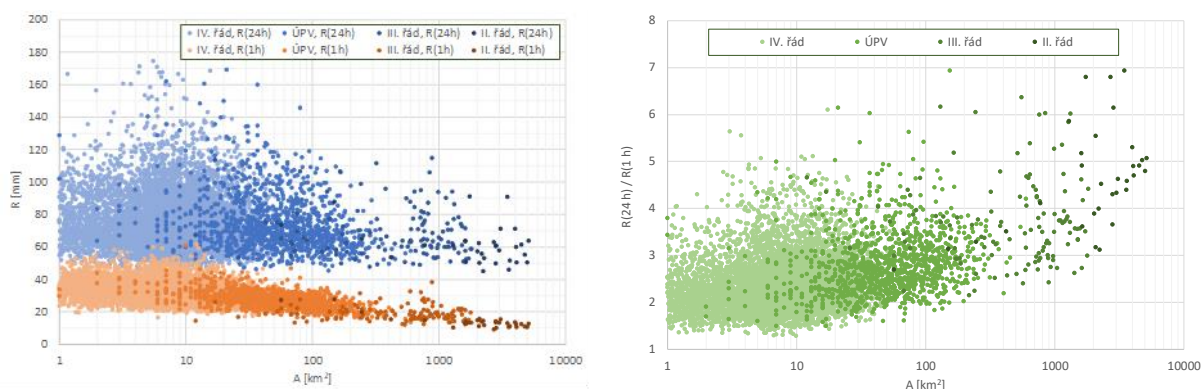
Vztah mezi návrhovou plošnou srážkou a velikostí uvažované plochy

Zpracování subdenních srážek z radarových měření

Kromě bodových návrhových srážek byly určovány i plošné návrhové úhrny srážek, a to pro různě velká povodí, k čemuž byly využity radarové odhady srážek. Východím datovým souborem byla data radarové odrazivosti v nadmořské výšce 2000 m n. m. (produkt pseudo-CAPPI 2 km), která pokrývají dvacet bezmrazových období od dubna do října (2002 – 2021) s časovým rozlišením 10 minut a horizontálním rozlišením 1 km. Intenzity srážek byly odhadnuty pomocí standardního Z-R vztahu a poté adjustovány denními úhrny srážek ze srážkoměrných stanic ČHMÚ. Zvolený adjustační algoritmus nejdříve plošně adjustuje denní úhrny srážek odvozené z radarových dat tak, aby v pixlech se srážkoměrnými stanicemi odpovídaly staničním denním úhrnům. Takto plošně adjustované denní úhrny dále adjustuje lokálně v jednotlivých pixelech úhrny naměřenými na nejbližších stanicích se započtením proměnných vah podle vzdálenosti příslušných stanic. Nakonec získané adjustované denní úhrny rozdělují do desetiminutových intenzit podle časového průběhu radarové odrazivosti.

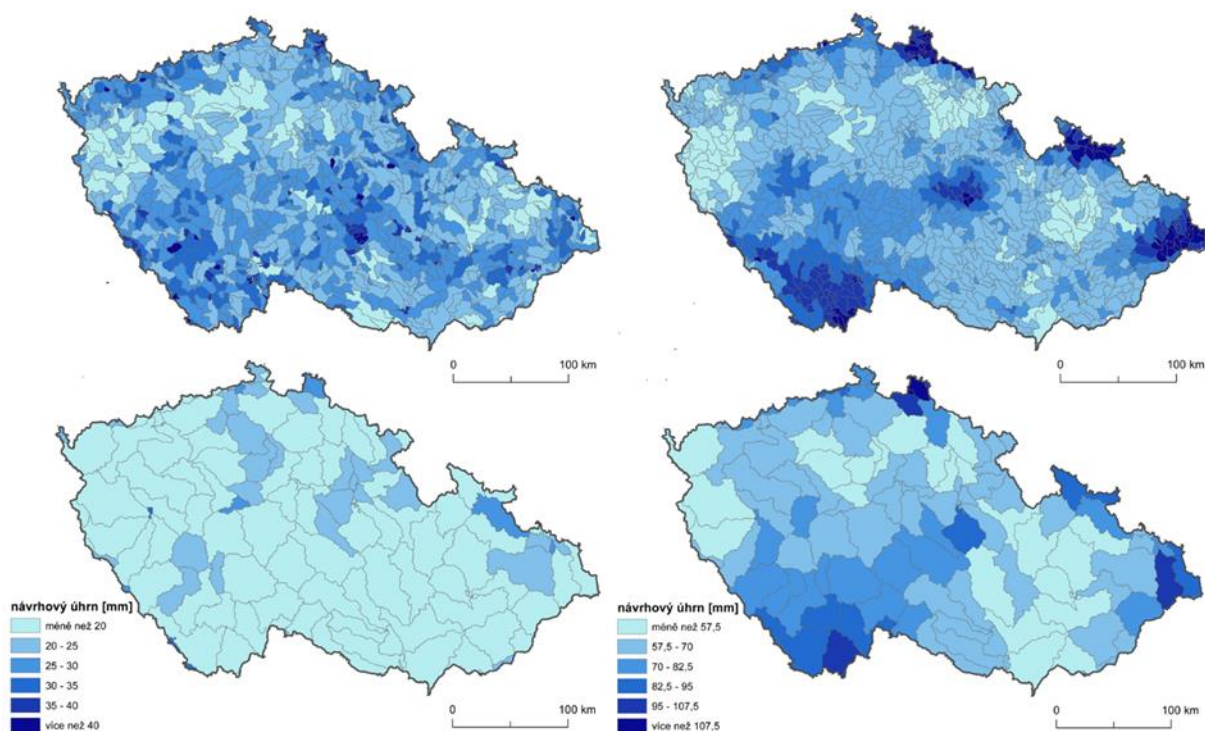
Z 10minutových intenzit srážek v pixlech o velikosti 1 km^2 byly stanoveny úhrny srážek za časové úseky od 30 minut do 3 dnů, a to klouzavě pro všechna časová okna studovaného 20letého období. Následně byly vypočteny plošné průměry těchto úhrnů v povodích od IV. do I. řádu a v povodích útvarů povrchových vod (ÚPV). Ty byly podrobeny frekvenční analýze pomocí tříparametrického zobecněného rozdělení extrémních hodnot (GEV), jehož parametry byly odvozeny metodou L-momentů z ročních maxim plošných srážkových úhrnů na povodí. Pomocí parametrů GEV pak byly stanoveny návrhové plošné úhrny srážek ve všech uvažovaných povodích a pro všechny uvažované doby akumulace.

Podle očekávání s rostoucí plochou povodí návrhové plošné úhrny srážek v průměru klesají, a to pro všechny doby akumulace (obr. 11a). Zatímco pro nejmenší povodí dosahují hodinové úhrny s dobou opakování 20 roků v průměru 36 mm, na povodí o ploše 1000 km^2 je návrhový úhrn přibližně poloviční. Pokles je znatelný i v případě delší doby akumulace srážek, není nicméně zdaleka tak výrazný (v uvedeném případě 24hodinových úhrnů jen cca o 20 %). Výsledkem jsou obecně větší podíly mezi návrhovými srážkovými úhrny s delší a s kratší dobou akumulace ve větších povodích (obr. 11b).



Obr.11 a) Návrhové hodinové a 24hodinové plošné úhrny srážek R [mm] s dobou opakování $N = 20$ roků pro povodí II. až IV. řádu a útvarů povrchových vod (ÚPV) o různé ploše A [km^2]; (b) podíly příslušných 24hodinových a hodinových návrhových srážkových úhrnů na různé velikých povodích.

Příklady prostorového rozdělení návrhových plošných úhrnů srážek jsou zobrazeny v obr. 12. Je z něj patrná značná prostorová neuspořádanost v případě návrhových hodinových úhrnů, kde zjevně hraje důležitou roli velikost povodí. V případě návrhových 24hodinových úhrnů je tento faktor vedlejší; jako zásadní se jeví vliv topografie, přičemž největší úhrny se vyskytují nejen na horách, ale i v jejich předpolí.

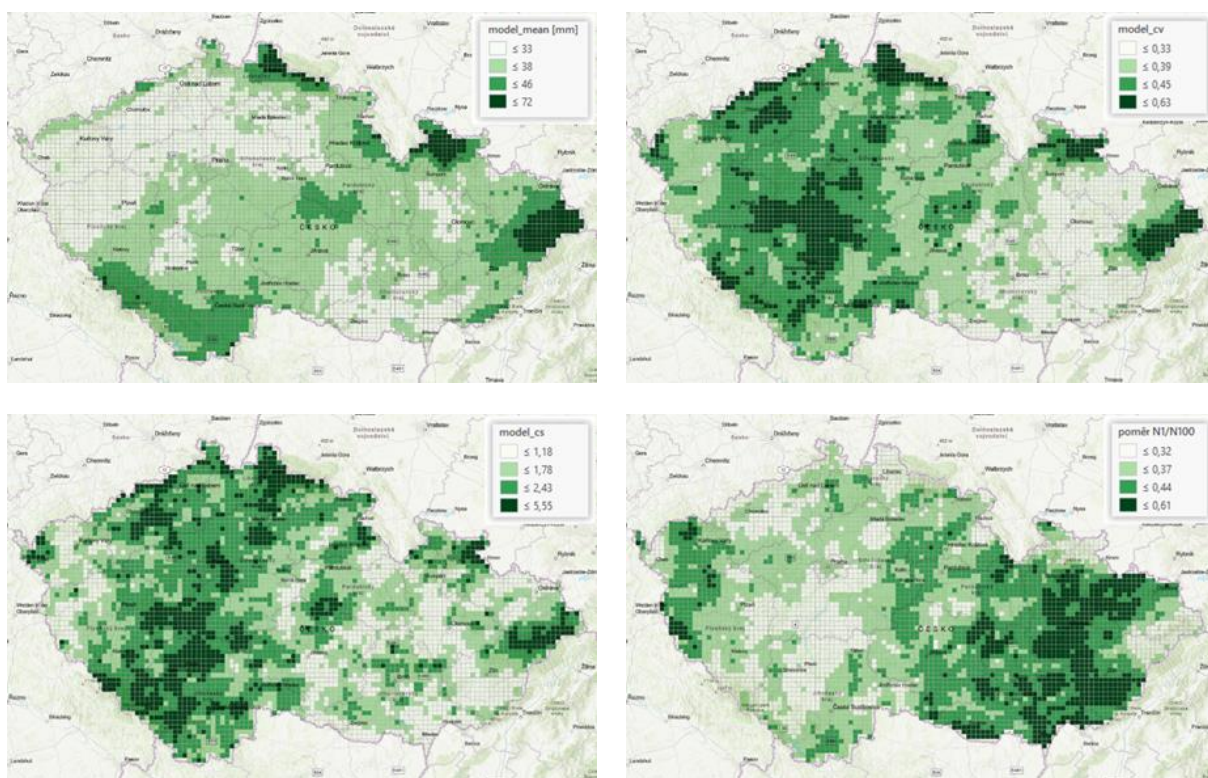


Obr.12 Návrhové plošné úhrny srážek s dobou opakování 20 roků, s délkami trvání 1 h (vlevo) a 24 h (vpravo) a pro útvary povrchových vod (nahore) a povodí III. řádu (dole).

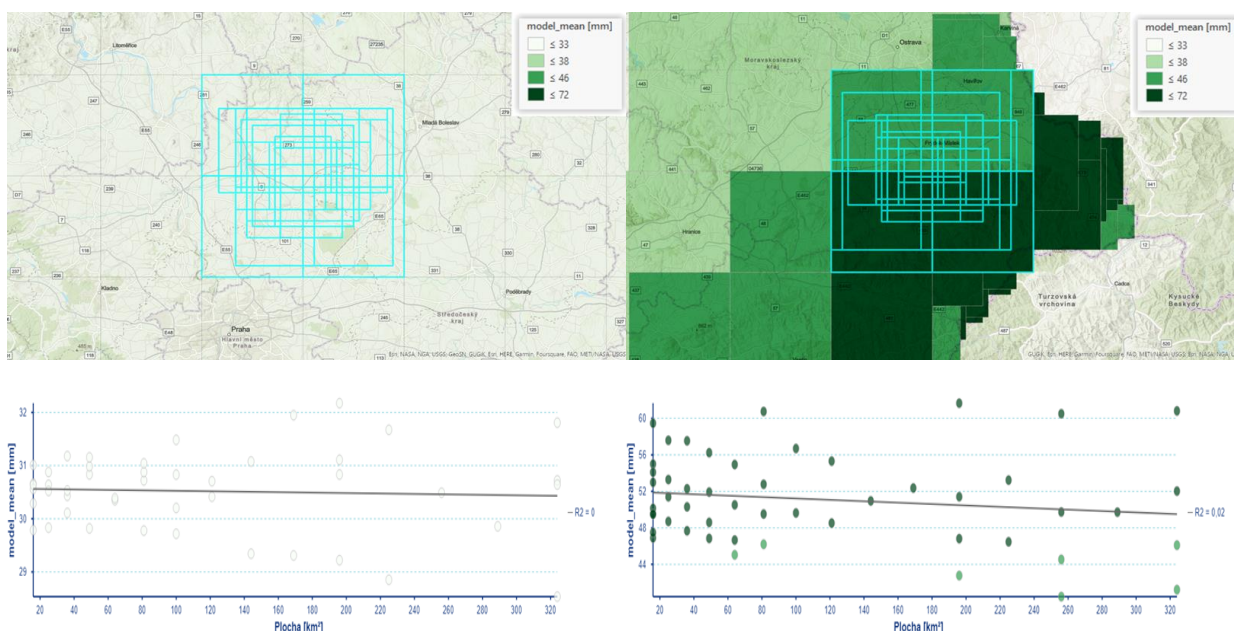
Zpracování denních srážek ze staničních měření

Pro analýzu plošných 1denních sezónních srážkových maxim byla využita data interpolovaných denních hodnot srážek do pravidelné sítě (500x500 m) za období 1961–2020. Analýza byla prováděna v pravidelné síti čtvercových polygonů s plochou od 16 do 324 km². Pro každý polygon a jednotlivé roky byly zjišťovány maximální plošné 1denní úhrny srážek za sezónu od 15. dubna do 15. října. Pro každý polygon bylo získáno celkem 60 hodnot maximálních sezónních 1denních maxim, kterými bylo proloženo teoretické logaritmicko-normální statistické rozdělení extrémních hodnot (LN3) pro odvození teoretických sezónních *N*-letých hodnot 1denních srážek. Polygony byly hromadně analyzovány se zaměřením na modelové (získané z proloženého teoretického rozdělení) hodnoty charakteristik průměru, koeficientu variace a asymetrie a poměru teoretické 1leté a 100leté hodnoty (obr. 13).

V charakteristikách byla pozorována velká regionální proměnlivost související s vlivem orografie a návětrných efektů s ní spojených. V nížinách a pahorkatinách se pak projevuje významný vliv četnosti výskytu extrémních hodnot a jejich odlehlosti od průměru. Nadmořská výška má na průměrná 1denní maxima srážek velký vliv v oblastech s výrazným návětrným efektem, naopak na závětrné straně je závislost na nadmořské výšce prakticky zanedbatelná. Nebyl prokázán významnější vztah mezi průměrnými 1denními maximy vůči velikosti uvažované plochy v daném rozpětí 16–324 km² (obr. 14).



Obr. 13 Plošné rozložení hodnot statistických charakteristik spočtených z proloženého statistického rozdělení pro 1denní srážkové úhrny, průměr (*model_mean*; vlevo nahoře), koeficient variace (*model_cv*; vpravo nahoře), koeficient asymetrie (*model_cs*; vlevo dole) a poměr 1leté a 100leté hodnoty (*poměr NI/N100*; vpravo dole)



Obr. 14 Závislost modelových průměrných 1denních maxim (*model_mean*) na velikosti uvažované plochy pro oblast Polabí (vlevo) a severozápadní návětrí Beskyd (vpravo).

Srážkové charakteristiky ve výstupech klimatických modelů

V rámci této kapitoly je nejprve uvedena krátká rešerše shrnující poznatky týkající se pozorovaných časových změn srážkových charakteristik (především srážkových extrémů) a reprezentace srážek a jejich budoucího vývoje v klimatických modelech.

Poté jsou uvedeny první výsledky analýzy srážkových úhrnů získaných z modelu ALADIN-Climate. Nejprve je analyzována schopnost tohoto modelu vystihnout srážkové úhrny se zaměřením na 1hodinové úhrny. Dále jsou analyzovány změny v charakteristikách extrémních srážek dané simulacemi tímto modelem do budoucna.

Předešlé studie

Evropa byla v posledních desetiletích postižena množstvím povodňových událostí (Kundzewicz et al. 2005; Kundzewicz 2012; Faulkner et al. 2020). Zejména přívalové povodně, způsobené lokalizovanými velmi intenzivními krátkodobými srážkami, mohou být v budoucnu ještě intenzivnější díky dynamickým zpětným vazbám (Alexander et al. 2006; Lenderink et van Meijgaard 2008; Trenberth 2011; Berg et Haerter 2013; Millán 2014; Westra et al. 2014; Guerreiro et al. 2018; Fowler et al. 2020; Fowler et al. 2021).

Komplexní přehled o metodologii a výsledcích studií posuzujících trendy ve srážkových extrémech a povodňových situacích napříč Evropou uvádí Madsen et al. (2014). Na území České republiky vyhodnotil sezónní trendy v denních extrémních srážkách Kyselý (2009). Především v zimním období a západní části republiky byl znatelný statisticky významný nárůst ve všech indexech posuzujících intenzivní srážky. V letním období byly zjištěné trendy méně významné a prostorově nejednotné. Naopak klesající trendy (spojené s poklesem sezónních úhrnů) byly pozorovány v jarním období. Hanel et al. (2016) analyzovali trendy intenzivních srážek v agregacích od 30 min do 24 h pro 17 stanic v ČR za období květen–září. Pozorované trendy v posuzovaných indexech (sezónní srážkové maximum, index intenzity a podíl srážek přinášený v intervalech s vysokými úhrny) byly statisticky významné a pozitivní pro velkou část stanic (průměrný nárůst 2–9 % za 10 let pro všechny indexy). Extrémní srážkové události s vysokými úhrny a krátkou dobou trvání jsou nejčastěji spojovány s konvektivními bouřemi (Westra et al., 2014). Rulfová et Kyselý (2014) posuzovali charakteristiky konvektivních a stratiformních srážek a zjistili prostorově průměrované pozitivní trendy v konvektivních srážkách z pohledu celkového srážkového úhrnu a počtu srážkových dní pro období jara, léta a podzimu. Přestože trendy v nejvíce extrémních konvektivních srážkách (6h a 24h sezónní maxima) byly více prostorově proměnlivé a statisticky méně významné, mírný trend růstu zde taktéž převládal. Tato zjištění jsou v souladu nejen s jinými studiemi, ale také simulacemi klimatických modelů umožňující modelování konvektivních procesů (Martinkova et Kyselý 2020; Purr et al. 2020; Lenderink et al. 2021; Fowler et al. 2021).

Elementárním nástrojem modelování současného i budoucího klimatu jsou globální a regionální klimatické modely (GCM a RCM). Hlavní překážkou klimatického modelování zůstává složitost a náročnost řešení fyzikálních procesů tvořících krátkodobé srážkové extrémy, do kterých navíc zasahují ještě lokální vlivy, např. orografie, s nimiž se musí vypořádat klimatické modely (Stocker et al. 2013). Na regionální klimatické modelování byla po roce 2000 zaměřena řada mezinárodních projektů. Jedná se především o projekty PRUDENCE (Christensen et Christensen 2007), ENSEMBLES (van der Linden et Mitchell 2009) a CORDEX (Jacob et al. 2014), v jejichž rámci vznikly řady simulací RCM pro Evropu do konce 21. století. Projekt INTENSE (Intelligent use of climate models for adaptation to non-stationary hydrological extremes) byl pak zaměřen na globální řešení problematiky subdenních srážek a využití tzv. convection-permitting modelů (CPM) které umožňují dynamickou reprezentaci konvektivních procesů (Blenkinsop et al. 2018; Fowler et al. 2021).

Ze souboru simulací RCM řízených reanalýzou ERA40 (Uppala et al. 2005) pro období 1982–2000, vzniklých v rámci projektu ENSEMBLES, Kyselý et al. (2016) zjistili pro ČR podhodnocení intenzity konvektivních srážek a dále celkové podhodnocení konvektivních a nadhodnocení stratiformních srážkových extrémů, které ovšem vedlo k relativně dobré reprezentaci celkových denních srážkových extrémů. Denní srážkové extrémy byly v simulacích RCM dobře reprezentovány i v dalších evropských zemích (např. Nizozemsko: Hanel et Buishand

2010, nebo Dánsko: Gregersen et al. 2013). Naproti tomu schopnost RCM reprezentovat věrohodně hodinové srážkové extrémy je často zpochybňována (Hanel et Buishand 2010; Gregersen et al. 2013; Kendon et al. 2014).

Studie budoucích změn ve srážkových extrémech pro území ČR založené na simulacích z projektu ENSEMBLES (Kyselý et Beranová 2009; Kyselý et al. 2011; Hanel et Buishand 2012) se shodují na nárůstu letních i zimních denních srážkových extrémů pro období do konce 21. století s nárůstem v rozmezí 16–26 % pro 50letou a delší dobu opakování. Obdobné budoucí změny v denních extrémech podle RCM simulací byly zjištěny také pro další části Evropy (např. Frei et al. 2006; Hanel et Buishand 2011; Madsen et al. 2014). Pro Dánsko (Arnbjerg-Nielsen 2012) a Nizozemsko (Hanel et Buishand 2010) byly odhadovány vyšší nárůsty v hodinových extrémech v porovnání s denními a větší nárůst intenzit s kratší dobou trvání a delší dobou opakování. Z pohledu letních extrémních srážkových úhrnů byly zmiňovány nárůsty také v dalších částech Evropy (Lenderink et van Meijgaard 2008; Kendon et al. 2014), avšak objevují se i studie předpokládající pokles, např. pro Německo (Knote et al. 2010).

V širokém ansámblu simulací RCM provedených v rámci projektů ENSEMBLES a EURO-CORDEX byla analyzována také schopnost modelů simulace individuálních, potenciálně nebezpečných intenzivních srážkových událostí v letní části roku (tedy komplexní srážkové události, ne jen prostého úhrnu za časový interval) a to z pohledu jak kontrolního období (Svoboda et al. 2017), tak ve výhledu do konce 21. století (Svoboda et al. 2016). V kontrolním období byly úhrny těchto událostí většinou jen mírně podhodnocené, nicméně doba jejich trvání byla oproti reálně pozorovaným událostem znatelně nadhodnocena. Největší podhodnocení intenzit je pak patrné právě u nejvíce extrémních událostí s vysokou intenzitou, které souvisí s podhodnocením počtu událostí s krátkou dobou trvání v řádu několika hodin. Celkový počet intenzivních událostí byl v ansámblu simulací RCM mírně nadhodnocený, stejně jako celkový úhrn přinášený těmito událostmi. V simulacích pro budoucí výhled byly mezi různými běhy RCM znatelné rozdíly. Největší počet simulací předpokládá nárůst v úhrnech a intenzitách událostí a pouze nepatrnou změnu v dobách trvání. Výraznější změny se podle simulací projeví ve vzdálenějším výhledu (2070–2099), přičemž RCM udávají spíše pokles v počtu intenzivních událostí. Nárůsty v průměrných i maximálních intenzitách a počet intenzivních událostí je významně statisticky závislý na narůstajících hodnotách radiačního působení a teploty. Z pohledu schopnosti reprodukce velkoprostorových extrémních srážek v ČR se simulacemi RCM zabývali Beranová et Kyselý (2024). V ansámblu simulací z projektu EURO-CORDEX téměř všechny simulace podhodnocovaly výskyt těchto událostí jak v zimní, tak v letní části roku. V zimě modely nadhodnocují denní úhrny (nad 90. percentilem), zatímco v létě jsou výsledky napříč modely nejednotné a liší se dle typu atmosférického proudění. Přehled a komplexní analýza simulací z projektu EURO-CORDEX je pak také předmětem studií Vautard et al. (2021) a Coppola et al. (2021).

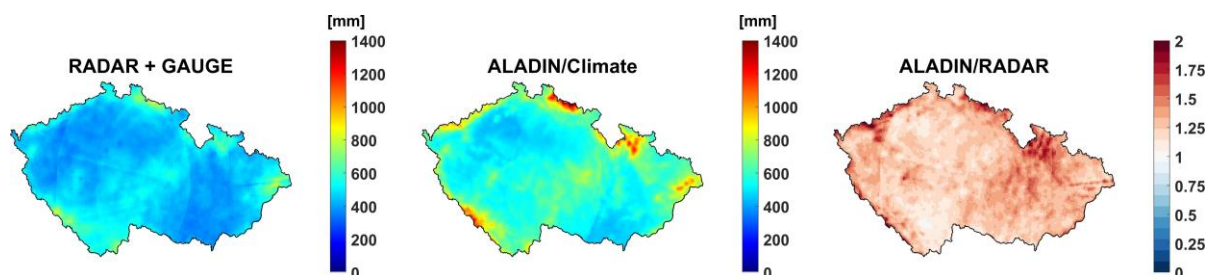
V rámci projektu PERUN provedli Sokol et al. (2024) analýzu změn rozložení intenzivních hodinových srážek v důsledku změn teplotních charakteristik. Tato analýza byla provedena na datech ze staničních měření, reanalýzy a projekcích budoucího klimatu modelu ALADIN-Climate pro území České republiky. Sokol et al. (2024) mimo jiné uvádí, že dle modelových projekcí pro oba dostupné scénáře SSP-4.5 a SSP-8.5 nejsou očekávány žádné významné změny v hodnotách (99. a 99,5. percentilu) intenzivních krátkodobých srážek do roku 2050, dle scénáře SSP-4.5 ani do roku 2100. Dle scénáře SSP-8.5 lze však očekávat výrazné navýšení extrémních hodnot krátkodobých srážek v poslední čtvrtině tohoto století.

Validace modelu ALADIN-Climate

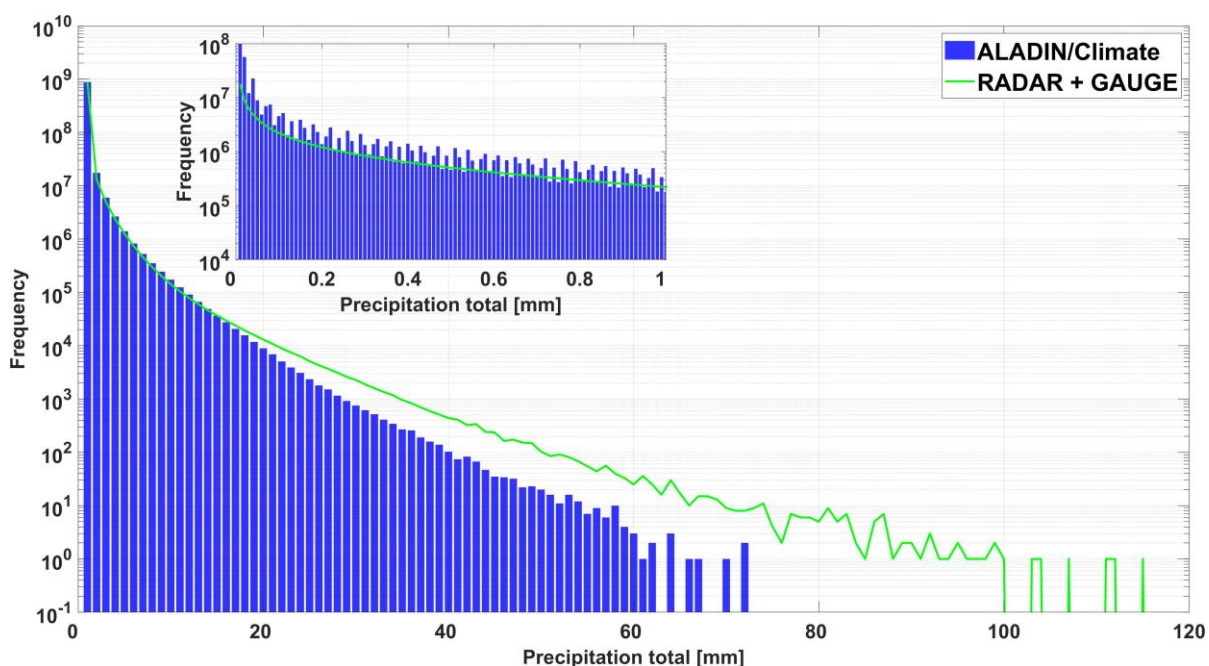
Před analýzou budoucího vývoje charakteristik krátkodobých srážek byla zhodnocena schopnost modelového běhu ALADIN-Climate vystihnout srážkové charakteristiky se zaměřením na 1hodinové úhrny. Jedná se o historický běh klimatického modelu, ve stejném nastavení modelu je prováděna simulace budoucího stavu klimatu do roku 2100 a je tedy žádoucí znát jeho schopnost simulovat srážky nejen v denním, ale i sub-denním kroku. Validace byla provedena podle adjustovaných radarových odhadů úhrnů srážek v období 2002–2014 nad oblastí České republiky (ČR).

Plošná distribuce sezónních (tj. duben–říjen) úhrnů srážek (obr. 15) ukazuje, že modelové úhrny jsou ve srovnání s měřeními téměř výhradně nadhodnocené. Toto nadhodnocení se v průměru pohybuje kolem 30 %, přičemž lokality s nejvyšším nadhodnocením představují oblasti s dlouhodobě nejvyššími úhrny srážek (tj. horské oblasti Krkonoš, Hrubého Jeseníku, Krušných hor a Šumavy). Naopak oblasti, které nejvíce odpovídají naměřeným hodnotám, zahrnují místa s nejnižší dotací srážek. Je tedy zřejmé, že vliv orografie představuje určitý problém

pro spolehlivou rekonstrukci srážek simulovaných modelem. Je však také důležité zmínit, že radarová měření srážek v horských oblastech jsou v důsledku orograficky podmíněných překážek problematická a zpravidla způsobují jejich podhodnocení, což může do značné míry přispívat k výslednému nadhodnocení srážek z pohledu modelových simulací.



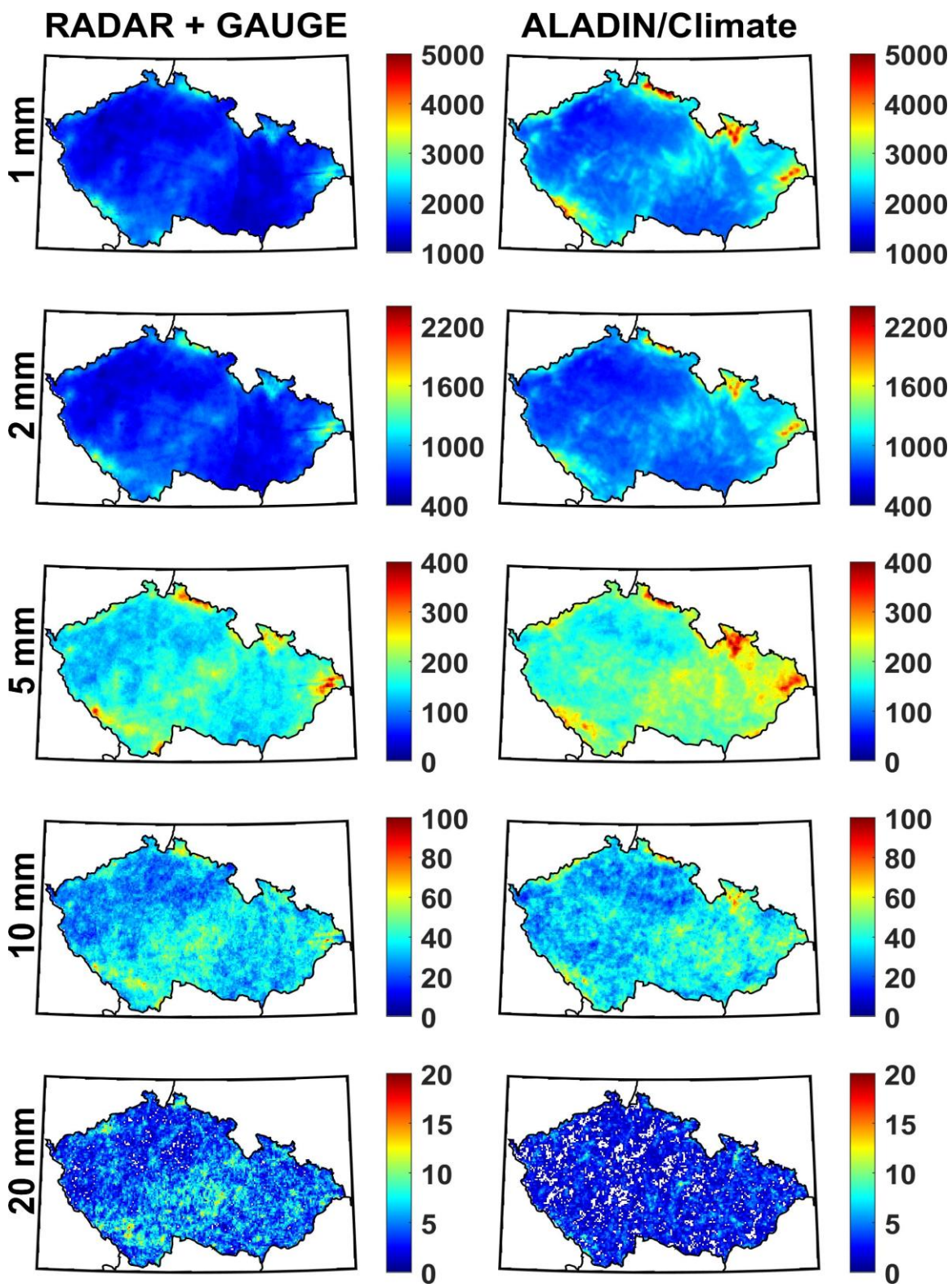
Obr. 15 Plošné sezónní (duben-říjen) úhrny srážek [mm] zprůměrované přes období 2002-2014 podle adjustovaných radarových odhadů (RADAR + GAUGE) (vlevo) a podle simulace modelu ALADIN-Climate (uprostřed). Poměr průměrných sezónních úhrnů srážek mezi poli RADAR + GAUGE a ALADIN-Climate je zobrazen vpravo.



Obr. 16 Histogramy četností 1hodinových úhrnů srážek simulovaných modelem ALADIN-Climate (modré sloupce) a naměřených adjustovanými meteorologickými radary (RADAR + GAUGE; zelená křivka). Graf ukazuje počet hodinových úhrnů srážek ze všech gridových bodů nad Českou republikou za období 2002–2014. Vložený graf ukazuje histogramy četnosti nenulových hodinových úhrnů srážek mezi 0 a 1 mm.

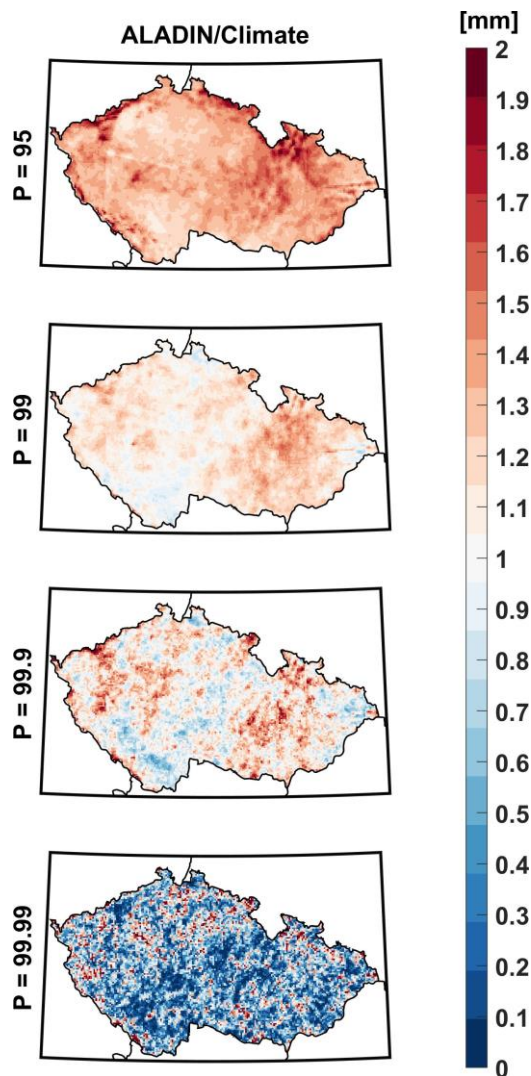
Porovnání všech modelových a naměřených 1hodinových úhrnů srážek bez ohledu na čas a místo výskytu ukazuje histogram četností hodinových úhrnů srážek zobrazený na obr. 16. Z něho je patrné, že nadhodnocení úhrnů srážek silně závisí na jejich intenzitě. Četnost úhrnů do 15 mm je modelem nadhodnocena, zatímco četnost vyšších úhrnů podhodnocena, přičemž se zvyšující se intenzitou srážek roste i míra jejich podhodnocení. Například četnost výskytu hodinových úhrnů ve třídě 30-39,9999 mm je podhodnocena o 334 %, zatímco srážkové úhrny ve třídě 50-59,9999 mm jsou podhodnoceny o 615 %. S tím souvisí i nižší simulovaná maxima, která nepřevyšují hodnotu 75 mm, přičemž měřené úhrny dosahují hodnot i nad 100 mm. Takto vysoké hodnoty je však třeba brát se značnou rezervou, protože jsou zatíženy vysokou mírou nejistoty, a to jak u modelových simulací, tak u pozorování. Z vloženého grafu na obr. 16, který znázorňuje distribuci četností nenulových hodinových úhrnů srážek mezi 0 a 1 mm, zároveň vyplývá, že model velmi často generuje takto nízké úhrny,

zejména pak úhrny pod 0,1 mm. To má významný dopad při kumulaci do sezónních úhrnů srážek, které jsou pak výrazně nadhodnoceny.



Obr. 17 Mapa průměrných sezonních četností nadprahových úhrnů srážek za období 2002–2014z adjustovaných radarových odhadů (1. sloupec) a modelu ALADIN-Climate (2. sloupec).

Nadhodnocení nízkých a podhodnocení vysokých (nad 20 mm) hodinových úhrnů modelem dokládá i obr. 17, který formou map porovnává průměrné sezonní počty hodinových úhrnů srážek nad prahové hodnoty od 1 do 20 mm. Je zde také patrné, že model ALADIN-Climate dobře reflektuje skutečnost, že s rostoucí intenzitou srážek klesá vazba na nadmořskou výšku. Zatímco u úhrnů do 5 mm je tato závislost poměrně zřejmá, pro úhrny nad 10 mm a především pak nad 20 mm je prostorové rozmístění těchto úhrnů spíše náhodné.



Obr. 18 BIAS hodinových úhrnů srážek simulovaných modelem ALADIN-Climate oproti adjustovaným radarovým měřením. BIAS se počítá porovnáním počtu naměřených a modelových hodinových úhrnů srážek, které se rovnají nebo překračují danou prahovou hodnotu $P = 95.$, $99.$, $99.9.$ a $99.99.$ percentil v daném gridové bodě za celé uvažované období (2002–2014).

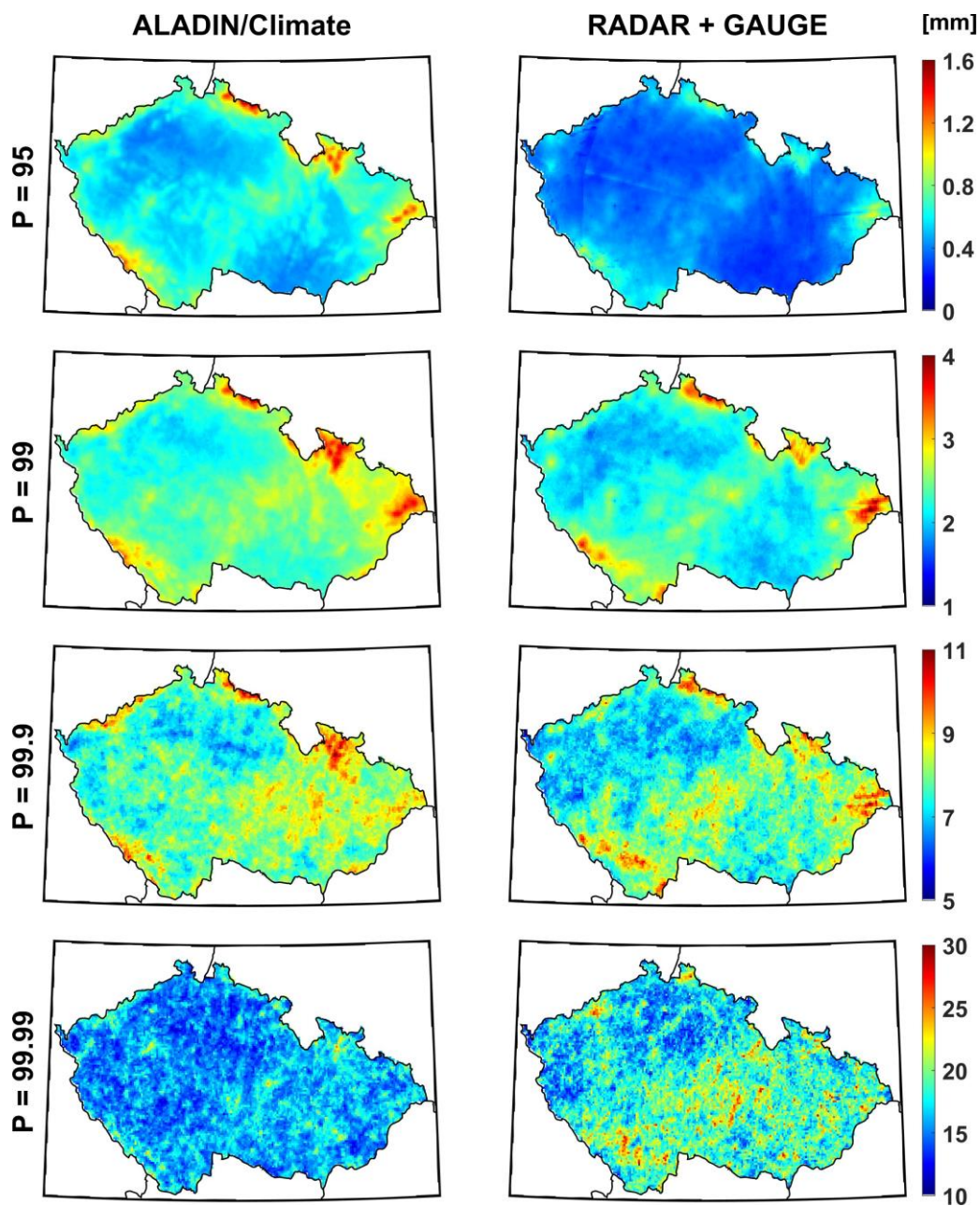
Vzhledem k tomu, že rozložení srážek se může na velkém území z různých důvodů značně lišit (např. v důsledku nadmořské výšky, kontinentality, apod.), použili jsme ke studiu biasu (BIAS) modelových úhrnů srážek také relativní prahové hodnoty (obr. 18). V každém gridovém bodě byla za celé validační období stanovena hodnota 95., 99., 99.9. a 99.99. percentilu podle naměřených hodnot. Z časových řad byl následně zjištěn počet hodinových úhrnů srážek rovných nebo převyšujících danou prahovou hodnotu, a to pro modelová i naměřená data. Výsledná hodnota BIAS pak odpovídá jejich poměru:

$$BIAS = \frac{N_{mod}}{N_{obs}}$$

kde N_{mod} představuje počet modelových a N_{obs} naměřených úhrnů srážek rovných nebo převyšujících danou prahovou hodnotu za celé validační období. BIAS rovný 1 znamená, že úhrny srážek rovné nebo převyšující danou prahovou hodnotu byly simulovány se stejnou četností, s jakou byly pozorovány. Hodnoty BIAS

vyšší/níže než 1 znamenají, že model produkuje více/méně úhrnů rovných nebo převyšujících danou prahovou hodnotu, než bylo pozorováno.

Simulované hodinové úhrny srážek rovné nebo vyšší než 95. percentil, což v závislosti na lokalitě odpovídá úhrnům srážek do přibližně 1,5 mm (obr. 19), jsou až na výjimky zcela výhradně nadhodnocené. Se zvyšující se prahovou hodnotou (99. percentil) se míra nadhodnocení srážek snižuje nebo dokonce dochází k podhodnocení, což je nejvíce patrné v oblasti Moravskoslezských Beskyd, Jizerských hor, Pošumaví a jižních Čech. U nejextrémnějších úhrnů srážek (tj. 99,9. a 99,99. percentil) je patrná již značná prostorová nehomogenita, protože vysoké úhrny srážek pocházející výhradně z konvektivní oblačnosti jsou v prostoru velmi proměnlivé. To má za následek vysoké nadhodnocení a podhodnocení bez ohledu na nadmořskou výšku.



Obr. 19 Prostorové rozložení hodinových úhrnů srážek pro uvažované percentily z modelu ALADIN-Climate (1. sloupec) a adjustovaných radarových měření (2. sloupec).

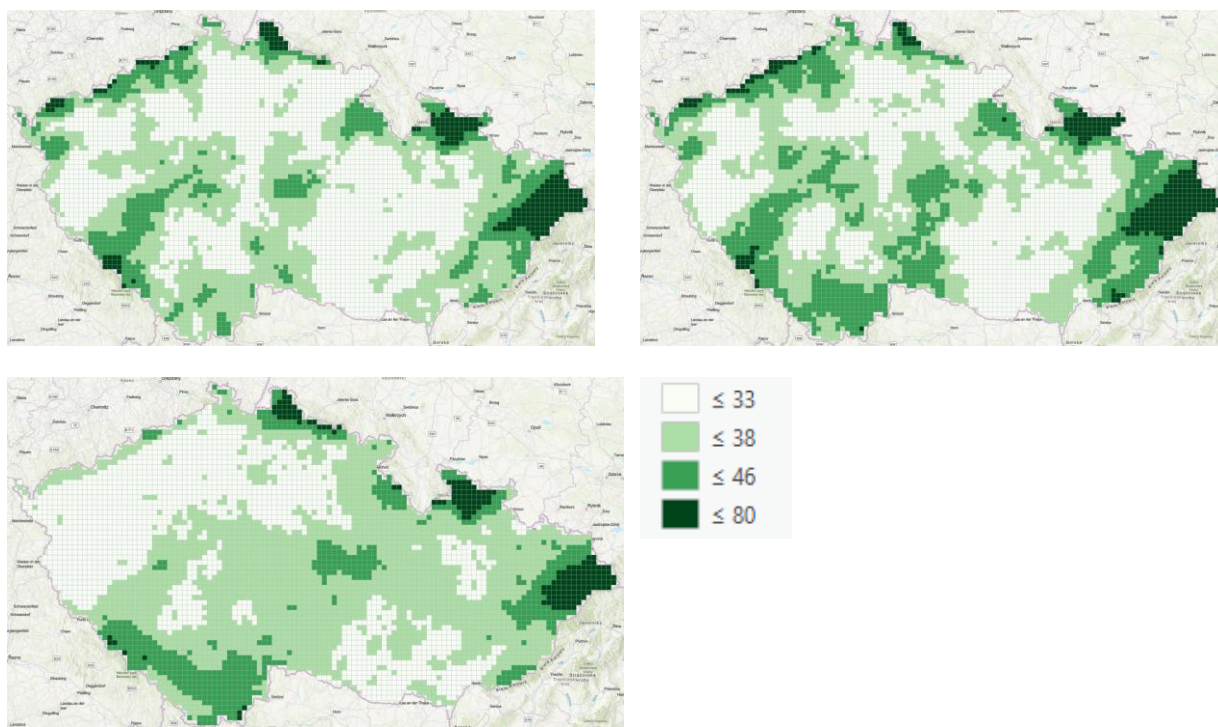
Změny srážkových charakteristik ve výstupech klimatických modelů

Změny charakteristik denních srážkových úhrnů

Pro období 2021–2080 byly spočteny statistické charakteristiky 1denních maximálních srážek v pravidelné čtvercové síti 4x4 km². Pro každý polygon a jednotlivé roky byly zjišťovány maximální plošné 1denní úhrny srážek za sezónu od 15. dubna do 15. října. Výpočet byl proveden na základě denních úhrnů srážek pro klimatické scénáře SSP2-4.5 a SSP5-8.5 z výstupů ALADIN-Climate s uplatněnou bias-korekcí.

Pro každý polygon bylo získáno celkem 60 hodnot maximálních sezónních 1denních maxim, kterými bylo proloženo teoretické logaritnicko-normální statistické rozdělení extrémních hodnot (LN3) pro odvození teoretických sezónních N-letých hodnot 1denních srážek. Polygony byly analyzovány se zaměřením na modelové (získané z proloženého teoretického rozdělení) hodnoty charakteristik průměru, koeficientu variace a odhadu 100leté hodnoty.

Na Obr. 20 je ukázáno srovnání plošného rozložení průměrné maximální 1denní srážky za oba klimatické scénáře z období 2021–2080 a z dat pozorování za období 1961–2020. Ve všech případech mapky ukazují podobné plošné rozložení hodnot s tím, že u obou modelových scénářů jsou více patrné návětrné a závětrné oblasti, zejména u Krušných hor, Šumavy, Brd a Českomoravské vrchoviny.



Obr. 20 Plošné rozložení hodnot modelového průměru (*model_mean*) spočteného z proloženého statistického rozdělení pro 1denní srážkové úhrny za období 2021–2080 z dat scénáře SSP2-4.5 (vlevo nahoře), scénáře SSP5-8.5 (vpravo nahoře) a za období 1961–2020 z pozorovaných dat (vlevo dole).

V Tab. 4 jsou uvedeny vybrané statistické charakteristiky maximálních 1denních srážek z bias-korigovaných dat obou klimatických scénářů z období 2021–2080 a z dat pozorování za období 1961–2020. Konkrétně jde o průměr ročních maxim (*model_mean*), koeficient variace ročních maxim (*model_cv*) a odhad 100leté hodnoty (*N100*). U hodnot je uveden koeficient variace dané charakteristiky. Hodnoty představují plošné průměry daných charakteristik na území České republiky.

Lze konstatovat, že mezi hodnotami plošných průměrů daných charakteristik nejsou významné rozdíly, pouze u scénáře SSP5-8.5 je větší hodnota plošného koeficientu variace charakteristiky model_mean.

Tab. 4 Vybrané statistické charakteristiky (získané z proloženého teoretického rozdělení) maximálních denních srážek z bias-korigovaných dat obou klimatických scénářů z období 2021–2080 a z dat pozorování za období 1961–2020

Scénář a období	model_mean		model_cv		N100	
	plošný průměr	plošný koeficient variace	plošný průměr	plošný koeficient variace	plošný průměr	plošný koeficient variace
SSP2-4.5 (2021–2080)	34,8	0,16	0,38	0,16	79,5	0,23
SSP5-8.5 (2021–2080)	36,0	0,26	0,38	0,15	81,8	0,26
Pozorování (1961–2020)	35,1	0,14	0,38	0,16	81,3	0,23

Změny charakteristik subdenních srážkových úhrnů

V této sekci jsou prezentovány první výsledky analýzy vývoje extrémních subdenních srážek v budoucím klimatu z výstupu klimatického modelu ALADIN-Climate včetně porovnání s výstupy dalších simulací regionálních klimatických modelů (RCM). Této problematice bude v rámci řešení tohoto dílčího cíle dále věnována bližší pozornost, zpřesněné a doplněné výsledky analýzy vývoje dalších charakteristik extrémních srážek budou prezentovány v roční zprávě a dalších odborných publikacích.

Běžně veřejně dostupné výstupy klimatických modelů většinou obsahují pouze data denní (denní srážkové sumy). Model ALADIN-Climate poskytuje uživatelům rovněž data srážkových úhrnů v hodinovém kroku. Ve spolupráci s Českou zemědělskou univerzitou v Praze (ČZU, prof. Martin Hanel) byla zahájena příprava porovnání hodinových dat z různých RCM simulací, kdy pro porovnání byly vybrány tzv. Convection permitting modely (CPM), tzn. stejná skupina modelů jako je model ALADIN-Climate.

Z projektu CORDEX FSP Convection byly získány 2 RCM simulace, které spolu se simulací ALADIN-Climate tvoří tříčlenný CPM mini-ensemble. Prostorové rozlišení modelů je 2-4 km. Výstupy těchto modelů však na rozdíl od modelu ALADIN-Climate nepokrývají ucelené období, ale jsou k dispozici pouze za omezená a různá časová okna. V tuto chvíli není tedy možné porovnat modely podrobněji, nicméně určitý obrázek o modelu ALADIN-Climate v souvislosti s jinými CPM lze získat.

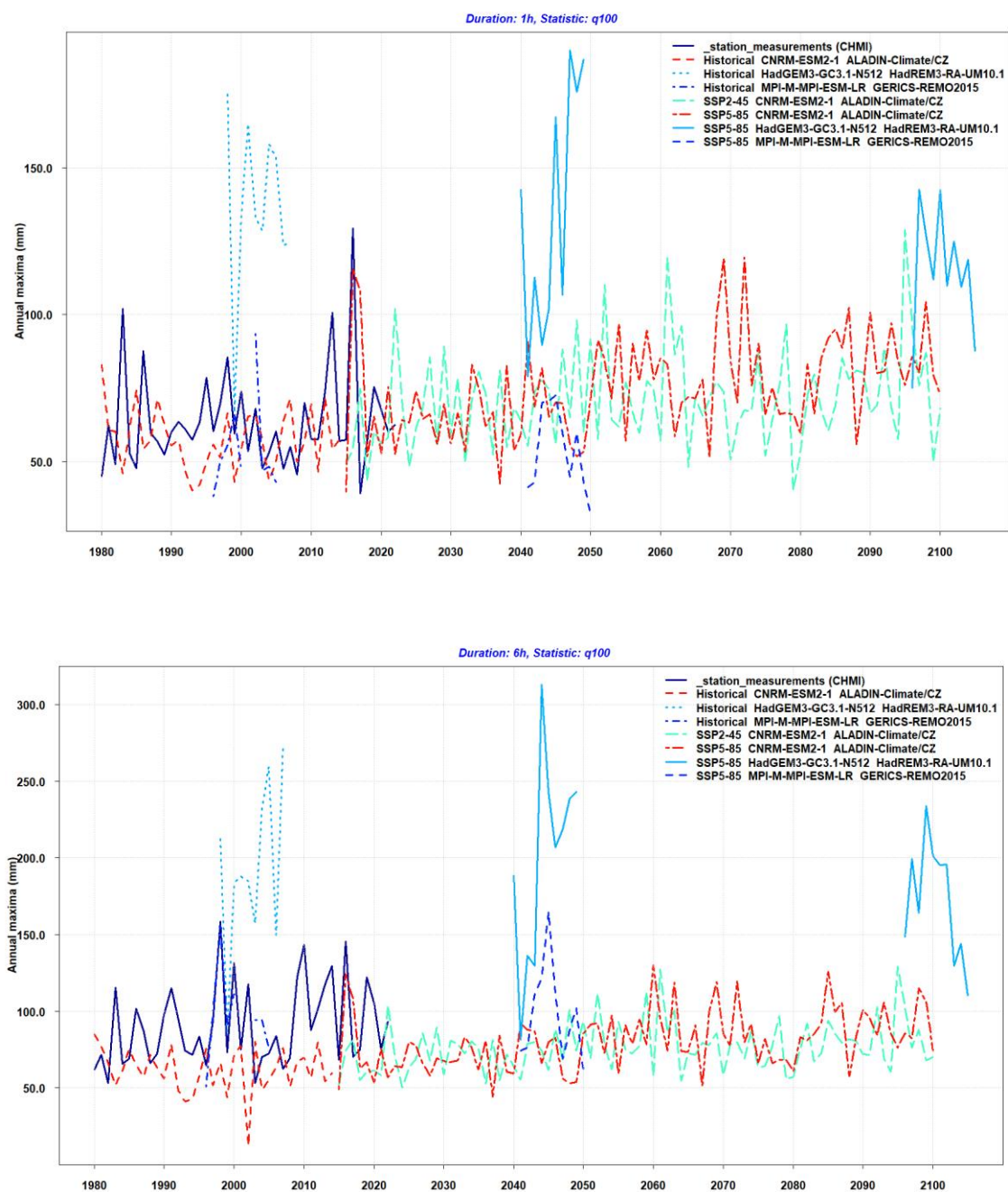
Tab. 5 Přehled použitých CPM (Convection permitting modelů)

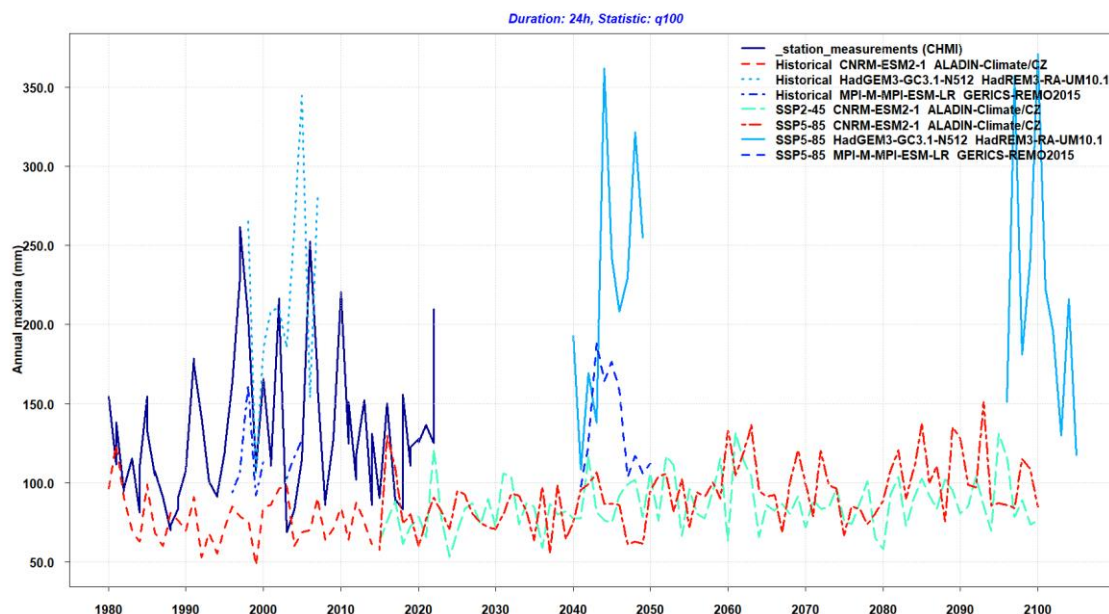
RCM	GCM	bodů	SCEN	od	do
GERICS-REMO2015	MPI-M-MPI-ESM-LR	2723	historical rcp85	1996 2041	2005 2050
HadREM3-RA-UM10.1	HadGEM3-GC3.1-N512	88105	historical rcp85	1998 2040	2007 2105
ALADIN-Climate	CNRM-ESM2-1	29154	historical rcp45 rcp85	1980 2015 1782	2014 2100 2100

Analyzovány jsou prostorové statistiky (maxima a vysoké percentily) spočtené z ročních maxim srážek o různé délce trvání pro území ČR.

Zatímco u prostorových maxim hodinových srážek na území ČR (obr. 21) se pro současné klima model ALADIN-Climate dobře shoduje s pozorováním (v období 1980–2022), u maxim 6 h a 24h srážek ALADIN-Climate vykazuje podhodnocení. I z omezených časových úseků dostupných pro simulace dalších CPM lze vyvodit, že simulace modelu HadREM3-RA-UM10.1 na rozdíl od modelu ALADIN-Climate nerealisticky nadhodnocuje a simulace GERICS-REMO2015 se jeví rovněž v poměrně dobré shodě s pozorováním.

V případě prostorových vysokých percentilů (90. a 95. percentil) z ročních maxim 1h, 6h, a 24h srážkových úhrnů (neukázáno) se však již projevuje podhodnocení modelem ALADIN-Climate (viz také kapitola „Validace modelu ALADIN-Climate“), toto podhodnocení se zvětšuje s délkou trvání deště. Je však nutno poznamenat, že toto srovnání je poplatné kvalitě měření, omezené hustotě staniční sítě a metodě interpolace měřených srážkových úhrnů.





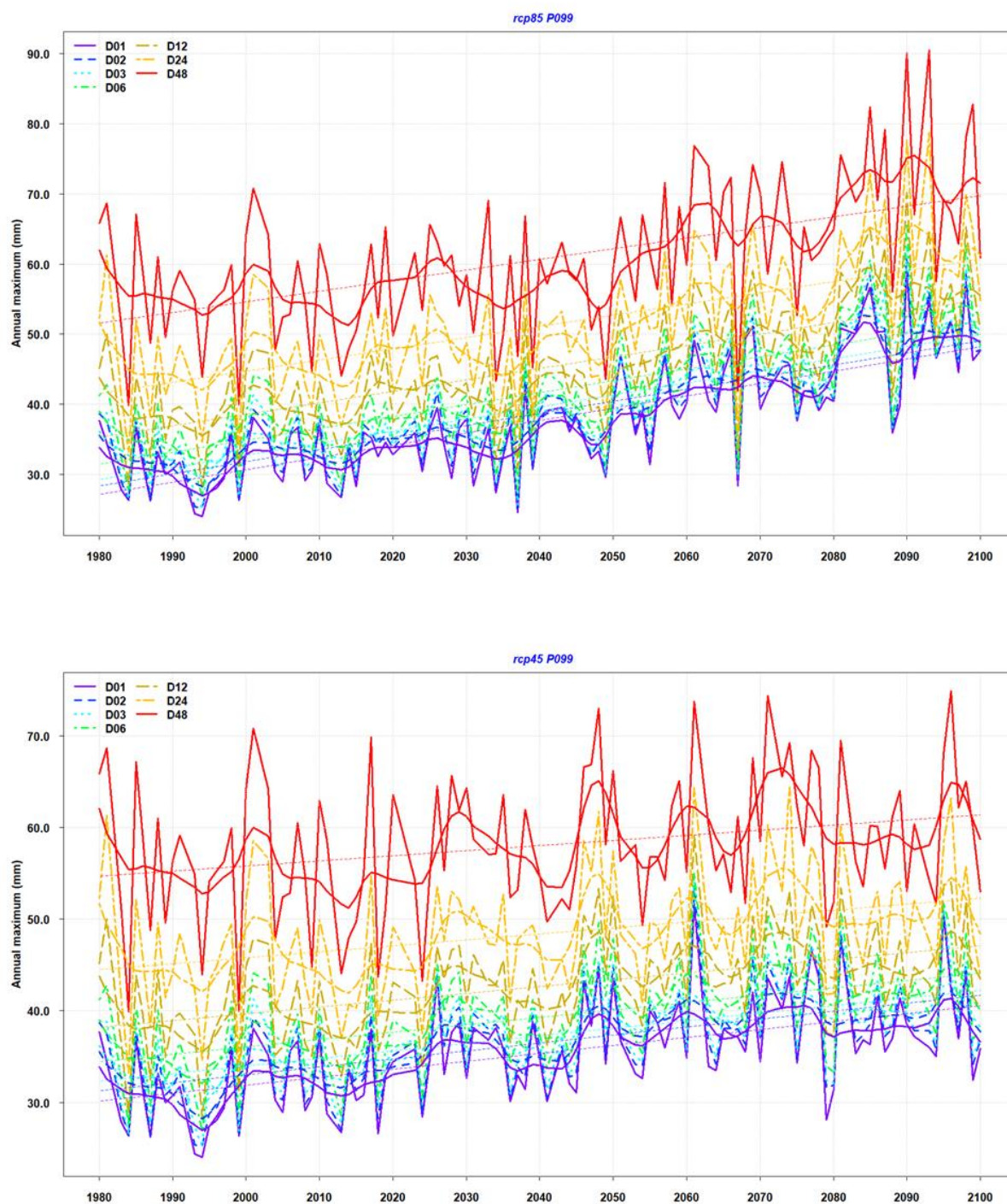
Obr. 21 Prostorová maxima (přes území ČR) z ročních maxim hodinových srážkových úhrnů (nahore), 6h úhrnů (uprostřed) a 24h úhrnů (dole) pro současné klima 1980–2022 (ze stanic ČHMU) a pro budoucí klima (do 2100) simulované CPM pro scénář SSP5-85 a SSP2-45 (pouze ALADIN-Climate).

Pro hodnocení vývoje extrémních krátkodobých srážek v budoucím klimatu jsou dále využita data modelu ALADIN-Climate spočtená pro dva emisní scénáře SSP2-45 a SSP5-85. Analyzována byla prostorová maxima a vysoké percentily ročních maxim 1h až 48h srážek napočtené pro každý rok přes celé území ČR, tj. vývoj nejextrémnějších hodnot srážkových úhrnů simulovaných modelem na území ČR.

Z této analýzy je patrné, že dle scénáře SSP5-85 bude docházet k trvalému nárůstu extrémních srážkových úhrnů, zatímco v mírnějším scénáři SSP2-45 bude růst pokračovat do poloviny 21. století, pak ale dochází ke stagnaci nebo i mírnému poklesu (v závislosti na zvolené statistické charakteristice a trvání deště).

Časový vývoj extrémních srážkových úhrnů různých dob trvání pro území ČR, tj. prostorový 99. percentil z ročních maxim, je uveden na obr. 22. Průměrné hodnoty 99. percentilu za jednotlivá 20letá budoucí období vůči období 2001–2020 jsou uvedeny v Tab. 6. Zatímco dle scénáře SSP-85 je model udává navýšení o 30–50 % v extrémních srážkových úhrnech oproti období 2001–2020, dle scénáře SSP-45 je to pouze 10–20 %. Výraznější změny nastávají pro kratší doby trvání srážek. Tyto změny jsou také daleko méně výrazné, pokud uvažujeme méně extrémní charakteristiky srážek, tj. nižší prostorové percentily (např. prostorový medián ročních maxim).

Zde je však nutné poznamenat, že tyto výsledky získané ze simulací modelu ALADIN-Climate, by měly být porovnány s výstupy dalších klimatických modelů pro odhad jejich nejistoty. Jak bylo však poznamenáno v úvodu této sekce, získání modelových výstupů v hodinovém kroku se zatím jeví poměrně problematické.



Obr. 22. Roční maxima srážkových úhrnů o trvání 1,2,3,6,12,24 a 48 hodin pro scénář SSP5-85 (nahore) a SSP2-45 (dole). Hodnoty reprezentují prostorový 99. percentil (území ČR) z ročních maxim srážkových úhrnů.

Tab. 6 Průměrné hodnoty 99. percentilu spočteného z ročních maxim srážkového úhrnu pro území ČR za jednotlivá 20letá období 2041–2100 vyjádřené poměrně vůči období 2001–2020.

Trvání /h	Scénář	2021-2040	2041-2060	2061-2080	2081-2100
1	SSP2-45	1.09	1.14	1.19	1.20
1	SSP5-85	1.04	1.16	1.29	1.51
2	SSP2-45	1.09	1.13	1.20	1.20
2	SSP5-85	1.04	1.15	1.28	1.49
3	SSP2-45	1.08	1.12	1.18	1.18
3	SSP5-85	1.04	1.14	1.28	1.49
6	SSP2-45	1.07	1.12	1.17	1.17
6	SSP5-85	1.04	1.13	1.26	1.46
12	SSP2-45	1.07	1.12	1.16	1.15
12	SSP5-85	1.03	1.11	1.23	1.41
24	SSP2-45	1.05	1.09	1.13	1.12
24	SSP5-85	1.02	1.09	1.19	1.36
48	SSP2-45	1.05	1.06	1.11	1.09
48	SSP5-85	1.03	1.07	1.18	1.30

Závěr

Dosud nejpodstatnějším výstupem řešení dílčího cíle 6.1 projektu PERUN je provedení odhadů 2–100letých srážek pro délky trvání 5 min až 3 dny v lokalitách vybraných stanic. Zpracování bylo provedeno z dostupných měření srážkových úhrnů v 1min a 10min kroku z období 1951–2022 metodou region-of-influence, výsledné křivky závislosti návrhové srážky na době trvání srážky parametrizovány pomocí polynomicke funkce 6. řádu. Výsledné hodnoty pro 164 stanic publikovány na stránkách projektu PERUN (<https://www.perun-klima.cz/srazky/>). K dispozici ke stažení jsou zde dva typy výstupů - datový CSV soubor a interaktivní graf.

V rámci pokračování řešení tohoto dílčího cíle je dále plánováno:

- Vyhotovení odhadů návrhových srážek s průměrnou dobou opakování 0,5 a 1 rok, které nelze určit pouze z dat ročních maxim, ale bude nutné připravit nové vstupní soubory s úhrny srážek nad stanovenou mez. Vzhledem k potřebnosti těchto údajů v technické praxi, bude do ISTA podáno změnové řízení na rozšíření tohoto dílčího cíle o jejich stanovení. V souvislosti s tímto výpočtem mohou být v budoucnu revidovány i zveřejněné odhady 2letých srážek.
- Pokračovat na zpracování návrhových srážek z radarových odrazivostí a s tím spojené analýze závislosti plošných návrhových srážek na velikosti plochy a na dalších geografických vlivech.
- Spojení odhadů návrhových srážek ze staničních a radarových měření a tvorba mapových (rastrových) výstupů návrhových srážek pro vybrané délky trvání srážky a doby opakování.
- Pokračovat v analýze možného budoucího vývoje charakteristik extrémních srážek ve výstupech klimatických modelů se zaměřením na další charakteristiky extrémních srážek a rozšíření souboru použitých simulací a zpřesnění stanovení neurčitosti těchto změn.

Literatura

Alexander, L. V., X. Zhang, T. C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A. M. G. Klein Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. Rupa Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, a J. L. Vazquez-Aguirre, 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D5).

Arnbjerg-Nielsen, K., 2012. Quantification of climate change effects on extreme precipitation used for high resolution hydrologic design. *Urban Water Journal*, 9(2):57–65.

Beranová, R., Kyselý, J., 2024. Large-scale heavy precipitation over the Czech Republic and its link to atmospheric circulation in CORDEX regional climate models. *Theor Appl Climatol*.
<https://doi.org/10.1007/s00704-024-04907-9>

Berg, P., C. Moseley, a J. Haerter, 2013. Strong increase in convective precipitation in response to higher temperatures. *Nature Geoscience*, 6(3):181–185.

Blenkinsop S et al., 2018. The INTENSE project: using observations and models to understand the past, present and future of sub-daily rainfall extremes. *Adv. Sci. Res.* 15, 117–126.

Burn, D. H., 1990. Evaluation of regional flood frequency analysis with a region of influence approach. *Water Resources Research*, 26, 2257–2265. DOI: 10.1029/WR026i010p02257

Coppola, E., Nogherotto, R., Ciarlò, J. M., Giorgi, F., van Meijgaard, E., Kadyrov, N., et al., 2021. Assessment of the European Climate Projections as Simulated by the Large EURO-CORDEX Regional and Global Climate Model Ensemble. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, e2019JD032356.

Crhová L., Kliegrová, S., Valeriánová, A., 2022. Měření srážkových intenzit na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a průběh jejich zpracování. *Meteorologické zprávy*, roč. 75, č. 2, ISSN 0026-1173

Faulkner, D., Warren, S., Spencer, P., Sharkey, P., 2020 Can we still predict the future from the past? Implementing non-stationary flood frequency analysis in the UK. *J. Flood Risk Manag.* 13, e12582.

Fowler, H. J., Ali, H., Allan, R. P., Ban, N., Barbero, R., Berg, P., Blenkinsop, S., Cabi, N. S., Chan, S., Dale, M., Dunn, R. J. H., Ekström, M., Evans, J. P., Fosser, G., Golding, B., Guerreiro, S. B., Hegerl, G. C., Kahraman, A., Kendon, E. J., Whitford, A., 2021. Towards advancing scientific knowledge of climate change impacts on short-duration rainfall extremes. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 379(2195).

Fowler, H. J., Lenderink, G., Prein, P., Westra, S., Allan, R. P., Ban, N., Barbero, R., Berg, P., Blenkinsop, S., Do, H. X., Guerreiro, S., Haerter, J. O., Kendon, E. J., Lewis, E., Schaer, C., Sharma, A., Villarini, G., Wasko, C., Zhang, X., 2020 Anthropogenic intensification of short-duration rainfall extremes. *Nat. Rev. Earth Environ.* 2:107–122.

Frei, C., R. Schöll, S. Fukutome, J. Schmidli, a P. L. Vidale, 2006. Future change of precipitation extremes in europe: intercomparison of scenarios from regional climate mode. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D6).

Gaál, L., Kyselý, J., 2009. Comparison of region-of-influence methods for estimating high quantiles of precipitation in a dense dataset in the Czech Republic. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 2203–2219, DOI:10.5194/hess-13-2203-2009

Giorgi, F. a W. J. Gutowski, 2015. Regional dynamical downscaling and the CORDEX initiative. *Annual Review of Environment and Resources*, 40(1):467–490.

Gregersen, I. B., H. J. D. Sørup, H. Madsen, D. Rosbjerg, P. S. Mikkelsen, a K. Arnbjerg-Nielsen, 2013. Assessing future climatic changes of rainfall extremes at small spatio-temporal scales. *Climatic Change*, 118(3-4):783–797.

Guerreiro, S. B., Fowler, H. J., Barbero, R., Westra, S., Lenderink, G., Blenkinsop, S., Lewis, E., Li, X-F., 2018. Detection of continental-scale intensification of hourly rainfall extremes. *Nat. Clim. Change* 8, 803–807.

Hanel, M., A. Pavlásková, a J. Kyselý, 2016. Trends in characteristics of sub-daily heavy precipitation and rainfall erosivity in the Czech Republic. *International Journal of Climatology*, 36(4):1833–1845.

Hanel, M. a T. A. Buishand, 2010. On the value of hourly precipitation extremes in regional climate model simulations. *Journal of Hydrology*, 393(3–4):265–273.

Hanel, M. a T. A. Buishand, 2011. Analysis of precipitation extremes in an ensemble of transient regional climate model simulations for the Rhine basin. *Climate Dynamics*, 36(5-6):1135–1153.

Hanel, M. a T. A. Buishand, 2012. Multi-model analysis of RCM simulated 1-day to 30-day seasonal precipitation extremes in the Czech Republic. *Journal of Hydrology*, 412–413:141–150.

Hershfield, D. M., 1961: Technical paper No. 40: Rainfall frequency atlas of the United States. Department of Commerce, Weather bureau, Washington, D.C.

Hosking, J. R. M., 1990. L-moments: Analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics. *Journal of the Royal Statistical Society*, 52B, 105–124. DOI: 10.4236/ojs.2012.23044.

Christensen, J. H. a O. B. Christensen, 2007. A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*, 81(1):7–30.

IACWD, 1982. Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. Bulletin 17b of the Hydrology Subcommittee. U.S. Department of the Interior, Geological Survey, Office of Water Data Coordination and United States. Interagency Advisory Committee on Water Data. Hydrology Subcommittee, 1982.

Jacob, D., J. Petersen, B. Eggert, A. Alias, O. Christensen, L. Bouwer, A. Braun, A. Colette, M. Déqué, G. Georgievski, E. Georgopoulou, A. Gobiet, L. Menut, G. Nikulin, A. Haensler, N. Hempelmann, C. Jones, K. Keuler, S. Kovats, N. Kröner, S. Kotlarski, A. Kriegsmann, E. Martin, E. van Meijgaard, C. Moseley, S. Pfeifer, S. Preuschmann, C. Radermacher, K. Radtke, D. Rechid, M. Rounsevell, P. Samuelsson, S. Somot, J.-F. Soussana, C. Teichmann, R. Valentini, R. Vautard, B. Weber, a P. Yiou, 2014. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2):563–578.

Kendon, E. J., N. M. Roberts, H. J. Fowler, M. J. Roberts, S. C. Chan, a C. A. Senior, 2014. Heavier summer downpours with climate change revealed by weather forecast resolution model. *Nature Climate Change*, 4(7):570–576.

Knote, C., G. Heinemann, a B. Rockel, 2010. Changes in weather extremes: assessment of return values using high resolution climate simulations at convection-resolving scale. *Meteorologische Zeitschrift*, 19(1):11–23.

Kundzewicz, Z. W., ed., 2012. Changes in flood risk in europe. IAHS Special Publication 10.

Kundzewicz, Z. W., U. Ulbrich, T. Brücher, D. Graczyk, A. Krüger, G. C. Leckebusch, L. Menzel, I. Piskwar, M. Radziejewski, a M. Szwed, 2005. Summer floods in Central Europe – climate change track? *Natural Hazards*, 36(1-2):165–189.

Květoň, V., Zahradníček, J., 1998. Vývoj metod pro stanovení extrémních povodní. Výzkumný úkol MŽP ČR VaV 510/3/97. DÚ 2.2 Vývoj statistických metod pro odhad extrémních srážek, Závěrečná zpráva za rok 1998. Praha:ČHMÚ.

Květoň, V., Zahradníček, J., Žák, M., 2004. Kontrola kvality a digitalizace ombrogramů v ČHMÚ. Meteorologické zprávy, roč. 57, č. 2, s. 47-52, ISSN 0026 – 1173.

Kyselý, J., 2009. Trends in heavy precipitation in the Czech Republic over 1961–2005. *International Journal of Climatology*, 29(12):1745–1758.

Kyselý, J. a R. Beranová, 2009. Climate-change effects on extreme precipitation in central Europe: uncertainties of scenarios based on regional climate models. *Theoretical and Applied Climatology*, 95(3-4):361–374.

Kyselý, J., L. Gaál, R. Beranová, a E. Plavcová, 2011. Climate change scenarios of precipitation extremes in Central Europe from ENSEMBLES regional climate models. *Theoretical and Applied Climatology*, 104(3-4):529–542.

Kyselý, J., Gaál, L., Pícek, J., 2011. Comparison of regional and at-site approaches to modelling probabilities of heavy precipitation. *Int. J. Climatol.*, 31, 1457–1472. DOI:10.1002/joc.2182

Kyselý, J., Z. Rulfová, A. Farda, a M. Hanel, 2016. Convective and stratiform precipitation characteristics in an ensemble of regional climate model simulations. *Climate Dynamics*, 46(1):227–243.

Lenderink, G. a E. van Meijgaard, 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience*, 1(8):511–514.

Lenderink, G., de Vries, H., Fowler, H.J., Barbero, R., van Ulft, B., van Meijgaard, E., 2021. Scaling and responses of extreme hourly precipitation in three climate experiments with a convection-permitting model. *Phil. Trans. R. Soc. A* 379, 20190544.

Lu, L.-H., Stedinger, J. R., 1992. Sampling variance of normalized GEV/PWM quantile estimators and a regional homogeneity test. *Journal of Hydrology*, 138, 223–245. DOI: 10.1016/0022-1694(92)90166-S
Sýslečné parametry GEV rozdělení (odhad metodou L-momentů) z těchto vybraných stanic byly přepočteny regionální metodou ROI (region-of-influence, Gaál and Kyselý, 2009).

Madsen, H., D. Lawrence, M. Lang, M. Martínková, a T. Kjeldsen, 2014. Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of Hydrology*, 519(D):3634–3650.

Martinkova, M., Kyselý, J., 2020. Overview of Observed Clausius-Clapeyron Scaling of Extreme Precipitation in Midlatitudes. *Atmosphere* 11, 786.

McGuffie, K. a A. Henderson-Sellers, 2005. A climate modelling primer, 3rd edition. John Wiley & Sons.

Millán, M. M., 2014. Extreme hydrometeorological events and climate change predictions in Europe. *Journal of Hydrology*, 518(Part B):206–224.

Purr, C., Brisson, E., Ahrens, B., 2020. Temperature scaling of convective cells in present and future conditions. EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020–20581. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-20581>.

Rulfová, Z. a J. Kyselý, 2014. Trends of convective and stratiform precipitation in the Czech Republic, 1982–2010. *Advances in Meteorology*, vol. 2014.

Sokol, Z., Řezáčová, D., Popová, J., 2024. Change in the distribution of heavy 1 h precipitation due to temperature changes in measured values, model reanalyses and model simulations of future climate. *Atmospheric Research*, 304, doi.org/10.1016/j.atmosres.2024.107395.

Stocker, T., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, a P. Midgley, eds., 2013. Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

Svoboda, V., M. Hanel, P. Máca, a J. Kyselý, 2016. Projected changes of rainfall event characteristics for the Czech Republic. *J. Hydrol. Hydromech.*, 64 (4), 415–425.

Svoboda, V., M. Hanel, P. Máca, a J. Kyselý, 2017. Characteristics of rainfall events in regional climate model simulations for the Czech Republic, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 963–980.

Svoboda, V., Boháč, M., Šercl, P., Ledvinka, O., 2019. Metodika odvozování N-letých průtoků ve vodoměrných stanicích. Certifikovaná metodika. Praha: ČHMÚ-ÚH. 38 s.

Trenberth, K. E., 2011. Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1–2):123–138.

Trupl, J., 1958. Intenzity krátkodobých dešťů v povodích Labe, Odry a Moravy. *Práce a studie*, sv. 97. Praha: VÚV.

Uppala, S. M., P. W. Kållberg, A. J. Simmons, U. Andrae, V. D. C. Bechtold, M. Fiorino, J. K. Gibson, J. Haseler, A. Hernandez, G. A. Kelly, X. Li, K. Onogi, S. Saarinen, N. Sokka, R. P. Allan, E. Andersson, K. Arpe, M. A. Balmaseda, A. C. M. Beljaars, L. V. D. Berg, J. Bidlot, N. Bormann, S. Caires, F. Chevallier, A. Dethof, M. Dragosavac, M. Fisher, M. Fuentes, S. Hagemann, E. Hólm, B. J. Hoskins, L. Isaksen, P. A. E. M. Janssen, R. Jenne, A. P. McNally, J.-F. Mahfouf, J.-J. Morcrette, N. A. Rayner, R. W. Saunders, P. Simon, A. Sterl, K. E. Trenberth, A. Untch, D. Vasiljevic, P. Viterbo, a J. Woollen, 2005. The ERA-40 re-analysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 131(612):2961–3012.

van der Linden, P. a J. F. B. Mitchell, eds., 2009. ENSEMBLES: climate change an its impacts: summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, Exeter.

Vautard, R., Kadyrov, N., Iles, C., Boberg, F., Buonomo, E., Bülow, K., et al., 2021. Evaluation of the large EURO-CORDEX regional climate model ensemble. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126, e2019JD032344.

Westra, S., H. J. Fowler, J. P. Evans, L. V. Alexander, P. Berg, F. Johnson, E. J. Kendon, G. Lenderink, a N. M. Roberts, 2014. Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, 52(3):522–555.

Příloha 1

Tab. 1 Vybrané meteorologické stanice (164 stanic) pro výsledné zpracování a publikaci návrhových srážek

ID	Jméno stanice	Kraj	Délka řady [roky]	Nadmořská výška [m n. m.]	Zem. délka [°]	Zem. šířka [°]
B1BRBY01	Brumov-Bylnice, Brumov	Zlínský	30	350	18.0231	49.0983
B1BYSH01	Bystřice pod Hostýnem	Zlínský	27	314	17.6706	49.3964
B1HOLE01	Holešov	Zlínský	36	222.25	17.5700	49.3206
B1IVAN01	Ivanovice na Hané	Jihomoravský	29	243	17.0894	49.3092
B1KROM01	Kroměříž	Zlínský	37	233	17.3653	49.2847
B1LUHA01	Luhačovice	Zlínský	34	254	17.7600	49.1064
B1PROT01	Protivanov	Olomoucký	37	675	16.8311	49.4778
B1STME01	Staré Město	Zlínský	37	221	17.4322	49.0917
B1STRN01	Strání	Zlínský	58	383	17.7086	48.9033
B1STRZ01	Strážnice	Jihomoravský	36	176	17.3381	48.8992
B1VIZO01	Vizovice	Zlínský	59	313	17.8436	49.2230
B1VYSK01	Vyškov	Jihomoravský	30	220	17.0056	49.2806
B1ZLIN01	Zlín	Zlínský	36	283	17.6433	49.2367
B2BROD01	Brod nad Dyjí	Jihomoravský	37	177	16.5358	48.8733
B2BTUR01	Brno, Tuřany	Jihomoravský	59	241	16.6889	49.1531
B2BYSP01	Bystřice nad Pernštejnem	Vysočina	45	553	16.2540	49.5242
B2BZAB01	Brno, Žabovřesky	Jihomoravský	36	236	16.5677	49.2165
B2DUKO01	Dukovany	Vysočina	32	400.15	16.1344	49.0956
B2JEVI01	Jevišovice	Jihomoravský	36	330	15.9811	48.9925
B2KMYS01	Kostelní Myslová	Vysočina	61	569	15.4392	49.1592
B2KUCH01	Kuchařovice	Jihomoravský	50	334	16.0853	48.8811
B2LEDN01	Lednice	Jihomoravský	29	177	16.7989	48.7926
B2MBUD01	Moravské Budějovice	Vysočina	30	460	15.8067	49.0611
B2NEDV01	Nedvězí	Pardubický	37	722	16.3097	49.6344
B2NEMO01	Nemochovice	Jihomoravský	15	283	17.1361	49.1808
B2POHO01	Pohořelice	Jihomoravský	51	180	16.5283	48.9844
B2TROU01	Troubsko	Jihomoravský	31	278	16.5074	49.1745
B2VATI01	Vatín	Vysočina	33	558	15.9681	49.5231
B2VIRP01	Vír	Vysočina	43	473	16.3139	49.5642
B2VMEZ01	Velké Meziříčí	Vysočina	62	452	16.0086	49.3528
B2VPAV01	Velké Pavlovice	Jihomoravský	23	196	16.8244	48.9086
B2VRAN01	Vranov nad Dyjí	Jihomoravský	42	354	15.8186	48.9056
C1CERP01	Černá v Pošumaví	Jihočeský	26	740	14.1072	48.7356
C1HUSI01	Husinec	Jihočeský	39	483	13.9883	49.0522
C1CHAN01	Chanovice	Plzeňský	39	533	13.7194	49.4019
C1CHUR01	Churáňov	Jihočeský	68	1117.8	13.6153	49.0683
C1KEST01	Kestřany	Jihočeský	39	381	14.0736	49.2681
C1KHOR01	Kašperské Hory	Plzeňský	54	728	13.5500	49.1456

ID	Jméno stanice	Kraj	Délka řady [roky]	Nadmořská výška [m n. m.]	Zem. délka [°]	Zem. šířka [°]
C1KOCE01	Kocelovice	Jihočeský	48	519	13.8386	49.4672
C1LENO01	Lenora, Houžná	Jihočeský	27	804	13.7694	48.9344
C1ORLV01	Orlík nad Vltavou	Jihočeský	28	431	14.1683	49.5036
C1PRAS01	Prášily	Plzeňský	30	883	13.3786	49.1069
C1ROZM01	Rožmitál pod Třemšínem	Středočeský	37	538	13.8664	49.6050
C1STRA01	Strakonice, Nové Strakonice	Jihočeský	42	404	13.8827	49.2546
C1TEME01	Temelín	Jihočeský	34	500	14.3422	49.1978
C1VIMP01	Vimperk	Jihočeský	36	628	13.7825	49.0658
C1VRAZ01	Vráž	Jihočeský	39	433	14.1289	49.3844
C2BORK01	Borkovice	Jihočeský	45	419	14.6368	49.2079
C2BYNO01	Byňov	Jihočeský	39	475	14.7999	48.8166
C2CBUD01	České Budějovice, Rožnov	Jihočeský	67	394.6	14.4697	48.9519
C2CERN01	Černovice, Dobešov	Vysočina	34	580	14.9625	49.3575
C2CKRU01	Český Krumlov, Přísečná	Jihočeský	30	554	14.3394	48.8322
C2JHRA01	Jindřichův Hradec, Děbolín	Jihočeský	31	524	14.9575	49.1556
C2NADV01	Nadějkov, Větrov	Jihočeský	37	616	14.4653	49.5169
C2NBYS01	Nová Bystřice	Jihočeský	25	583	15.1000	49.0189
C2POCA01	Počátky	Vysočina	27	618	15.2342	49.2606
C2PVES01	Pohorská Ves	Jihočeský	36	773	14.6492	48.6703
C2RUDJ01	Rudolfov, Jívno	Jihočeský	35	562	14.5797	49.0036
C2TABO01	Tábor, Měšice	Jihočeský	70	467	14.7024	49.4100
C2TREB01	Třeboň, Lužnice	Jihočeský	63	428	14.7586	49.0622
C2VBRO01	Vyšší Brod	Jihočeský	54	559	14.3144	48.6175
H1HMAR01	Horní Maršov	Královéhradecký	18	585	15.8190	50.6546
H1LBOU01	Labská bouda	Královéhradecký	25	1320	15.5449	50.7699
H1PECS01	Pec pod Sněžkou	Královéhradecký	32	816.3	15.7289	50.6919
H1UPIC01	Úpice	Královéhradecký	28	413	16.0116	50.5064
H1VELI01	Velichovky	Královéhradecký	34	299	15.8325	50.3566
H2DEST01	Deštné v Orlic. horách	Královéhradecký	42	656	16.3520	50.3067
H2ROKY01	Rokytnice v Orlic.horách	Královéhradecký	37	577	16.4603	50.1644
H2RYCH01	Rychnov nad Kněžnou	Královéhradecký	37	335	16.2700	50.1649
H2USTI01	Ústí nad Orlicí	Pardubický	42	401.7	16.4222	49.9803
H3BROU01	Broumov	Královéhradecký	25	373	16.3436	50.5700
H3GAJE01	Gajer, Janov	Pardubický	21	510	16.4067	49.8247
H3HOLO01	Holovousy	Královéhradecký	53	321	15.5810	50.3757
H3HRAD01	Hradec Králové, Nový Hradec Králové	Královéhradecký	58	278	15.8385	50.1776
H3MOKO01	Mokošín	Pardubický	21	255	15.5667	50.0164
H3NHRA01	Nové Hradý	Pardubický	18	400	16.1475	49.8502
H3PODE01	Poděbrady	Středočeský	37	189	15.1336	50.1405

ID	Jméno stanice	Kraj	Délka řady [roky]	Nadmořská výška [m n. m.]	Zem. délka [°]	Zem. šířka [°]
H3SECA01	Seč	Pardubický	21	529	15.6479	49.8447
H3SVRA01	Svratouch	Pardubický	66	734	16.0342	49.7350
L1CACH01	Čachrov	Plzeňský	21	729	13.3017	49.2641
L1CKUB01	Česká Kubice	Plzeňský	17	549	12.8578	49.3679
L1HOJS01	Hojsova Stráž	Plzeňský	36	866	13.1971	49.2125
L1KLAT01	Klatovy	Plzeňský	55	421	13.3030	49.3904
L1NEPO01	Nepomuk	Plzeňský	48	471	13.5894	49.4869
L1PLZB01	Plzeň, Bolevec	Plzeňský	37	331	13.3864	49.7884
L1STAN01	Staňkov	Plzeňský	32	362	13.0674	49.5525
L1ZRUD01	Železná Ruda	Plzeňský	25	754	13.2287	49.1382
L2KONL01	Konstantinovy Lázně	Plzeňský	38	530	12.9760	49.8848
L2KRAL01	Kralovice	Plzeňský	37	449	13.4940	49.9818
L2KRAU01	Krásné Údolí	Karlovarský	36	650	12.9210	50.0713
L2MLAV01	Mariánské Lázně, vodárna	Karlovarský	28	696	12.6960	49.9906
L2PRIM01	Přimda	Plzeňský	62	742.76	12.6781	49.6694
L2STRI01	Stříbro	Plzeňský	26	412	12.9969	49.7545
L2ZBIR01	Zbiroh, Švabín	Plzeňský	48	476	13.7517	49.8540
L3AS0001	Aš	Karlovarský	28	675	12.1796	50.2206
L3CHEB01	Cheb	Karlovarský	61	483	12.3914	50.0683
L3KVAL01	Karlovy Vary, Olšová Vrata	Karlovarský	56	603	12.9142	50.2017
L3PREB01	Přebuz	Karlovarský	23	904	12.6155	50.3725
O1BELO01	Bělotín	Olomoucký	30	306	17.8042	49.5869
O1BOHU01	Bohumín, Záblatí	Moravskoslezský	28	237	18.3692	49.8820
O1CERV01	Červená	Moravskoslezský	64	748.13	17.5419	49.7772
O1FREN01	Frenštát pod Radhoštěm	Moravskoslezský	23	436	18.2406	49.5411
O1JABL01	Jablunkov, Návsí	Moravskoslezský	29	380	18.7503	49.5875
O1JAVO01	Javorník	Olomoucký	35	284	17.0075	50.3956
O1JESE01	Jeseník	Olomoucký	27	502	17.1833	50.2311
O1LUCI01	Lučina	Moravskoslezský	62	300	18.4425	49.7308
O1LYSA01	Lysá hora	Moravskoslezský	59	1322.03	18.4475	49.5461
O1MOSN01	Mošnov	Moravskoslezský	53	252.8	18.1128	49.6919
O1OPAV01	Opava	Moravskoslezský	60	268	17.8785	49.9288
O1PORU01	Ostrava, Poruba	Moravskoslezský	53	240	18.1594	49.8253
O1RASK01	Raškovice	Moravskoslezský	42	397	18.4684	49.6223
O1RYMA01	Rýmařov	Moravskoslezský	37	578	17.2961	49.9314
O1SVET01	Světlá Hora	Moravskoslezský	34	593	17.4011	50.0331
O1VITK01	Vítkov	Moravskoslezský	27	490	17.7573	49.7780
O1ZARY01	Město Albrechtice, Žáry	Moravskoslezský	42	498	17.5606	50.1542
O2JEVI01	Jevíčko	Pardubický	27	362	16.7055	49.6309
O2LANS01	Lanškroun	Pardubický	26	362	16.6250	49.9028

ID	Jméno stanice	Kraj	Délka řady [roky]	Nadmořská výška [m n. m.]	Zem. délka [°]	Zem. šířka [°]
O2LUKA01	Luká	Olomoucký	37	510	16.9533	49.6522
O2OLOM01	Olomouc, Holice	Olomoucký	49	210	17.2844	49.5758
O2PASE01	Paseka	Olomoucký	31	271	17.2345	49.7776
O2SUMP01	Šumperk	Olomoucký	37	328	16.9675	49.9742
O3BECV01	Horní Bečva	Zlínský	55	565	18.2983	49.4311
O3HUSL01	Huslenky, Kychová	Zlínský	32	450	18.1261	49.3000
O3VALM01	Valašské Meziříčí	Zlínský	32	334	17.9742	49.4636
O3VSET01	Vsetín	Zlínský	37	387	17.9961	49.3442
P1KRIV01	Křivoklát	Středočeský	34	323	13.8808	50.0381
P1NEUM01	Neumětely	Středočeský	42	322	14.0375	49.8543
P1PBRA01	Praha, Braník	Praha	45	260	14.4239	50.0383
P1PKLE01	Praha, Klementinum	Praha	55	190.7	14.4169	50.0866
P1PKOM01	Praha, Komořany	Praha	26	213	14.4064	49.9886
P1PLIB01	Praha, Libuš	Praha	51	302.04	14.4469	50.0078
P1PRUZ01	Praha, Ruzyně	Středočeský	37	364	14.2556	50.1003
P2BRAN01	Brandýs nad Labem-St.B	Středočeský	36	179	14.6606	50.1897
P2CDUB01	Český Dub, Modlibohov	Liberecký	48	355	14.9816	50.6837
P2DESN01	Desná, Souš	Liberecký	69	772	15.3193	50.7894
P2JDUL01	Josefův Důl	Liberecký	34	623	15.2286	50.7782
P2NVES01	Káraný	Středočeský	33	170	14.7314	50.1759
P2SEMC01	Semčice	Středočeský	35	234	15.0036	50.3671
P2TURN01	Turnov	Liberecký	49	253	15.1544	50.5896
P3HAVL01	Havlíčkův Brod	Vysočina	32	452	15.5797	49.6119
P3KOSE01	Košetice, Křešín, Kramolín	Vysočina	32	532.29	15.0805	49.5735
P3NRUD01	Nedrahovice, Rudolec	Středočeský	22	348	14.4401	49.6317
P3NRYC01	Nový Rychnov	Vysočina	37	619	15.3651	49.3859
P3ONDR01	Ondřejov	Středočeský	37	491	14.7850	49.9068
P3PRIB01	Přibyslav, Hřiště	Vysočina	58	532.5	15.7631	49.5828
P3STAN01	Vavřinec, Žišov	Středočeský	27	415	15.0677	49.9029
U1DOKS01	Doksany	Ústecký	68	158	14.1700	50.4589
U1KOPI01	Kopisty	Ústecký	36	240	13.6228	50.5442
U1MEDE01	Měděnec	Ústecký	28	828	13.1326	50.4294
U1NOVE01	Nová Ves v Horách	Ústecký	33	725	13.4856	50.5924
U1SMOL01	Smolnice	Ústecký	33	345	13.8562	50.3087
U1TEPL01	Teplice	Ústecký	53	227	13.8363	50.6452
U1TISA01	Tisá	Ústecký	26	556	14.0217	50.7869
U1ULMA01	Ústí nad Labem, Vaňov	Ústecký	45	150	14.0583	50.6256
U1ZATE01	Žatec	Ústecký	54	210	13.5432	50.3415
U2BEDR01	Bedřichov	Liberecký	49	777	15.1371	50.8151
U2CELI01	Česká Lípa	Liberecký	44	246	14.5411	50.6754
U2DOKY01	Doksy	Liberecký	60	284	14.6673	50.5681

ID	Jméno stanice	Kraj	Délka řady [roky]	Nadmořská výška [m n. m.]	Zem. délka [°]	Zem. šířka [°]
U2HEJN01	Hejnice	Liberecký	48	396	15.1832	50.8846
U2CHRI01	Chřibská, Horní Chřibská	Ústecký	47	440	14.5246	50.8529
U2JAPO01	Jablonné v Podještědí	Liberecký	57	320	14.7738	50.7721
U2LIBC01	Liberec	Liberecký	67	397.72	15.0239	50.7697
U2NMES01	Nové Město pod Smrkem	Liberecký	34	473	15.2338	50.9236
U2VARN01	Varnsdorf	Ústecký	58	367	14.6022	50.9056