

# Odborná zpráva projektu QK1910029 za rok 2020

## Příloha průběžné zprávy projektu

Číslo projektu: QK1910029

Název projektu: Předchozí nasycenost a návrhové srážkové intenzity jako faktory odtokové odezvy na malých povodích

Program: QK – Program aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2017-2025, ZEMĚ

Podprogram: Podpora inovativního zemědělství a lesnictví prostřednictvím pokročilých postupů a technologií

Cíl podprogramu: Hlavním cílem podprogramu je získat prakticky využitelné poznatky pro zvýšení rentabilní zemědělské, lesnické a potravinářské produkce při zavedení adaptačních a zmírňujících opatření v reakci na změnu klimatu se zřetelem na zachování kvality přírodních zdrojů, surovin a životního prostředí a využití pokročilých postupů a technologií; zajištění zdravé a nutričně bohaté výživy populace pro kvalitní život. Dále je cílem zajištění nových poznatků pro rozvoj trvale udržitelného a konkurenceschopného zemědělství a lesnictví s ohledem na tvorbu, využívání a ochranu půdy a vodních zdrojů a podporu ekologické stability krajiny v návaznosti na prostředí EU a globalizaci, se zohledněním lokálních podmínek.

Doba řešení: 1. 1. 2019 - 31. 12. 2022

Hlavní příjemce: ČVUT v Praze (68407700)

Řešitel: Ing. Petr Kavka, Ph.D.

Další účastníci: Český hydrometeorologický ústav

Sweco Hydroprojekt a.s.

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.

Číslo smlouvy: 65070/2018-MZE-14152

Číslo jednací: 555-2018-14152

Řešitel: Ing. Petr Kavka, Ph.D.

.....

Praha, 2020



Organizace účastníci se projektu a seznam klíčových osob řešitelského kolektivu:

České vysoké učení technické v Praze

Ing. Petr Kavka, Ph.D. – řešitel

Ing. Luděk Strouhal, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.

Ing. Lenka Weyskrabová, Ph.D.

Ing. Martin Neumann

Ing. Romana Kubínová

Český hydrometeorologický ústav

RNDr. Lenka Crhová, Ph.D. – další řešitel

Mgr. Stanislava Kliegrová, Ph.D.

Ing. Pavel Lipina

RNDr. Anna Valeriánová

Mgr. Martin Pecha

Ing. Vojtěch Svoboda

Sweco Hydroprojekt a.s.

Ing. Martin Pavel – další řešitel

Ing. Libor Sychra

Mgr. Martin Stehlík

Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i.

RNDr. Marek Kašpar, Ph.D. – další řešitel

RNDr. Vojtěch Bližňák, Ph.D.

Bc. Filip Hulec

RNDr. Miloslav Müller, Ph.D.

RNDr. Petr Zacharov, Ph.D.

## Obsah

|        |   |  |
|--------|---|--|
| 1.     | Popis průběhu řešení projektu v uplynulém roce.....   | 3                                      |
| 1.1.   | Cíle projektu.....  | 3                                      |
| 1.2.   | Náklady za projekt celkem .....   | 4                                      |
| 1.3.   | Úvod k průběhu řešení v roce 2020 .....   | 5                                      |
| 1.4.   | Shrnutí postupu v roce 2020 .....   | 5                                      |
| 1.5.   | Aktivity v roce 2020.....   | 6                                      |
| 1.5.1. | A2001 Frekvenční analýza adjustovaných radarových dat.....  | 7                                      |
| 1.5.2. | A2002 Vyhodnocení a analýza pozemních měření srážkových úhrnů.....  | 9                                      |
| 1.5.3. | A2003 Využitelnost družicových dat pro určení aktuálního stavu povodí.....  | 13                                     |
| 1.5.4. | A2004 Klasifikace malých povodí.....  | 14                                     |
| 1.5.5. | A2005 Experimentální měření a hydrologické modelování.....  | 20                                     |
| 2.     | Dosažené výsledky .....   | 32                                     |
| 2.1.   | Popis uplatnění výsledků .....  | 32                                     |
| 3.     | Využití nákladů za jednotlivé příjemce .....  | 32                                     |
| 3.1.   | Využití nákladů za rok 2020 .....   | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 3.2.   | Plán využití nákladů na rok 2021 .....  | <b>Chyba! Záložka není definována.</b> |
| 4.     | Uskutečněné zahraniční služební cesty .....   | 33                                     |
| 5.     | Řešitelský tým.....   | 33                                     |
| 6.     | Plánované aktivity na 2021 .....  | 33                                     |
| 6.1.   | A 2101 - Adjustace návrhových úhrnů srážek odvozených z radarových dat návrhovými úhrny odvozenými ze staničních dat..... | 33                                     |
| 6.2.   | A2103 – Využitelnost družicových dat pro určení aktuálního stavu nasycenosti povodí .....                                 | 34                                     |
| 6.3.   | A2104 – Klasifikace malých povodí.....  | 34                                     |
| 6.4.   | A2105 – Experimentální měření a hydrologické modelování.....  | 34                                     |
| 6.5.   | A2106 – řešení přístupu k výsledkům projektu.....   | 35                                     |
| 7.     | Literatura.....   | 36                                     |
| 8.     | Přílohy .....   | 36                                     |

## 1. Popis průběhu řešení projektu v uplynulém roce

### 1.1. Cíle projektu

Cílem projektu je redukce nejistot při odvozování návrhových veličin při projektování a posuzování vodohospodářských opatření na drobných vodních tocích a v ploše povodí. Kombinací radarových a staničních dat budou odvozeny návrhové subdenní intenzity deště v ČR za celý rok i jednotlivé měsíce bezmrazového období. V návaznosti na předchozí projekt bude popsána sezónní a prostorová distribuce předchozích srážek, půdní vlhkosti a stav retenční kapacity území ve vztahu k průběhu a intenzitě srážky. Takto snížené nejistoty v návrhových veličinách budou ověřeny pomocí matematických modelů kalibrovaných na experimentálních výsledcích a měřených průtocích a budou využity pro definování rizika v malých povodích ČR a zdrojových plochách mimo tok.

*Tabulka 1: Dílčí cíle projektu QK1910029*

|      |   |
|------|---|
| C001 | Seznamování odborné veřejnosti s postupem prací a výsledky  |
| C002 | Návrhové intenzity krátkodobých srážek  |
| C003 | Úhrny srážek a nasycenost povodí před návrhovými srážkami   |
| C004 | Vymezení a kategorizace oblastí v ČR jako podklad hydrologického modelování při navrhování staveb v krajině.              |
| C005 | Kvantifikace nejistot odtokových odezev srážkových scénářů na základě pozorování, experimentů a hydrologického modelování |

## 1.2. Náklady za projekt celkem

Náklady za projekt v roce 2020 za všechny účastníky projektu.

Tabulka 2: Náklady za projekt v roce 2020

| Celkem finanční vypořádání za projekt  |   |   |
|--|---|---|
|  | Uznané náklady dle smlouvy/dodatku; stav k 31.12.2020 | Čerpané náklady dle smlouvy (mimo FÚUP) |
| Osobní náklady [Kč]  | 2 687 000,00  | 2 687 000,00                            |
| Subdodávky [Kč]  | 0,00  | 0,00                                    |
| Ostatní přímé náklady [Kč]   | 655 000,00  | 456 470,14                              |
| Další provozní + cestovné [Kč]   | 655 000,00  | 456 470,14                              |
| Nepřímé náklady [Kč]   | 825 000,00  | 802 110,00                              |
| <b>Náklady projektu celkem [Kč]</b>  | <b>4 167 000,00</b>                                   | <b>3 945 580,14</b>                     |
| Míra podpory [%]   | 84,47   | 83,78                                   |
| Výše podpory [Kč]  | 3 520 000,00  | 3 305 477,14                            |
| Neveřejné zdroje [Kč]  | 647 000,00  | 640 103,00                              |
| <b>Zdroje celkem [Kč]</b>  | <b>4 167 000,00</b>                                   | <b>3 945 580,14</b>                     |
| FÚUP (Fond účelově určených prostředků) - za projekt                                     |   |   |
| Stav podpory ve FÚUP k (1.1.2020) [Kč]   | 52 499,25   |   |
| <b>Čerpání podpory z FÚUP v období 1.1.2020 - 31.12.2020 [Kč]</b>                        |   |   |
| Osobní náklady [Kč]  | 14 171,00   |   |
| Subdodávky [Kč]  | 0,00  |   |
| Ostatní přímé náklady [Kč]   | 0,00  |   |
| Další provozní + cestovné [Kč]   | 0,00  |   |
| Nepřímé náklady [Kč]   | 0,00  |   |
| <b>Celkem [Kč]</b>   | <b>14 171,00</b>                                      |   |
| Nejvyšší povolená částka podpory možného přesunu do FÚUP za období 1.1.2020 - 31.12.2020 | 85 974,33   |   |
| Přesun podpory do FÚUP za období 1.1.2020 - 31.12.2020 [Kč]                              | 47 646,08   |   |
| <b>Konečný stav podpory ve FÚUP (k 31.12.2020) [Kč]</b>                                  | <b>85 974,33</b>                                      |   |
| Vrácení podpory za projekt za vykazovaný rok   |   |   |
| Podpora za rok 2020 [Kč]   | 214 522,86  |   |
| Převod prostředků do FÚUP za období 1.1.2020 - 31.12.2020                                | 47 646,08   |   |
| <b>Výše vrácené podpory za vykazovaný rok [Kč]</b>                                       | <b>166 876,78</b>                                     |   |
| Vráceno v průběhu roku na účet poskytovatele [Kč]  | 0,00  |   |
| <b>Zbývá vrátit [Kč]</b>   | <b>166 876,78</b>                                     |   |
| Příjmy z projektu celkem   |   |   |
| Částka celkem za projekt Kč 0,00   |   |   |

### 1.3. Úvod k průběhu řešení v roce 2020

Druhý rok řešení navazoval na aktivity prvního roku řešení. Ať už se jedná o srážková data (staniční měření a adjustovaná radarová data) či výběr staničních dat nebo výběr vhodných měřených hydrologických dat. Dále se pak aktivity soustředily na metody a možnosti hydrologického modelování a budoucí aplikaci výsledků projektu do projekční praxe.

V rámci řešitelského kolektivu pokračovala úzká spolupráce především mezi pracovištěm ČHMÚ a ÚFA při zpracování srážkových dat. Úzká spolupráce pak byla také mezi ČVUT v Praze a ČHMÚ na poli výběhu hydrologických modelů a měřených dat pro jejich validaci. Pracoviště ČVUT v Praze a SWECO pokračovala v aktivitách zaměřených na klasifikaci malých povodí a na aplikaci výsledků do praxe.

Řešitelský kolektiv se jako celek i jako dílčí pracovní skupiny vypořádal s omezeními způsobenými pandemií SARS-CoV-2 velmi dobře. Projektové schůzky byly přesunuty do online formy. Většinou se jednalo o dvoustranná setkání, schůzky celého řešitelského kolektivu online byla shledána v této fázi projektu jako málo efektivní. Opatření měla dopad na rozsah plánovaných experimentálních měření na elementárních plochách pomocí dešťového simulátoru.

Drobné změny v obsazení řešitelského kolektivu neměly vliv na fungování týmu a odborné zajištění jednotlivých aktivit.

### 1.4. Shrnutí postupu v roce 2020

#### ČHMÚ

Na pracovišti ČHMÚ proběhlo v roce 2020 několik aktivit. Především bylo pokračováno v započatém zpracování řad srážkových intenzit. Výběr stanic pro zpracování srážkových intenzit z prvního roku řešení projektu byl rozšířen o 2 stanice a u 2 stanic byly řady prodlouženy na základě dodatečně digitalizovaných ombrografických záznamů. Celkem do dalšího zpracování vstupovalo 60 stanic s dostatečně dlouhou řadou dat intenzit srážek po spojení dat z měření ombrografů a automatických srážkoměrů. Začátkem roku probíhaly u všech vybraných stanic dodatečné kontroly dat srážkových intenzit vzhledem k naměřeným denním úhrnům srážek. Na základě těchto dat bylo přistoupeno k přípravě řad ročních a měsíčních maxim krátkodobých úhrnů srážek o různé délce trvání s kontrolou relevantnosti ročního/měsíčního maxima a byly spočteny parametry extrémálního rozdělení a návrhové hodnoty. Srovnáním odhadů dle různých metod odhadu a mezi jednotlivými stanicemi byly vytipovány podezřelé odhady. Parametry extrémálních rozdělení pro všech 60 vybraných a zpracovaných stanic byly předány na ÚFA k jejich zpracování do radarových dat.

Dále byla na pracovišti ČHMÚ ve spolupráci s ČVUT vybrána vhodná malá povodí a započata práce na hydrologickém modelování. Po provedení nezbytné kontroly bylo z databáze ČHMI vybráno 5 nejvhodnějších malých povodí jako zástupců 5 tříd vzešlých z klasifikace malých povodí ČR a na nich dohledány nejvýznamnější měřené průtokové události. Navíc bylo vybráno i jedno malé testovací povodí, na němž se v rámci projektu ověří naměřená data. Z pěti nejvhodnějších malých povodí bylo vybráno povodí Osvětimany jako testovací, na kterém bylo započato srážkoodtokové modelování.

## ÚFA

Řešitelský tým ÚFA AV ČR, v. v. i. se ve druhém roce řešení projektu zabýval především časově a výpočetně náročnými činnostmi souvisejícími s aktivitou frekvenční analýzy adjustovaných radarových dat. Byla provedena frekvenční analýza hodnot úhrnů srážek s devíti různými dobami akumulace od 0,5 do 24 hod. a s prostorovým rozlišením 1 km na území Česka, a to pro celé uvažované bezmrazové období roku i jednotlivé měsíce. Zároveň byla provedena frekvenční analýza 6hod. úhrnů srážek pro celkem šest pro Česko typických 6hod. časových průběhů intenzit srážek. Při výpočtech byly použity pokročilé metody regionální frekvenční analýzy aplikované na bloková maxima úhrnů, která před tím byla podrobena důkladné kontrole kvality. Spočtené parametry rozdělení vysokých úhrnů srážek umožnily odhadnout velikosti návrhových úhrnů s danou dobou opakování a pravděpodobnost výskytu jednotlivých typických průběhů intenzit pro daný návrhový úhrn. Získané rastry návrhových úhrnů byly poté ve spolupráci s řešitelským týmem ČHMÚ porovnány s dostupnými údaji ze srážkoměrných stanic.

## ČVUT v Praze

Řešitelský tým ČVUT v Praze se po odborné stránce zabýval ve spolupráci s ČHMÚ hydrologickým modelováním a přípravou dat. Zejména byl proveden předvýběr pro modelování vhodných povodí ze seznamu pozorovaných profilů tak, aby byly zastoupeny všechny kategorie malých povodí. Dále z radarových dat poskytnutých řešiteli z ÚFA byly připraveny časové řady srážek pro zvolené testovací povodí. Aktivity spojené s modelováním jsou na ČVUT zaměřeny především na fyzikální modely a jejich možné nasazení pro návrhovou praxi.

Ve spolupráci se Sweco Hydroprojekt a.s., byly na případové studii testovány dopady variability srážek na projektování staveb na příkladu fungování protipovodňových opatření. A dále v této spolupráci pokračovaly aktivity spojené s vymežováním a klasifikací malých povodí.

Nadále pokračoval na pracovišti ČVUT v Praze experimentální výzkum odtoku na elementárních plochách pomocí dešťového simulátoru a nadále byl zajišťován a rozvíjen dlouhodobý monitoring srážkoodtokových vztahů na experimentálním povodí Býkovice. Na dešťovém simulátoru se jednalo o odezvu blokového deště a odezvu zjednodušených návrhových hyetogramů.

V neposlední řadě je část aktivit pracoviště věnována koordinaci celého řešitelského kolektivu.

## Sweco Hydroprojekt a.s.

Sweco Hydroprojekt a.s., se ve svých aktivitách zabývali praktickou aplikací výzkumu. Konzultace směřování případové studie, testování dopadu variability srážek na projektování staveb. A také spolupracovali na konceptu vymežování tříd malých povodí a daty pro jejich klasifikaci.

### 1.5. Aktivity v roce 2020

Aktivity v roce 2020 navazují na předchozí rok, v němž byly zahájeny. Některé aktivity byly plánovány jako déletrvající a budou ukončeny v následujících obdobích řešení projektu. Těžiště aktivit je spojené se srážkovými daty více než s navazujícím modelováním hydrologické odezvy. Dle plánu činností definovaném na konci minulého období jsou činnosti rozděleny do

pěti aktivit a ve vazbě na jednotlivé dílčí cíle řešení projektu. Předpokládaným výsledkem projektu v roce 2020 byla tato průběžná zpráva. Navíc byl v rámci projektu vydán článek v kategorii Jimp.

Aktivity v roce 2020 a návaznosti na cíle projektu:

- A2001 Frekvenční analýza adjustovaných radarových dat.
- A2002 Vyhodnocení a analýza pozemních měření srážkových úhrnů.
- A2003 Využitelnost družicových dat pro určení aktuálního stavu povodí.
- A2004 Klasifikace malých povodí.
- A2005 Experimentální měření a hydrologické modelování.

### 1.5.1. A2001 Frekvenční analýza adjustovaných radarových dat

Podrobný popis použité metodiky frekvenční analýzy je publikován včetně odkazů na další relevantní literaturu v Kašpar a kol. (2021). Vstupní datové soubory tvořily úhrny srážek pro vybrané doby akumulace s prostorovým rozlišením 1 km na území Česka v obdobích od dubna do října mezi roky 2002 a 2018. Úhrny srážek byly určeny a validovány v prvním roce řešení projektu metodou adjustace 10 min. intenzit srážek odvozených z dat radiolokační odrazivosti denními úhrny naměřenými sítí srážkoměrných stanic ČHMÚ. V souladu se zadáním byla ve druhém roce řešení provedena frekvenční analýza úhrnů srážek za doby akumulace 0,5; 1; 1,5; 2; 3; 6; 12 a 24 hodin (včetně 1denních úhrnů od 6 UTC daného dne do 6 UTC dne následujícího), a to pro celá období i jednotlivé měsíce duben až říjen, kdy úhrny dosahují klimatologicky nejvyšších hodnot. Zároveň byla provedena frekvenční analýza celkem šesti pro Česko typických tvarů průběhů intenzit srážek při významných 6hod. srážkových epizodách, jejichž rozřazení do jednotlivých variant průběhů intenzit proběhlo s využitím původní metodiky členů řešitelského týmu (Müller a kol., 2018).

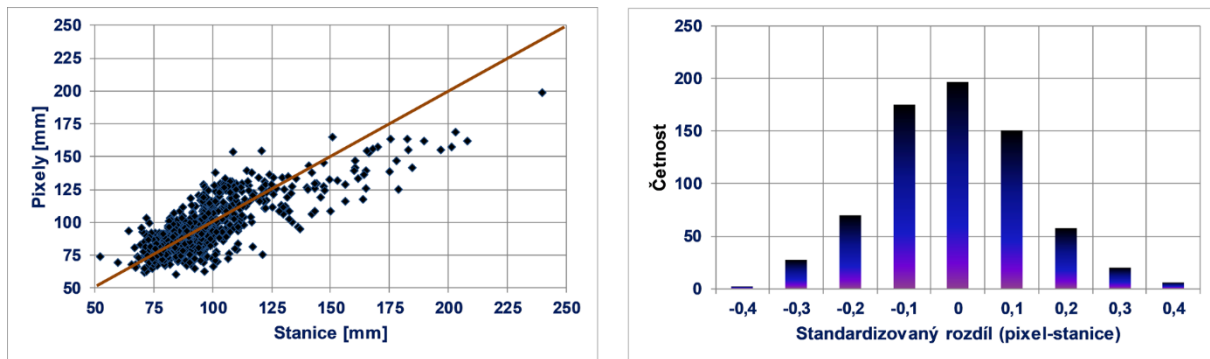
Pro účely frekvenční analýzy vysokých úhrnů srážek byla již v průběhu prvního roku řešení projektu identifikována v každém 1 km × 1 km pixelu radarové domény roční a měsíční bloková maxima úhrnů pro jednotlivé doby akumulace. Pro účely frekvenční analýzy šesti tvarů průběhů intenzit srážek byla navíc identifikována roční bloková maxima 6hod. úhrnů spadajících vždy k dané variantě průběhu (včetně nezávislých v rámci všech variant časově nepřekrývajících se maxim potřebných pro odhad zastoupení každé jednotlivé varianty pro daný návrhový úhrn srážek, viz níže). Ve druhém roce řešení projektu byla maxima pečlivě překontrolována s ohledem na ojedinělý, ale možný výskyt Wi-Fi artefaktů a nereálně vysokých hodnot v poli radiolokační odrazivosti. V prvním kole byly vizuálně vytipovány dny s výskytem významných Wi-Fi artefaktů a objektivně detekovány zasažené pixely v těchto dnech. Pokud se v zasaženém pixelu termín maxima zcela kryl s výskytem artefaktu, bylo maximum nahrazeno druhým nejvyšším maximem bez výskytu artefaktu. Pokud se termín maxima kryl s výskytem artefaktu jen částečně a zbytkový úhrn v rámci maxima, který nebyl ovlivněn artefaktem, byl vyšší než druhé nejvyšší neovlivněné maximum, bylo maximum nahrazeno tímto zbytkovým úhrnem. V druhém kole byla detekována statisticky odlehlá maxima a stejným způsobem překontrolována s ohledem na výskyt dalších možných artefaktů souvisejících např. s výpadky měření radarů.

Pro popis rozdělení vysokých úhrnů srážek byl zvolen pro území Česka ověřený tříparametrický model založený na teoretickém zobecněném rozdělení extrémních hodnot (dále GEV). Vzhledem k tomu, že vstupní úhrny srážek pokrývají stále poměrně krátké období, byly parametry GEV rozdělení v daném cílovém pixelu odhadnuty z hodnot prvních



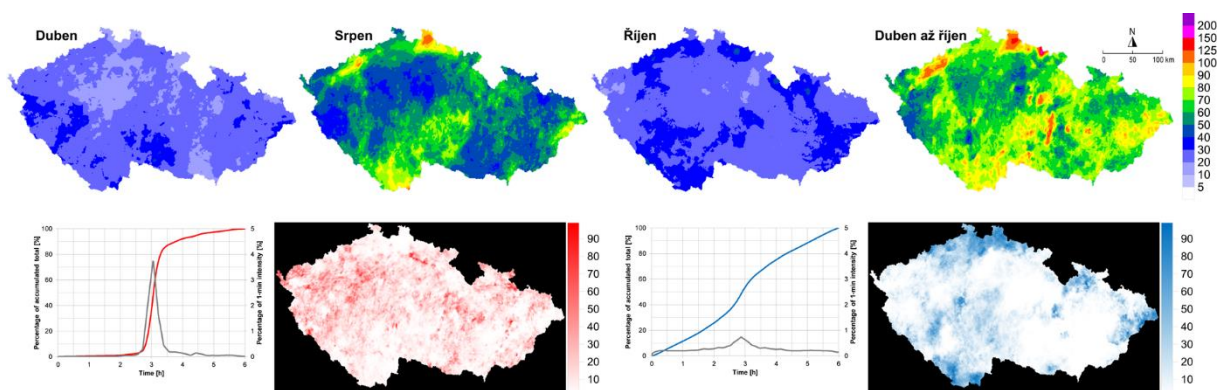
3 výběrových L-momentů spočtených tzv. metodou oblasti vlivu (dále jen ROI z anglického „region-of-influence“) z ročních (pro 6hod. úhrny bez ohledu i s ohledem na tvar průběhu intenzit), resp. měsíčních blokových maxim úhrnů. Metoda ROI umožňuje identifikovat pixely kolem cílového pixelu, které tvoří statisticky homogenní oblast se shodnými parametry rozdělení standardizovaných extrémních hodnot jako v cílovém pixelu. Metoda ROI tak umožňuje provést robustnější (nicméně při použitém vysokém prostorovém rozlišení výpočetně velmi náročný) regionální výpočet hodnot L-momentů v cílovém pixelu z bodových hodnot L-momentů v jednotlivých pixelech uvnitř odpovídající homogenní oblasti. Získané parametry GEV rozdělení byly využity k odhadu návrhových úhrnů srážek s danou dobou opakování. Navíc frekvenční analýza jednotlivých tvarů průběhů intenzit v rámci 6hod. úhrnů srážek umožnila pro daný návrhový úhrn odhadnout zastoupení (pravděpodobnost výskytu) těchto tvarů.

Validita použité metodiky frekvenční analýzy byla testována prostřednictvím porovnání návrhových jednodenních úhrnů srážek získaných z adjustovaných radarových dat s návrhovými úhrny získanými z měření na více než 700 srážkoměrných stanicích, které byly odvozeny analogickým regionálním přístupem v rámci předchozích projektů členů řešitelského týmu. Toto porovnání bylo také využito k optimalizaci hodnot nastavitelných parametrů aplikované regionální frekvenční analýzy. Návrhové úhrny srážek získané ze staničních měření lze totiž považovat za poměrně věrohodné, neboť měření pokrývají podstatně delší období 1961 až 2010 (Müller a Kašpar 2014). Obrázek 1 ukazuje příklad porovnání návrhových úhrnů srážek s dobou opakování 100 let. Střední kvadratická chyba mezi oběma soubory dat standardizovaná staničními návrhovými úhrny dosahuje hodnoty 14,7 % a korelační koeficient hodnoty 0,79. Dále je patrné mírné podhodnocení vysokých návrhových úhrnů srážek získaných z adjustovaných radarových dat. Podhodnocení může být důsledkem výskytu extrémních srážkových událostí po roce 1961 a před rokem 2002 (např. katastrofické povodně z července 1997), které nejsou radarovými daty podchyceny. Navíc úhrny v pixelech nemají přísně bodový charakter, tak jak je tomu na stanicích. Průběžné výsledky řešitelského týmu ČHMÚ dále umožnily provést první porovnání obou typů souborů dat i pro kratší doby akumulace, a to celkem pro 60 stanic s dostupnými dlouhodobými měřeními subdenních úhrnů srážek. S ohledem na poměrně malý počet stanic byly staniční subdenní návrhové úhrny odvozeny bez regionálního přístupu založeného na metodě ROI. Porovnání bylo prozatím provedeno pouze za účelem testování robustnosti výsledků pro různé hodnoty nastavitelných parametrů aplikované regionální frekvenční analýzy. Parametry optimalizované pomocí návrhových jednodenních úhrnů srážek se ukázaly být validní i pro uvažované kratší doby akumulace. Synergické propojení obou typů výstupů založených na frekvenční analýze adjustovaných radarových dat a staničních měření s cílem dalšího zpřesnění návrhových úhrnů srážek s vysokým prostorovým rozlišením je plánována v následujícím roce řešení projektu.



Obrázek 1: Hodnoty návrhových jednodenních úhrnů srážek s dobou opakování 100 roků na stanicích a v odpovídajících pixelech radarové domény (vlevo) a histogram četností rozdílů návrhových úhrnů mezi pixely a stanicemi standardizovaných úhrnem na stanicích (vpravo).

Příklady výstupů regionální frekvenční analýzy adjustovaných radarových dat zobrazuje Obrázek 2. Plošné rozložení návrhových subdenních úhrnů srážek na území Česka je podle očekávání charakterizováno velkou prostorovou variabilitou, která se obecně zvětšuje s narůstající délkou doby opakování úhrnů a výrazným ročním chodem velikosti úhrnů ve sledovaném bezmrazovém období. Obrázek 2 také naznačuje, že existuje poměrně výrazná prostorová variabilita zastoupení tvarů průběhů intenzit pro daný návrhový úhrn srážek včetně rozdílů mezi zastoupeními pro jednotlivé tvary (zejména mezi přívalovými a trvalými srážkami). Časoprostorová analýza výsledků frekvenční analýzy je plánována v následujících letech řešení projektu.



Obrázek 2: Hodnoty návrhových 6hod. úhrnů srážek v [mm] s dobou opakování 100 roků (nahore) a zastoupení v [%] tvarů průběhů intenzit odpovídajících hyetogramu přívalových srážek s charakteristickou dobou trvání 0,5 hod. a kratší (vlevo dole) a hyetogramu trvalých srážek s charakteristickou dobou trvání 6 hod. a delší (vpravo dole) pro 6hod. úhrny srážek s dobou opakování 100 roků. Obrázky hyetogramů jsou převzaty z publikace Müller a kol. (2018).

### 1.5.2. A2002 Vyhodnocení a analýza pozemních měření srážkových úhrnů

Výběr stanic pro zpracování srážkových intenzit z prvního roku řešení projektu byl rozšířen o 2 stanice (Žatec a Teplice), pro něž byly dodatečně digitalizovány ombrografické záznamy během roku 2020. Spojením s daty měření automatických srážkoměrů tak vznikly pro tyto stanice řady delší než 40 let. Z ombrografických záznamů pořízených v roce 2020 byly dále doplněny řady pro stanice Desná, Souš a Liberec o období 1951–1960. Celkem tak do dalšího zpracování vstupovalo 60 stanic s dostatečně dlouhou řadou dat intenzit srážek po spojení dat z měření ombrografů a automatických srážkoměrů, tj. alespoň 32 let v období 1951–2019.

Ke kontrolám intenzit srážek z měření ombrografů a automatických srážkoměrů v klimatologické databázi ČHMÚ CLIDATA provedeným v loňském roce byla začátkem roku 2020 provedena u vybraných stanic další kontrola. Data srážkových intenzit byla porovnávána oproti naměřeným denním srážkovým úhrnům, které prochází pravidelnou kontrolou a opravou. Případy, kdy denní sumy intenzit převyšovaly denní úhrn o 6 mm a více, byly dále analyzovány. Falešné vysoké intenzity pak byly opraveny nebo umazány v databázi.

### **Řady ročních a měsíčních maxim srážkových úhrnů**

Z připravených řad intenzit srážek (srážková data v 1 min. či 15 min/10 min kroku měření) byly napočteny klouzavé úhrny srážek o délce trvání (30, 60, 90, 120, 180, 360, 720 a 1440 min) a vytvořeny řady ročních a měsíčních maxim.

I přes provedené kontroly a opravy se mohou v datech intenzit srážek vyskytovat chybné údaje, a především velké množství výpadků měření, které nelze doplnit. Při dalším zpracování dat je potřebné tato omezení zohlednit. U řad ročních a měsíčních maxim bylo nutno rozhodnout o jejich relevantnosti vzhledem k počtu a povaze chybějících dat v daný rok či měsíc.

Roční maxima nebyla uvažována pro roky s velkým množstvím chybějících nebo značně podhodnocených denních sum srážkových intenzit v porovnání s naměřenými denními úhrny srážek. Řady ročních maxim byly vybrány několika způsoby a výsledky porovnány. Finálně byly použity řady maxim neobsahující maxima z let, kde chybí (nebo je podhodnoceno) více než 40 % denních srážek nad 6 mm nebo více než 40 % denních srážek nad 12 mm. Před 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.

V případě tvorby řad měsíčních maxim byl výběr složitější než u ročních maxim. Často nastaly případy, kdy se v daném měsíci nevyskytuje žádný den s úhrnem nad 6 mm. Proto bylo zvoleno několik kontrolních limitů a důraz byl kladen zejména na kontrolu, zda suma intenzit odpovídá naměřenému dennímu úhrnu v den, kdy byl v daném měsíci nejvyšší.

Vzhledem k provedeným redukcím (odstranění nevyhovujících maxim) jsou finální řady ročních a měsíčních maxim většinou kratší, než bylo u vybraných stanic původně zjištěno. Řady ročních maxim mají však pro všechny zpracovávané stanice i po provedených úpravách vždy 30 let a více. U řad měsíčních maxim je v několika ojedinělých případech finální řada kratší než 30 let.

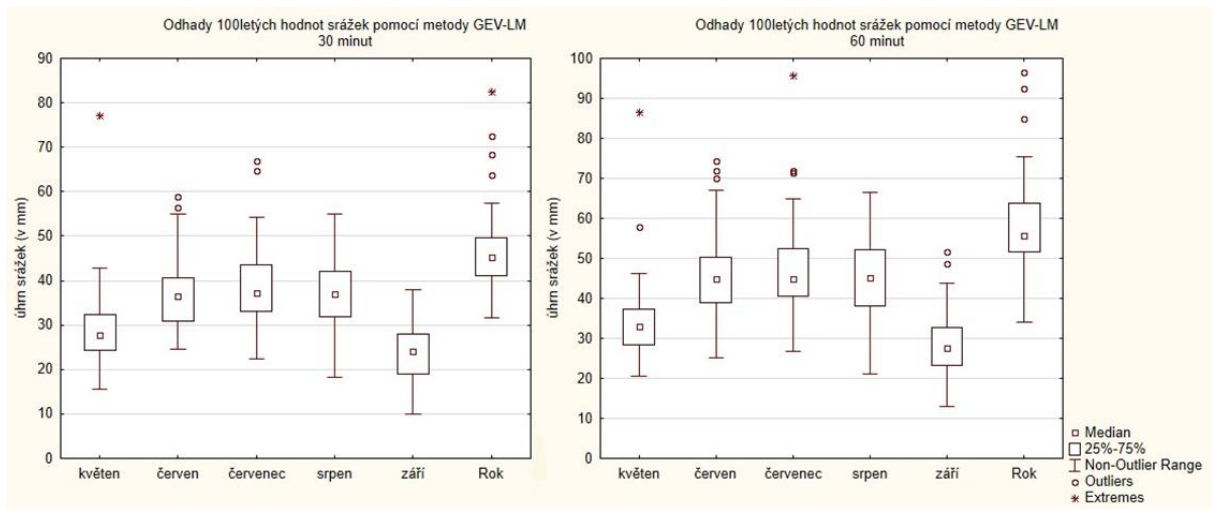


Obrázek 3: Rozmístění vybraných 60 stanic pro zpracování srážkových intenzit s uvedením finální délky řady ročních maxim. Délky řad měsíčních maxim mohou být odlišné.

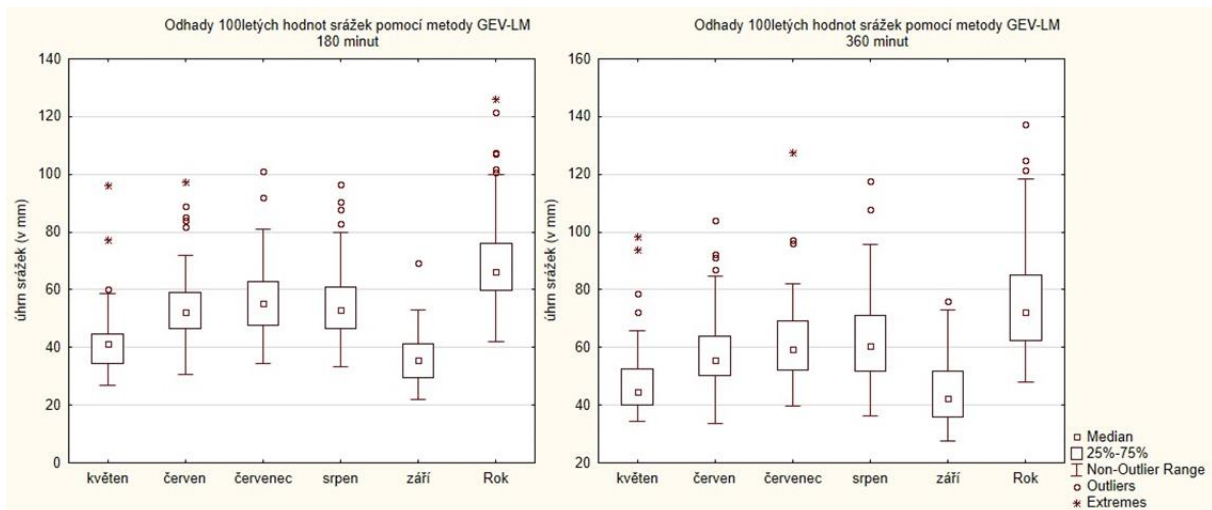
### **Parametry extrémních rozdělení a návrhové hodnoty**

Z připravených řad ročních a měsíčních maxim byly spočteny parametry extrémního rozdělení a návrhové hodnoty. Srovnáním výsledků různých metod odhadu (použity byly Gumbelovo a GEV rozdělení, každá s 2 metodami odhadu parametrů) a výsledků jednotlivých stanic byly vytipovány podezřelé stanice, k jejichž dalšímu zpracování a prezentaci je potřeba přistupovat s opatrností.

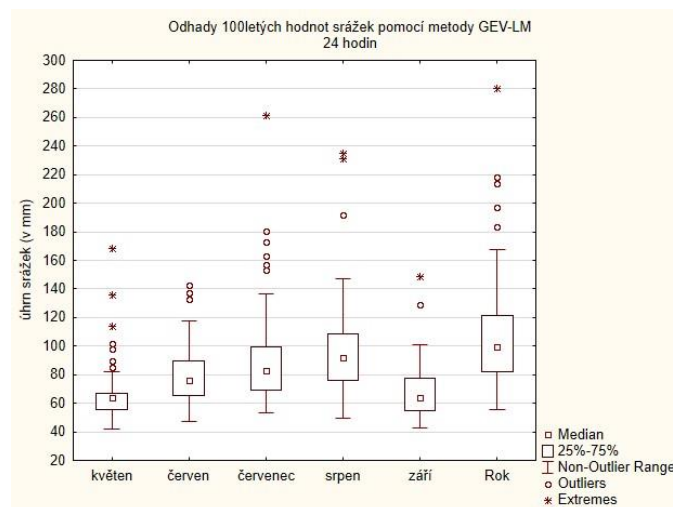
Níže (Obrázek 4, Obrázek 5 a Obrázek 6) jsou uvedeny box ploty pro odhady 100letých hodnot odvozených metodou GEV-LM (GEV rozdělení, odhad parametrů metodou L-momentů) pro vybrané délky trvání. Box ploty byly vytvořeny z odhadů pro všech 60 zpracovaných stanic a dobře znázorňují případy odlehlých hodnot. Z grafů je patrné rozmezí, v jakém se 100leté odhady pro jednotlivé měsíce pohybují ve srovnání s odhady z ročních maxim. Tyto souhrnné charakteristiky 100letých hodnot jsou u měsíčních maxim vždy nižší než odhady z ročních maxim. Z grafů jsou také dobře patrné vyšší hodnoty odhadů v letních měsících červen–srpen ve srovnání s měsíci květen a září.



Obrázek 4: Box ploty pro odhady 100letých hodnot 30 a 60minutových srážkových úhmů ze všech 60 stanic vstupujících do zpracování.



Obrázek 5: Box ploty pro odhady 100letých hodnot 180 a 360minutových srážkových úhmů ze všech 60 stanic vstupujících do zpracování.



Obrázek 6: Box ploty pro odhady 100letých hodnot 24hodinových srážkových úhmů ze všech 60 stanic vstupujících do zpracování.



### 1.5.3. A2003 Využitelnost družicových dat pro určení aktuálního stavu povodí

V rámci aktivit spojených s využitím satelitních dat pro určení vlhkosti půdy navázaly aktivity na první rok řešení. Byla rozšířena rešerše literatury a z dostupných dat měřených v síti klimatologických stanic ČHMÚ byly ve spolupráci s ČVUT v Praze a ÚFA vytipovány stanice a časová okna měřených vlhkostí použitelné pro další analýzy a hydrologické modelování. Stanice byly vybrány na základě délky měřených časových řad a s ohledem na rozsah a rovnoměrnost pokrytí území ČR (Tabulka 3).

*Tabulka 3: Vybrané klimatologické stanice s dostupným měřením půdní vlhkosti*

| <b>Jméno stanice</b> | <b>Lat.</b> | <b>Lon.</b> | <b>Elev.<br/>(m n. m.)</b> | <b>Měření od</b> |
|----------------------|-------------|-------------|----------------------------|------------------|
| Holešov              | 17.57       | 49.32056    | 222.25                     | 2014             |
| Kroměříž             | 17.3653     | 49.2847     | 233                        | 2001             |
| Strážnice            | 17.3381     | 48.8992     | 176                        | 2001             |
| Brno                 | 16.68889    | 49.15306    | 241                        | 2005             |
| Dukovany             | 16.13444    | 49.09556    | 400.15                     | 2001             |
| Kostelní Myslová     | 15.43917    | 49.15917    | 569                        | 2005             |
| Kobylí               | 16.8814     | 48.9394     | 175                        | 2011             |
| Kuchařovice          | 16.08528    | 48.88111    | 334                        | 2007             |
| Kocelovice           | 13.83861    | 49.46722    | 519                        | 2004             |
| České Budějovice     | 14.46972    | 48.95194    | 394.6                      | 2011             |
| Úpice                | 16.01162    | 50.50642    | 413                        | 2001             |
| Ústí nad Orlicí      | 16.42222    | 49.98028    | 401.7                      | 2008             |
| Holovousy            | 15.57805    | 50.37695    | 321                        | 2006             |
| Hradec Králové       | 15.83845    | 50.17765    | 278                        | 2010             |
| Seč                  | 15.6479     | 49.84473    | 529                        | 2002             |
| Plzeň                | 13.37889    | 49.76472    | 359.8                      | 2004             |
| Plzeň                | 13.38641    | 49.78838    | 331                        | 2004             |
| Cheb                 | 12.39139    | 50.06833    | 483                        | 2004             |
| Opava                | 17.8761     | 49.9197     | 270                        | 2000             |
| Olomouc              | 17.2844     | 49.5758     | 210                        | 2000             |
| Neumětely            | 14.0375     | 49.8542     | 322                        | 2005             |
| Praha                | 14.44694    | 50.00778    | 302.04                     | 2010             |
| Košetice             | 15.08056    | 49.57361    | 532.29                     | 2004             |
| Nedrahovice          | 14.4403     | 49.6317     | 348                        | 2005             |
| Přibyslav            | 15.7625     | 49.58278    | 532.5                      | 2012             |
| Doksany              | 14.17       | 50.45889    | 158                        | 2000             |
| Ústí nad Labem       | 14.04111    | 50.68333    | 375.39                     | 2012             |

---

|         |          |          |        |      |
|---------|----------|----------|--------|------|
| Liberec | 15.02389 | 50.76972 | 397.72 | 2001 |
|---------|----------|----------|--------|------|

---

Půdní vlhkost je měřena ve třech vrstvách: 0 až 10 cm, 10 až 50 cm a 50 až 100 cm. Data jsou měřena v 10 min kroku, ale využívána jsou pouze data v termínu 07:00. U těchto stanic byla provedena kontrola kvality dat.

Z hlediska dat ze satelitních senzorů byla aktivita zaměřena na rešeršní část dalších produktů a jejich možností využití. V roce 2019 byly naznačeny způsoby ověřování satelitních dat a produktů ESA. Jedná se o produkty Surface Soil Moisture (SSM), který je dostupný od ledna 2015 do současnosti, a Soil Water Index (SWI). Tento index je pro Evropu v rozlišení 1 km dostupný od ledna 2015 a je počítán z pozorování senzorů Sentinel-1/ C-SAR a MetOp/ASCAT. Z rešerše literatury vyplynulo, že se nelze spolehnout na vysokou přesnost satelitních dat. Proto je nutné dávat důraz na precizní validaci dat využívající jak pozemních měření, tak i reanalýz (Dorigo, 2010). Pro validaci bude v dalším řešení využito nové regionální reanalýzy UERRA, která je odvozená speciálně pro Evropu s rozlišením 5,5 × 5,5 km. Zde jsou poskytována také data o půdních charakteristikách (vlhkost, teplota, množství nezamrzlé vody v daném sloupci) pro 14 hladin až do hloubky 12 m v termínech po 6 hodinách. Reanalyzovaná data jsou od roku 1961 do současnosti, využita bude v projektu ta část, kde je možné provádět validaci s pozemními měřeními a zároveň existuje průnik s pozemními srážkovými radary.

#### 1.5.4. A2004 Klasifikace malých povodí

Klasifikace malých povodí navázala na aktivity v roce 2019, ve kterém byl vytvořen koncept klasifikace povodí a jejich vymezení na základě morfologie (DMR 4G) v prostředí ArcGIS za pomoci nativního skriptovacího jazyka Python. Velikostí třídy malých povodí jsou v následující tabulce.

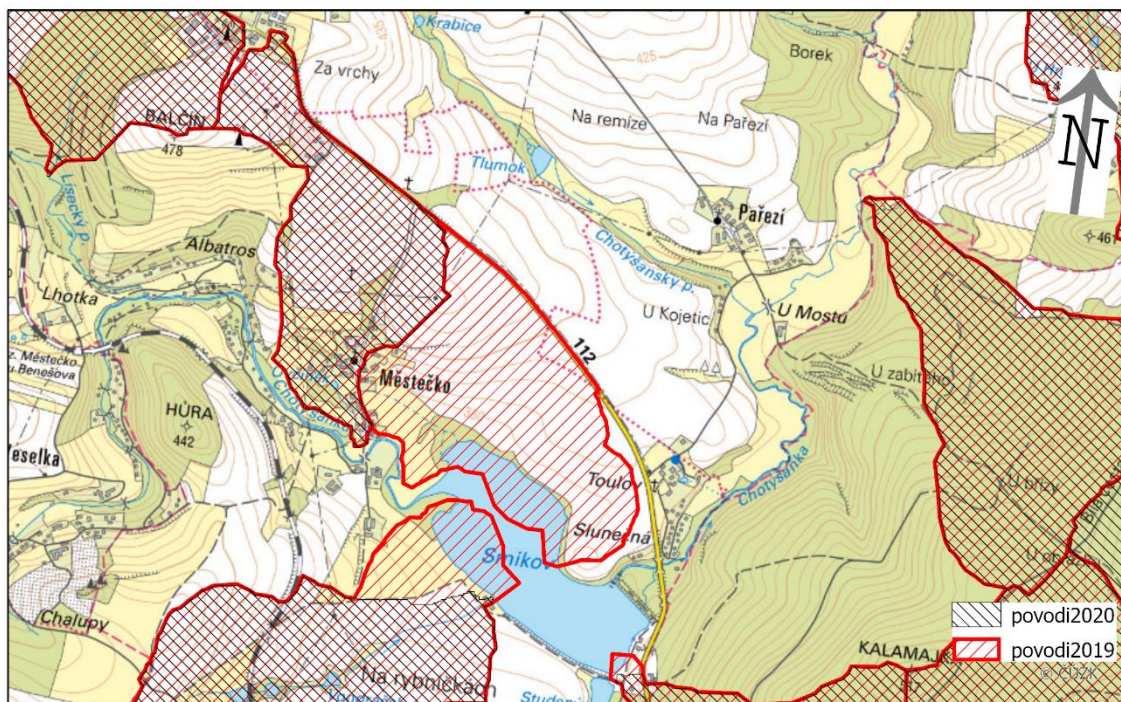
*Tabulka 4: Velikostní třídy vymezených malých povodí*

| Od<br>km <sup>2</sup> | Do<br>km <sup>2</sup> | Velikostní<br>třída |
|-----------------------|-----------------------|---------------------|
| 0,3                   | 0,7                   | 05                  |
| 0,7                   | 1,3                   | 1                   |
| 1,7                   | 2,3                   | 2                   |
| 2,7                   | 3,3                   | 3                   |
| 3,5                   | 4,5                   | 4                   |
| 4,5                   | 5,5                   | 5                   |

V roce 2020 došlo k úpravě vymezených povodí, tak aby automaticky generovaná povodí končila vždy mimo vodní nádrže. Při kontrole dat z předešlého období se ukázala přítomnost nádrží jako významný prvek. Bez vyloučení vodních nádrží docházelo, zejména u nejmenších malých povodí, k vymezení nereálných povodí, které byly z významné části součástí vodních ploch. Nelze je tak považovat za standardní povodí. Závěrový profil generovaného povodí byl posunut proti vodnímu toku, tak aby byl na přítoku do vodní nádrže. U některých (zejména nejmenších povodí) docházelo také k jejich vyřazení, protože jejich plocha již nesplňovala velikostní kritéria.

Tato úprava znamenala přidání několika manuálních kroků v povodích, kde jsou soustavy rybníků, protože jsou závěrové profily generovány na vstupu do každé vodní nádrže. Cílem bylo definovat plochy, které jsou spíš v horní hranici dané třídy. Pomocí nástrojů Eliminate a prostorové selekce probíhala úprava poloautomaticky.

Ilustrativní výřez je uveden na následující mapě (Obrázek 7). Jako zdroj pro určení vodních byla použita vrstva nádrží z databáze DIBAVOD (VÚV).



Obrázek 7: Výřez vymezení opravy povodí mimo vodní nádrž.

Data z jednotlivých velikostních tříd jsou držena odděleně. Další klasifikace je vytvářena po těchto vlastních třídách, ale při finalizaci výsledků se předpokládá, že budou spojena do finální mapy. Prozatím je uvedena v průběžné zprávě popisná statistika jednotlivých velikostních tříd, celková plocha povodí v dané třídě a její podíl na rozloze ČR.

Tabulka 5: Popisná tabulka velikostních tříd malých povodí vstupujících do následné klasifikace.

| Třída | Celková plocha [km <sup>2</sup> ] | % z ČR | Průměrná velikost vymezených povodí [km <sup>2</sup> ] | Sm. odch. velikosti | Počet |
|-------|-----------------------------------|--------|--|---------------------|-------|
| 0.5   | 37633                             | 47.7   | 0.52   | 0.132               | 72621 |
| 1.0   | 33047                             | 41.9   | 1.06   | 0.193               | 31287 |
| 2.0   | 24179                             | 30.7   | 2.09   | 0.186               | 11560 |
| 3.0   | 20289                             | 25.7   | 3.11   | 0.180               | 6530  |
| 4.0   | 22611                             | 28.7   | 4.16   | 0.312               | 5431  |
| 5.0   | 20479                             | 26.0   | 5.18   | 0.301               | 3957  |

Pro klasifikaci zdrojových povodí z hlediska potenciálu hydrologické odezvy jsou důležité faktory pro jednotlivá povodí, které tuto odezvu ovlivňují. Práce zde navazuje na aktivity v předchozím řešeném projektu, kdy byly určovány charakteristiky na povodích IV. řádu (Strouhal, 2017). V roce 2020 byla činnost zaměřena na hydro-morfologické faktory. Jako zdrojová pro odvození charakteristik povodí byla použita data:

- DMR 4G ČÚZK v rozlišení 5 × 5 m
- Vrstva vodních toků – ZABAGED



Na základě těchto vstupních dat byly spočteny popisné charakteristiky, které uvádí Tabulka 6.

Tabulka 6: morfologické charakteristiky, které byly stanoveny pro malá povodí pro jednotlivé velikostní třídy (1-5).

| Název vrstvy          | Zdrojová data            | Poznámka  |
|-----------------------|--------------------------|---|
| Obvod                 |                          |   |
| Plocha                |                          |   |
| Délka vodních toků    | Vodní toky               | Celková délka vodních toků. Hodnota -1 indikuje, že se na daném území VT nevyskytují  |
| Nadmořská výška       | DMR4G, Vodní toky        | DMR upravený tak, aby zohledňoval odtokovou dráhu v místě vodních toků  |
| Sklon povodí          | DMR4G                    | sklon v [%]   |
| Akumulace odtoku      | DMR4G                    | počet pixelů, nikoli plocha   |
| Délka odtoku          | DMR4G                    | počet pixelů, nikoli délka  |
| Délka plošného odtoku | Délka odtoku, vodní toky | Z vrstvy „Délka odtoku“ byly vyřazeny body v místech vodních toků   |
| Sklon vodních toků    | Sklon povodí, vodní toky | Sklon vodních toků generovaný na základě vrstvy sklonů. Hodnota -1 indikuje, že se na daném území VT nevyskytují, jedná se o indikativní hodnotu. |

Pro plošně odvozené prvky v Tabulce 6 (označené šedě) byla odvozena základní popisná statistická data (minimum, maximum, průměr, směrodatná odchylka). Odvození těchto parametrů pro relativně velký počet objektů bylo zpracováno v programovacím jazyku Python s využitím nativních nástrojů ArcGIS a ArcGIS Pro.

Z popisných charakteristik uvedených v Tabulce 5 byly odvozeny další morfologické charakteristiky povodí a vodních toků.

Střední šířka povodí:

$$b = \frac{A}{L} = \frac{\text{plocha}}{Fl\_len\_max}$$

Tvar povodí:

$$\alpha = \frac{A}{L^2} = \frac{\text{plocha}}{Fl\_len\_max^2}$$

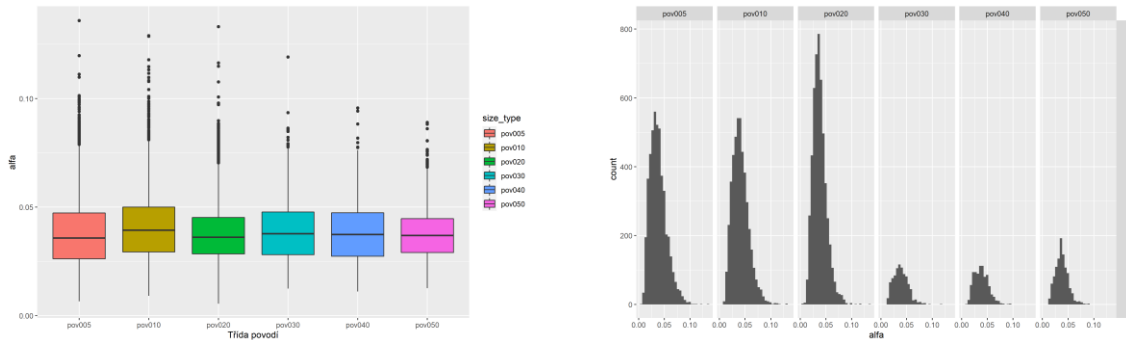
Hustota vodní sítě:

$$hrs = \frac{\sum L}{A} = \frac{\text{delka\_VT}}{\text{plocha}}$$

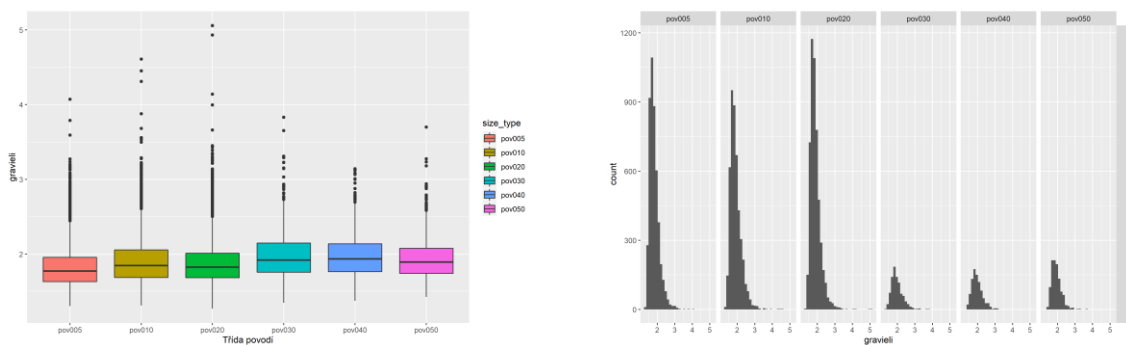
Koeficient protáhlosti (Gravieli):

$$gra = \frac{0}{2 \cdot \sqrt{A \cdot \pi}} = \frac{obvod}{2 \cdot \sqrt{plocha \cdot \pi}}$$

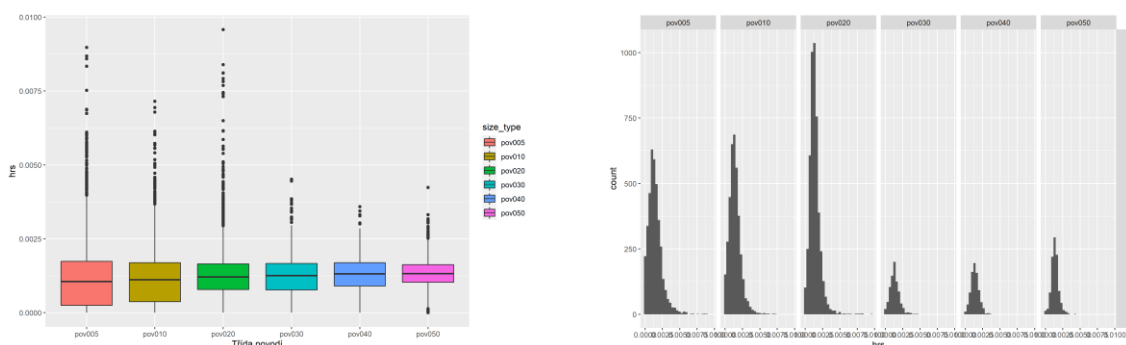
Popisnou statistiku vybraných parametrů ukazují následující grafy (Obrázek 8). Vždy se jedná o dvojici obrázků. Levý obrázek ukazuje box plot příslušné hodnoty a pravý pak histogram zastoupení.



*Koeficient alfa*



*Koeficient protáhlosti (Gravieli)*

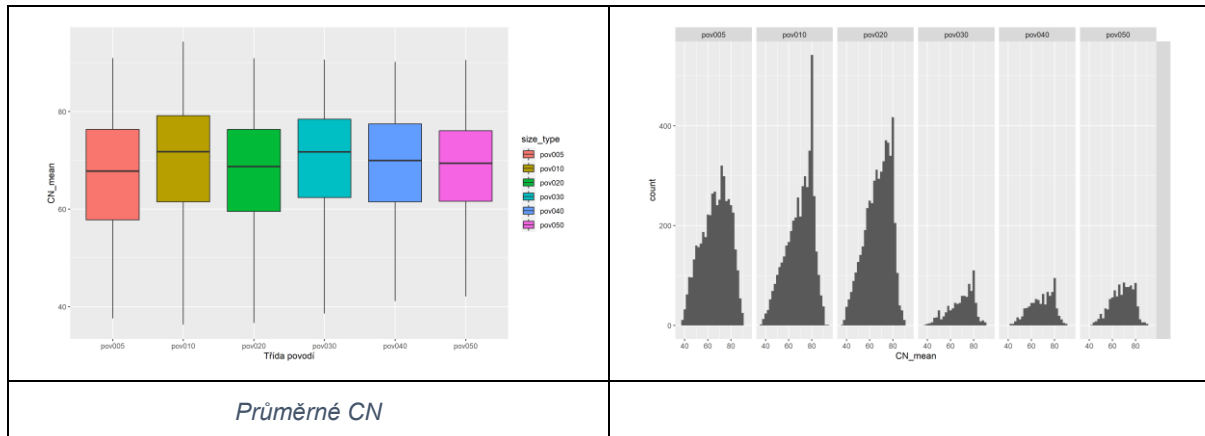


*Hustota vodní sítě*

*Obrázek 8: Popisná statistika vybraných parametrů. Levý sloupec – box ploty zobrazující mediánové hodnoty, směrodatné odchylky a odlehle hodnoty (body); pravý sloupec – histogram zastoupení.*

Dále byla jednotlivá povodí v třídách klasifikována podle průměrné hodnoty CN v rozlišení 10 × 10 m. Ta byla převzata z výsledků projektu „Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice“, na jehož řešení se podílelo Sweco Hydroprojekt a.s. Tato vrstva CN byla vybrána jako prvotní indikátor, který

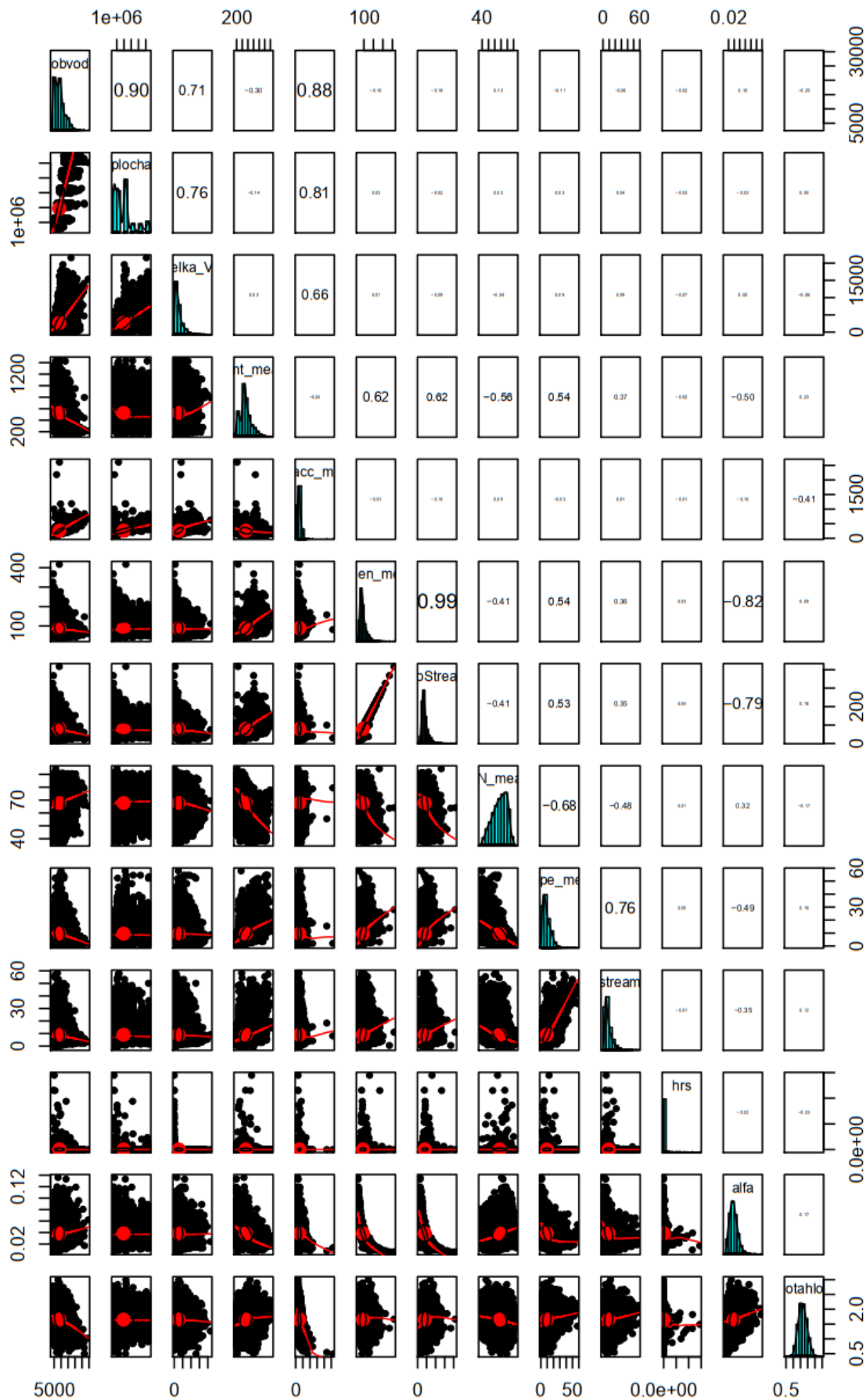
v sobě kombinuje jak infiltrační charakteristiku půdy, tak půdní pokryv, respektive využití území.



Obrázek 9: Popisná statistika CN. Levý sloupec – box ploty zobrazující mediánové hodnoty, směrodatné odchytky; pravý sloupec – histogram zastoupení.

Rozdělení hodnot je důležité pro další zpracování a výběr vhodných parametrů pro klasifikaci povodí do jednotlivých tříd. Většina parametrů se pro jednotlivé velikostní třídy povodí významně neliší a je tedy možné na základě výše uvedených charakteristik klasifikovat soubor povodí všech velikostních tříd jako celek, respektive uvažovat jen povodí z nejvyšší velikostní třídy.

Byl potvrzen předpoklad, podobně jako bylo zjištěno dříve u povodí IV. řádu (Strouhal, 2017), že mezi jednotlivými sledovanými morfologickými charakteristikami budou silné vazby. Korelace je vyjádřena na následujícím grafu (Obrázek 10). Pod diagonálou jsou zobrazeny body a trendy, nad diagonálou pak korelační koeficient. Velikost číselice přitom odpovídá velikosti korelačního koeficientu.



Obrázek 10: Korelace mezi jednotlivými sledovanými morfologickými charakteristikami. Pod diagonálou jsou zobrazeny body a trendy nad diagonálou korelační koeficient.

Analýza vzájemných vazeb i s dalšími kritérii (srážky, půdy, množství nepropustných ploch a vodních nádrží atp.) budou hodnoceny v následujícím období. Detailněji viz kapitola 6.

### 1.5.5. A2005 Experimentální měření a hydrologické modelování

Tato aktivita zahrnuje dva volně propojené tematické celky. Prvním je podpora experimentálního měření, jehož cílem je v různých měřících (elementární odtokové plochy i malé povodí) verifikovat vybrané modelové parametry, případně poskytnout kalibrační data pro fyzikální hydrologické modely. Druhý tematický celek pak zahrnuje srážko-odtokové hydrologické modelování, jehož prostřednictvím budou v tomto projektu analyzovány nejistoty při odvozování návrhových hydrologických veličin pro vodohospodářskou praxi, se zaměřením zejména na vliv počátečního nasycení povodí. Toto zaměření vyplynulo z výsledků předchozího projektu a je jedním z hlavních cílů toho stávajícího.

#### Experimentální výsledky

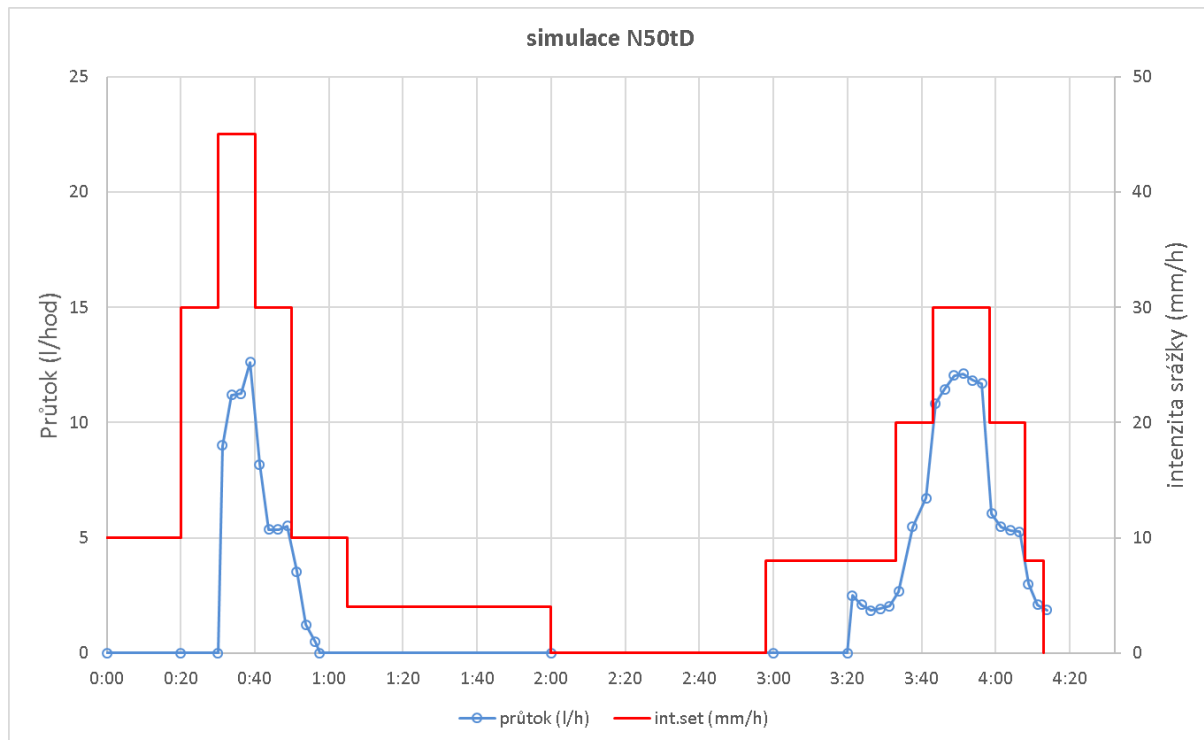
Na poli experimentálních aktivit byla na jedné straně zpracovávána archivní data z dešťových simulací realizovaných zhruba od roku 2012 na ČVUT, na straně druhé pak byly ve třech kampaních (viz. Tabulka 7) provedeny nové polní infiltrační experimenty s využitím malého dešťového simulátoru. Ten byl nasazen do provozu v roce 2019, cílí na plochu 1x1 m a na rozdíl od staršího, většího simulátoru na ČVUT umožňuje simulovat časově proměnlivou srážku. Cílem provedených experimentů bylo studovat dynamiku procesu tvorby povrchového odtoku právě při srážce s proměnlivou intenzitou, s průběhem odpovídajícím návrhovým 6 h hyetogramům využívaným v tomto projektu. Dalším cílem bylo odvodit odtokové charakteristiky elementárních ploch na jiné než orné půdě. Téměř všechny experimenty byly provedeny na travním porostu, ovšem na různě využívaných pozemcích. Ve Svinařově se jednalo o tříletý travní porost na orné půdě, v Býkovicích o trvalý porost pravidelně sečené údolní louky a v Uherčicích o zatravněné meziřadí vinice.

*Tabulka 7: Přehled experimentálních kampaní – dešťových simulací s proměnlivou intenzitou*

| Datum  | Lokalita | Pokryv      | Úhrn (mm) | Doba opakování (let) | Tvar hyetogramu |
|--------|----------|-------------|-----------|----------------------|-----------------|
| 20. 4. | Svinařov | Tráva na OP | 30-40     | 5-20                 | A, C            |
| 26. 5. | Býkovice | Louka, OP   | 52        | 20                   | B               |
| 8. 10. | Uherčice | Vinice      | 44        | 50                   | B, D            |

Z prvního experimentu nebylo získáno mnoho relevantních dat, neboť plánovaný srážkový úhrn se ukázal jako nedostatečný v porovnání s neočekávaně vysokou infiltrační kapacitou půdy. Ta dosahovala až 50 mm/h a drobný pozorovaný odtok bylo těžké odlišit od pozadového odtoku ze sběrného trychtýře. Druhá experimentální kampaň byla úspěšnější a poskytla cenná data pro modelování infiltrace a dynamiky tvorby odtoku, které je plánováno na další rok řešení projektu. Infiltrační kapacita tentokrát nebylo možné jednoduše odhadnout na základě pozorovaných průtoků, neboť při značně proměnlivém scénáři intenzit nikdy nedošlo k ustálení povrchového odtoku. Nejúspěšnější byla poslední zadešťovací kampaň na vinici. Průběh použitých intenzit zadešťování a pozorovaný odtok je zachycen na Obrázku 11. Originální návrhové hyetogramy mají rozlišení 1 nebo 5 min, za účelem terénní simulace však byl hyetogram zjednodušen na několik delších úseků s takovou intenzitou, aby byl zachován

celkový úhrn a dobře byla vystižena maximální intenzita. Z pozorovaného odtoku nelze jednoduše odhadnout infiltrační charakteristiky půdy, to bude předmětem navazujících činností v příštím roce. Významným zjištěním je však srovnatelná intenzita odtoku vyvolaná oběma srážkovými maximy, přestože druhý vrchol srážky byl méně intenzivní. Zde se patrně projevuje efekt vyšší počáteční vlhkosti (druhý vrchol představuje prakticky oddělenou událost), případně efekt vzduchu uzavřeného v půdních pórech a zpomalující proces infiltrace.



Obrázek 11: Zadešťovací schéma a pozorovaný odtok ze simulace na vinici

### Verifikace hydrologických modelů na základě pozorování

Za účelem verifikace hydrologických modelů a navazujícího modelového hodnocení srážko-odtokových faktorů byly vyhledávány významné srážko-odtokové epizody na malých povodích. V roce 2020 byla nejdříve identifikována a vybrána všechna malá povodí z databáze ČHMÚ, která splňovala definované charakteristiky (plochu ideálně do 10 km<sup>2</sup>; maximálně do 20 km<sup>2</sup>) a byla na nich v jejich závěrovém profilu hydrologická stanice s dostatečně dlouhou řadou pozorování (alespoň od roku 2002, kdy jsou k dispozici také adjustovaná radarová data). Snahou bylo vybrat povodí z celého území České republiky tak, aby byla zastoupena jak povodí horská, tak podhorská, a i povodí z nižších poloh s výskytem odlišných srážek. Stejně tak aby byla k dispozici pro hydrologické modelování povodí zalesněná, zemědělská či s mozaikou různých druhů půdního pokryvu (kombinace lesů, luk a polí).

Z kompletní databáze měřených průtoků provozované na ČHMÚ odpovídalo požadovaným kritériím pouze necelých 30 povodí. U všech byly určeny charakteristiky pro kategorizaci dle mírně doplněné metodiky z předchozího projektu (Strouhal, 2017) a povodí byla zaříděna. Vyhovující povodí překvapivě pokrývala všech pět tříd použité klasifikace, nicméně v některých třídách nebyl nalezen dobře reprezentativní zástupce. Ve většině případů se jedná o lesní a podhorská povodí, proto zástupci tříd povodí s vyšším CN se nacházeli spíše na okraji parametrického prostoru definující danou třídu. Podle příslušnosti k třídám a dalších

faktorů (zejména praktické aspekty pro navazující modelování) bylo vybráno 9 prioritních povodí a označeno preferované pořadí dle vhodnosti k hydrologickému modelování. Na nejvíce vyhovujících pramenných povodích byla následně provedena kontrola databáze vodních stavů, průtoků, a věrohodnosti měrných křivek se zaměřením na nejvýznamnější srážkové extrémy v posledních cca 20 letech. Preferovány byly srážkové situace přívalemého charakteru.

Po pečlivém vyhodnocení hydrologických dat z databáze bylo nakonec vybráno 5 finálních povodí, které nejlépe splňovaly všechny stanovené parametry (Tabulka 8 a Obrázek 11). Hydrologické modelování přívalemých událostí na těchto povodích se předpokládá jako aktivita pro rok 2021. Povodí "Osvětmany" na toku Hruškovice bylo vybráno jako první testovací. Navíc bylo v databázi ČHMÚ vytipováno povodí Zděchov na Zděchovce (4,1 km<sup>2</sup>), na kterém budou hydrologickým modelováním ověřena měřená hydrologická data.

*Tabulka 8: Malá povodí vybraná k modelování průtokových vln*

| <b>Stanice</b>   | <b>Tok</b>         | <b>Plocha povodí<br/>[km<sup>2</sup>]</b> |
|------------------|--------------------|---|
| Uhlířská         | Černá Nisa         | 1,80                                      |
| Landštejn nad n. | Pstruhovec         | 6,36                                      |
| Osvětmany        | Hruškovice         | 9,54                                      |
| Nový Dvůr        | Spůlka             | 9,99                                      |
| Průhonice        | Dobřejevický potok | 13,00                                     |

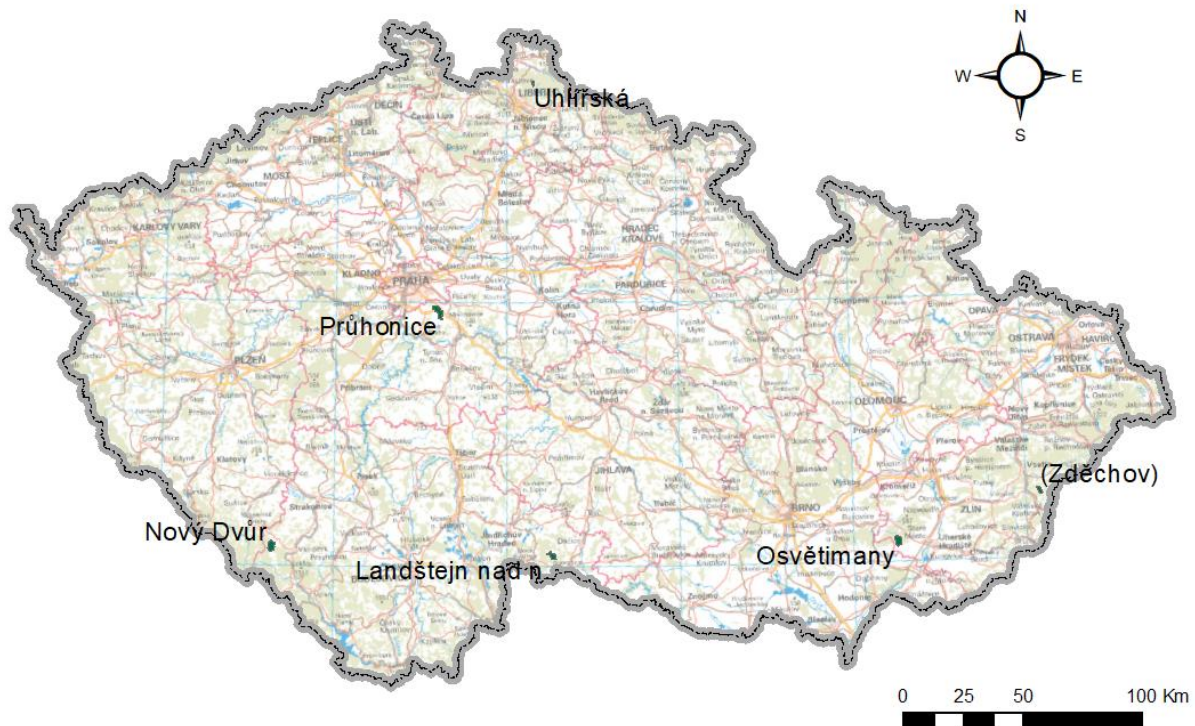
Na zvoleném testovacím povodí Osvětmany byla dohledána, zkontrolována a případně dopočítána všechna potřebná data, jako srážkové úhrny (kombinace radaru a srážkoměru), půdní data, mapy využití území a archivní hodnoty CN pro vybrané dny z aplikace Indikátor přívalemých povodní (Flash-flood indicator, FFI) provozované v konvektivní sezóně v ČHMÚ od roku 2009.

Jelikož výběr hydrologického modelu je známým zdrojem nejistot při odvozování návrhových hydrologických charakteristik, byl pro jejich zhodnocení v tomto projektu zvolen přístup souběžné aplikace několika různých modelových nástrojů a metod výpočtu. Z jednoduchých koncepčních modelů byly zvoleny SCS-CN a jednotkový hydrogram – modely implementované v prostředí HEC-HMS a využívané na ČHMÚ pro odvozování N-letých průtoků a NPV v nepozorovaných povodích. V tomto nástroji bylo sestaveno několik hydrologických modelů s různou hydrologickou strukturou či vstupními daty. Z představitelů fyzikálního přístupu byly vybrány modely Smoderp2D vyvíjený na pracovišti řešitele z ČVUT a komplexní Mike-SHE umožňující velmi detailní fyzikální popis procesu tvorby odtoku. V každém z těchto nástrojů byl prozatím sestaven jeden testovací model. V případě Smoderp2D se jednalo o teoretickou studii dopadu na předprojektovou přípravu konkrétních vodohospodářských opatření v katastru obce Libštát, v Mike-SHE pak byl shodně s HEC-HMS sestaven model povodí Osvětmany pro hodnocení zaznamenaných srážkoodtokových událostí z databáze ČHMÚ.

### **Konceptuální model HEC-HMS**

V roce 2020 byly provedeny první testovací výpočty na vybraném povodí Osvětmany, vybrány byly epizody v letech 2014 a 2016, pro něž byla měřená data vyhodnocena jako nejspolehlivější. Přehled významných epizod v povodí Osvětmany uvádí Tabulka .





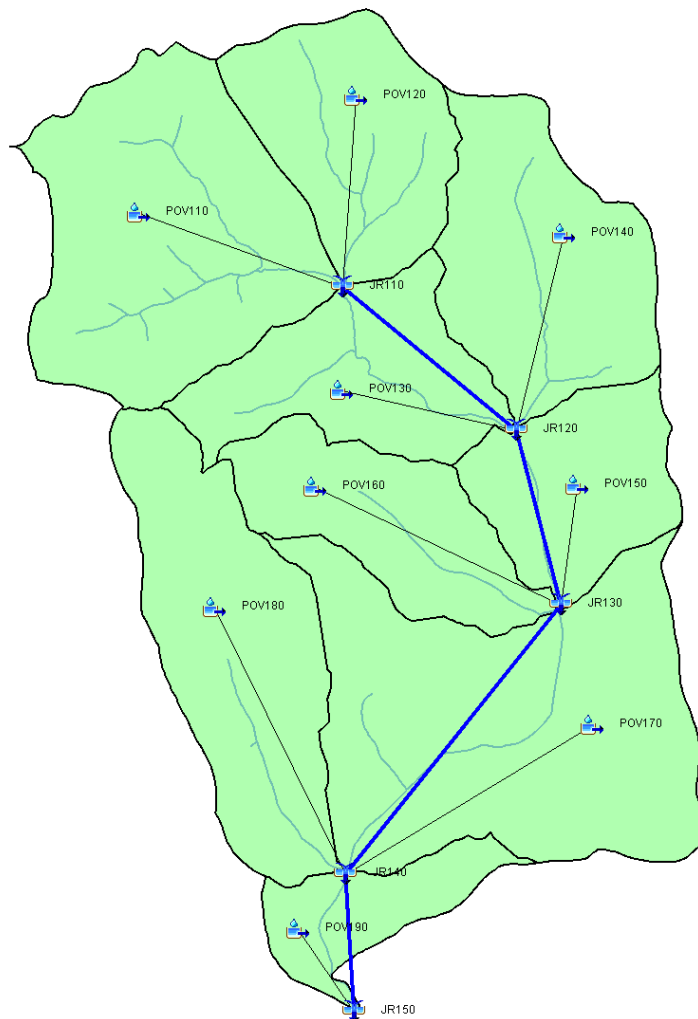
Obrázek 11: Malá povodí vybraná k modelování průtokových vln.

Tabulka 9: Přehled významných průtokových epizod způsobených srážkami přívalového charakteru zaznamenaných na stanici Osvětimany.

| Datum kulminace   | Max. průtok<br>[m <sup>3</sup> · s <sup>-1</sup> ] | Odhadovaná doba<br>opakování<br>[roky] |
|-------------------|--|--|
| 3. 7. 1981        | 8,7  | 20-50                                  |
| 7. 7. 1997 18:00  | 3,62   | 5-10                                   |
| 22. 6. 1999 14:12 | 2,78   | 5-10                                   |
| 26. 6. 2006 21:00 | 0,541  | 1-2                                    |
| 2. 6. 2010 9:00   | 4,81   | 10-20                                  |
| 12. 9. 2014 11:00 | 3,19   | 5-10                                   |
| 31. 7. 2016 18:50 | 1,55   | 2-5                                    |

Sestrojeny byly dva modely povodí s různou vnitřní strukturou. Jednou bylo celé povodí Osvětimany bráno jako jeden celek a v druhé variantě bylo povodí Osvětimany rozděleno na 9 menších subpovodí (viz Obrázek 12), což může mít velký význam v případě velmi intenzivních lokálních přívalových srážek, které zasáhnou pouze část sledovaného povodí. Analýza radarových srážkových snímků ukázala na oprávněnost druhého přístupu.





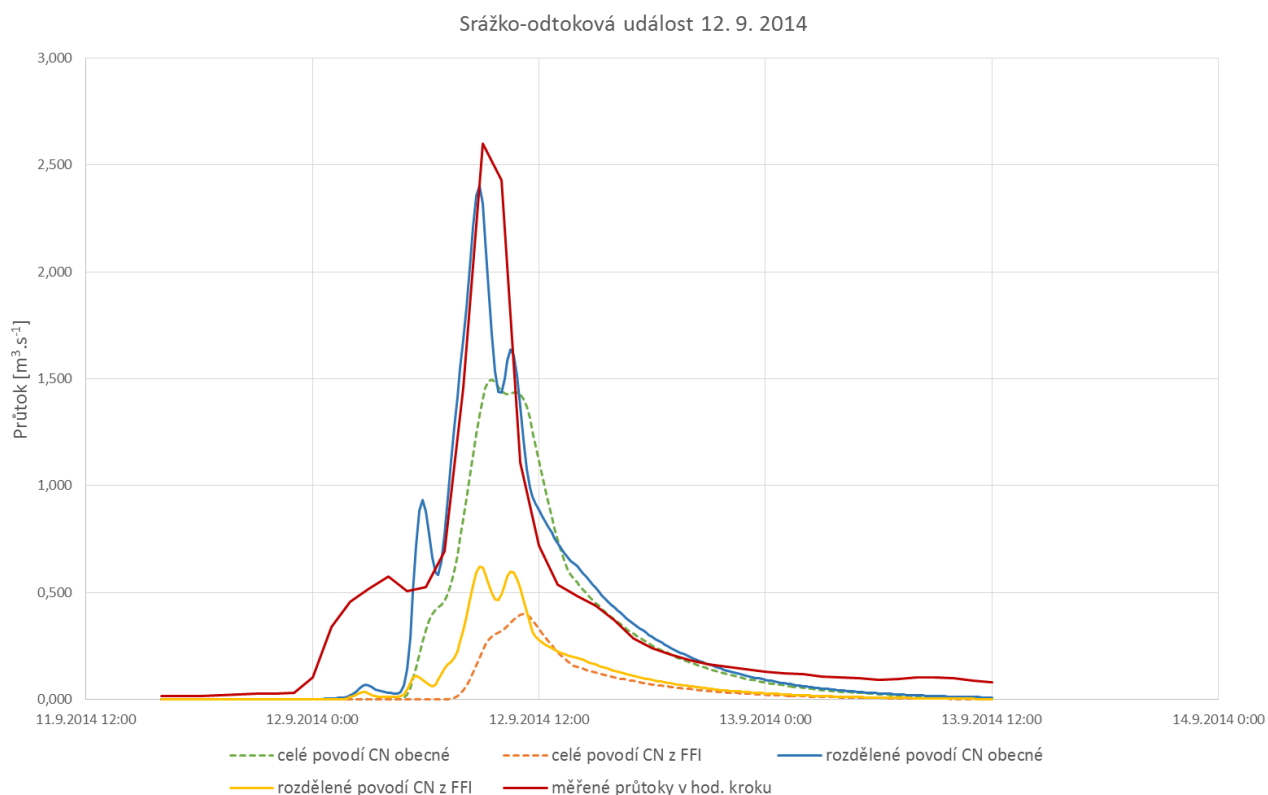
Obrázek 12: Model povodí Osvětimany v HEC-HMS.

První simulace srážko-odtokových událostí z let 2014 a 2016 byly provedeny standartním způsobem odvozování N-letých povodňových vln dle metodiky ČHMÚ. Podle ní se jako transformační funkce povodí využívá Clarkova dvouparametrického okamžitého jednotkového hydrogramu a pro stanovení odtokových ztrát metody CN křivek. Odvození srážko-odtokového modelu probíhá z velké části v prostředí geografických informačních systémů pomocí programového vybavení ArcGIS s využitím extenze HydroHMS, vyvinuté v ČHMÚ přímo pro účely srážko-odtokového modelování. Pomocí extenze byla odvozena struktura srážko-odtokového modelu a spočítány fyzicko-geografické parametry modelu, které jsou extenzí následně exportovány do systému HEC-HMS. V dílčích povodích se počítá transformace srážky na odtok metodou SCS CN a v říčních úsecích dochází pomocí metody Muskingum k transformaci povodňové vlny podél toku.

V prvních sadách simulací bylo využito vrstvy hodnot CN2 (pro průměrnou nasycenost povodí), která je používána v ČHMÚ při odvozování teoretických povodňových vln. Pro srovnání byly v obou modelech aplikovány archivní hodnoty CN z aplikace FFI, která byla v době zaznamenaných událostí v testovacím provozu. Ostatní nastavení a parametry modelu byly ponechány beze změn.

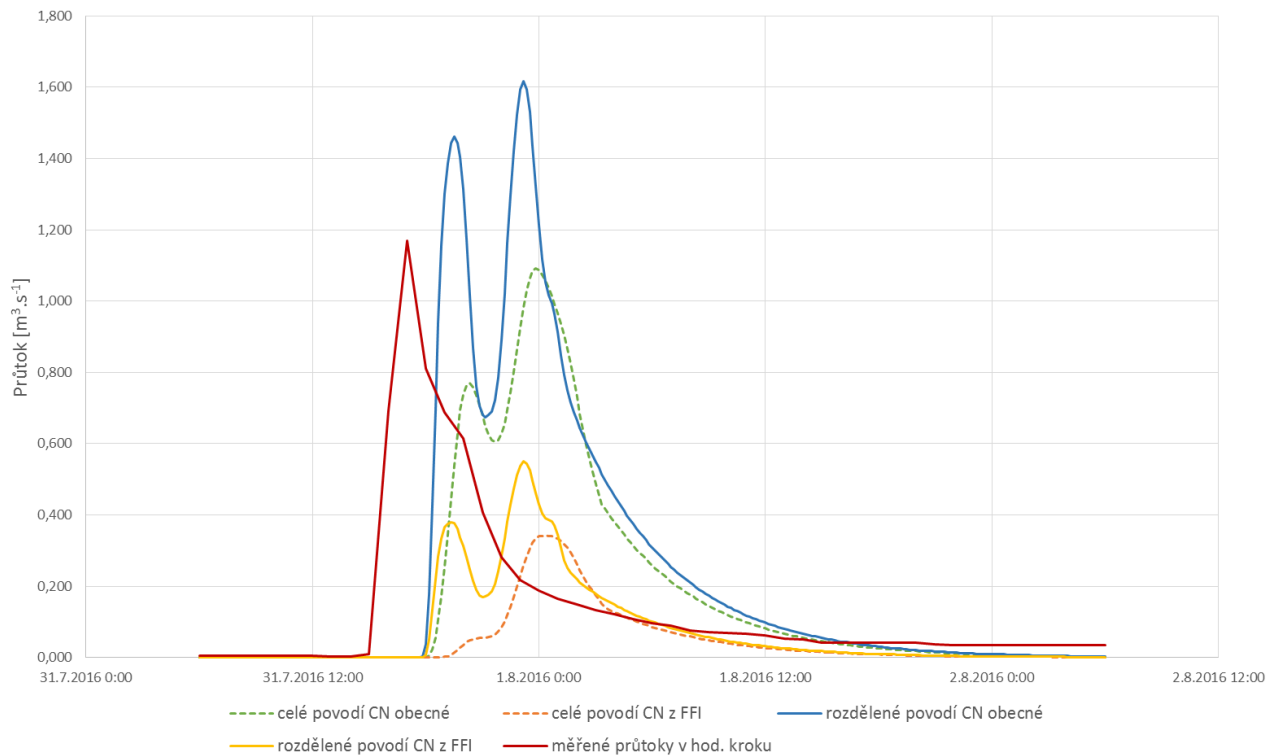
Již z prvních simulací událostí z let 2014 a 2016 (viz Obrázek 13 a Obrázek 14) je patrný významný rozdíl mezi modelem, který uvažuje celé povodí jako celek, a mezi modelem, který

rozděluje povodí Osvětimany na 9 dílčích povodí. U obou událostí je patrný vliv nerovnoměrného zasažení povodí příčinou srážkou na následnou odtokovou odezvu. Kulminace povodňové vlny je dle očekávání nižší v případě, že je počítáno s povodím Osvětimany jako jedním celkem. Dále se zdá do budoucna nutné provést resimulaci výstupu CN hodnot z aplikace FFI v období před rokem 2017. Jelikož je aplikace cca od roku 2017 výrazně více vyvíjena a využívána, tak se i mnohem pečlivě věnujeme počáteční nasycenosti území před spuštěním všech procedur. U obou situací je nasycení půdy, potažmo hodnota CN u aplikace FFI výrazně nižší než v případě CN hodnot za uvažování průměrných vláhových podmínek.



Obrázek 13: Simulace srážko-odtokové události s kulminací 12. 9. 2014.

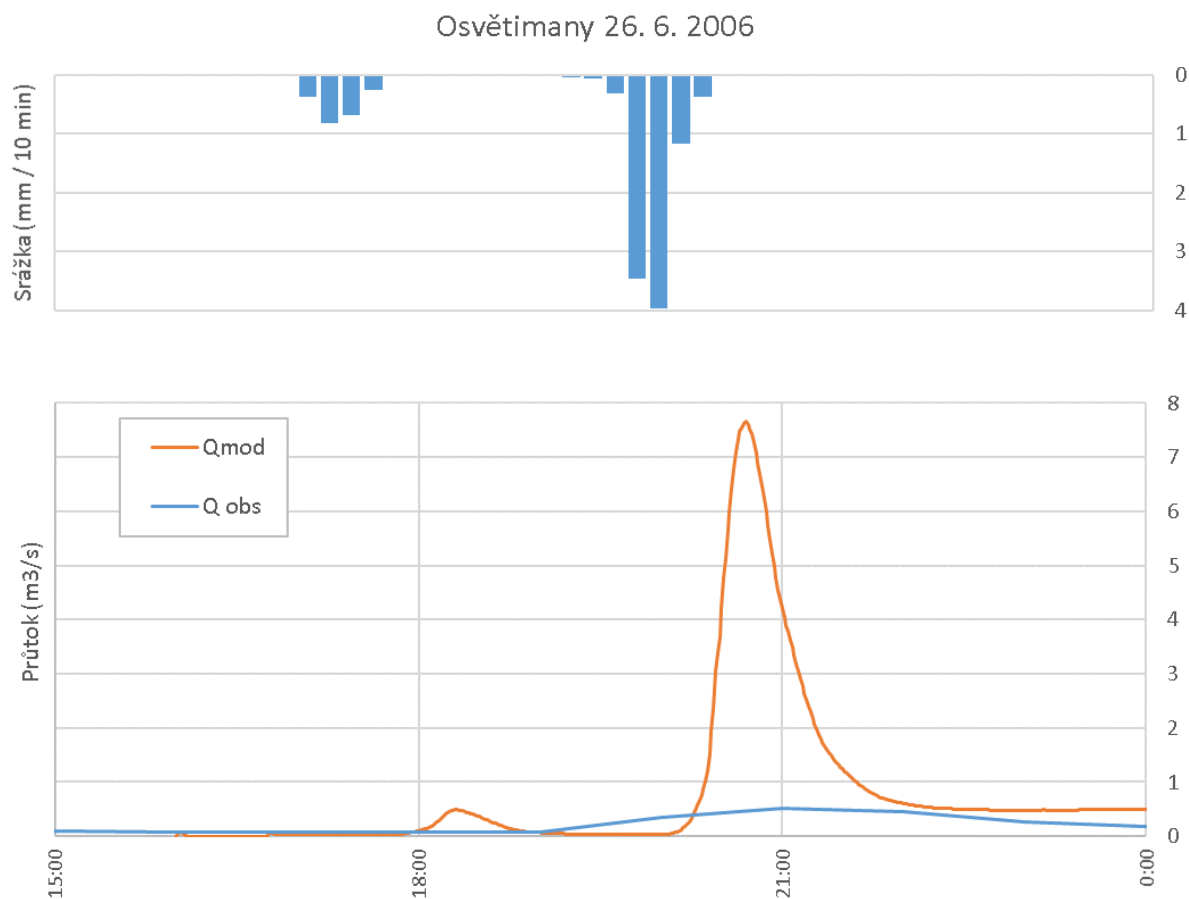
Srážko-odtoková událost 31. 7. 2016



Obrázek 14: Simulace srážko-odtokové události s kulminací 31. 7. 2016.

## Fyzikální model MIKE-SHE

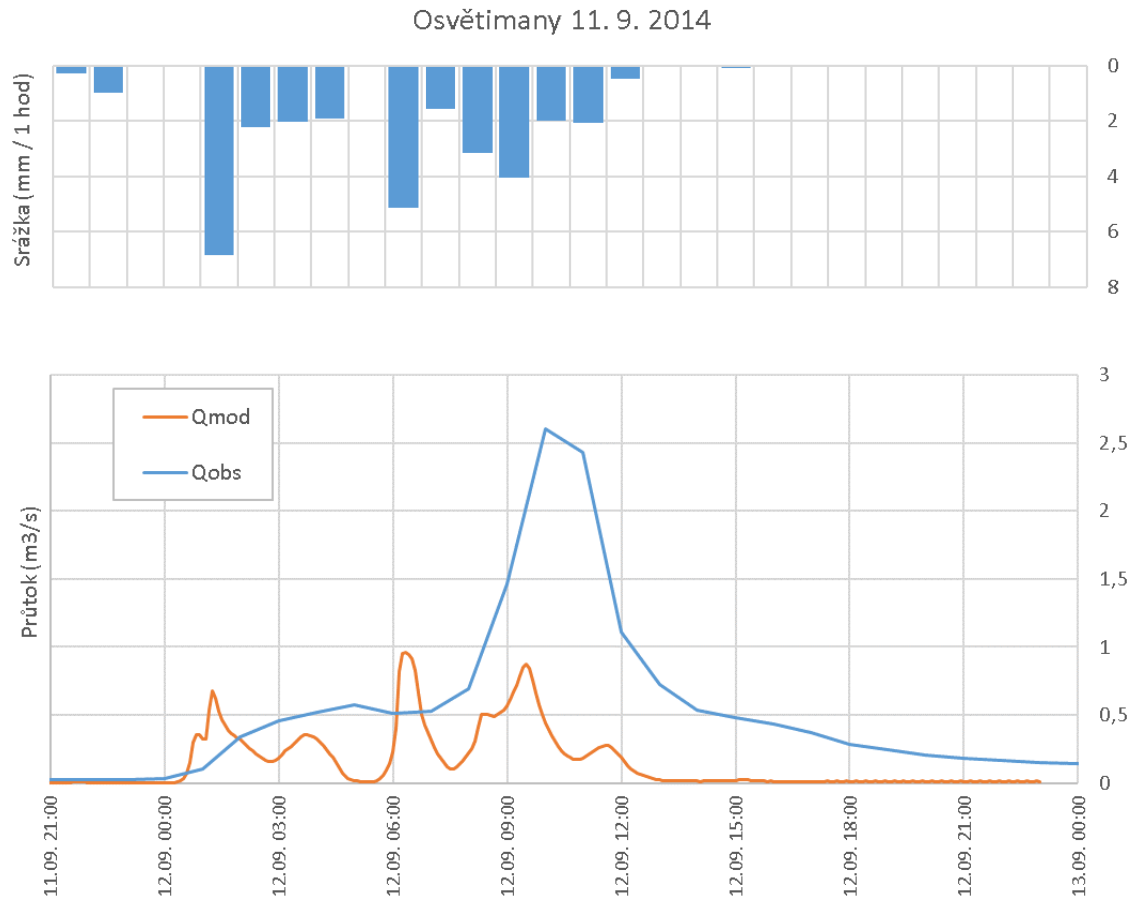
V roce 2020 byly započaty přípravné práce pro hodnocení nejistot ve fyzikálním modelu MIKE-SHE. Sestaven byl model povodí Osvětimany v prostorovém rozlišení 5 m ve dvou variantách. První testovací verze bez zohlednění povrchové retence, druhá s povrchovou retencí dle půdního pokryvu. Pro otestování funkčnosti modelu byla pro infiltrační rutinu zvolena metoda Green-Ampt. Půdní charakteristiky pro středně nasycený stav nebyly prozatím odvozeny zcela korektně dle reálného výskytu půdních druhů, ale zjednodušeně byly přiřazeny půdní druhy ve spektru hlinité až jílovihlinité půdy dle hydrologické skupiny půdy. V korytovém modelu byly použity čtyři syntetické tvary příčných profilů odstupňované dle pořadí úseku vodního toku. Model bez retence byl zatížen srážkou z roku 2006 s odhadovanou dobou opakování 1-2 roky. Modelovaný odtok je znázorněn na Obrázku 15 a je z něj patrné dramatické nadhodnocení objemu i kulminace odtoku způsobené chybějící rutinou povrchové retence.



Obrázek 15: Simulace srážko-odtokové události s kulminací 26. 6. 2006 v modelu MIKE-SHE

Druhý, kompletní model byl použit pro reprodukci pozorované povodňové vlny z 11. 9. 2014, výsledný odtok je zachycen na Obrázku 16. Pozorovaná shoda je v tomto případě lepší, model odtok spíše podhodnocuje, což je patrně důsledek zanedbání pozorované předchozí srážkové činnosti (15 mm za předchozích 15 h). Zároveň je modelovaný odtok příliš rychlý, při budoucí kalibraci budou proto revidovány použité hodnoty povrchových i korytových drsností.

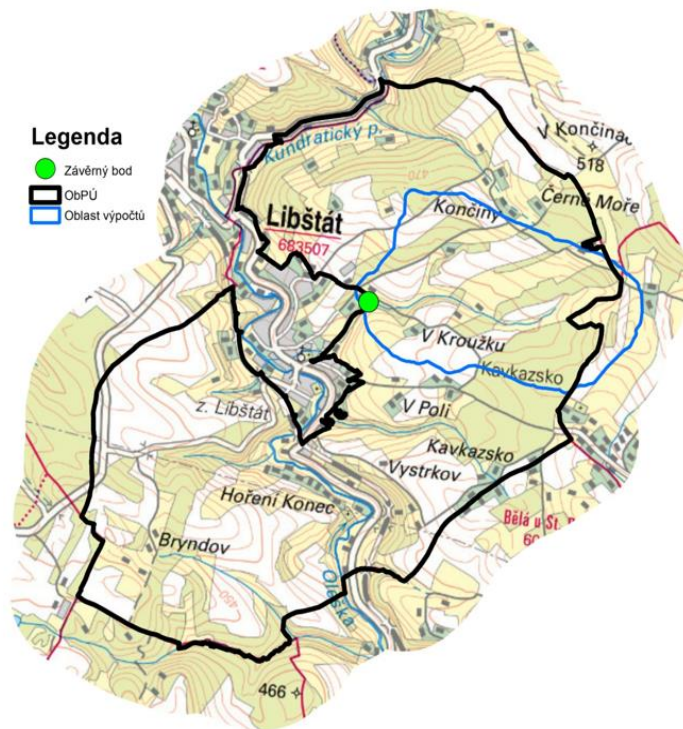
Prezentované výsledky jsou první hrubé výstupy z náročného procesu postupné stavby a kompletace modelu. V dalším roce řešení projektu bude navázáno pečlivou kalibrací a validací modelu na všech zaznamenaných parametrech a získané poznatky budou využity při stavbě modelů dalších povodí uvedených v Tabulce 8.



Obrázek 16: Simulace srážko-odtokové události s kulminací 11. 9. 2014 v modelu MIKE-SHE

### **Aplikace fyzikálního modelu Smoderp2D a návrhových srážek v rámci předprojektové přípravy a posuzování vhodnosti opatření**

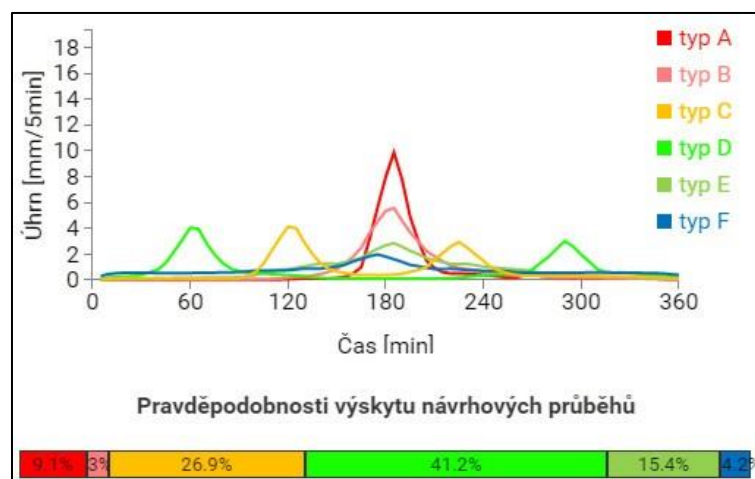
Variabilita srážek a její dopady na realizované vodohospodářské objekty v krajině je velmi dobře ilustrovatelná na konkrétní případové studii. Zvolená studie se zabývá potřebou protipovodňové a erozní ochrany zájmového území v katastru obce Libštát. Zájmová lokalita má charakter miskovitého povodí, jehož závěrový profil je na začátku zastavěného území. Ochranu intravilánu není možné řešit převodem vod do jiného podpovodí.



Obrázek 17: Situace řešeného území vyznačeno (modře) a obvodu PÚ (černě)

Pro snížení kulminačních průtoků tak bylo zvoleno řešení suchých nádrží. Pro výpočet byl využit fyzikálně založený model SMODERP 2D. Tento model bude v následujícím období projektu využit pro testování citlivosti modelů na vstupní data obdobně jako je naznačeno u modelů HEC-HMS a MIKE SHE.

Návrhové srážky pro modelování odtoku byly získány z webové aplikace rain.fsv.cvut.cz: Průběhy 6hodinových návrhových srážek na povodí IV. řádu. Pro účely modelování byly vybrány srážky s dobou opakování 20 a 100 let. Na základě pravděpodobnosti výskytu tvarů srážek pro dané doby opakování byly vybrány tvary hyetogramů A, B, C a D.



Obrázek 18: Pravděpodobnosti výskytu tvaru jednotlivých srážek s dobou opakování 20 let

Tvary C a D představují více než 70 % pravděpodobných typů srážek. Proto byl návrh transformace optimalizován pro srážky tvarů C a D s dobou opakování 20 let. Pro 100letou

dobu opakování byla posuzována bezpečnost přelivů a posouzena transformace i pro tento návrhový déšť.

Na základě odhadu podle základní mapy bylo zvoleno celkem osm profilů, z kterých na základě analýzy charakteristických čar nádrže byla nádrž č. 1 vyřazena. Pro zbývajících sedm nádrží byla posuzována transformace povodňové vlny způsobené dvacetiletou návrhovou srážky nejpravděpodobnějších tvarů (C+D). Protože se jedná o případovou studii, která má ukázat možnosti transformace povodňových vln vyvolaných různými srážkami, byly zvoleny jednotné parametry nádrží: Délka přelivné hrany 5 m, spodní výpusť čtvercová s délkou hrany 0,4 m zvolená tak, aby nedocházelo k tlakovému proudění uvnitř odpadního potrubí.

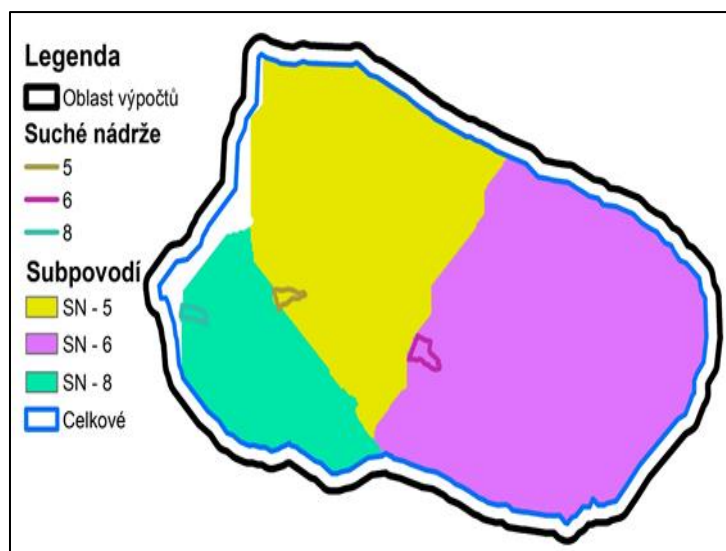
Z tohoto přístupu byly vybrány tři profily, označené 5, 6 a 8, ve kterých byl účinek nádrží nad 30 % z hlediska snížení kulminačního průtoku.

Tabulka 10: Transformační účinek jednotlivých nádrží na srážku o době opakování 20 let tvaru C.

| Nádrž   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 8     |
|---|------|------|------|------|------|-------|
| Maximální nadržení (m <sup>3</sup> )                    | 1272 | 92   | 328  | 2267 | 4757 | 1859  |
| Objem vtoku (m <sup>3</sup> )                           | 577  | 1177 | 404  | 7049 | 1852 | 10115 |
| Max. přítok (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )          | 0,3  | 0,41 | 0,25 | 1,48 | 0,68 | 2,1   |
| Max. odtok (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )           | 0,29 | 0,38 | 0,25 | 0,99 | 0,47 | 1,23  |
| Transformační účinek (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) | 0,01 | 0,03 | 0    | 0,49 | 0,21 | 0,87  |
| Transformační účinek (%)                                | 3,3  | 7,1  | 0,0  | 33,1 | 30,9 | 41,4  |

Tabulka 11: Transformační účinek jednotlivých nádrží na srážku o době opakování 20 let tvaru D.

| Nádrž   | 2     | 3    | 4    | 5    | 6    | 8     |
|---|-------|------|------|------|------|-------|
| Maximální nadržení (m <sup>3</sup> )                    | 1272  | 92   | 328  | 2267 | 4757 | 1859  |
| Objem vtoku (m <sup>3</sup> )                           | 568   | 1149 | 400  | 6916 | 2863 | 10233 |
| Max. přítok (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )          | 0,315 | 0,43 | 0,27 | 1,54 | 0,71 | 2,2   |
| Max. odtok (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )           | 0,31  | 0,38 | 0,27 | 0,99 | 0,48 | 1,23  |
| Transformační účinek (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) | 0,005 | 0,05 | 0    | 0,55 | 0,23 | 0,97  |
| Transformační účinek (%)                                | 1,6   | 11,6 | 0,0  | 35,7 | 32,4 | 44,1  |



Obrázek 19: Subpovodí k profilům nádrží 6 (fialově), 5 (žlutě) a 8 (zeleně).

Následující tabulka shrnuje transformační účinek soustavy pro návrhové srážky průběhu A, B, C a D s dobou opakování 20 až 100 let. Snížení odtoku pro srážky C a D se dvěma vrcholy, na které byla soustava navržena, je vzhledem ke kulminaci přítoku významný – přes 30 %. U přívalových srážek tvaru A a B je účinek pouze v jednotkách procent.

Tabulka 12: Souhrn transformačních účinků vybraných sekvencí pro srážky tvaru A, B, C a D s dobami opakování 20, 50 a 100 let.

| Soustava  | Tvar srážky | Pravděpodobnost výskytu (%) | Doba opakování (roky) | Transformační účinek (%) | Transformační účinek (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ) |
|-----------|-------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|---|
| 6 - 5 - 8 | C           | 24,9                        | 20                    | 33,8                     | 0,74  |
| 6 - 5     | C           | 24,9                        | 20                    | 26,9                     | 0,59  |
| 6 - 5 - 8 | C           | 26,9                        | 50                    | 35,0                     | 1,12  |
| 6 - 5     | C           | 26,9                        | 50                    | 19,1                     | 0,61  |
| 6 - 5 - 8 | C           | 28,2                        | 100                   | 22,0                     | 0,91  |
| 6 - 5     | C           | 28,2                        | 100                   | 23,2                     | 0,96  |
| 6 - 5 - 8 | D           | 36,9                        | 20                    | 34,1                     | 0,78  |
| 6 - 5     | D           | 36,9                        | 20                    | 27,9                     | 0,59  |
| 6 - 5 - 8 | D           | 41,2                        | 50                    | 35,1                     | 1,14  |
| 6 - 5     | D           | 41,2                        | 50                    | 18,8                     | 0,61  |
| 6 - 5 - 8 | D           | 44,6                        | 100                   | 24,8                     | 1,03  |
| 6 - 5     | D           | 44,6                        | 100                   | 22,9                     | 0,95  |
| 6 - 5 - 8 | A           | 10,4                        | 20                    | 4,2                      | 0,42  |
| 6 - 5     | A           | 10,4                        | 20                    | 10,6                     | 1,05  |
| 6 - 5 - 8 | A           | 9,1                         | 50                    | 4,1                      | 0,58  |
| 6 - 5     | A           | 9,1                         | 50                    | 6,9                      | 0,97  |



|           |   |     |     |      |      |
|-----------|---|-----|-----|------|------|
| 6 - 5 - 8 | A | 8,3 | 100 | 0,0  | 0,00 |
| 6 - 5     | A | 8,3 | 100 | 5,4  | 0,94 |
| 6 - 5 - 8 | B | 3,8 | 20  | 1,7  | 0,10 |
| 6 - 5     | B | 3,8 | 20  | 11,6 | 0,68 |
| 6 - 5 - 8 | B | 3   | 50  | 2,4  | 0,20 |
| 6 - 5     | B | 3   | 50  | 9,4  | 0,79 |
| 6 - 5 - 8 | B | 2,3 | 100 | 3,4  | 0,35 |
| 6 - 5     | B | 2,3 | 100 | 4,5  | 0,47 |

Z výsledků práce jednoznačně vyplývá, že k navrhování opatření je potřeba znalost časových průběhů návrhové srážky a jejich pravděpodobnosti výskytu. Vzhledem k tomu, že se tyto časové průběhy mohou lišit, je třeba navrhovat a ověřovat funkci protipovodňových a protierozních objektů či staveb v krajině s pomocí různých průběhů vstupní srážky.

Vliv průběhu srážkových zatěžovacích stavů má významný vliv na odtokovou odezvu, konkrétně na tvar, objem odtokové (povodňové vlny) a hodnotu kulminačního průtoku. Hodnoty kulminačních průtoků, které jsou významným parametrem pro navrhování základních technických parametrů jednotlivých opatření, se pro jednotlivé odtoky z povodí ve vazbě na zvolený průběh srážky výrazně mění.

## 2. Dosažené výsledky

V roce 2020 byl v rámci návrhu projektu plánován pouze jeden výstup – tato odborná zpráva.. Návrh projektu dále předpokládal seznámení odborné veřejnosti s postupem prací na projektu formou konferenčních příspěvků, které se vzhledem k pandemii SARS-CoV-2 nekonaly. Klasifikace povodí byla prezentována na konferenci EGU 2020, která byla v omezené míře pořádána online a přihlášky na ní byly ještě před vypuknutím pandemie. Na této konferenci byl také prezentován nový mobilní dešťový simulátor, který je v projektu využíván. V rámci projektu byl navíc publikován impaktovaný článek. Kašpar, M., Bližňák, V., Hulec, F., Müller, M., 2021. High-resolution spatial analysis of the variability in the subdaily rainfall time structure. Atmos. Research, 248, 105202.

### 2.1. Popis uplatnění výsledků

Přínos příspěvku je především v prezentaci dílčích výsledků projektu směrem do vědecké komunity. Současně je tak v odborné veřejnosti zajištěna publicita a je touto cestou možné navázat na budoucí spolupráci na národní a mezinárodní úrovni. Implementace poznatků získaných v roce 2020 se předpokládá v navazujících částech projektu. U výsledků nebyla předpokládána přímá komercializace.

## 3. Využití nákladů za jednotlivé příjemce

PRO PUBLIKACI NA WEBU ODSTRANĚNO

## 4. Uskutečněné zahraniční služební cesty

Vzhledem k epidemiologické situaci nebyly uskutečněny v roce 2020 žádné zahraniční služební cesty. A to na žádném ze zapojených pracovišť. Část prostředků byla převedena do FÚUP v případě, že konference budou pořádány, tak bude snaha výsledky výzkumu na pořádaných akcích prezentovat.

## 5. Řešitelský tým

Na pracovišti ČHMÚ nebyl v roce 2020 oproti návrhu projektu do řešení projektu zapojen Mgr. Jan David Reitschläger, do řešení projektu se stejně jako v loňském roce navíc zapojil Mgr. Martin Pecha. Dále byl snížen úvazek Ing. Pavla Lipiny z 0,2 na 0,1, a to z důvodu celkového zvýšení potřebných mzdových nákladů oproti době plánování projektu.

Složení řešitelského týmu ÚFA AV ČR, v. v. i. se v roce 2020 oproti roku 2019 nezměnilo. Došlo pouze k malým změnám ve výši jednotlivých pracovních úvazků, které aktuálně reagovaly na náročnost pracovních úkolů a jejich rozdělení mezi jednotlivé členy týmu.

Na pracovišti ČVUT v Praze se na řešení projektu podíleli pracovníci jak z katedry Hydromelioreací a krajinného inženýrství, tak z katedry geomatiky. Klíčové osoby ve složení Kavka, Cajthaml, Strouhal, Neumann, Kubínová, Weyskrabová (do nástupu na mateřskou a navazující rodičovskou dovolenou). Drobné změny nastali u ostatních osob podílejících se na řešení projektu. Oproti roku 2019 nebyl do týmu zapojen Ing. Adam Tejkl z důvodů zahraniční stáže. Do týmu byl zapojen nový člen Bc. Jan-František Kubát na aktivity spojené s prací v terénu a následnou analýzu vzorků a GIS analýzy. Dále pak Ing. Tomáš Janata, Ph.D. a Ing. Martin Landa, Ph.D., kteří se podíleli na automatizaci generování malých povodí a dále aktualizují a dále vyvíjí WPS služby pro poskytování dat.

V týmu za Sweco Hydroprojekt na pozicích technických pracovníků (další osoby podílející se na řešení) působili Ing. Lucie Brožová, Ing. Jiří Bohúnek a Ing. Jaroslav Blažek.

## 6. Plánované aktivity na 2021

### 6.1. A 2101 - Adjustace návrhových úhrnů srážek odvozených z radarových dat návrhovými úhrny odvozenými ze staničních dat

Činnosti spojené s touto aktivitou budou probíhat ve spolupráci ÚFA AV ČR a ČHMÚ. Nejdříve budou porovnány a propojeny odhady návrhových úhrnů srážek získané z radarových a staničních dat s cílem tyto odhady dále zpřesnit. Bude testováno několik metodických přístupů kombinujících hodnoty návrhových úhrnů srážek, příp. parametry rozdělení extrémních hodnot. Aplikované přístupy budou zohledňovat vysoké prostorové rozlišení radarových dat (a tím relativní spolehlivost prostorových gradientů hodnot) a dlouhodobost staničních měření (a tím relativní spolehlivost bodových hodnot).

Následně a s přesahem do posledního roku řešení projektu bude přistoupeno k určení předchozích úhrnů srážek před blokovými maximy radarových a staničních dat a zároveň bude provedena časoprostorová analýza dosavadních výsledků s důrazem na jejich porovnání mezi jednotlivými měsíci sledovaného bezmrazového období a na jejich porovnání v závislosti na orografii. Získané poznatky budou mimo jiné využity v posledním roce řešení projektu při popisu plošné distribuce a sezónního chodu typických hodnot indexů předchozích srážek před

návrhovými úhrny srážek s danou dobou opakování, příp. plošné distribuce indexů před danými návrhovými úhrny s daným 6hod. průběhem intenzit.

## 6.2. A2103 – Využitelnost družicových dat pro určení aktuálního stavu nasycenosti povodí

Ve třetím roce řešení bude navázáno na předchozí období. Kdy byly v prvním roce vyhledány a zkoumány standardně poskytované produkty ESA a porovnávány s měřeními hodnotami pro stanice provozované ČVUT v Praze. A na aktivity ve druhém roce řešení, kdy byla zkoumána možnost využití reanalyzovaných dat UERRA a na výběr stanic s dlouhodobým měřením vlhkosti v síti monitorovacích stanic ČHMÚ. V roce 2021 bude proveden výběr vodních termínů, kdy budou známi jak přímého měření vlhkostí, tak data družicová data včetně optických, kdy je možné považovat indexy poskytované ESA za spolehlivější. K těmto termínům budou vyhledány příslušné adjustované srážky z pozemních radarů. Při výběru termínů budou vybírány vhodné termíny z kraje roku pro testování využití dat v rámci FFI.

Pokud se na zkoumaném datasetu ukáže možné využití družicových snímků pro sledování vlhkosti v půdě budou využita data nasycenosti z družicových dat využita pro verifikaci indexů předchozích srážek stanovených pomocí v posledním roce řešení.

## 6.3. A2104 – Klasifikace malých povodí

V rámci klasifikace malých povodí bude navázáno na aktivity rozpracované v roce 2020. Vedle již zpracovaných morfologických charakteristik budou dále do hodnocení přidány další atributy, především půdní charakteristiky (infiltrace, retence) a využití území (zejména nepropustné plochy a vodní nádrže, která mají zásadní vliv na generování přímého odtoku). Dále budou do klasifikace přiřazena srážková data. A to jak úhrny, tak převažující tvary srážek.

## 6.4. A2105 – Experimentální měření a hydrologické modelování

V rámci experimentálního výzkumu se předpokládá pokračování měření a vyhodnocení dat blokových dešťů na dešťovém simulátoru se zavlažovanou plochou  $8 \times 2$  m. A pro sledování odtokové odezvy návrhových hydrogramů pak bude využit dešťový simulátor s experimentální plochou  $1 \times 1$  m. Výsledky budou využity pro ověření odtokových součinitelů sledovaných ploch. Zároveň měřené změny vlhkosti v půdě budou sloužit pro ověření infiltračních rutin využívaných ve fyzikálním přístupu.

Experimentální výzkum dále předpokládá v rámci aktivit ČVUT v Praze pokračování monitoringu na experimentálním povodí Býkovice. Změřené zvýšené průtoky budou vedle dat ČHMÚ využita pro verifikaci modelů.

V rámci hydrologického modelování budou měřené průtoky využity pro verifikaci hydrologických modelů. Pracoviště ČHMÚ bude v roce 2021 pokračovat v hydrologickém modelování na testovacím povodí Osvětimany, budou provedeny výpočty podle standardní metodiky dlouhodobě využívané v ČHMÚ a zároveň budou otestovány alternativní přístupy dosud na ČHMÚ standardně nevyužívané. V ČHMÚ je v současnosti používán modelovací systém HEC-HMS, jako transformační funkce povodí se využívá Clarkova dvouparametrického okamžitého jednotkového hydrogramu a pro stanovení odtokových ztrát metody CN křivek.

Po prověření různých přístupů a využití alternativních dostupných datových podkladů na testovacím povodí na vybraných srážko-odtokových epizodách přívalového charakteru budou

následně tyto postupy aplikovány také na další vybraná malá povodí i na povodí s nutným ověřením naměřených dat (Zděchovka). Jedním z cílů tak bude i ověření spolehlivost současně používané metodiky na ČHMÚ. Součástí řešení bude také ověření dat z aplikace Indikátor přívalových povodní (FFI). Zejména ověření využití dat nasycenosti území od roku 2009 do roku a také vrstev CN pro stejné období, které byly odvozeny v průběhu testovacího provozu aplikace FFI na ČHMÚ. K vybraným významnějším odtokovým situacím v jednotlivých povodích budou pro porovnání spočítány z databáze ČHMÚ také hodnoty API30, které slouží ke kontrole stavu nasycenosti území před významnou srážkovou epizodou.

Na pracovišti ČVUT v Praze budou kalibrovány a validovány fyzikální modely (MIKE – SHE a SMODERP) na stejných datech jako v případě pracoviště ČHMÚ tak, aby bylo možné vzájemné porovnání mezi fyzikálními přístupy a metodami založenými na empirické metodě CN. Modely budou následně využity na hodnocení nejistot spojených s variabilitou vstupních dat, zejména s půdními charakteristikami a úrovní počátečního nasycení.

Výsledky modelování ať již měřených srážek nebo návrhových srážek včetně jejich tvarů budou dále promítány do využití v praxi při navrhování vodohospodářských staveb v ploše povodí a na drobných vodních tocích.

Zejména pak ovlivnění rozměrů základních objektů u vodohospodářských opatření v malých povodích, jako jsou (a) uspořádání a velikost bezpečnostního přelivů u malých nádrží, (b) dimenzování retenčních prvků (malé vodní nádrže, retenční průlehy, retenční příkopy a další) (c) návrh příčného profilu u svodných a odváděcích opatření, (d) popřípadě u určení návrhové nivelety liniových protipovodňových opatření. S nejistotou spojenou s návrhovými parametry souvisí jednoznačně spolehlivost a bezpečnost těchto navržených prvků ve vazbě na hospodárný návrh, popřípadě vhodného zakomponování navržených opatření do krajiny a urbanizovaného území, tak aby nebyly nepřijatelně ohroženy nebo omezeny další socioekonomické funkce území. V další fázi projektu bude také testován, jakým způsobem v projektové praxi více přiblížit a zjednodušit výrazný nárůst možných scénářů návrhových průtoků, které vycházejí ze srážkoodtokových modelů na základě zatížení různými průběhy srážek (typ A až typ F). Proto je třeba pro aplikování výstupů z tohoto projektu přistoupit v následující etapě zpracování k návrhu a prověření metodického postupu pro vyjádření pravděpodobnostního výskytu odtokové charakteristiky na základě variace srážko odtokových simulací pro příslušné tvary srážek. Tato syntetická odtoková charakteristika (vlna s parametry objemu a kulminačního průtoku) s pravděpodobností výskytu (dobou opakování odpovídající N-letosti srážky) by byla v běžné inženýrské praxi snáze použitelná pro návrh vodohospodářských opatření v malých povodích. V rámci řešení projektu je také předpoklad, že ke snížení počtu možných scénářů pomůže také znalost stavu povodí pro jednotlivé stavy a tvary návrhových srážek. Aktivitami promítnutí výsledků do praxe se bude

## 6.5. A2106 – řešení přístupu k výsledkům projektu

V roce 2021 budou zahájeny činnosti spojené s vývojem a testováním publikace výsledků projektu pro odbornou veřejnost. Pracoviště ČVUT v Praze provozuje webové služby popsané a provozované na stránce [rain.fsv.cvut.cz](http://rain.fsv.cvut.cz). Zde publikované služby odpovídají stavu řešení předcházejícího projektu a jsou nadále udržovány jako funkční. V současné době jsou data publikována a je k nim přistupováno modernějšími způsoby a novějšími metodami. V rámci řešení projektu budou aktualizovány a modernizovány provozované služby. Tam, kde to bude možné, budou využity otevřené knihovny anebo budou připravovány vlastní.

## 7. Literatura

Kašpar, M., Bližňák, V., Hulec, F., Müller, M., 2021. High-resolution spatial analysis of the variability in the subdaily rainfall time structure. *Atmos. Research*, 248, 105202.

Müller, M., Bližňák, V., Kašpar, M., 2018. Analysis of rainfall time structures on a scale of hours. *Atmos. Research*, 211, 38–51.

Müller, M., Kašpar, M., 2014. Event-adjusted evaluation of weather and climate extremes. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14, 473–483.

Strouhal, L. et al. Classification of Small Watersheds in Czech Republic for Hydrological Modelling. In: SGEM, 2017. Conference Proceedings; Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems. 17th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2017, Albena, 2017-06-27/2017-07-06. Sofia: International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2017. s. 121-128. 17. sv. 31. ISSN 1314-2704. ISBN 978-619-7408-04-1. DOI 10.5593/sgem2017/31/S12.016.

## 8. Přílohy

Přílohy k výstupům jsou uvedené samostatně v informačním systému ISTA. Přílohou odborné zprávy jsou dva oponentní posudky.