

# Odborná zpráva projektu QK1910029 za rok 2021

## 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, 2021



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.

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 období.....	3
1.1.	Cíle projektu .....	3
1.2.	Úvod k průběhu řešení v roce 2021.....	4
1.3.	Shrnutí postupu v roce 2021.....	4
1.4.	Aktivity v roce 2021.....	6
1.4.1.	A2101 – Adjustace návrhových úhrnů srážek odvozených z radarových dat návrhovými úhrny odvozenými ze staničních dat .....	6
1.4.2.	A2103 – Využitelnost družicových dat pro určení aktuálního stavu nasycenosti povodí.....	11
1.4.3.	A2104 – Klasifikace malých povodí .....	13
1.4.4.	A2105 – Experimentální měření.....	17
1.4.4.1.	Povodí Býkovice.....	17
1.4.4.2.	Experimentální měření pomocí dešťového simulátoru .....	18
1.4.5.	A2105 – Hydrologické modelování .....	25
1.4.5.1.	Půdní data.....	25
1.4.5.2.	Validace metody CN .....	30
1.4.5.3.	Srovnání přístupů k odvození návrhových parametrů pomocí CN-Metody .....	37
1.4.5.4.	SMODERP – Býkovice (zemědělské povodí).....	42
1.4.5.5.	SMODERP – lesní půda.....	44
1.4.5.6.	MIKE-SHE.....	50
1.4.6.	A2106 – Řešení přístupu k výsledkům projektu.....	52
2.	Výsledky projektu .....	52
3.	Využití nákladů za jednotlivé příjemce .....	53
4.	Uskutečněné zahraniční cesty.....	54
5.	Řešitelský tým .....	54
6.	Plánované aktivity na 2022.....	54
6.1.	A2201 – Finalizace návrhových intenzit krátkodobých srážek.....	55
6.2.	A2202 – Nasycenost povodí před návrhovými srážkami .....	55
6.3.	A2203 – Experimentální měření a hydrologické modelování.....	55
6.4.	A2204 – Publikace výsledků projektu a seznamování odborné veřejnosti se závěry projektu.....	56
6.5.	Plánované náklady na rok 2022 .....	56
7.	Literatura .....	57
7.1.	Seznam použité literatury .....	57
7.2.	Seznam publikací v souvislosti s dosavadním řešením projektu .....	58
8.	Přílohy .....	<b>Chyba! Záložka není definována.</b>

# 1. Popis průběhu řešení projektu v uplynulém období

## 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. Úvod k průběhu řešení v roce 2021

Třetí rok řešení navazoval na aktivity v předchozí polovině řešeného projektu. V rámci řešitelského kolektivu pokračovala úzká spolupráce především mezi pracovištěm ČHMÚ a ÚFA při zpracování srážkových dat a mezi ČVUT v Praze a ČHMÚ na poli výběru 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 v praxi.

Řešitelský kolektiv se jako celek i jako dílčí pracovní skupiny vypořádal s pokračujícími omezeními způsobenými pandemií SARS-CoV-2. Projektové schůzky byly podle situace přesunuty do online nebo kombinované formy. Většinou se jednalo o dvoustranná setkání, schůzky celého řešitelského kolektivu online byla shledána v této fázi projektu jako málo efektivní.

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

V roce 2021 bylo publikováno několik dílčích výsledků projektu. Z hlediska plánovaných aktivit byl dle plánu v roce 2021 ukončen cíl C004 zabývající se vymezením a klasifikací malých povodí. Další aktivity pokračují i v následujícím období.

V následujících kapitolách jsou uvedeny aktivity za jednotlivé zapojené instituce a dále jsou pak k jednotlivým aktivitám uvedeny popisy průběhu řešení a případné dílčí výsledky, tam kde je to relevantní.

## 1.3. Shrnutí postupu v roce 2021

### ČHMÚ

V roce 2021 pokračovaly v ČHMÚ práce na hydrologickém modelování pozorovaných průtokových epizod na malých povodích. Pro všechna zvolená malá povodí byly podrobně zkontrolovány průběhy významných pozorovaných průtokových epizod v hodinovém kroku, které jsou nezbytné pro verifikaci hydrologických modelů. Zároveň byl s pobočkami ČHMÚ konzultován reálný stav v povodí. Na prvním testovacím povodí Hruškovice-Osvětimany bylo provedeno modelování vybraných průtokových epizod v systému HEC-HMS dle rozsáhlého souboru scénářů reflektující různé varianty vstupních podkladových dat a nastavení modelu. U ostatních povodí byla v roce 2021 odvozena struktura srážko-odtokového modelu, spočítány fyzicko-geografické parametry modelu a bylo započato s modelováním epizod na povodí Černá Nisa-Uhlířská.

S ÚFA bylo spolupracováno na porovnání a spojení odhadů návrhových hodnot srážek získaných ze staničních a radarových dat. Ve spolupráci s ÚFA byly dále započaty práce na přípravě vstupních srážkových dat pro hodnocení charakteristického množství srážek v období před srážkově významnou událostí. V průběhu roku 2021 byl také připraven článek Crhová et al. (2022) shrnující provedená zpracování staničních dat srážkových intenzit, který byl v říjnu 2021 zaslán do recenzovaného časopisu Meteorologické zprávy (kategorie Jost) a je přijat do recenzního řízení.

## ÚFA

Řešitelský tým ÚFA se zabýval činnostmi spojenými s aktivitou A2101. Na počátku roku byla provedena dodatečná validace blokových maxim úhrnů srážek odvozených z adjustovaných radarových dat s ohledem na výskyt artefaktů v poli radarové odrazivosti a odlehlých hodnot. Ve spolupráci s ČHMÚ bylo poté přistoupeno k plánovanému propojení odhadů návrhových úhrnů srážek získaných z adjustovaných radarových dat a staničních měření s cílem tyto odhady dále zpřesnit. Nejdříve byly prověřeny parametry rozdělení extrémních hodnot odvozené ze staničních měření s vytipovanými nestabilními odhady s cílem maximalizovat počet vstupujících srážkoměrných stanic. V dalším kroku byly testovány metody propojení obou typů dat založené na prostorové interpolaci rozdílů mezi staničními a radarovými parametry. Výsledky ukázaly vhodnost použití těchto metod v kombinaci s tzv. metodou oblasti vlivu.

Ve spolupráci s ČHMÚ byly dále započaty práce na přípravě vstupních srážkových dat a na následných výpočtech vybraných indexů pro účely hodnocení charakteristického množství srážek v období před různými typy srážkově významných událostí. Indexy předchozích srážek byly počítány na stanicích s dostatečně dlouhou řadou měření z denních úhrnů srážek před událostmi s výskytem ročních maxim úhrnů pro vybrané délky akumulace a normovány shlazenými průměrnými hodnotami indexů pro daný kalendářní den. Vedle denních úhrnů před událostmi byly vyčísleny úhrny od 7 hod. ráno do začátku událostí.

## ČVUT v Praze

Řešitelský tým ČVUT v Praze po odborné stránce pokračoval ve spolupráci s ČHMÚ v aktivitách hydrologického modelování. Byla provedena analýza půdních dat, která jsou také významným zdrojem nejistot. S touto aktivitou nebylo při přípravě projektu zcela uvažováno, ale je natolik zásadní, že bylo třeba zevrubnou analýzu půdních dat provést. Aktivita spojené s modelováním jsou na ČVUT zaměřeny především na fyzikální modely.

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

Na pracovišti ČVUT v Praze pokračoval experimentální výzkum odtoku na elementárních plochách pomocí dešťového simulátoru. Tato aktivita směřovala jak k měření na lesní půdě, tak na distribuci půdní vlhkosti. Na dešťovém simulátoru se jednalo o odezvu blokového deště a odezvu zjednodušených návrhových hyetogramů. Dále byl zajišťován a rozvíjen dlouhodobý monitoring srážkoodtokových vztahů na experimentálním povodí Býkovice. Historická data monitoringu na tomto zájmovém území byla využita pro validaci modelu SMODERP. Členy pracoviště byla dokončena aktivita kategorizace malých povodí na území ČR. Výsledky byly publikovány v odborném časopise kategorie Jimp.

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

## Sweco Hydroprojekt, a.s.

Sweco Hydroprojekt a.s. se ve svých aktivitách zabývalo praktickou aplikací výzkumu. Návrhové srážky podle metodiky projektu byly použity v rámci studií odtokových poměrů pro povodí Bakovského potoka (území Slánsko – Velvarsko) a povodí Kocáby (ORP Příbram,

Dobříš, Černošice). Návrhové srážky s dobou opakování 5, 20 a 100 let byly vstupem pro modelování povodňových vln programem HEC-HMS v profilech tzv. kritických bodů. Kritické body se nachází v místech, kde je zastavěné území obce ohroženo soustředěným odtokem z přívalových srážek – tedy srážek s kratší dobou trvání, které jsou i předmětem zkoumání projektu. Na základě hydrologických modelů bude následně kvantifikován efekt navrhovaných přírodně blízkých protipovodňových opatření. Ve zmíněných povodích a dále v povodí dolní Berounky proběhla verifikace namodelovaných hodnot kulminací ve vybraných profilech kritických bodů s daty poskytnutými ČHMÚ.

#### 1.4. Aktivity v roce 2021

Aktivity v roce 2021 navazují na předchozí rok, nově byla zahájena aktivita Řešení přístupu k výsledkům projektu. Některé aktivity byly plánovány jako déletrvající a budou ukončeny v posledním roce řešení projektu. Těžiště aktivit je spojené se srážkovými daty více než s navazujícím modelováním hydrologické odezvy. Dle plánu definovaném na konci minulého období jsou činnosti rozděleny do pěti aktivit ve vazbě na jednotlivé dílčí cíle řešení projektu. Předpokládaným výsledkem projektu v roce 2021 byla tato průběžná zpráva a dva články kategorie Jost. V roce 2021 byla v souvislosti s řešením projektu publikována celá řada výsledků. Tři příspěvky v kategorii Jimp z toho jeden nad rámec povinných výsledků projektu. Dílčí výsledky byly prezentovány dle možností online nebo kontaktní formou na několika vědeckých konferencích. Následující kapitoly odpovídají dílčím aktivitám. U aktivity A2105 jsou uvedeny dvě kapitoly z důvodů lepší přehlednosti textu.

Aktivity v roce 2021 a návaznosti na cíle projektu:

- A2101 – Adjustace návrhových úhrnů srážek odvozených z radarových dat návrhovými úhrny odvozenými ze staničních dat (návaznost na cíl 2 a 3),
- A2103 – Využitelnost družicových dat pro určení aktuálního stavu nasycenosti povodí (návaznost na cíl 3 a 5),
- A2104 – Klasifikace malých povodí (návaznost na cíl 4),
- A2105 – Experimentální měření a hydrologické modelování (návaznost na cíl 5),
- A2106 – Řešení přístupu k výsledkům projektu (návaznost na cíl 1).

##### 1.4.1. A2101 – Adjustace návrhových úhrnů srážek odvozených z radarových dat návrhovými úhrny odvozenými ze staničních dat

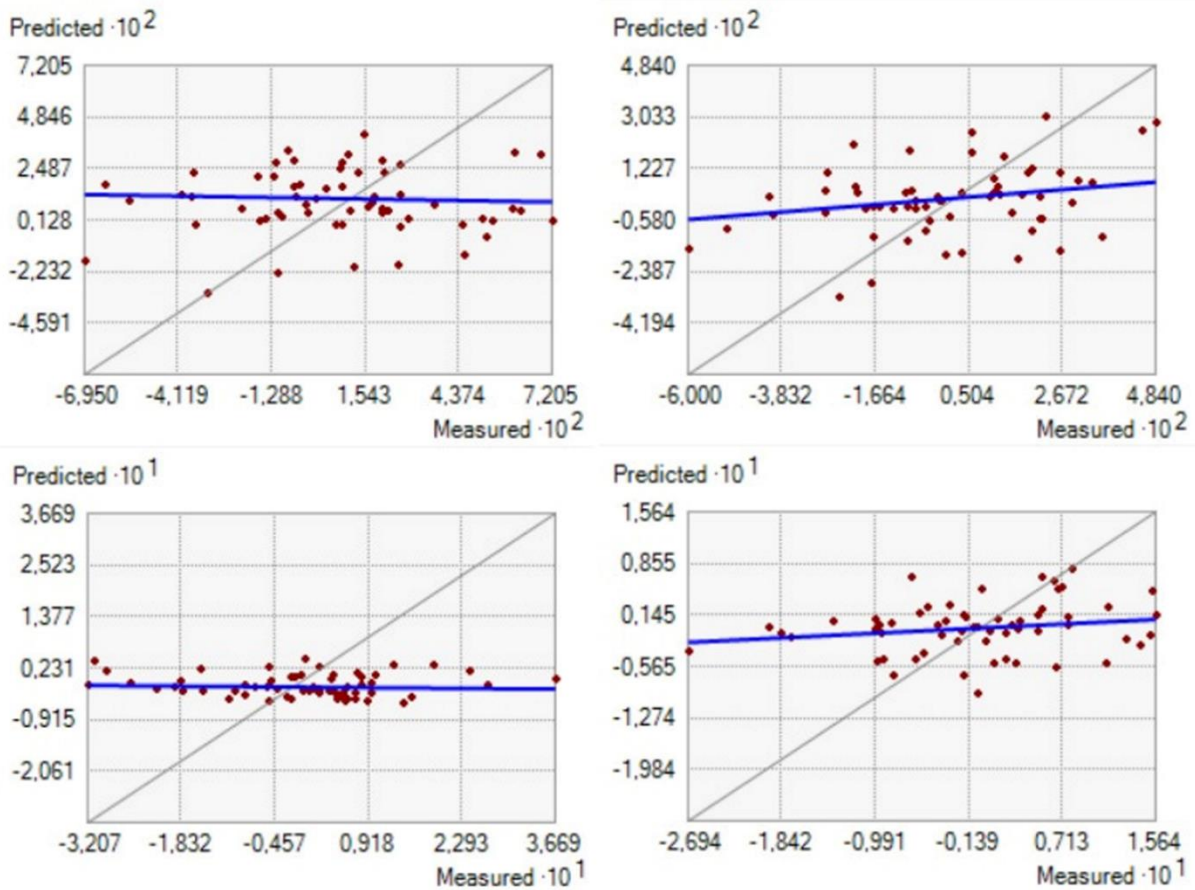
V rámci přípravných prací byla dodatečně ověřena platnost blokových maxim úhrnů srážek odvozených z adjustovaných radarových dat v uplynulém roce řešení projektu. Byl zkoumán možný vliv výskytu artefaktů v polích radarové odrazivosti. Byly identifikovány dny a radarové pixely, ve kterých došlo zejména k rušení signálem Wi-Fi na blízkých frekvencích, příp. k výskytu nereálných prostorových gradientů vzniklých sloučením informace z obou radarů Brdy a Skalky (vliv těchto artefaktů však nelze vyjmout z další analýzy, neboť jsou obvykle spojeny se skutečnými prostorově rozsáhlými srážkovými systémy). Zároveň proběhla kontrola maxim s ohledem na výskyt nereálně vysokých hodnot. Statisticky detekované odlehle hodnoty maxim byly nejdříve porovnány s denními úhrny na nejbližších srážkoměrných stanicích. V případě pochybností byly poté využity k podrobnější analýze pro tento účel vytvořené snímky radarové odrazivosti s rozlišením 10 min. Tímto přístupem byly zjištěny dva termíny s poměrně rychlým pohybem výrazných srážkových cel, kdy došlo k ovlivnění maxim s důvodu krátkodobého výpadku radarového měření. V takovém případě

se totiž radarové intenzity srážek dopočítávají s využitím metod lineární interpolace z nejbližších termínů s validním měřením, což v konečném důsledku může výslednou rychlost pohybu srážkových cel snížit oproti skutečnosti (Bližňák et al., 2018). Výše popsaným způsobem detekovaná chybná maxima byla nahrazena nejvyššími maximy s ověřenou platností.

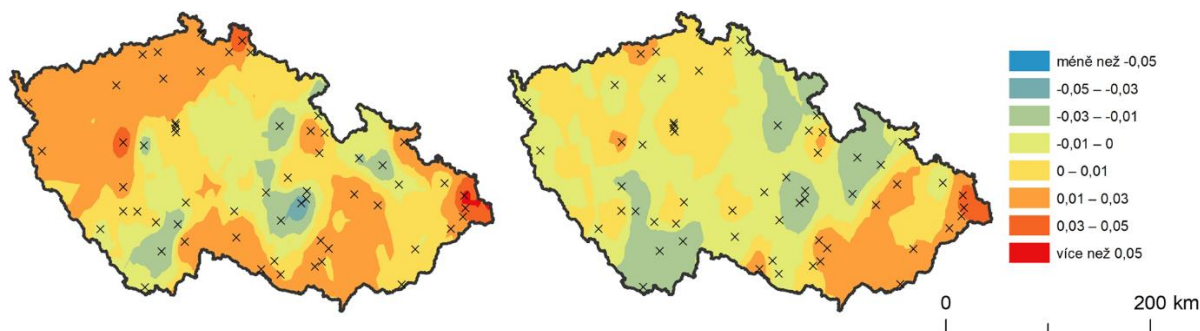
Následující činnosti byly zaměřeny na testování metod propojení odhadů návrhových úhrnů srážek získaných z adjustovaných radarových dat (dále jen radarová data) a ze staničních měření na celkem 60 srážkoměrných stanicích (dále jen staniční data) s cílem tyto odhady dále zpřesnit. Nejdříve byly analyzovány nestabilní bodové odhady parametrů rozdělení extrémních hodnot na stanicích vytipované v uplynulém roce řešení projektu. Pokud ve staničních pixelech rozdíl bodových odhadů prvních tří L-momentů odvozených z radarových a staničních dat převyšovaly dvojnásobek směrodatné odchylky, bylo přistoupeno k porovnání staničních návrhových úhrnů s již ověřenými a robustními denními staničními návrhovými úhrny (Müller a Kašpar, 2014). Na základě porovnání bylo rozhodnuto, zda použít pro danou stanici původní bodové či regionální (s využitím tzv. metody oblasti vlivu aplikované na vybrané stanice) odhady L-momentů s cílem pokud možno dále neredukovat již tak poměrně nízký počet dostupných stanic.

K propojení odhadů návrhových úhrnů z radarových a staničních dat byl zvolen přístup založený na prostorové interpolaci rozdílů staničních a bodových radarových L-momentů ve staničních pixelech, odpovídající opravě bodových radarových L-momentů v jejich okolí a opětovné regionalizaci získaných L-momentů s využitím metody oblasti vlivu. Pro interpolaci byla zvolena metoda Ordinary Kriging. Kvalita interpolace byla vyhodnocena metodou křížové validace. První výsledky interpolace nebyly uspokojivé (Obrázek 1). Výraznější zlepšení nepřineslo ani vyjmutí stanic s vytipovanými nestabilními odhady parametrů. Testy ukázaly, že ke zlepšení mohou vést úpravy parametrů variogramu. Dosud však nebylo nalezeno jeho univerzální nastavení. Paralelně též proběhly testy interpolace využívající regionální radarové L-momenta odvozené z bodových radarových a ve staničních pixelech ze staničních L-momentů. Zlepšení dosažených výsledků naznačuje (obrázek Obrázek 2), že přístup založený na kombinaci metod interpolace diferencí a regionální frekvenční analýzy je vhodně zvolený a může se lépe vypořádat s neurčitostmi danými vysokou prostorovou variabilitou extrémních srážek spolu s omezeným počtem dostupných stanic s kvalitním měřením.



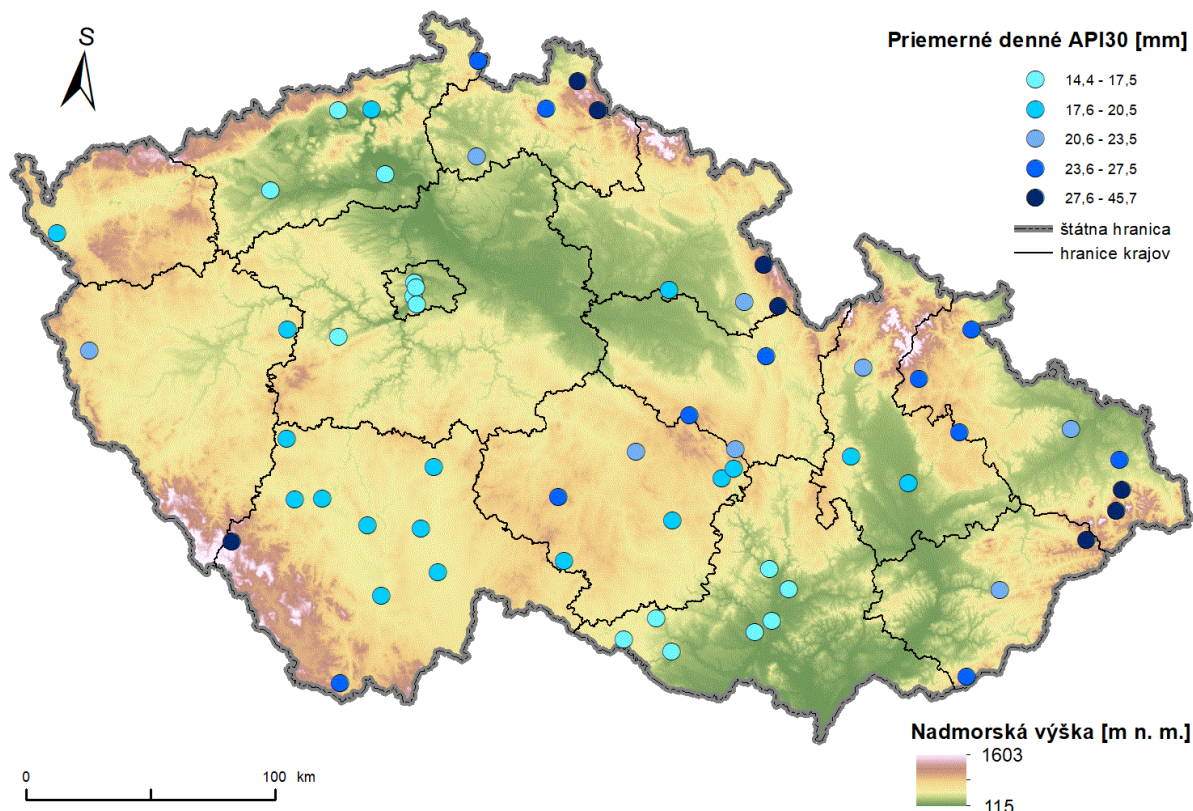


Obrázek 1: Výsledky křížové validace (ročních odhadů) L-momentů pro 6 hod. délku akumulace úhmů srážek na vybraných srážkoměrných stanicích získaných interpolací rozdílů mezi staničními a radarovými L-momenty. Nahoře pro druhý standardizovaný L-moment  $L_2$ , dole pro poměr třetího a druhého standardizovaného L-momentu  $L_3/L_2$ , vlevo s využitím bodových radarových L-momentů (RMSE pro  $L_2$ : 0,034, pro  $L_3/L_2$ : 0,137), vpravo s využitím regionálních radarových L-momentů (RMSE pro  $L_2$ : 0,022, pro  $L_3/L_2$ : 0,068).

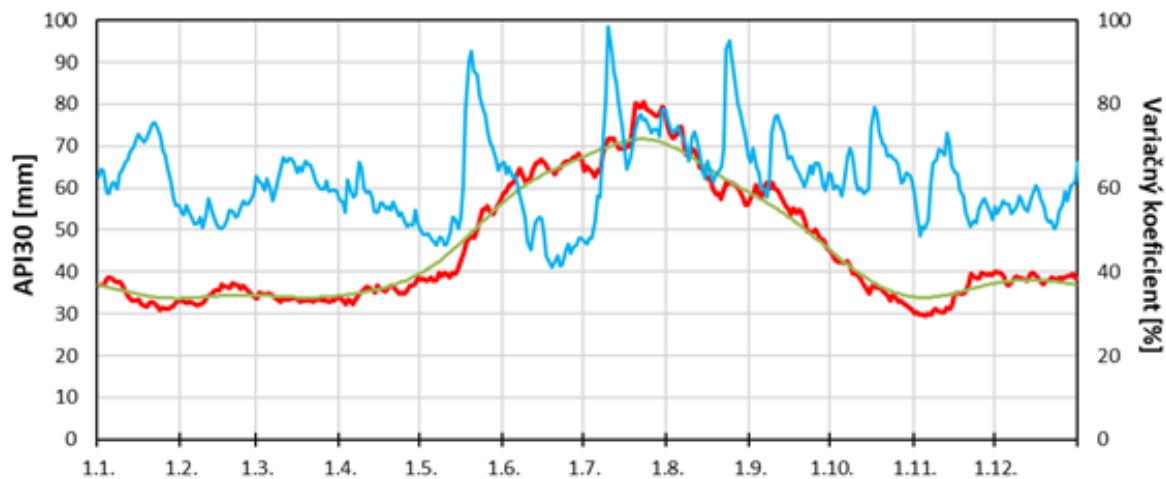


Obrázek 2: Prostorová distribuce druhých standardizovaných L-momentů pro 6 hod. délku akumulace úhrnů srážek získaná interpolací rozdílů mezi staničními a radarovými L-momenty. Vlevo s využitím bodových radarových L-momentů, vpravo s využitím regionálních radarových L-momentů. Křížky značí polohu uvažovaných srážkoměrných stanic.

V rámci aktivity A2101 byla též provedena první část analýzy množství srážek v období před ročními maximy srážkových intenzit, a to na stanicích, pro které jsou k dispozici dostatečně dlouhé řady měření z minulosti. K vyjádření velikosti předchozích srážek používáme dvojici indexů, totiž ukazatel předchozích srážek (API30) a pětidenní sumu srážek (R5). Oba indexy je přitom třeba uvažovat relativně k jejich normálu, aby bylo možné posoudit míru abnormality předchozích srážek před srážkovými událostmi. Průměrné roční hodnoty obou indexů jsou funkcí průměrného ročního úhrnu srážek, takže v exponovaných horských polohách dosahují až trojnásobku hodnot z nejsušších stanic (Obrázek 3). Oba indexy dále vykazují výrazný roční chod, v případě indexu API30 mírně časově posunutý oproti ročnímu chodu denních úhrnů srážek. Jakkoliv jsou průměrné hodnoty indexů pro jednotlivé kalendářní dny počítány z relativně dlouhého období 59 roků (1961–2019), křivky ročního chodu vykazují krátkodobé výkyvy, způsobené výskytem extrémních srážek v některých letech (Obrázek 4). K vyjádření průměrné hodnoty indexu na dané stanici pro určitý kalendářní den byly proto použity shlazené křivky indexů, přičemž byl aplikován Gaussův filtr se  $\sigma = 30$  dní. Pro všechny dny studovaného období pak byly určeny relativně vyjádřené hodnoty obou indexů vyjadřujících množství předchozích srážek.



Obrázek 3: Roční průměry indexu API30 na vybraných srážkoměrných stanicích ČR.



Obrázek 4: Roční chod průměrů (červeně) a variačních koeficientů (modře) indexu API30 na stanici Lysá hora. Zeleně je vyznačen roční chod průměrů shlazený Gaussovým filtrem.

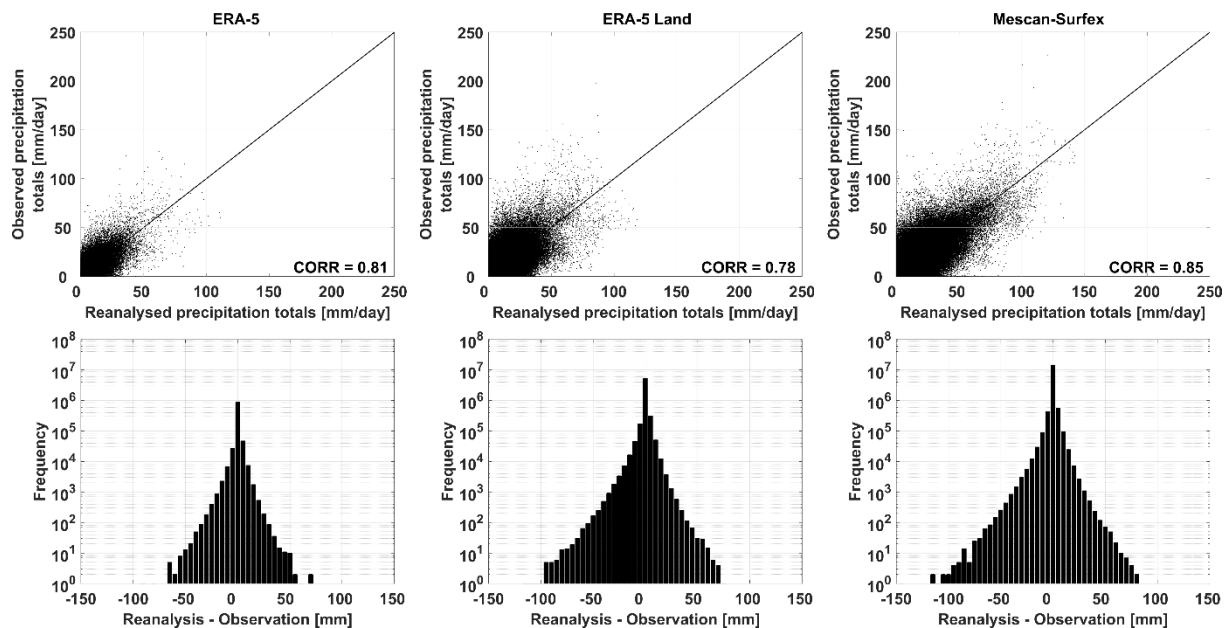
Vzhledem k subdenní povaze srážkových intenzit nemusí indexy předchozích srážek, které jsou určovány ze srážkových dat v denním kroku, odrážet realitu zcela přesně. To platí především v případě, kdy je maximum srážkové intenzity dosaženo večer nebo v noci daného dne, takže index, určovaný k termínu 7 h ráno, nezahrnuje případnou srážkovou činnost v době do začátku příslušného časového okna. Z tohoto důvodu byly pro každé roční maximum srážkové intenzity na jednotlivých stanicích vyčísleny úhrny srážek od rána do

začátku příslušného maxima, které budou uvažovány spolu s hodnotami indexů počítaných z dat v denním kroku.

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

V rámci této aktivity byly provedeny dvě hlavní činnosti. Na jedné straně bylo provedeno porovnání a verifikace srážkových produktů z reanalýz s adjustovanými pozemními srážkovými radary. Cílem tohoto porovnání bylo určit míru shody mezi zřetelněji a prostorově lépe popsanou veličinou srážkových úhrnů dříve, než bude provedeno srovnání neanalyzovaných dat vlhkostí s jakýmkoli pozemním měřením nebo případně s produkty družicových vlhkostí. V rámci této aktivity byly pro oblast Česka staženy a připraveny denní úhrny srážek ze tří reanalýz – dvou globálních ERA-5 s prostorovým rozlišením 31 km a ERA-5 Land s rozlišením 9 km a jedné regionální UERRA Mescan-Surfex s prostorovým krokem 5,5 km. K verifikaci byly využity připravené adjustované odhady úhrnů srážek, které byly přepočteny do horizontálního rozlišení příslušné reanalýzy. Hodnocení přesnosti simulovaných úhrnů bylo provedeno jak pro denní, tak měsíční i sezónní úhrny srážek v teplých polovinách (tj. duben-říjen) roků 2002-2018. Roky 2019 a 2020 nebyly zahrnuty z důvodu absence dat z reanalýzy UERRA Mescan-Surfex.

Vzájemné porovnání denních úhrnů ukázalo poměrně vysoké hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu (viz Obrázek 5) i relativně nízké odchylky (anomálie) s ohledem na naměřená data. Obecně se dá říci, že reanalýzy ERA-5 a ERA-5 Land úhrny srážek téměř výlučně nadhodnocují ve srovnání s úhrny simulovanými reanalýzou UERRA Mescan-Surfex, která generuje jak vyšší, tak nižší úhrny s ohledem na úhrny naměřené. Ovšem denní vysoké úhrny srážek (tj. převyšujících 10 mm) jsou ve všech třech reanalýzách podhodnocené, přičemž vyšší chyby byly zjištěny v případě reanalýz ERA-5 a ERA-5 Land. Obdobné výsledky byly prokázány i na měsíčních a sezónních škálách, kde jsme k hodnocení využili jak klimatologické indexy založené na porovnání nadprahového počtu dní s definovanou hodnotou denního úhrnu srážek, tak i korelace a odchylky měsíčních a sezónních sum srážek. Zjednodušen řečeno, v reanalýzách prší častěji, ale jen slabě (nízké denní úhrny). Naopak silné a extrémní srážky se v reanalýzách vyskytují méně často a úhrny obvykle nedosahují pozorovaných hodnot. Srážky simulované reanalýzou UERRA Mescan-Surfex se zdají být přesnější s výjimkou let 2009 až 2012, kdy reanalýza v oblasti jižních Čech zřejmě vinou absence asimilovaných staničních dat měsíční sumy srážek silně podhodnocuje (zejména chybí epizody konvektivních srážek ve vrcholném létě). Obecně mají reanalýzy větší problém simulovat měsíční úhrny i rozložení srážek v období od května do srpna, v měsících duben, září a říjen jsou reanalýzy přesnější. Důvodem je výskyt silných konvektivních srážek v tomto období, které jsou v prostoru a čase velmi variabilní, přičemž nejistota jejich předpovědi s rostoucí extrémností srážkových událostí narůstá. Příklad porovnání denních úhrnů odvozených z jednotlivých reanalýz a adjustovaných radarových úhrnů (pozorování) spolu s četnostmi jejich rozdílů je uveden v příloženém obrázku.



Obrázek 5: Scatterploty (1. řádek) znázorňující vztah mezi denními úhrny srážek odvozených z reanalýz a pozorováním (tj. adjustované radarové úhrny srážek) pro reanalýzy ERA-5 (1. sloupec), ERA-5 Land (2. sloupec) a UERRA Mescan-Surfex (3. sloupec). Každý bod představuje denní úhm srážek [mm] z jednoho gridového bodu na území Česka. Hodnota Pearsonova korelačního koeficientu je uvedena v pravém dolním rohu. Histogramy (2. řádek) znázorňují četnosti jejich rozdílů (reanalýza - pozorování) seskupené v kroku 5 mm.

V rámci zpracování dat družicových vlhkostí a jejich porovnání s pozemním měřením lze aktivitu rozdělit na zpracování pozemních a družicových dat. Bylo zvoleno časové okno 2018 až 2020. V těchto letech došlo v rámci rozvoje infrastruktury zapojených pracovišť k rozšíření měření pozemní vlhkosti. V rámci ČVUT se jedná o detailní měření na dalších třech lokalitách, kde jsou měřeny vlhkosti ve více hloubkách. Pro jednotlivé zdroje jsou připravena následující data:

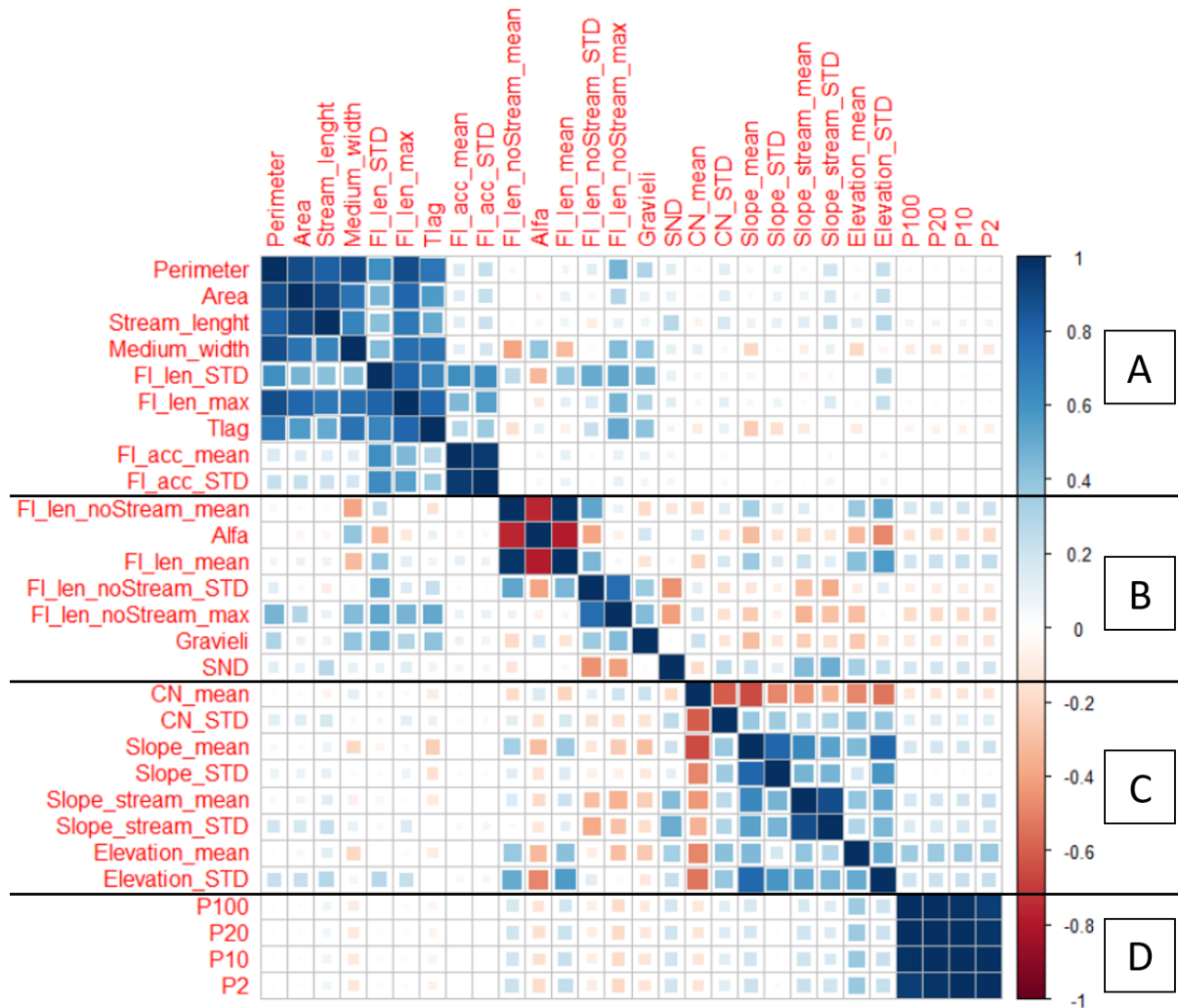
- Staniční měření ČHMÚ, které je prováděno vždy ve 14:00 SEČ.
- Vlhkosti měření databáze ČVUT z desetiminutových dat byly vybrány jen termíny ve 14:00 SEČ, aby korespondovaly s měřeními ČHMÚ.
- Srážky pro danou lokalitu jako vážený průměr ze 4 nejbližších bodů sítě s rozlišením 0,5 x 0,5 km z adjustovaných odhadů radarových srážek.
- Vlhkost z družic index SSM (Soil Surface Moisture). Jde o naměřené hodnoty vlhkosti horní vrstvy půdy (cca do 10 cm). Stažena jsou data z období 2018-2020 ke stanicím ČHMÚ a lokalitám ČVUT – okolní 4 gridové body a z nich spočítaný vážený průměr (váha dle vzdálenosti gridu od stanice/lokality). Měření nejsou kontinuální, vždy 4 měření za sebou jsou a pak 2 dny výpadek.
- Vlhkost z družic index SWI (Soil Water Index) v různých hloubkách, staženo období 2018-2020. Jde o dopočítávané charakteristiky ze SSM algoritmem Copernicus pro jednotlivé hloubky s využitím družicově naměřené vegetace a charakteristik. SWI je spočítan pro přibližně určené horizonty 2, 5, 10, 15, 20, 40, 60 a 100 cm, z nich pro porovnání s pozemními měřeními použijeme hloubky 20 a 60. Stejně jako jsou uvažovány hloubky u lokalit ČHMÚ a ČVUT.
- Vlhkost z globální reanalýzy ERA5\_Land v rozlišení cca 9 km, stažené jsou roky 2018-2020. Charakteristika Land skin reservoir content pro vrstvu 0-7 cm a charakteristika Volumetric soil water pro hloubku 7-28 cm a 28-100 cm ze 4 gridových bodů nejbliže ke

- stanicím/lokality a z nich spočítaný vážený průměr. Srážky ze stejné reanalýzy v denním/hodinovém kroku ve stejných gridových bodech opět vážený průměr.
- Vlhkost z regionální reanalýzy pro Evropu UERRA-Harmonie v rozlišení 11 km ze 3 hladin pro rok 2018 a 1-7/2019 (dál reanalýza nepokračuje, omezeno řídicí reanalýzou ERA-Interim). První hladina reprezentuje povrch, druhá hloubku kořenů, která se ale odvíjí od převažující vegetace, třetí hladina je už velmi hluboko (>2 m). Srážky v denním kroku z regionální reanalýzy Mescan\_Surfex (jde o derivát UERRA, který poskytuje meteorologické prvky na povrchu, ne v půdě) v rozlišení 5,5 km. Opět vážený průměr do pozice stanice/lokality.

Za zásadní bylo považováno porovnání nejprve srážkových úhrnů, v případě vlhkostí byla připravena metodika porovnání, která bude aplikována v posledním roce řešení. Zásadním problémem dat je určení rozsahu uváděných hodnot vlhkostí, zejména u produktů. Pro každý datový produkt musí být nejprve určena hodnota sucha, vlhkosti při polní kapacitě a plného nasycení, což znamená nalezení minimálních a maximálních hodnot. Bude se tak jednat o normalizované hodnoty, kdy nula znamená minimální vlhkost a 100% plné nasycení. Takto upravená data budou porovnána s pozemním měřením.

#### 1.4.3. A2104 – Klasifikace malých povodí

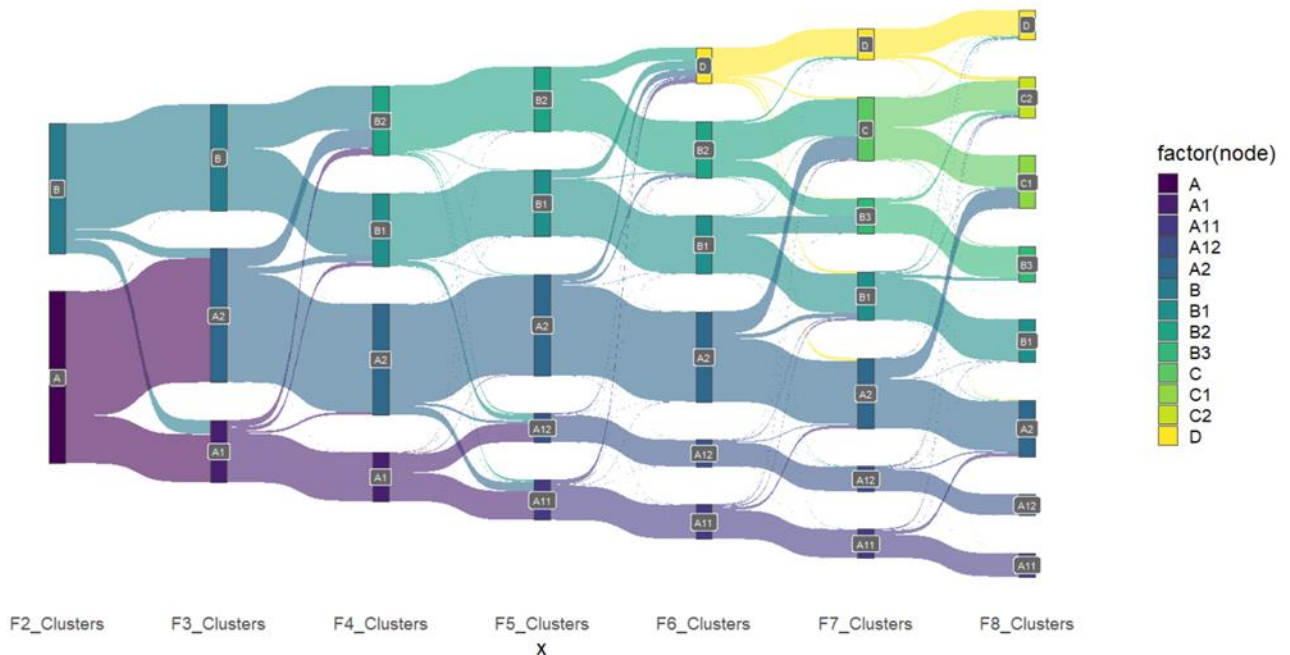
Tato aktivita byla v návrhu projektu plánovaná s ukončením v roce 2021. Parametry vstupující do klasifikace byly zachovány z předešlého období. Aktivita byla posunuta především výběrem reprezentativních parametrů pomocí metody hlavních komponent (APC) a na základě relevance příslušného parametru k typu hydrologické odezvy. Statisticky jsou parametry rozčleněny do čtyř skupin A–D, které jsou poté reprezentovány nejvhodnějšími parametry (obrázek 6).



Obrázek 6: Vizualizace korelačních koeficientů mezi jednotlivými parametry pro všechna povodí bez ohledu na velikostní kategorii. Záporná korelace je znázorněna červeně, kladná korelace modře. Čím silnější je korelace mezi dvěma parametry, tím tmavší a větší je symbol. Parametry v korelaci jsou seskupeny. Hlavní skupiny (A-D) jsou odděleny černou čarou.

Na základě APC bylo zvoleno pět nezávislých vhodně reprezentujících parametrů.

Dvacetiletá šestihodinová návrhová srážka (P20), průměrné číslo CN (CN\_mean), doba koncentrace (Tlag), hustota říční sítě (SND) a tvarový koeficient alfa (alfa). Na základě těchto parametrů byla provedena clustrová analýza malých zdrojových povodí. Celkem se jedná o více než 40 000 povodí, která celkovou rozlohou zaujímají více než 80 % plochy ČR. Vývoj tvorby jednotlivých clusterů je uveden na následujícím obrázku.



Obrázek 7: Sankeyho diagram vývoje clusterů. Šířky pásů jsou úměrné počtu prvků. Na diagramu je rovněž znázorněn přesun jednotlivých povodí a jejich přeskupování spolu s rostoucím počtem clusterů. Základní členění je patrné již při vytvoření dvou hlavních skupin (A, B). Podskupiny A, B se generují až do pěti clusterů. Skupina D, která je kombinací dříve vytvořených skupin, se generuje při šesti clustrech. Skupina C vzniká, když počet clusterů dosáhne sedmi a osmi jako kombinace skupin A2 a B2.

Až do počtu pěti clusterů je v podstatě zachováno rozdělení povodí na dvě základní skupiny. V případě šesti, resp. sedmi clusterů vznikají zcela nové skupiny se specifickými vlastnostmi příslušných povodí. Pro výběr vhodného počtu clusterů byla využita metoda pomocí „Clustering Validity Indices (CVI)” metodou Davies-Bouldin. I když z této analýzy vychází jako nejvhodnější počet clusterů 5, z hlediska hydrologické relevance a vzniku zcela nových clusterů se specifickými parametry je vhodnější volit šest, resp. sedm clusterů.

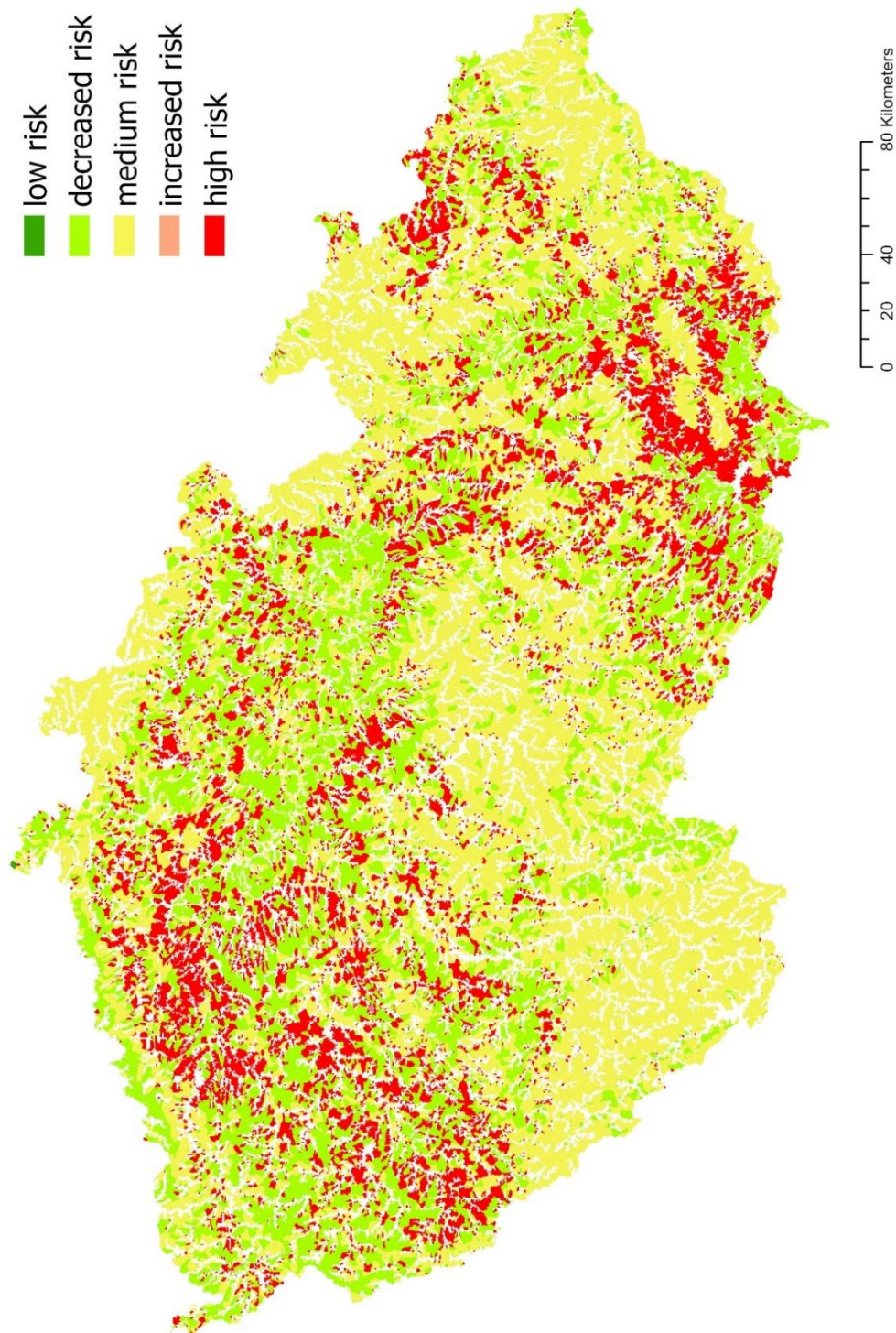
Následně, krom vlastní klasifikace, bylo provedeno zařazení vytvořených clusterů z hlediska potenciálu rychlé odtokové odezvy podle následující tabulky. Střední hodnoty a z nich odvozené další limity jsou průměrnými hodnotami daného parametru pro všechna povodí. Hodnocení je tak provedeno vzájemně mezi povodími.

Tabulka 2: Hranice míry rizika jednotlivých parametrů

Míra rizika	Velmi malé riziko		Nízké riziko	Střední riziko	Zvýšené riziko		Vysoké riziko
	<	0.85			<	1.05	
SND		1.19	1.09	1.03	0.98		0.88
Tlag		3.75	3.43	3.26	3.10		2.77
Alpha		4.29	3.92	3.73	3.55		3.17
CN mean		79.20	72.31	68.87	65.42		58.54
6h rain		42.75	47.78	50.30	52.81		57.84

Výsledkem těchto analýz je sloučení několika clusterů do tříd podle míry rizika. Výsledkem je pak rozdělení malých horních povodí na území ČR do pěti tříd podle předpokládané míry rizika z hlediska rychlé odtokové odezvy (obrázek 8).





Obrázek 8: Mapa ČR – riziko rychlé odezvy malých povodí na základě rozdělení do šesti clusterů

Celý popis odvození hranic malých horních povodí v ČR, určení parametrů a následný výběr reprezentativních, včetně navazující clustrové analýzy, byl publikován v odborném časopise (Kavka, 2021). Příspěvek vzniknul jako předpokládaný výsledek projektu. Data jsou zároveň publikována formou webové aplikace na stránkách [www.rain.fsv.cvut.cz](http://www.rain.fsv.cvut.cz) ([https://rain1.fsv.cvut.cz/?PROJECT=rain/small\\_catchment/webapp](https://rain1.fsv.cvut.cz/?PROJECT=rain/small_catchment/webapp)).

#### 1.4.4. A2105 – Experimentální měření

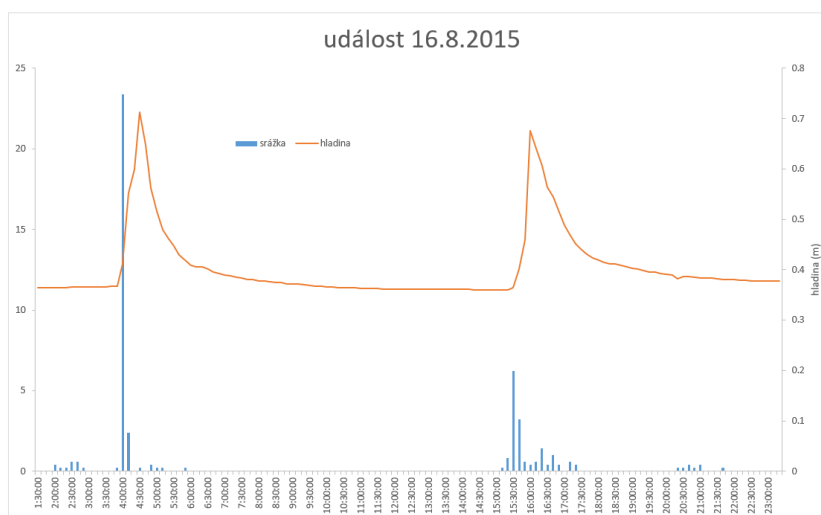
Z hlediska lepšího pochopení textu a množství informací je původní aktivita A2105 – *Experimentální měření a hydrologické modelování* rozdělena na dvě samostatné kapitoly. Tato část aktivity „*Experimentální měření*“ v sobě zahrnuje popis měření v různých měřících, které je zaměřené především na získávání dat pro verifikaci hydrologických modelů. Oddělené modelování je základem druhé části této aktivity (kapitola 1.4.5).

V rámci experimentálního měření v roce 2021 pokračoval dlouhodobý monitoring na zemědělském povodí Býkovice a dále byla provedena sada experimentů s dešťovým simulátorem pro získání dalších verifikačních měření s přesně definovanými počátečními podmínkami.

##### 1.4.4.1. Povodí Býkovice

V rámci podpory dlouhodobého monitoringu v povodí Býkovického potoka byla přidána meteorologická stanice v ploše povodí pro možnost zachycovat srážkové události na více lokalitách. Je zde zároveň umístěno hnízdo vlhkostních čidel v hloubkách povrch, 15 cm (kořenová zóna) a 50 cm (hranice ornice a podorničí). Stanice je zároveň umístěna tak, aby bylo možné připojit čidlo měření hladiny ve vodním toku.

V rámci zpracovávání dat z experimentálního povodí Býkovice byla provedena revize historických dat. Z časové řady hladin v závěrovém profilu byly identifikovány významné události, které budou využity pro validaci odezev hydrologických modelů. Příkladem dvou navazujících událostí je situace z roku 2015, kdy došlo ke dvěma událostem s časovým odstupem maximální srážky a maxima odtoku téměř 11 hodin.



Obrázek 9: Ukázková odtoková událost z 16.8.2015, Vyznačen je průběh hladiny [m] (oranžová) a srážka [mm] (modrá)

V menším měřítku elementárních odtokových ploch (dešťové simulace, dlouhodobý monitoring přirozených srážek) a na měřítku pozemku byly vybrány historické události pro kalibraci modelu SMODERP na zemědělské půdě. V minulosti byla v povodí provedena měření pomocí dešťového simulátoru a byl provozován dlouhodobý monitoring na experimentálních erozně odtokových plochách z reálně změřených událostí. Zároveň jsou v povodí dlouhodobě sledovány projevy rychlého povrchového odtoku – erozní rýhy. Tato data

jsou využita pro sledování citlivosti modelu SMODERP na změřených datech viz kapitola 1.4.5.4.

#### 1.4.4.2. Experimentální měření pomocí dešťového simulátoru

V roce 2021 byla provedena sada několik experimentů pomocí dešťového simulátoru. Cílem podporovaných experimentů bylo sledovat variabilitu odtokové odezvy na travním povrchu a v lesním porostu a získat data pro validaci fyzikálně založených modelů v měřítku elementárních odtokových ploch. Experimenty na lesní půdě jsou vzhledem k možné manipulovatelnosti prováděny pouze na malém simulátoru.

Malý dešťový simulátor byl na ČVUT vyvinut v roce 2020 a od té doby slouží pro výzkum buď na hůře dostupných lokacích pro velký simulátor (vinice, les, velký sklon povrchu), nebo tam, kde je úmyslně využívána malá plocha. Jedna vyměnitelná tryska je umístěna nad středem čtvercové plochy o hraně 1 m a celkové ploše 1 m<sup>2</sup>. Plocha je ohraničena plechy a v dolní části je napojena na svodný odtokový trychtýř. Simulátor disponuje dvěma systémy tvorby srážky – kyvný a pulzní viz (Kavka a Neumann, 2021). Intenzita srážky a kinetická energie pak závisí na typu použité trysky. Pro účely tohoto výzkumu byla použita s možnou intenzitou 20–80 mm/h a kinetickou energií 4,14 J/m<sup>2</sup>/mm.

Velký dešťový simulátor byl vyvinut na ČVUT v roce 2011 a od té doby je využíván pro výzkum erozních procesů zejména na zemědělské půdě. Experimentální plocha je 2 m široká, 8 m dlouhá a celkový obsah je 16 m<sup>2</sup>. Pro tvorbu srážky je použitý pulzní systém, kdy je intenzita dána přerušením průtoku trysek. Na rameni je umístěno 8 trysek WS40 s rozestupy 1,2 m. Využitelná intenzita je 30–120 mm/hod a kinetická energie je 14 J/m<sup>2</sup>/mm J/m<sup>2</sup>/mm. Pro obsluhu je potřeba minimálně 4–5 osob, ale většinou je výjezd uskutečněn v počtu 6-8 pracovníků. Spotřeba vody při simulaci je přibližně 2 m<sup>3</sup> za hodinu v závislosti na intenzitě.

Na lokalitě Řisuty, kde pracoviště ČVUT provádí systematická měření na zemědělské půdě, byly v rámci projektu provedeny dvě sady srovnávacích experimentů. Vícedenní experimenty byly zacílené na parametry ovlivňující hydrologickou odezvu. Jeden s cílem postihnout vliv travního porostu před a po posečení ve vztahu k velikosti sledované plochy a k počátečnímu nasycení. Druhý experiment pak sledoval vliv velikosti zadešťované plochy zatravněného povrchu a úhoru na odtokový režim. Oba simulátory měly při experimentech shodné nastavení proměnlivé intenzity deště.

#### Vliv rozdílných počátečních podmínek a vlivu vegetace

Při tomto experimentu byl sledován vliv vegetace a velikosti plochy na tvorbu povrchového odtoku. Byly připraveny 4 plochy. Vždy dvě pro malý DS a dvě pro velký DS. Jedna z plochy byla posekána na výšku trávy přibližně 5 cm a druhá plocha byla ponechána v přirozeném vzrůstu. Viz Obrázek 10.



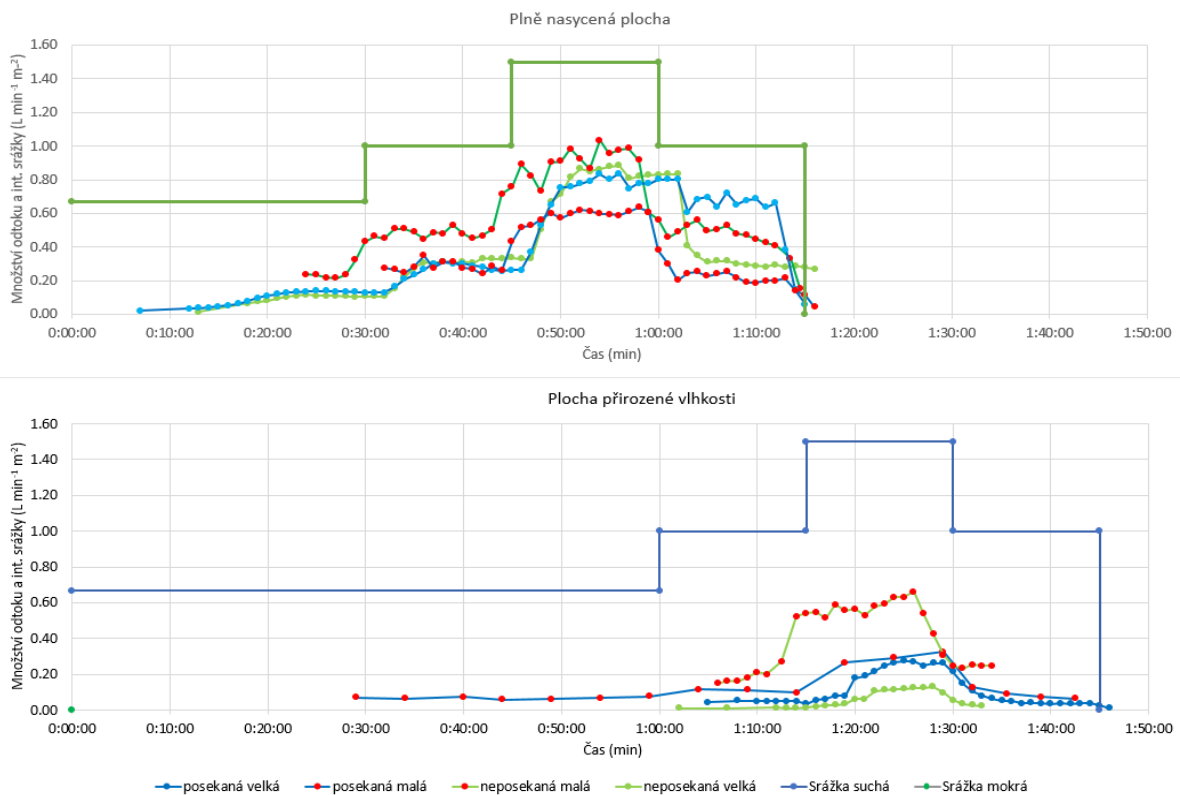
Obrázek 10: Ukázka experimentálních ploch - velká plocha s neposekanou a posekanou vegetací

Byla zvolena proměnná srážka v čase, a to následujícím způsobem: 60 minut 40 mm/h, 15 minut 60 mm/h, 15 minut 90 mm/h a 15 minut 60 mm/h. Pro druhou následnou simulaci do nasycené půdy: 30 minut 40 mm/h, 15 minut 60 mm/h, 15 minut 90 mm/h a na 15 minut 60 mm/h. Tyto intenzity jsou zjednodušením syntetických průběhů návrhových šestihodinových srážek (rain.fsv.cvut.cz).

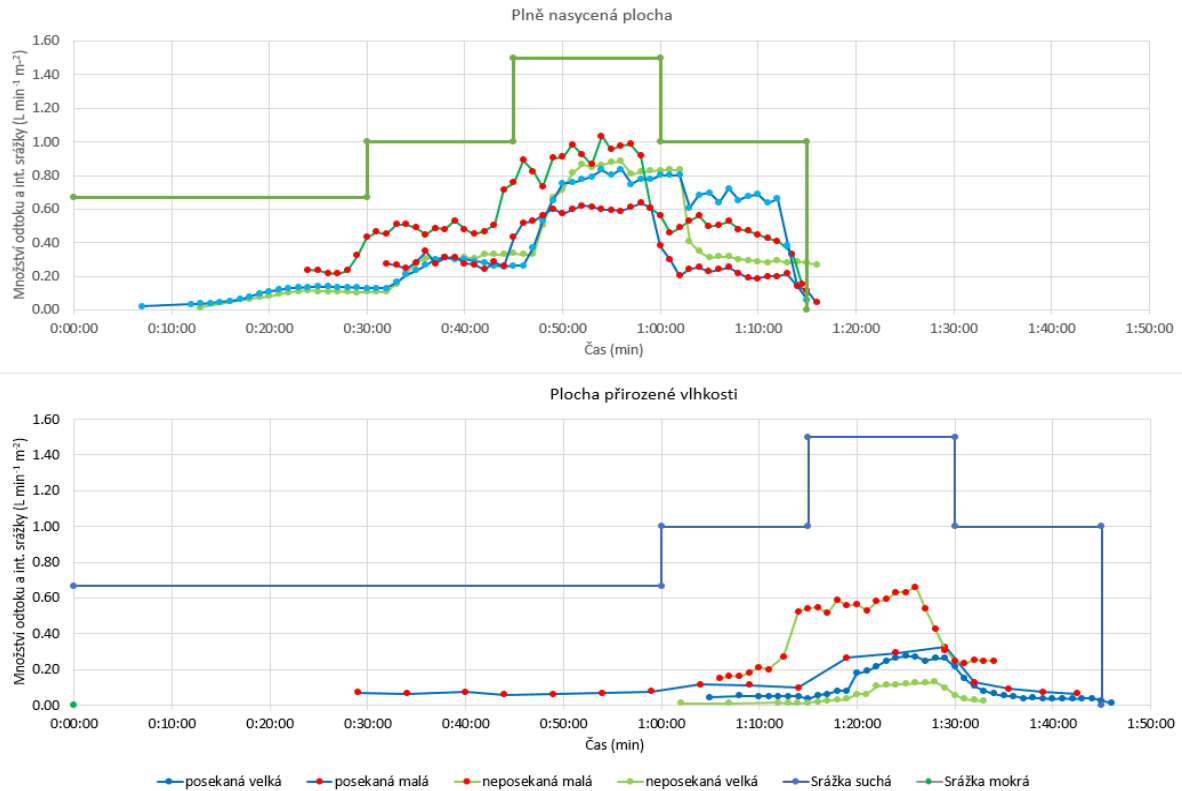
Pro měření půdní vlhkosti byly využity sondy Terros 13 v různých hloubkách – 10, 20 a 35 cm a sondy SMT100 (u některých experimentů) pro rozložení povrchové vlhkosti v ploše. Rozmístěno bylo 27 těchto čidel na zadešřované ploše (16 m<sup>2</sup>).

Výsledky jsou seřazeny podle pozorovaných procesů a rozděleny dále dle jednotlivých experimentů.

Na

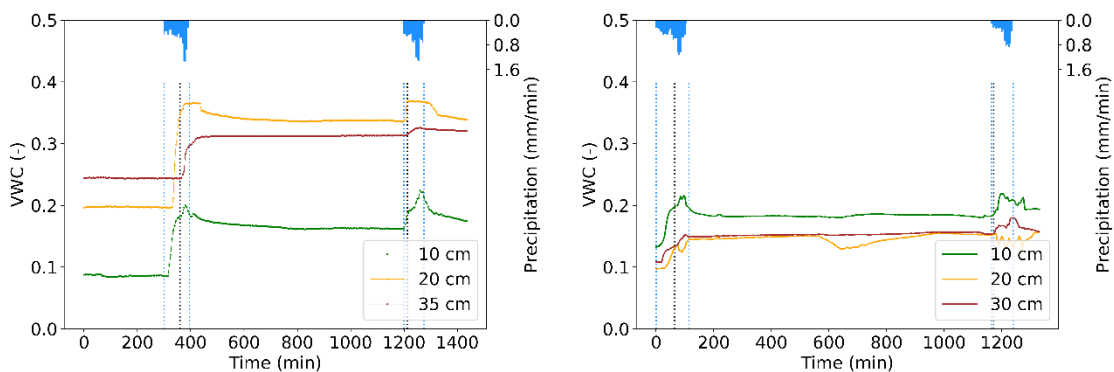


Obrázek 11 jsou uvedeny průběhy srážek a odtoků z jednotlivých ploch.



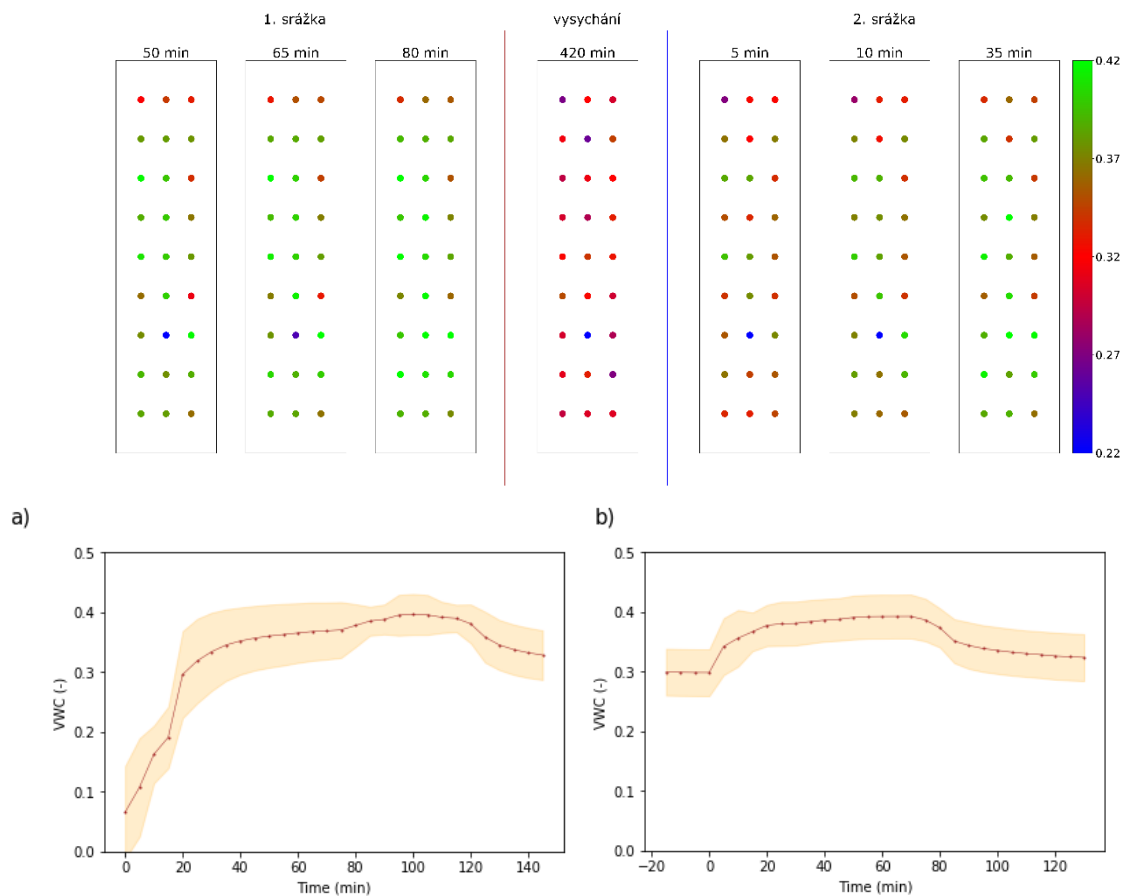
Obrázek 11: Množství odtoku a intenzity srážky v přepočtu na minutu a metr čtvereční. Grafy rozdělené podle počátečního stavu plochy – přirozená vlhkost versus plně nasycená plocha z předcházejícího experimentu.

Graf na Obrázek 12 zobrazuje průběhy vlhkosti po celou dobu experimentu. Po započítí srážky vždy vlhkost stoupá, v okamžiku započítí odtoku (černá čára) se vlhkost na velmi krátkou dobu ustálí a poté opět stoupá až do hodnoty maxima. Toto maximum má při povrchu pro obě plochy hodnotu přibližně 0.2. Na počátku experimentu byla vlhkost přibližně poloviční oproti maximu.

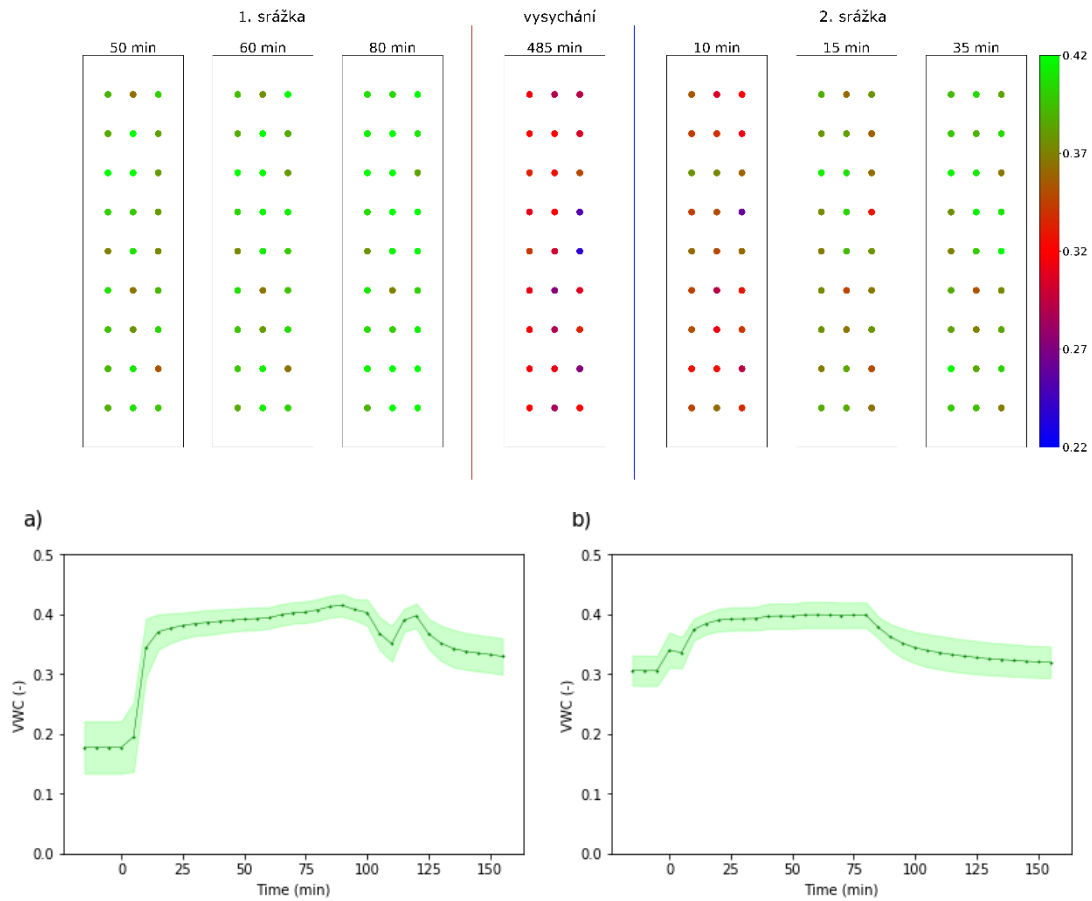


Obrázek 12: Grafy zobrazující průběhy vlhkostí naměřených pomocí čidel Teros 12 ve 3 hloubkách. Vlevo je graf pro plochu s dlouhou trávou, napravo pro plochu s posekanou trávou

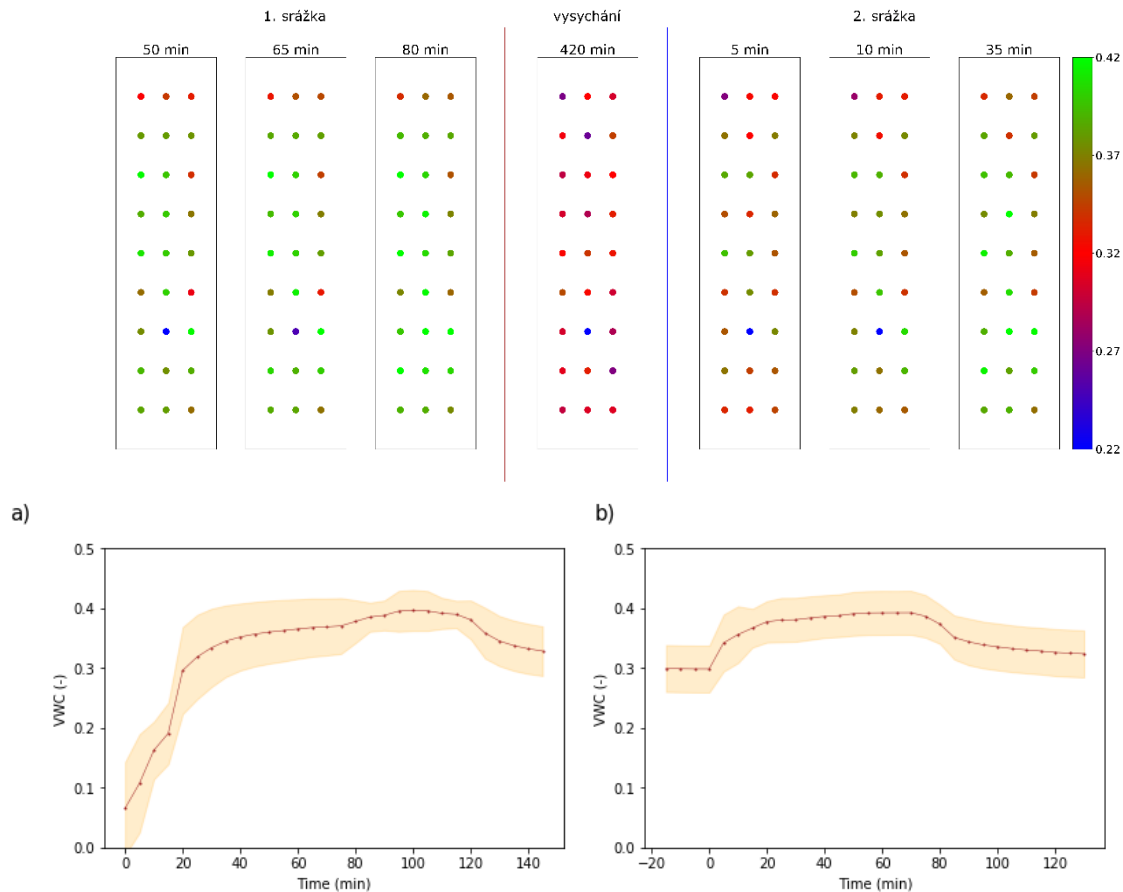
Na Obrázek 13 je zobrazena distribuce vlhkosti na ploše s dlouhou trávou a na



Obrázek 14 na ploše s posekanou trávou. Co se týká zobrazení ploch, tak je pro každou srážku zobrazen stav v čase, kdy započal odtok (průměrný v dané srážce) a stav před a po započítání odtoku. Z obrázku ploch je patrné, že se na ploše vyskytují místa, kde jsou výraznější odchylky, jako například čidlo na ploše s posekanou trávou, které je umístěno ve druhém sloupci a třetím řádku odspodu. V tomto čidle je nízká vlhkost do okamžiku, než dojde k povrchovému odtoku. V místě tohoto čidla by se mohla nacházet oblast s výrazným preferenčním prouděním, díky čemuž je zde voda primárně distribuována do nižších vrstev a po dlouhou dobu nedojde k zadržení této vody. Takovéto místa se na ploše vyskytují a mohou ovlivnit odchylku měření. Nicméně z pohledu na grafy je patrné, že odchylky v případě plochy s posekanou trávou jsou výrazně vyšší oproti odchylkám na ploše s dlouhou trávou. Pro číselné porovnání, minima odchylek na ploše s dlouhou trávou jsou 0.0174 a 0.0175, na ploše s posekanou trávou jsou 0.0227 a 0.0323. Tento nižší rozptyl v případě plochy s dlouhou trávou by mohl být způsoben přítomnou vegetací, která srážku rozptýlí rovnoměrněji po ploše a tím převládne nad heterogenitou prostředí.



Obrázek 13: V horní části je zobrazena distribuce vlhkosti v ploše pro případ plochy s dlouhou trávou. Voda proudí ve směru shora dolů. V dolní části jsou zobrazeny 1. resp. 2. srážka (a resp. b). Body ukazují průměrnou hodnotu získanou z 27 čidel SMT100 a plocha odpovídá standardní odchylce v daném čase.



Obrázek 14: V horní části je zobrazena distribuce vlhkosti po ploše pro případ plochy s posekanou trávou. Voda proudí ve směru shora dolů. V dolní části jsou zobrazeny 1. resp. 2. srážka (a resp. b). Body ukazují průměrnou hodnotu získanou z 27 čidel SMT100 a žlutá plocha odpovídá standardní odchylce v daném čase.

Z výsledků měření je zřejmé, že:

- Vliv vzrostlé anebo nevzrostlé vegetace není jednoznačný. V případě malé plochy je odtok větší z neposekané plochy a u velké zadešťované plochy je vliv obrácený.
- Opakovaný déšť na již v předchozím měření nasycenou půdu generuje vyšší odtok, i když došlo k poklesu vlhkosti půdy.
- Variabilita změny vlhkosti je v takto detailním měřítku značná a je třeba s ní počítat v interpretaci hydrologických výpočtů.

Odtoky z velké plochy jsou podobné, a to při nejvyšší srážce přes 0,8 l/min/m<sup>2</sup>. Na malé ploše s neposekanou vegetací byl odtok vyšší přibližně o 10 % a naopak na ploše s posekanou vegetací o 20 % nižší. Tyto rozdíly především ukazují lokální variabilitu půdních infiltračních charakteristik.

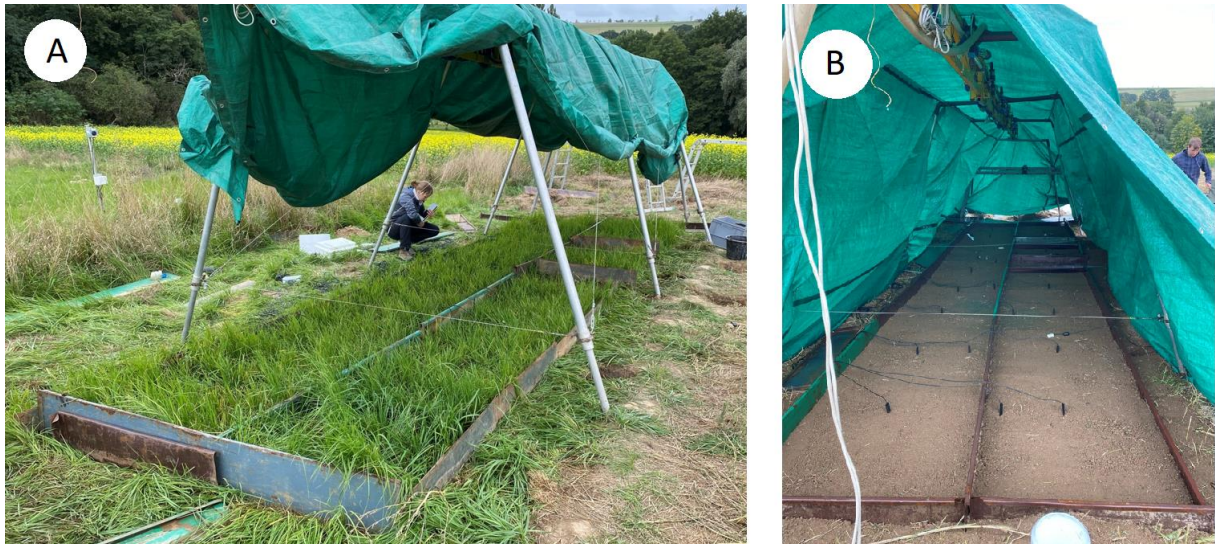
## Srovnávací experimenty vlivu velikosti zadešťované plochy

Druhá sada experimentů měla za cíl porovnat interní variabilitu a vliv velikosti zadešťované plochy na odtokové procesy.

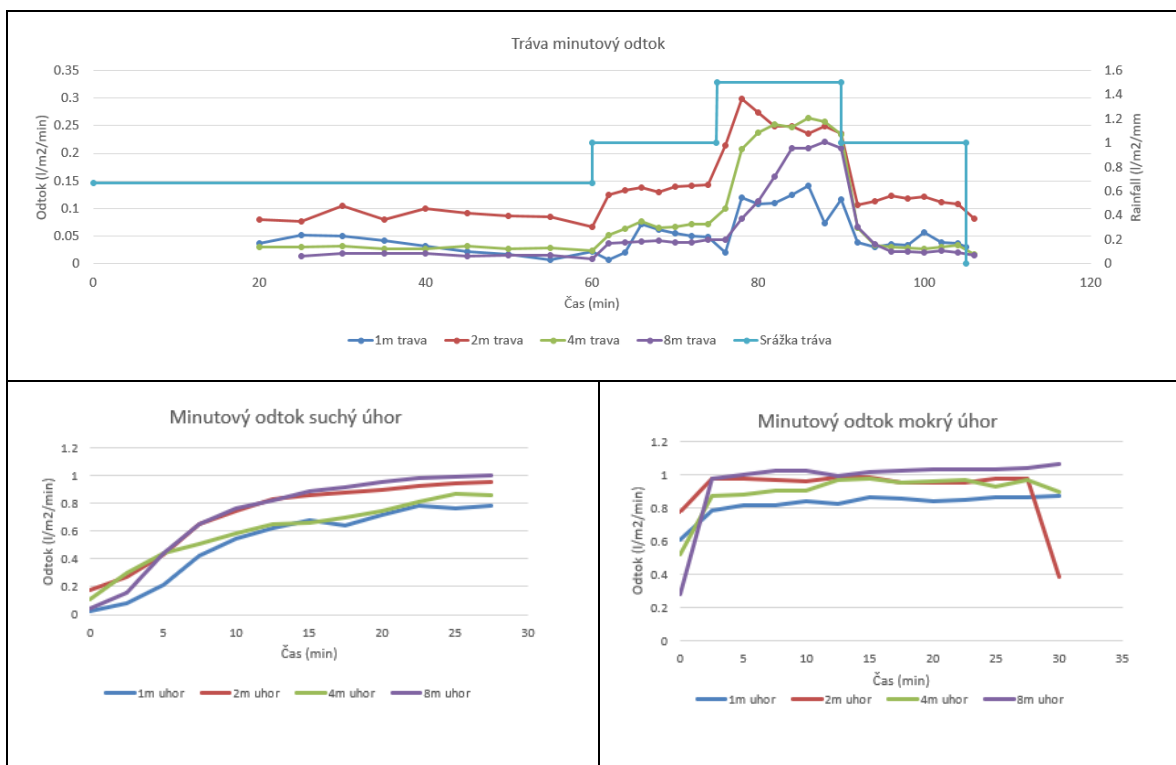
Pro tento experiment byl využit pouze velký dešťový simulátor a plocha v předchozím experimentu využitá jako posekaná tráva byla rozdělena na 4 menší nezávislé plochy o šířce 1 m a délkách 8, 4, 2 a 1 m. Odtok z každé plochy byl odebrán ve stejných časových intervalech. Použita byla stejná srážka jako v předchozím experimentu (60 minut 40 mm/h, 15



minut 60 mm/h, 15 minut 90 mm/h a na 15 minut 60 mm/h). Udržovaný úhor je považován za srovnávací stav, ke kterému je možné vztahovat různé další vlivy typu povrchu, resp. vegetace. Udržovaný úhor odpovídá stavu pozemku těsně po zasetí. Plocha je nejprve rozrušena kultivátorem, po odebrání rostlinných zbytků je povrch upraven ručním válcem naplněným vodou. Srážka byla konstantní s intenzitou 60 mm/h po dobu 30 minut od počátku povrchového odtoku. Následně po patnáctiminutové pauze byl tento experiment zopakován na plně nasyceném povrchu.



Obrázek 15: A – vegetační pokryv, B – holá půda



Obrázek 16: Průběhy odtoku na zatravněném povrchu (nahore), suchém úhoru (vlevo dole) a mokrém úhoru (vpravo dole)

Z výsledků je patrné, že na holé půdě rozdíly v odtocích z blokového deště nejsou významně rozdílné pro různé velikosti odtokových ploch. V případě travního pokryvu jsou patrné rozdíly v iniciální fázi infiltračního procesu. Výsledky provedených experimentů budou použity pro ověření citlivosti fyzikálních modelů.

#### 1.4.5. A2105 – Hydrologické modelování

V oblasti hydrologických modelů bylo v roce 2021 v rámci projektu řešeno šest činností

- Půdní data – nutný zdroj pro hydrologické modely a srovnání dat pro ČR.
- Validace metody CN na měřených datech vybraných malých povodí ve vztahu ke vstupním datům.
- Srovnání aplikačního přístupu k odvození návrhových průtoků se standardně poskytovanými daty podle ČSN 75 1400.
- Kalibrace a validace modelu SMODERP na zemědělské půdě – povodí Býkovice.
- Kalibrace a validace modelu SMODERP na lesních povodích.
- MIKE-SHE – kalibrace a validace modelu.

##### 1.4.5.1. Půdní data

Významná část aktivit projektu s vědomím převažujícího využití v návrhové praxi v oblasti hydrologického modelování využívá celosvětově zavedenou, a i v ČR velmi dobře známou a rozšířenou metodou SCS-CN, u nás známou pod pojmem Metoda odtokových křivek, či méně přesně CN křivek (z anglického Curve Number). Tato metoda vznikala již od padesátých letech 20. století v oddělení tehdejší půdní služby SCS (Soil Conservation Service) amerického ministerstva zemědělství USDA. Empirická metoda SCS-CN vyčísluje objem odtoku na základě tabelovaných hodnot CN, které závisí zejména na dvou kvalitativních charakteristikách povodí: půdním pokryvu a hydrologické skupině půdy (dále jen HSP). Ačkoliv i prvně zmíněná klasifikace půdního pokryvu poskytuje značný prostor pro nejasnosti díky různé interpretaci slovních popisů pokryvu a může být zdrojem značné variability výsledků při zpracování stejného území dvěma různými řešiteli, zaměřili se řešitelé projektu v roce 2021 zejména na druhý zdroj značných nejistot – půdní podklady a metodiku pro stanovení HSP.

Rozšířena byla rešerše zpracovaná v projektu TJ02000234 – Fyzikální a hydrologické vlastnosti půd ČR, viz odborná zpráva projektu (Strouhal a kol., 2020). Na rozdíl od originální a jednotné závazné verze americké metodiky (USDA NRSC, 2009) v ČR z historických důvodů vznikla řada paralelních přístupů a metodik pro stanovení HSP, obvykle odděleně pro zemědělský půdní fond (ZPF) a lesní půdu (LP). Rovněž datové podklady z důvodu komplikovaných licenčních podmínek jsou obtížně k získání, natož k dispozici pro využití odbornou veřejností např. v projekční praxi. V rámci přípravy dat pro modelování v HMS byly získány a analyzovány všechny dostupné celorepublikové vrstvy HSP, resp. CN, které jsou nyní v ČR využívány různými institucemi. Rozdílná půdní data vnášejí do hydrologického modelování další stupeň nejistoty. Analýza rozdílů je součástí odborného článku (Strouhal, 2022, v tisku), který vznikl v rámci řešeného projektu. Jejich dopady jsou patrné i z prezentovaných výsledků následujících dvou kapitol.

## Vrstva HSP/CN v posudkové praxi ČHMÚ

Jedná se o jeden z prvních pokusů o hydrologické hodnocení lesních půd a jejich propojení se ZPF do spojitě vrstvy v měřítku celé ČR. Metodika byla rozpracována v práci Kulasové (2004). Na projektu se podíleli řešitelé z ČHMÚ a VÚMOP a z řešení jsou patrné jejich rozdílné přístupy. Řešitelé z VÚMOP klasifikují půdy do pěti skupin, přičemž jako zvláštní podskupiny vyčleňují zemědělské půdy s vyšším obsahem skeletu a k nim přiřazují i půdy lesní. Přiřazení HSP těmto pěti, resp. deseti půdním skupinám bylo provedeno u zemědělských půd v souladu s tehdy platnou protierozní metodikou (Janeček, 1992) na základě hlavní půdní jednotky (HPJ, část kódu BPEJ) a na lesní půdě podle orientační metody dle Tomáška (2002). Limity infiltračních rychlostí pro zemědělskou a lesní půdu autoři nerozlišují, ovšem v hodnotách již nerespektují tehdy platnou metodiku (Janeček, 1992) a inspirují se vyššími hodnotami uvedenými např. ve (Kuráž, Váška, 1998). Poněkud nejasně však uvádí, že se jedná o počáteční rychlosti, nikoliv o stav blízký nasycení, což je odchýlení od originální metodiky SCS.

Druhý přístup volí ve stejné práci řešitelé z ČHMÚ, kteří v práci argumentují tím, že i relativně propustná půda ovšem s nízkou hodnotou retenční vodní kapacity (RVK) je z hlediska potenciálu pro tvorbu povodňových odtoků nepříznivá. Využívají pak hodnoty RVK pro zcela alternativní klasifikaci HSP. Z ní vyplývá, že přiřazení HSP pouze při znalosti HPJ není u některých jednotek jednoznačné, neboť při zohlednění infiltrační rychlosti může být daná půdní jednotka zařazena do jiné HSP než na základě její RVK. Jak s touto nejednoznačností naložit, autoři neuvádí.

Alternativní přístup pro stanovení HSP ještě dále rozpracoval Šercl (2005), který zohledňuje pro klasifikaci HSP celkem tři faktory – rychlost infiltrace, RVK a sklonitost terénu. Z předchozí práce převzal a upravil klasifikaci na základě prvních dvou faktorů do výsledné podoby uvedené v Tabulka 3. Patrné jsou dramatické rozdíly v přiřazení dle rychlosti infiltrace a RVK od jedné až po celé tři třídy HSP. Třetí faktor – průměrný sklon území (na základě rastru 1x1 km) využívá Šercl pro jednoduchou empirickou klasifikaci dle Tabulka 4.

Tabulka 3: Hydrologické skupiny půd dle rychlostí infiltrace a RVK (Šercl, 2005)

Skupina půd (dle VÚMOP)	RVK [mm]	Rychlost infiltrace [mm.hod-1]	HSP dle infiltrace	HSP dle RVK
1	60	> 150	A	D
1.1	35			D
2	140	50 - 150	B	B
2.1	80			C
3	320	4.8 - 50	B	A
3.1	210			A
4	220	1.5 - 4.8	C	A
4.1	130			B
5	150	< 1.5	D	B
5.1	90			C

O kombinaci tří uvedených přístupů do jediné klasifikaci půd do HSP se však autor nepokouší, místo toho vytváří tři paralelní mapy HSP agregované v rozlišení 1 x 1 km pro každou metodu a ty využívá pro následné odvození opět tří vrstev čísel odtokových křivek CN (v kombinaci s daty o půdním pokryvu z datasetu Corine Land Cover) a teprve ty kombinuje do jediné výsledné mapy. V ní uvažuje maximální hodnotu CN ze dvou čísel – CN dle první metody (infiltrační rychlosti) a průměrné CN ze všech tří metod. Tuto datovou vrstvu využívá ČHMÚ s mírnou aktualizací dle nové vrstvy půdního pokryvu Corine dodnes při odvozování návrhových průtoků a v modelu pro stanovení rizika přívalemých povodní FFI.

Tabulka 4: HSP dle sklonitosti území (Šercl, 2005)

Průměrný sklon [%]	HSP
0 - 2	A
2 - 5	B
5 - 10	C
> 10	D

## Mapa HSP – Strategie 2015

Další snahu o celistvý popis hydrologických podmínek v měřítku ČR lze nalézt u řešitelů projektu „Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými

*opatřeními v České republice*“ - dále jen Strategie. Projekt byl dokončen v roce 2015 a během jeho řešení podobně jako u o deset let staršího předchůdce vznikla celorepubliková rastrová mapa CN, tentokrát již v detailním rozlišení 10x10 m. Jako nepublikovaný meziprodukt rovněž byly odvozeny i vektorové vrstvy HSP, ovšem odděleně pro zemědělskou a lesní půdu. Pro stanovení HSP byly použity různé metodiky. Na ZPF byl aplikován převodník z HPJ dle tehdy platné Janečkovy protierozní metodiky (2012). Ten byl již v předchozí verzi (Janeček 2007) aktualizován a např. oproti převodníku použitému v předchozím projektu (Kulasová, 2004) se liší asi ve 20 kódech HPJ.

Pro lesní půdu byla aplikována od zámořského originálu již poměrně odlišná metodika Janderkové (2000) aktualizovaná dle Macků (2012) na základě porostové charakteristiky Lesního Typu. Problematickým místem jsou ostatní území, která nespádají ani do ZPF ani do lesních půd. Jakým způsobem byly určeny HSP na těchto plochách, dokumentace projektu neuvádí.

## VÚMOP 2018

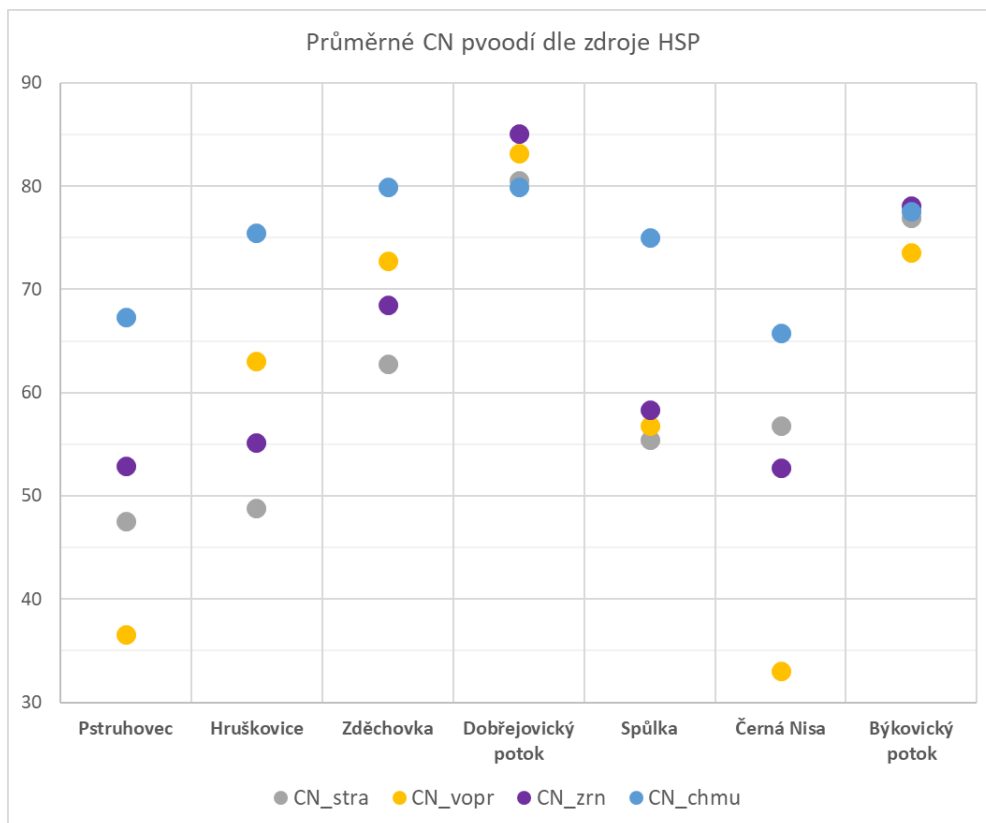
V roce 2018 publikoval Vopravil (2018) spojitou mapu HSP, která je nabízena mezi standardními produkty VÚMOP. Mapa využívá pro lesní a ostatní neklasifikované půdy hrubší kvalitativní klasifikaci map půdotvorných substrátů v malém měřítku dle již zmíněné metody Tomáška (2002). Pro zemědělské půdy je standardně využita konverze HPJ na HSP, ovšem nikoliv podle jakékoliv z publikovaných verzí protierozní metodiky, ale podle aktualizovaného, ovšem nepublikovaného převodníku.

## HSP na základě půdní zrnitosti

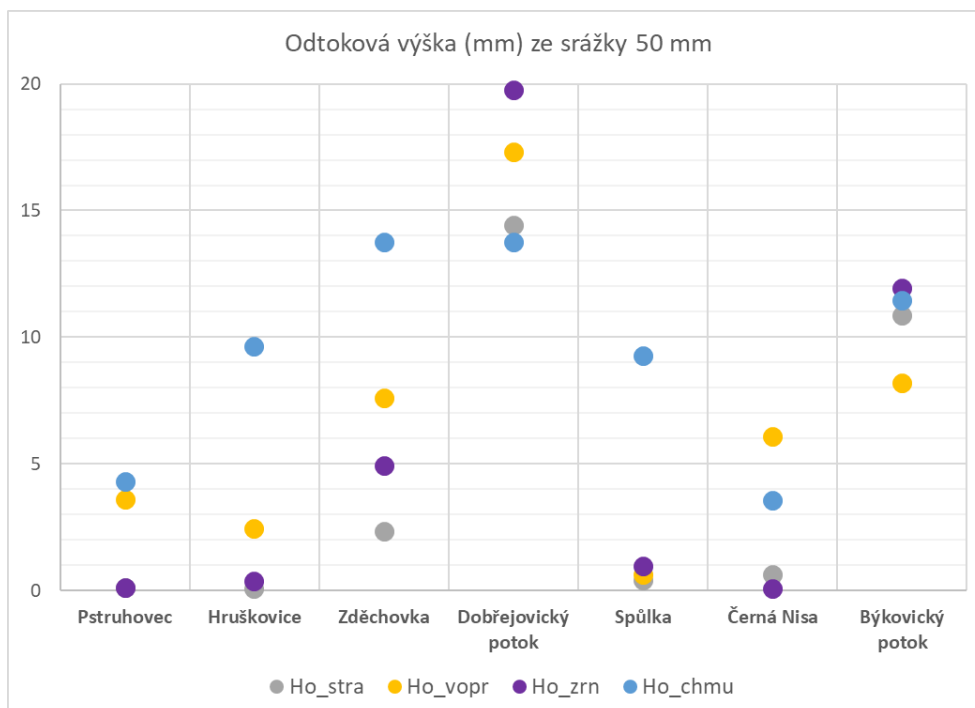
V roce 2021 byla certifikována celorepubliková mapa HSP odvozená na základě půdní zrnitosti v rámci řešení projektu TJ02000234 – Fyzikální a hydrologické vlastnosti půd ČR. Metodika tvorby mapy je postavená na silné vazbě půdní zrnitosti a hydraulické vodivosti půd, která je obtížně a málo zmapovanou fyzikální veličinou, která je však klíčová pro vymezení HSP dle originální metodiky USDA.

## Srovnání půdních podkladů HSP pro odvození hydrologických charakteristik povodí

V rámci řešení projektu bylo provedeno srovnání variability HSP všech výše uvedených půdních podkladů na úrovni celé ČR. Výstupy analýzy jsou předmětem publikovaného článku a nebudou zde detailně rozváděny. Pro ilustraci významu tohoto klíčového datového podkladu pro odvození hydrologických charakteristik jsou dále uvedeny hodnoty CN a objemu přímého odtoku na šesti reprezentativních povodích vybraných v rámci aktivity validace hydrologických metod. Na Obrázek 17 jsou znázorněny hodnoty CN pro jednotlivá povodí, patrný je výrazný rozptyl zejména u lesních povodí. Obrázek 18 pak ukazuje dopady uvedených rozdílů na příkladu výpočtu odtokové výšky ze srážky s úhrnem 50 mm.



Obrázek 17: Rozptyl CN pro hodnocená povodí na základě použitého zdroje dat o HSP



Obrázek 18: Rozptyl odtokových výšek ze srážky s úhrnem 50 mm na hodnocených povodích na základě použitého zdroje dat o HSP

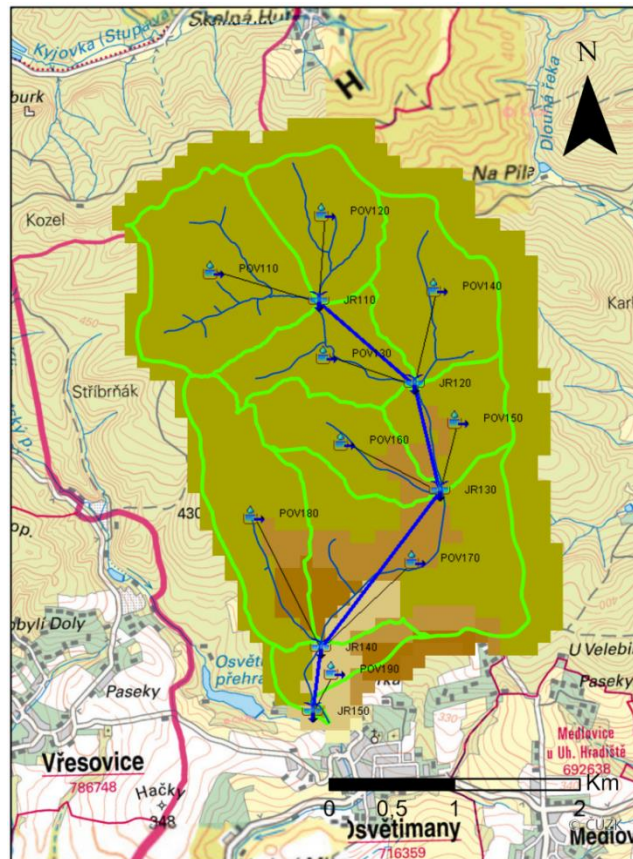
### 1.4.5.2. Validace metody CN

V roce 2021 pokračovaly práce na hydrologickém modelování významných pozorovaných průtokových epizod. Pro všechna zvolená malá povodí byly vybrány nejvýznamnější dostupné pozorované průtokové epizody, pro něž byly z databáze vytaženy a podrobněji zkontrolovány průběhy v hodinovém kroku. Přehled průtokových epizod s dostupným hodinovým záznamem pro všechna povodí je v tabulce 5.

Tabulka 5: Malá povodí a významné průtokové epizody vybrané k modelování

Stanice	Tok	Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	Vybrané významné epizody (datum kulminace)
Uhlířská	Černá Nisa	1,798	13.8.2002, 7.8.2006, 7.8.2010, 21.7.2011, 2.6.2013
Landštejn	Pstruhovec	6,363	13.8.2002, 30.6.2006, 1.7.2009, 25.6.2013, 22.7.2014
Osvětimany	Hruškovice	9,539	26.6.2006, 2.6.2010, 13.6.2012, 12.9.2014, 31.7.2016
Nový Dvůr	Spůlka	9,988	12.8.2002, 22.8.2005, 28.6.2009, 18.7.2010, 2.6.2013
Průhonice	Dobřešovický potok	12,999	12.8.2002, 28.9.2010, 19.8.2011, 2.6.2013, 23.10.2014, 11.8.2017
Zděchov	Zděchovka	4,084	7.7.1997, 2.6.2010

Modelování průtokových epizod bylo prováděno v systému HEC-HMS nejdříve na testovacím povodí Hruškovice-Osvětimany (viz Obrázek 19). V metodice používané v ČHMÚ 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 je 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. Kromě této standardně využívané metodiky s využitím vrstvy hodnot CN za uvažování průměrných vláhových podmínek nasycení povodí, které jsou používány v ČHMÚ při odvozování teoretických povodňových vln (pro Hruškovice-Osvětimany odpovídá scénářům 1HRU\_1SCO\_CEL\_I20\_HYCLA pro celistvé, resp. 1HRU\_1SCO\_DIS\_I20\_HYCLA pro distribuované povodí) byly modelovány pozorované průtokové epizody také na základě dalších navrhovaných variant scénářů (podrobnější popis použitých scénářů viz Tabulka 6). Celkově bylo zatím pro každou epizodu modelováno 24 scénářů pro celistvou a 24 scénářů pro distribuovanou variantu povodí.



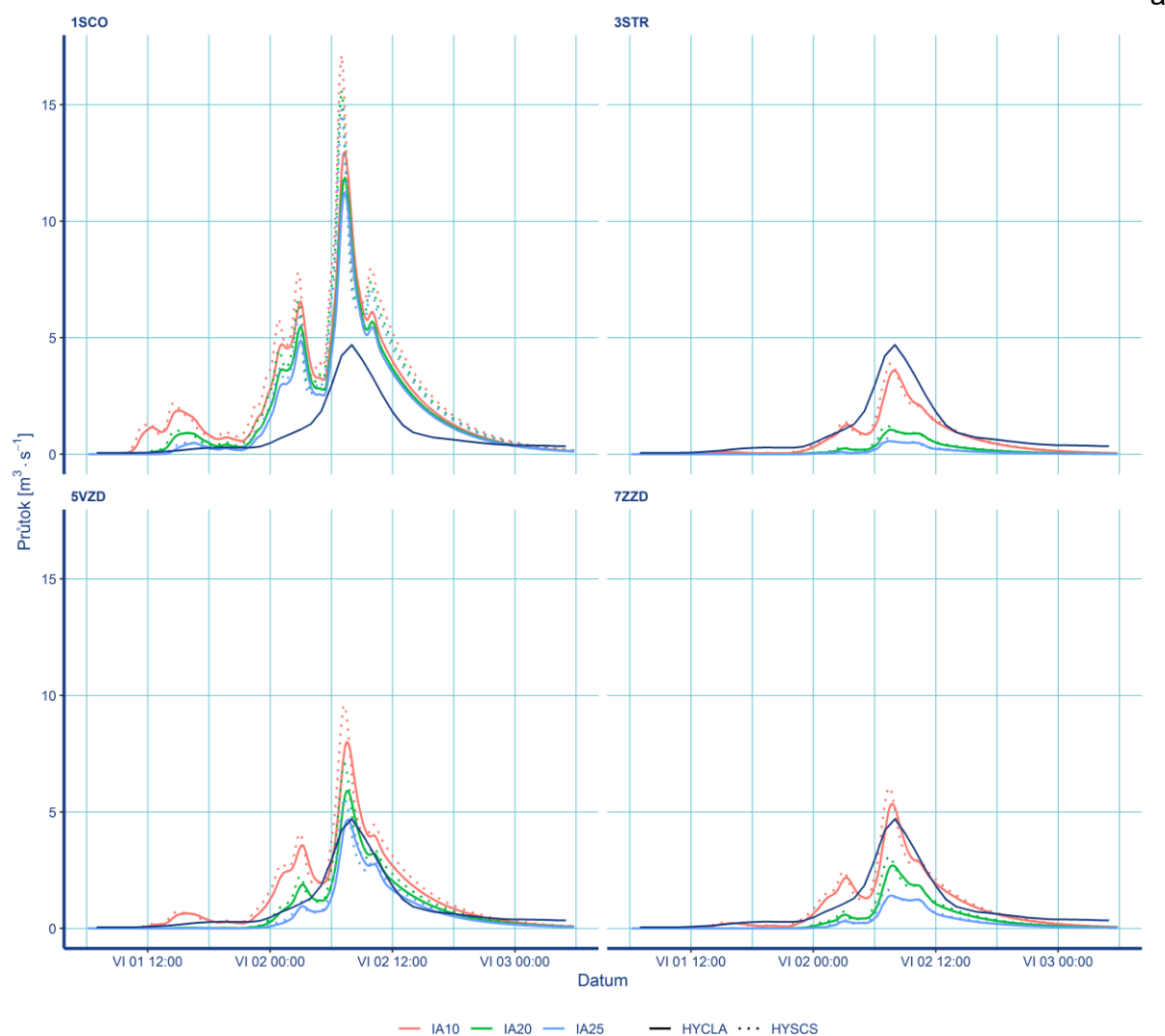
Obrázek 19: Schématické zobrazení modelu povodí Hruškovice-Osvětímány v distribuované podobě, barevný podklad zobrazuje rozlišení hodnot CN v povodí dle metodiky používané v ČHMÚ

Tabulka 6: Stručný popis parametrů modelovaných scénářů

Povodí	Odvození CN	Var. povodí	Počáteční ztráty	Hydrogram
<b>1HRU</b> Hruškovice	<b>1SCO</b> dle ČHMÚ, HSP dle Šercl (2005), pokryv dle Corine	<b>CEL</b> Celistvé	<b>IA10</b> 0,1x maximální potenciální retence	<b>HYCLA</b> Clarkův
<b>2CER</b> Černá Nisa	<b>3STR</b> dle projektu Strategie	<b>DIS</b> Distribuované	<b>IA20</b> 0,2x maximální potenciální retence	<b>HYSCS</b> SCS-bezrozměrný
<b>3SPU</b> Spůlka	<b>5VZD</b> HSP dle Vopravila, pokryv ze ZABAGED		<b>IA25</b> 0,25x maximální potenciální retence	
<b>4DOB</b> Dobřejovický potok	<b>7ZZD</b> HSP dle zmitostí, pokryv ze ZABAGED			
<b>5PST</b> Pstruhovec				
<b>6ZDE</b> Zděchovka				



Příklad modelování nejvýznamnější průtokové epizody (2. 6. 2010) pro povodí Hruškovice-Osvětimany dle rozdílných scénářů je na Obrázek 20, vlevo ve variantě povodí jako celku, vpravo v distribuované podobě. Pro všechny scénáře je patrný podrobnější průběh v případě distribuované

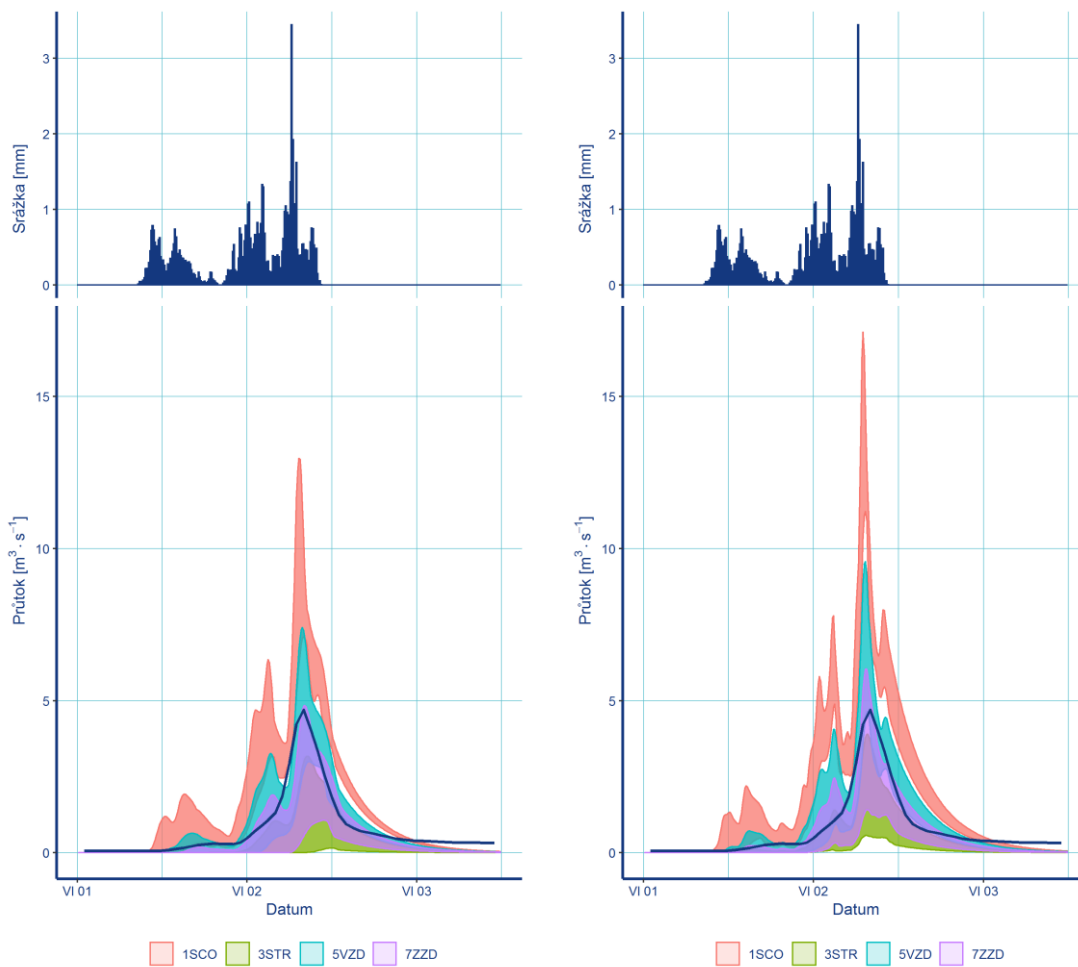


Obrázek 21 je zobrazen podrobněji vliv jednotlivých parametrů modelovaných scénářů pro distribuovanou variantu povodí. Přehled hodnot CN dle způsobu odvození je uveden v Tabulka 7. Podrobný rozbor všech výsledků modelování dle scénářů bude proveden v roce 2022.

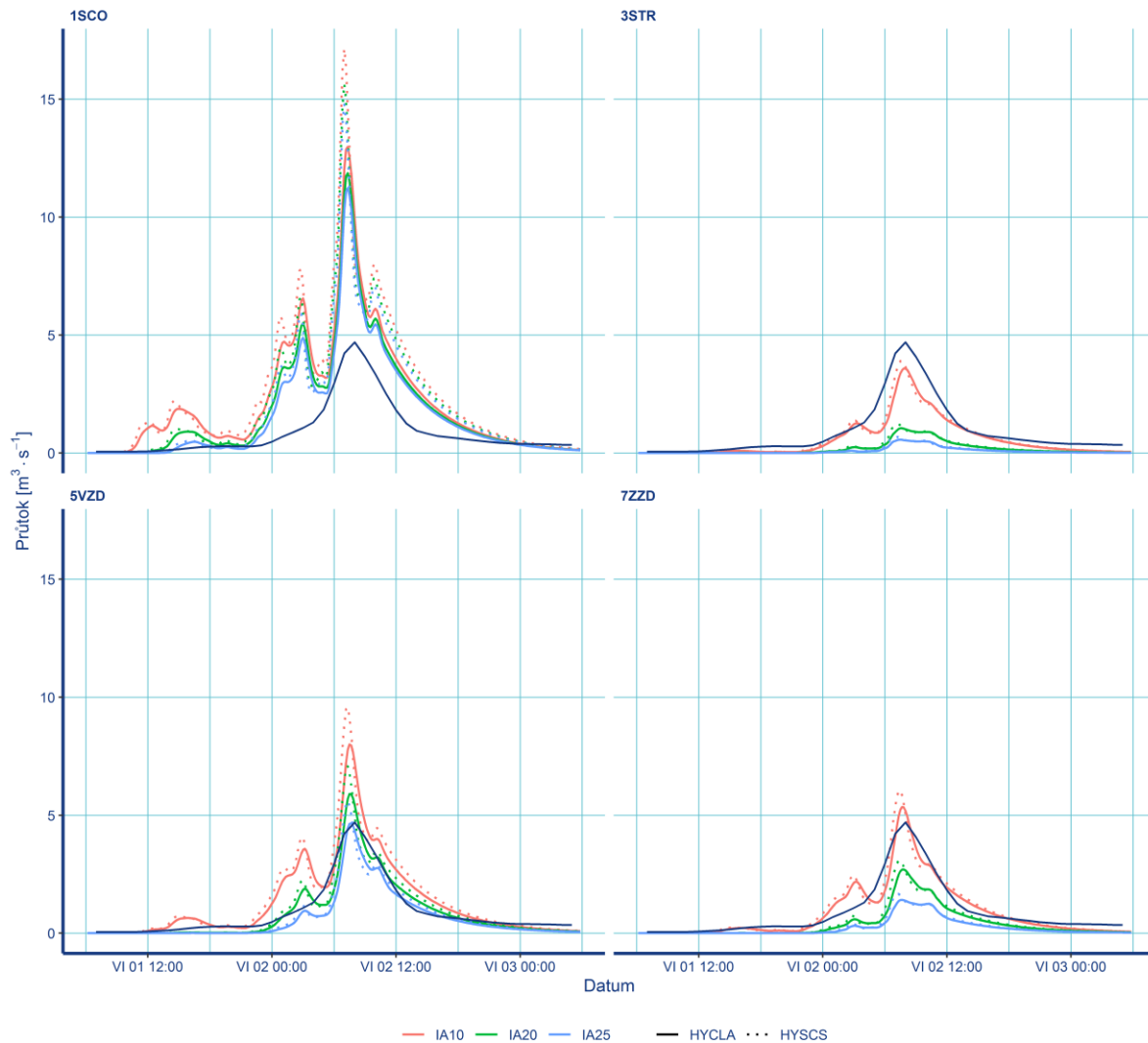
Tabulka 7: Přehled hodnot CN dle způsobů odvození pro modelování průtokové epizody z 2. 6. 2010

CN	Celistvé povodí	Distribuované povodí – subpovodí (viz Obrázek 19)								
		POV 110	POV 120	POV 130	POV 140	POV 150	POV 160	POV 170	POV 180	POV 190
1SCO	75,5	74	74	74	74	75,2	75,3	77,9	75,2	80,8
3STR	48,8	42,7	42,9	40,9	42,6	48,4	44	59,3	50,1	71,4
5VZD	63,1	58	59,8	59,2	61,6	62	61,8	68,8	63,5	75,9
7ZZD	55,2	48,2	49,7	49	50,5	54	53,4	65,3	55,7	72,1

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--



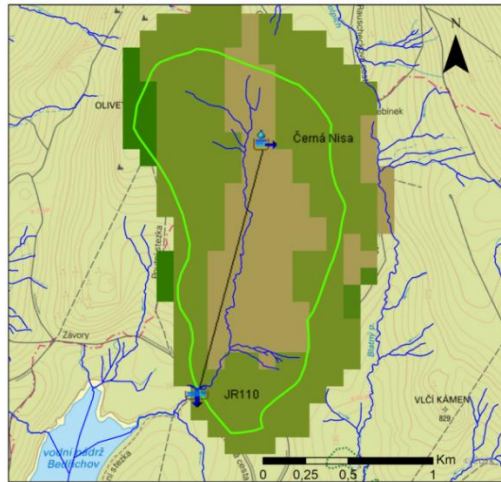
Obrázek 20: Celkový rozptyl hodnot průtoků při simulacích srážko-odtokové události s kulminací 2. 6. 2010 pro povodí Hruškovice-Osvětímány barevně rozlišený podle způsobu odvození hodnot CN, vlevo pro celistvé povodí, vpravo pro distribuované povodí, tmavě modře je vyznačena pozorovaná vlna v hodinovém kroku (pro distribuované povodí je zobrazen průběh srážky uvažované na celé povodí)



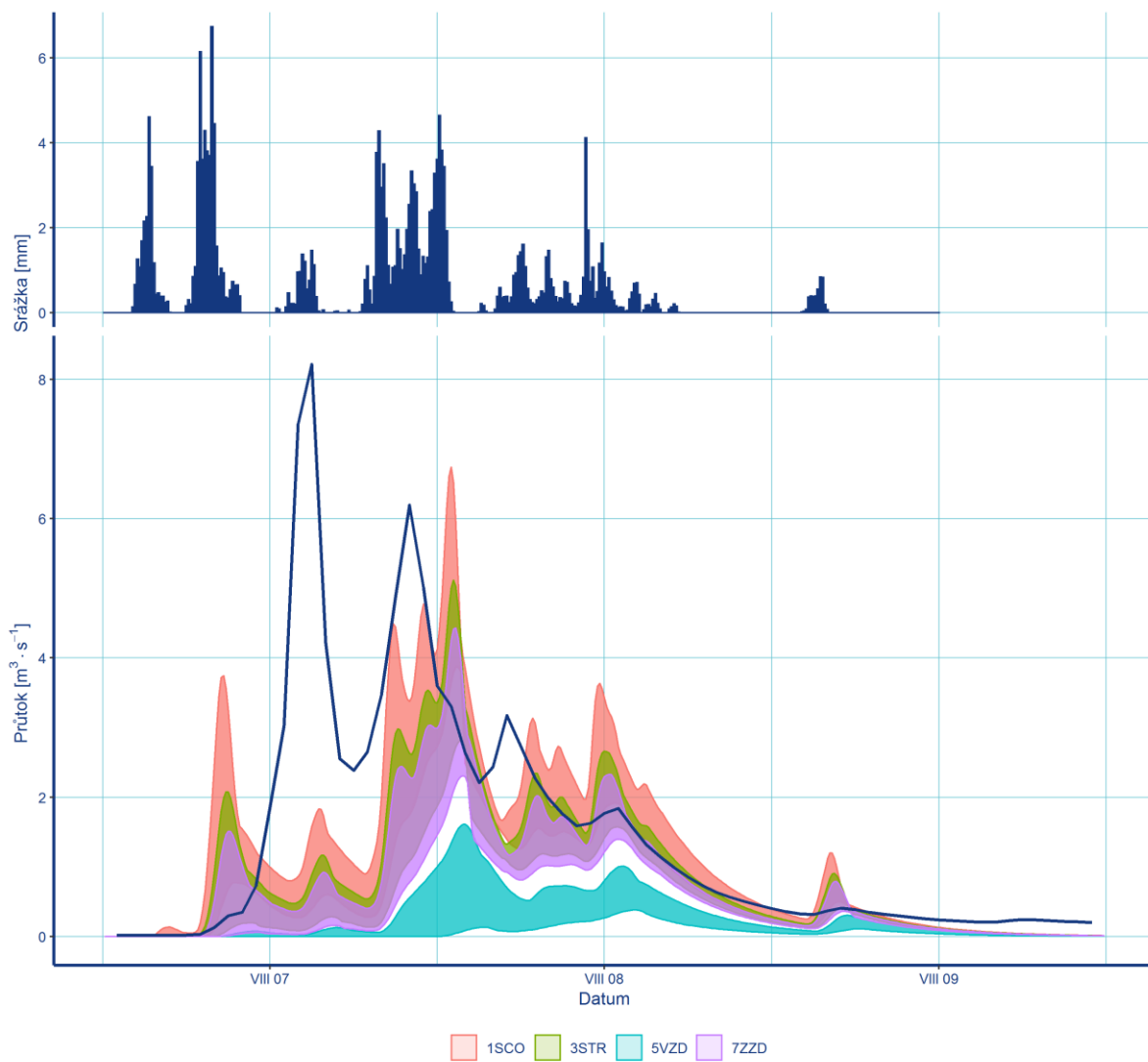
Obrázek 21: Rozptyl hodnot průtoků při simulacích srážko-odtokové události s kulminací 2. 6. 2010 pro povodí Hruškovice-Osvětimany rozlišený dle způsobu odvození hodnot CN (1SCO, 3STR, 5VZD, 7ZZD), barvou podle odvození počátečních ztrát a typem čáry podle použitého hydrogramu, tmavě modře je vyznačena pozorovaná vlna v hodinovém kroku

Pro ostatní malá povodí byla odvozena struktura srážko-odtokového modelu, spočítány fyzicko-geografické parametry modelu a bylo započato s modelováním epizod na povodí Černá Nisa-Uhlířská.

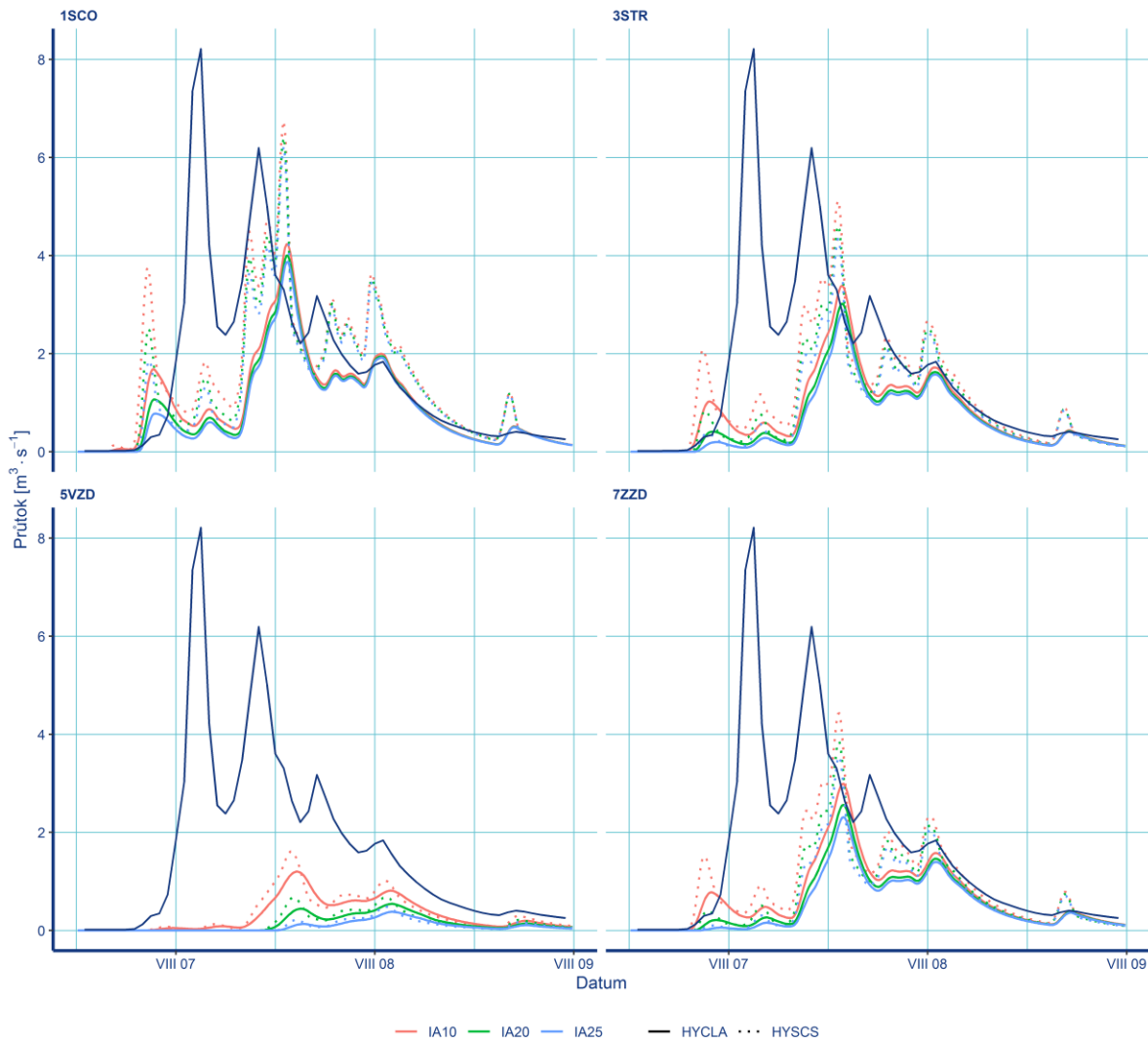
Povodí Černá Nisa-Uhlířská (viz Obrázek 22) má z řešených malých povodí nejmenší plochu a je celé lesnatého charakteru, z toho důvodu bylo řešeno jen v celistvé variantě. Ukázka modelovaných scénářů pro nejvýznamnější průtokovou epizodu (7. 8. 2010) je na Obrázek 23. Na Obrázek 24 je potom zobrazen podrobněji vliv jednotlivých parametrů modelovaných scénářů.



Obrázek 22: Model celistvého povodí Černá Nisa-Uhlířská, barevný podklad zobrazuje rozlišení hodnot CN v povodí dle metodiky používané v ČHMÚ



Obrázek 23: Celkový rozptyl hodnot průtoků při simulacích srážko-odtokové události s kulminací 7. 8. 2010 pro povodí Černá Nisa-Uhlířská barevně rozlišený podle způsobu odvození hodnot CN, tmavě modře je vyznačena pozorovaná vlna v hodinovém kroku



Obrázek 24: Rozptyl hodnot průtoků při simulacích srážko-odtokové události s kulminací 7. 8. 2010 pro povodí Černá Nisa-Uhlířská rozlišený dle způsobu odvození hodnot CN (1SCO, 3STR, 5VZD, 7ZZD), barvou podle odvození počátečních ztrát a typem čáry podle použitého hydrogramu, tmavě modře je vyznačena pozorovaná vlna v hodinovém kroku

Součástí řešení bylo také ověření využití dat nasycenosti území a vrstev CN z aplikace Indikátor přívalových povodní (FFI) pro dané průtokové epizody na vybraných povodích. Tyto hodnoty byly odvozeny v průběhu testovacího provozu aplikace FFI na ČHMÚ a zatím nebyly v praxi testovány.

Pro vybraná povodí byla provedena analýza odvozených denních hodnot CN v gridových bodech za dostupné období (2013–2020). Ačkoliv průměrné hodnoty CN na povodí (Tabulka 8) poměrně dobře odpovídají hodnotám CN za uvažování průměrných vláhových podmínek nasycení povodí (tzn. CN dle scénáře 1SCO), z důvodu změn v aplikaci v průběhu testovacího provozu a nepřesností při ukládání dat z aplikace se ukázalo jako nezbytné resimulovat výstupy za celé období pozorování. Z tohoto důvodu budou scénáře využívající hodnot CN z aplikace FFI domodelovány až v roce 2022.

Tabulka 8: Malá povodí a významné průtokové epizody vybrané k modelování a jejich hodnoty CN z aplikace FFI

Stanice	Tok	Minimální hodnota CN	Maximální hodnota CN	Průměrná hodnota CN
Uhlířská	Černá Nisa	55,9	99,4	73,3
Landštejn	Pstruhovec	48,7	82,2	61,2
Osvětimany	Hruškovice	55,6	95,5	65,5
Nový Dvůr	Spůlka	52,5	97,8	75,7
Průhonice	Dobřejovický potok	54,5	95,0	67,6
Zděchov	Zděchovka	58,8	97,5	79,6

### 1.4.5.3. Srovnání přístupů k odvození návrhových parametrů pomocí CN-Metody

#### Modelování v prostředí programu HEC-HMS

Povodí kritických bodů byla pro modelování rozdělena na dílčí subpovodí, která spojují koryta vodních toků. Pro výpočty v prostředí HEC-HMS byly použity následující metody a parametry k určení objemu přímého odtoku (Loss Method), transformace přímého odtoku (Transform Method), základního odtoku (Baseflow Method) a postupu vody v korytě (Routing):

- Loss Method: SCS Curve Number s parametry Initial Abstraction (mm), Curve Number a Impervious (%)
- Transform Method: Clark Unit Hydrograph s parametry Time of Concentration (h) a Storage Coefficient (h)
- Baseflow Method: Recession s parametry Initial Discharge (m<sup>3</sup>/s) = 0, Recession Constant = 0,1, Ratio = 0,1
- Routing: Lag (min)

Vymezení povodí a parametry modelů (sklonitosti, délky a sklony údolnic a toků aj.) byly určeny na základě terénu DMR 4G (rastr 5 x 5 m) v prostředí ArcGIS 10. Pro objem přímého odtoku byla použita vrstva hodnot CN.

#### Stanovení objemu přímého odtoku

Pro výpočty byla jako výchozí podklad použita vrstva hodnot CN<sub>2</sub> (pro střední stupeň nasycení) z projektu „Strategie ochrany před negativními dopady povodní a erozními jevy přírodě blízkými opatřeními v České republice“, 2015 (<http://www.vodavkrajine.cz>). Tato vrstva je odvozená z hydrologických skupin půd (HSP) a krajinného pokryvu (LPIS, ZABAGED). Nad vrstvou byly pro výpočty odkontrolovány možné podstatné změny využití území (aktuální situace vzhledem k roku 2015) a byl rovněž doplněn faktor sklonitosti území. Sklonitost území (v %) byla odvozena z podkladu terénu ZABAGED a byla dále reklasifikována do 4 tříd: 1 (0-2 %), 2 (2-5 %), 3 (5-10 %), 4 (nad 10 %). Jednotlivým třídám sklonitosti byly přiřazeny vlastnosti HSP: 1 = A, 2 = B, 3 = C, 4 = D. Výsledná vrstva CN použitá pro výpočty byla vytvořena jako průměr z CN hodnot podle HSP a podle sklonitosti. Tato upravená vrstva zohledňuje fakt, že pokud půdy byt s příznivými infiltračními vlastnostmi leží ve sklonitém území, nenaplňují zcela svůj retenční potenciál.

Jak již bylo výše uvedeno, pro zvolený hyetogram tvaru F je doporučováno počáteční nasycení ve variantě CN3. Z hodnot CN2 byly pro jednotlivá subpovodí získány hodnoty CN3 podle vzorce:  $CN3 = CN2 / (0,4036 + 0,005964 CN2)$ .

## Modelování povodňových vln v profilech kritických bodů v povodí Kocáby

V rámci studie odtokových poměrů povodí Kocáby (ORP Příbram, Dobříš, Černošice) byly v roce 2021 v prostředí programu HEC-HMS 4.7 namodelovány povodňové vlny pro 48 kritických bodů. Tyto kritické body (KB) byly stanoveny v místech, kde je zastavěné území obce ohroženo soustředěným povrchovým odtokem z přívalových srážek. Návrhové srážky pro modelování byly zpracovány podle metodiky „Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině“ (Kavka, 2018) dostupné na <https://rain.fsv.cvut.cz/>). Doba opakování modelovaných povodňových vln pokrývá varianty 5, 20 a 100 let. V povodí KB budou v rámci studie navržena přírodě blízká protipovodňová opatření. Jejich efekt se následně posoudí zahrnutím opatření do modelů.

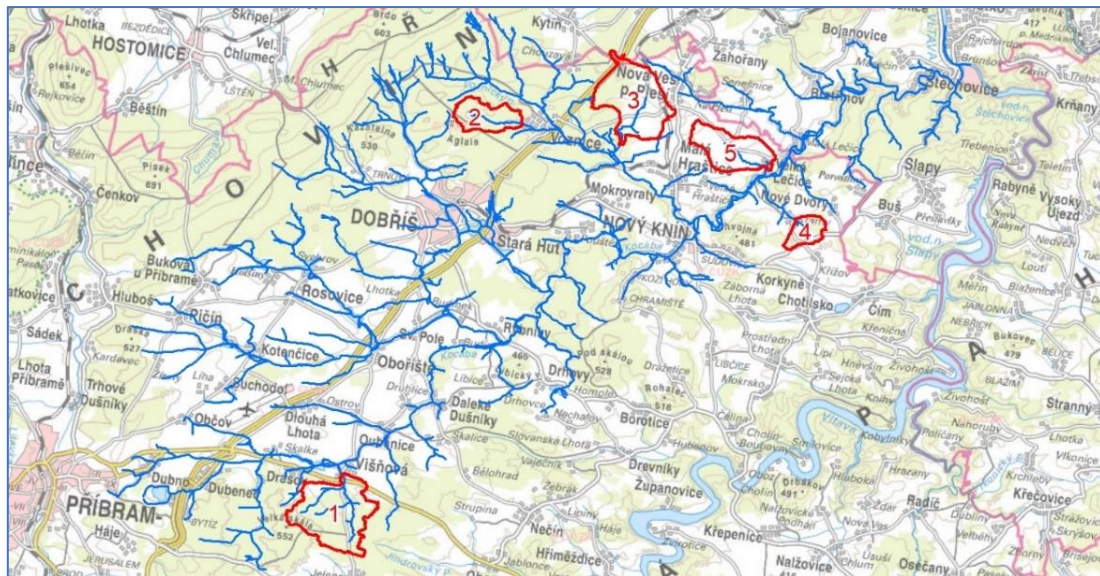
### Návrhové srážky

Do shapefilu povodí 4. řádu byly z portálu projektu vypsány hodnoty pro P5, P20 a P100. Rozdíly v rámci povodí Kocáby nebyly vyhodnoceny jako zásadní, a proto je pro toto povodí navrhována jednotná návrhová srážka určená váženým průměrem vypsanych hodnot a ploch povodí 4. řádu: P5 = 34,7 mm, P20 = 46,3 mm a P100 = 60,1 mm.

Pro výběr tvaru návrhového hyetogramu bylo vyhodnoceno zastoupení hyetogramů z metodiky (A až F) v povodích 4. řádu pro srážku P20 (váženým průměrem přes plochy povodí). Jako nejčtenější tvar hyetogramu vychází varianta F se zastoupením 25,7 %. Tento hyetogram s jedním maximem a poměrně rovnoměrným rozdělením má podle metodiky doporučené počáteční nasycení ve variantě CN3 (vyšší stupeň nasycení).

### Porovnání povodňových vln Q100 s daty dle CSN

Pro porovnání modelovaných povodňových vln Q100 s daty (teoretickými povodňovými vlnami TPV100) zakoupenými od ČHMÚ bylo vybráno 5 povodí, kde jsou profily obou variant blízko sebe. Blíže viz mapa na Obrázek 25 a tabulka 7.



Obrázek 25: Vybraná povodí kritických bodů v povodí Kocábý

Tabulka 9: Porovnání ploch povodí vybraných KB a ploch povodí s daty ČHMÚ, hodnoty CN3

ID	Profil	A čhmú (km <sup>2</sup> )	A nazv (km <sup>2</sup> )	A čhmú / A nazv	CN3 nazv
1	Budský p. - konec zátopy rybníka ve Višňové	4,91	5,14	0,96	78,5
2	přítok Voznického potoka (IDVT 10273595) - mostek na okraji Voznice	1,89	1,9	0,99	86,1
3	přítok Voznického potoka (IDVT 10262038) - mostek v chatové oblasti	4,9	4,78	1,03	87,4
4	přítok Kocábý (IDVT 10274013) - okraj zástavby Krámů	0,93	1,05	0,89	81,0
5	přítok Kocábý (IDVT 10267508) - lávka ve Velké Lečici	2,95	2,92	1,01	91,7

Tabulka 10: Kulminace povodňových vln podle dat ČHMÚ a podle výsledků modelů, poměry hodnot

ID	Q100 čhmú (m <sup>3</sup> /s)	W100 čhmú (tis. m <sup>3</sup> )	Q100 pnazv (m <sup>3</sup> /s)	W100 pnazv (tis. m <sup>3</sup> )	Q100 čhmú / Q100 pnazv	W100 čhmú / W100 pnazv
1	9,1	177,4	3,1	17,6	2,9	10,1
2	5,9	85,8	1,1	16,3	5,3	5,3
3	9,9	208,7	5,2	23,4	1,9	8,9
4	5,2	48,8	1,6	20,9	3,3	2,3
5	9,4	165,0	3,2	29,8	2,9	5,5

V rámci porovnání hodnot kulminací Q100 a objemů W100 povodňových vln podle dat ČHMÚ a podle výsledků modelů byly nejprve zkorigovány výsledky modelů (s návrhovými srážkami podle NAZV) podle poměrů ploch příslušných povodí, viz Tabulka 9. Hodnoty s indexem



pnazv poté představují hodnoty podle podkladů NAZV – přepočtené. Hodnoty kulminací a objemů vln obou variant uvádí Tabulka 10. V tabulce jsou rovněž uvedeny poměry kulminací podle hodnot ČSN a podle přepočtených modelovaných hodnot se vstupními srážkami podle projektu NAZV. Podle uvedených poměrů je zřejmé, že kulminace podle dat ČSN jsou podstatně větší (1,9 až 5,3násobně) než kulminace namodelované. U objemů povodňových vln je tento rozdíl ještě větší, objemy podle dat ČHMÚ jsou 2,3 až 10,1násobně větší než objemy namodelované.

## Modelování povodňových vln v profilech kritických bodů v povodí Bakovského potoka

V rámci studie odtokových poměrů povodí Bakovského potoka (území Slánsko – Velvarsko) byly v roce 2021 v prostředí programu HEC-HMS 4.7 namodelovány povodňové vlny pro 53 kritických bodů. Tyto kritické body (KB) byly stanoveny v místech, kde je zastavěné území obce ohroženo soustředěným povrchovým odtokem z přívalových srážek. Návrhové srážky pro modelování byly zpracovány podle metodiky „Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině“ (Kavka, 2018) dostupné na <https://rain.fsv.cvut.cz/>. Doba opakování modelovaných povodňových vln pokrývá varianty 5, 20 a 100 let. V povodí KB budou v rámci studie navržena přírodě blízká protipovodňová opatření. Jejich efekt se následně posoudí zahrnutím opatření do modelů.

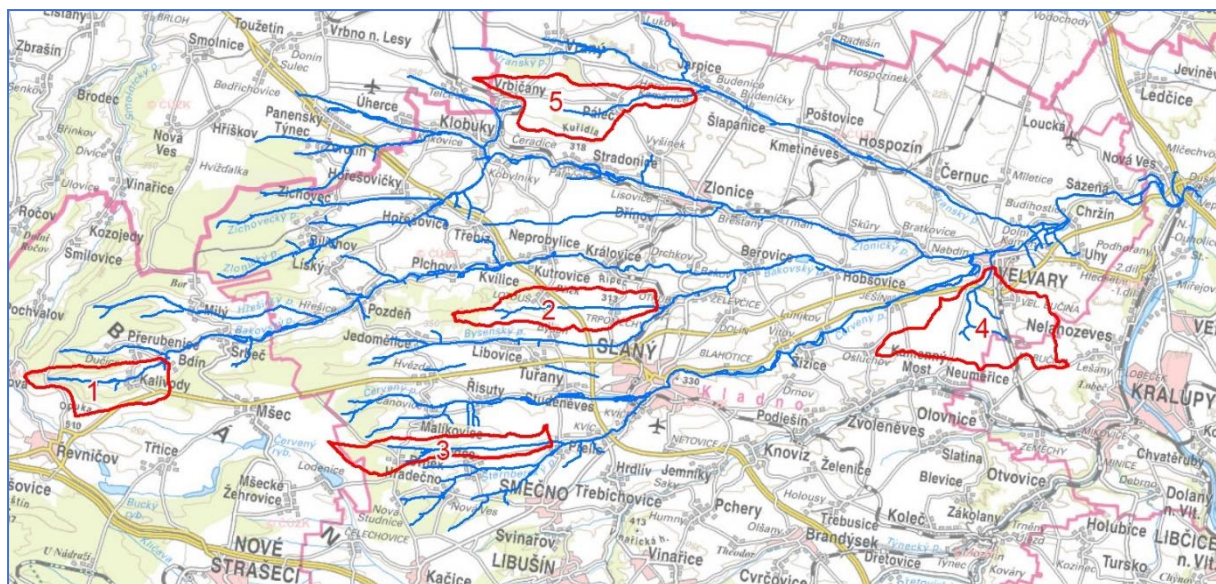
### Návrhové srážky

Do shapefilu povodí 4. řádu byly z portálu projektu vypsány hodnoty pro P5, P20 a P100. Rozdíly v rámci povodí Bakovského potoka nebyly vyhodnoceny jako zásadní, a proto je pro toto povodí navrhována jednotná návrhová srážka určená váženým průměrem vypsanych hodnot a ploch povodí 4. řádu: P5 = 30,2 mm, P20 = 40,1 mm, P100 = 52,2 mm.

Pro výběr tvaru návrhového hyetogramu bylo vyhodnoceno zastoupení hyetogramů z metodiky (A až F) v povodích 4. řádu pro srážku P20 (váženým průměrem přes plochy povodí). Jako nejčtetnější tvar hyetogramu vychází varianta F se zastoupením 32,9 %. Tento hyetogram s jedním maximem a poměrně rovnoměrným rozdělením má podle metodiky doporučené počáteční nasycení ve variantě CN3 (vyšší stupeň nasycení).

### Porovnání kulminací povodňových vln s daty ČHMÚ

Pro porovnání kulminací modelovaných povodňových vln s daty (kulminacemi) zakoupenými od ČHMÚ bylo vybráno 5 povodí, kde jsou profily obou variant blízko sebe. Blíže viz mapa (Obrázek 26) a Tabulka 11.



Obrázek 26: Vybraná povodí kritických bodů v povodí Bakovského potoka

Tabulka 11: Porovnání ploch povodí vybraných KB a ploch povodí s daty ČHMÚ, hodnoty CN3

ID	Profil	A čhmú (km <sup>2</sup> )	A nazv (km <sup>2</sup> )	A čhmú / A nazv	CN3 nazv
1	Bakovský p. - nad přítokem od Přerubenic ve Bdíně	6,26	5,06	1,24	85,7
2	Lotoušský p. - ústí do Byseňského p. v Otrubech	6,64	6,54	1,02	89,8
3	Drnecký p. - nad Šternberským p. v Přelíci	5,56	5,25	1,06	85,6
4	Svodnice - ústí do Bakovského p. ve Velvarech	11,61	10,41	1,12	89,6
5	Palečský p. - nad Vranským p. v Jarpicích	8,39	8,02	1,05	90,0

Tabulka 12: Kulminace povodňových vln podle dat ČHMÚ a podle výsledků modelů

ID	Q5 čhmú (m <sup>3</sup> /s)	Q20 čhmú (m <sup>3</sup> /s)	Q100 čhmú (m <sup>3</sup> /s)	Q5 pnazv (m <sup>3</sup> /s)	Q20 pnazv (m <sup>3</sup> /s)	Q100 pnazv (m <sup>3</sup> /s)
1	2,2	4,6	9,0	2,1	4,6	8,2
2	1,7	3,7	7,2	2,3	4,9	8,7
3	1,5	3,1	6,1	1,6	3,3	5,7
4	3,1	6,5	12,8	3,9	8,3	14,6
5	2,3	4,9	9,6	2,6	5,7	10,1

Tabulka 13: Poměr hodnot kulminací podle dat ČHMÚ a podle výsledků modelů

ID	Q5 čhmú / Q5 pnazv	Q20 čhmú / Q20 pnazv	Q100 čhmú / Q100 pnazv
1	1,04	1,00	1,10
2	x 0,72	x 0,76	0,83
3	0,94	0,94	1,07
4	x 0,79	x 0,78	0,88
5	0,88	0,86	0,95

x Mimo interval podle třídy spolehlivosti

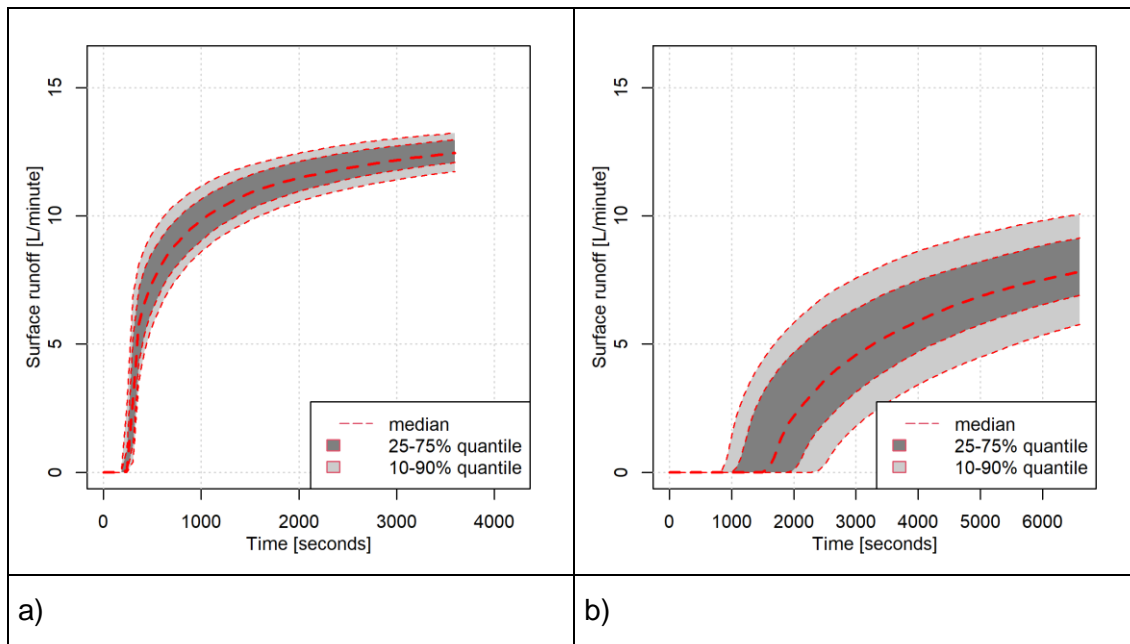
V rámci porovnání hodnot kulminací podle dat ČSN a podle výsledků modelů byly nejprve zkorigovány výsledky modelů (s návrhovými srážkami podle NAZV) podle poměrů ploch příslušných povodí, viz Tabulka 11. Hodnoty s indexem pnazv poté představují hodnoty podle podkladů NAZV – přepočtené. Hodnoty kulminací obou variant uvádí Tabulka 12. V Tabulka 13 jsou uvedeny poměry kulminací podle hodnot ČSN a podle přepočtených modelovaných hodnot se vstupními srážkami podle projektu NAZV. Data ČSN byla poskytnuta ve III. třídě přesnosti, to znamená že střední kvadratická chyba může dosahovat u Q5  $\pm 15\%$  a u Q20 a Q100  $\pm 20\%$  (ČSN 75 1400 Hydrologické údaje povrchových vod). Z 15 hodnot v tabulce jsou 4 mimo rozsah těchto tříd.

#### 1.4.5.4. SMODERP – Býkovice (zemědělské povodí)

V roce 2021 byly aktivity soustředěny na využití historických dat v měřítku elementárních odtokových ploch a modelování konkrétního pozemku pro určení rozsahu parametrů modelu před simulací celého povodí. Do řešení jsou tak zahrnuty i data pořízená před zahájením projektu a to: simulace pomocí dešťového simulátoru, data z dlouhodobého monitoringu na erozně-odtokových plochách a identifikace projevů soustředěného odtoku na ploše konkrétního pozemku.

Pro ověření relevance výsledků modelu SMODERP2D tak bylo využito celkem osm měření pomocí dešťového simulátoru, šest nejvýznamnějších odtokových událostí z dat dlouhodobého monitoringu a osm významných událostí, které předcházely zaznamenaným projevům soustředěného odtoku na leteckých snímcích.

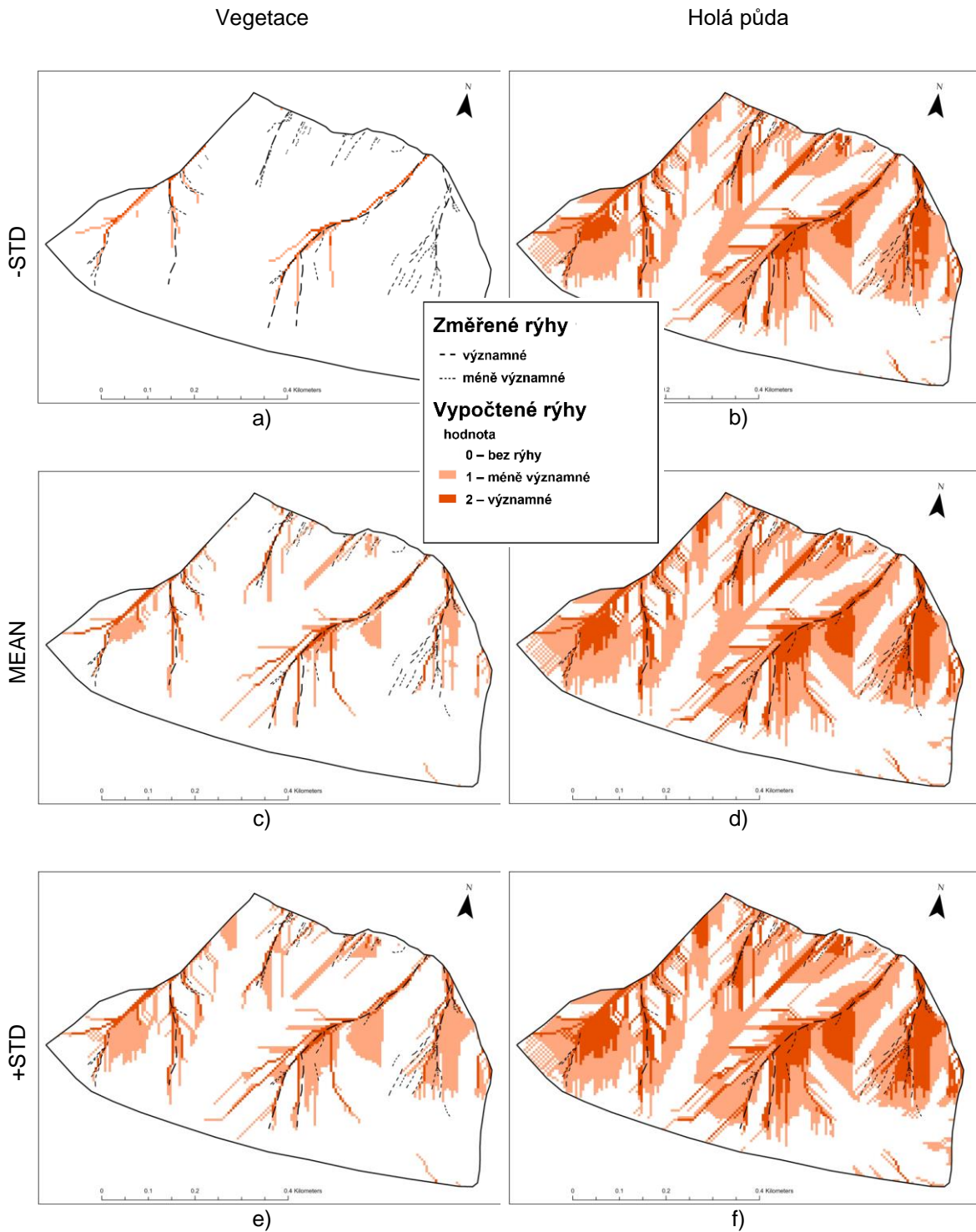
Rozptyl parametrů – citlivostní analýza modelu odvozených z dešťových simulací – je nejlépe patrný z následujícího Obrázek 27.



Obrázek 27: Citlivostní analýza modelu SMODERP – dešťové simulace a) holá půda, b) plocha s vegetací

Tyto parametry byly následně využity pro ověření zapojení výpočtu odtoku v rýhách. K dříve identifikovaným projevům soustředěného odtoku byly dohledány příčinné srážkové události a ty byly modelovány pro střední hodnoty parametrů modelu SMODERP a pro hodnoty  $\pm$  STD. Shoda mezi modelem a změřenými rýhami pak byla hodnocena shodou predikovaných a modelovaných rýh. Ukázkou je následující Obrázek 28 s vyznačenými modelovanými a změřenými rýhami rozdělenými do dvou kategorií dle významnosti.

Výsledky této analýzy budou v následujícím období dokončeny a budou součástí příspěvku v odborném periodiku.



Obrázek 28: zobrazení změřených rýh (černou čarou – významné rýhy, černou přerušovanou čarou – méně významné rýhy) a vypočtené rýhy – buňky rastru (červenou barvou významné rýhy, oranžovou barvou méně významné rýhy). a, c, e – simulace s vegetačním pokryvem, b, d, f – holá půda. V řádcích pak nastavení parametrů – STD, MEAN a +STD.

#### 1.4.5.5. SMODERP – lesní půda

Model SMODERP 2D byl odvozen primárně na zemědělských půdách. V rámci aktivity v roce 2021 byl model kalibrován a validován na lesních povodích. Zvolená kalibračně validační

metoda se soustředila na dvě sobě charakteristikami nejbližší povodí. Všechna uvažovaná povodí byla porovnána podle následujících kritérií. Detailněji je toto téma rozpracováno v DP člena řešitelského kolektivu (Kubát, 2022).

### Srovnání dle ploch půdních druhů

V Tabulka 14 jsou korelace povodí na základě těchto ploch. Z této tabulky vyplývá, že všechna povodí si jsou velmi podobná, což se týče zastoupených půdních druhů.

Tabulka 14: Korelace ploch půdních druhů v povodích (čím zelenější, tím podobnější a blíže hodnotě 1)

Povodí	Býkovice	Pstruhovec	Hruškovice	Spůlka	Černá Nisa
Býkovice	1,0				
Pstruhovec	0,98445	1,0			
Hruškovice	0,99923	0,98085	1,0		
Spůlka	0,99398	0,99761	0,99192	1,0	
Černá Nisa	0,98348	0,99998	0,97976	0,99721	1,0

### Srovnání dle průměrných hodnot nasycené hydraulické vodivosti

Dále byla povodí porovnána na základě hodnot průměrné nasycené hydraulické vodivosti ( $K_{sat}$ ) pro jednotlivé půdní druhy. Korelace jsou k nahlédnutí v Tabulka 15. Z tabulky je patrné, že nejlépe spolu korelují povodí Pstruhovec a Spůlka.

Tabulka 15: Korelace průměrných hodnot  $K_{sat}$  pro jednotlivé druhy půd v povodích (čím zelenější, tím podobnější a blíže hodnotě 1)

Povodí	Býkovice	Pstruhovec	Hruškovice	Spůlka	Černá Nisa
Býkovice	1,0				
Pstruhovec	0,10269	1,0			
Hruškovice	0,84165	-0,05236	1,0		
Spůlka	0,18015	0,98380	0,06993	1,0	
Černá Nisa	0,74564	0,39458	0,84507	0,53316	1,0

### Srovnání dle využití území

Následně byla povodí porovnána z pohledu využití území (LU – landuse). Dle korelace (Tabulka 16) jsou si povodí z pohledu LU velmi podobná až na Býkovice. Důvodem je, že v ostatních případech se jedná převážně o lesní povodí a Býkovice jsou spíše zemědělským.

Tabulka 16: Korelace ploch využití území pro jednotlivá povodí (čím zelenější, tím podobnější a blíže hodnotě 1)

Povodí	Býkovice	Pstruhovec	Hruškovice	Spůlka	Černá Nisa
Býkovice	1,0				
Pstruhovec	-0,00539	1,0			
Hruškovice	0,01945	0,99850	1,0		
Spůlka	-0,02351	0,96842	0,96897	1,0	
Černá Nisa	-0,00009	0,99737	0,99534	0,94786	1,0

### Porovnání dle sklonových poměrů

V povodích byly spočítány průměrné sklony nad modelem DMR4G v rozlišení 5 x 5 m planární metodou (Tabulka 17). V Tabulka 18 se nachází porovnání sklonů, čím blíže k hodnotě 1, tím více jsou si povodí z pohledu sklonů podobná. Z Tabulka 18 lze vyčíst, že nejpodobnější si jsou Černá Nisa a Spůlka, Černá Nisa a Pstruhovec a také Hruškovice a Býkovice. Dobře podobná jsou si Pstruhovec a Býkovice a zároveň Pstruhovec a Spůlka.

Tabulka 17: Průměrné sklony v povodích

Povodí	Sklon (%)
Býkovice	16,16
Černá Nisa	12,06
Hruškovice	18,50
Pstruhovec	9,05
Spůlka	10,74

Tabulka 18: Porovnání sklonů v povodích, poměr sklonů jednotlivých povodí (čím zelenější, tím podobnější a blíže hodnotě 1)

Povodí	Býkovice	Pstruhovec	Hruškovice	Spůlka	Černá Nisa
Býkovice	1,0				
Pstruhovec	1,34	1,0			
Hruškovice	0,87	0,65	1,0		
Spůlka	1,79	1,33	2,04	1,0	
Černá Nisa	1,50	1,12	1,72	0,84	1,0

## Vybraná povodí

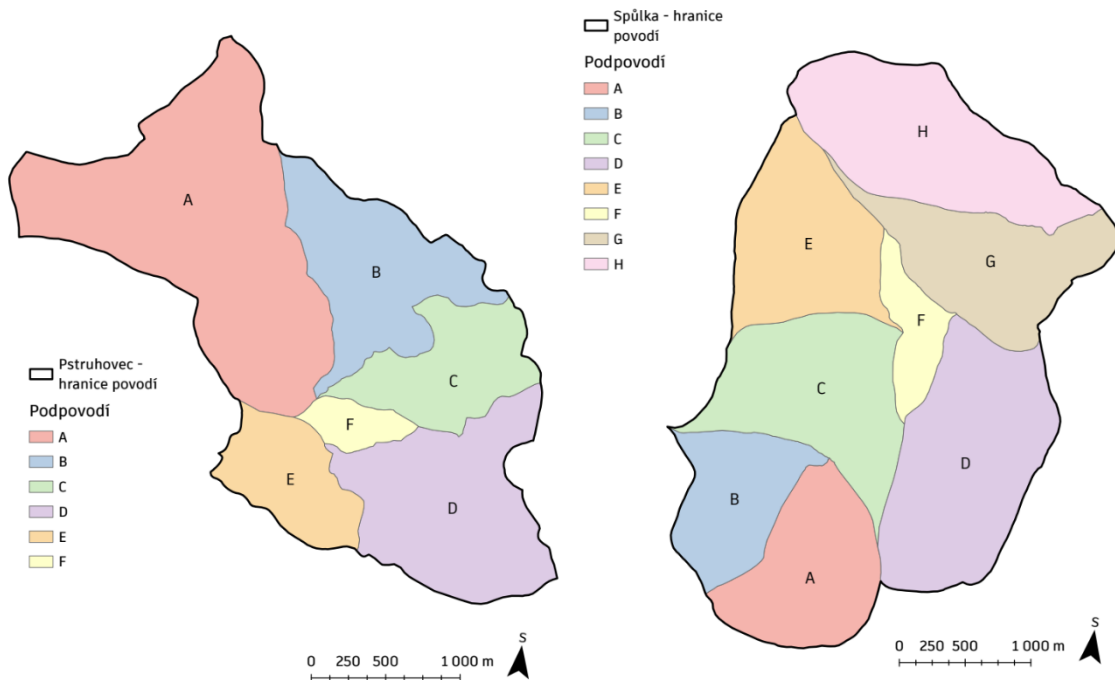
Pro předchozí srovnání bylo pro každé povodí sečteno skóre vyjadřující míru podobnosti (Tabulka 19), čím blíže je k hodnotě 3, tím více jsou si povodí podobná. Na základě tohoto skóre, s přihlédnutím k porovnání sklonů, byla vybrána povodí Pstruhovec a Spůlka.

Tabulka 19: Podobnost povodí, součet korelací (čím zelenější, tím podobnější a blíže hodnotě 3)

Povodí	Býkovice	Pstruhovec	Hruškovice	Spůlka	Černá Nisa
Býkovice	3,0				
Pstruhovec	1,08	3,0			
Hruškovice	1,86	1,93	3,0		
Spůlka	1,15	2,95	2,03	3,0	
Černá Nisa	1,73	2,39	2,82	2,48	3,0



Simulované reálné odtokové odezvy, které jsou způsobeny reálným srážkami ve sledovaných profilech výrazně prodlužují výpočetní čas. Pro ověření funkčnosti modelu bylo přistoupeno k výběru reprezentativních podpovodí (Obrázek 29).



Obrázek 29: Rozdělení povodí Pstruhovec (vlevo) a Spůlka (vpravo) na podpovodí

V povodí Pstruhovec bylo vybráno podpovodí C, kde se výpočetní časy pohybovaly v desítkách hodin, a další simulace probíhaly na tomto podpovodí. Aby bylo možné provést porovnání s povodím Spůlka, bylo zvoleno pro simulace podpovodí A.

## Výsledky

Celkově proběhlo přes 510 unikátních simulací, včetně testovacích anebo přerušených. Většina simulací proběhla pro podpovodí Pstruhovec C a Spůlka A (cca 320 simulací).

Z těchto simulací byly výsledné takové scénáře, jejichž modelované hydrogramy byly podobné modifikovaným pozorovaným hydrogramům. Změny charakteristik vodních toků měly jen minimální vliv na testování. Byl změněn pouze Manningův koeficient drsnosti a pro všechny simulace byly charakteristiky toků totožné.

Pro výsledné charakteristiky modelu jednotlivých podpovodí byly provedeny simulace v duchu Proxy-basin testu. Konečným výsledkem jsou dvě sady parametrů, které vznikly během simulací na podpovodí Pstruhovec C (SoilVeg v010g a SoilVeg v014f) a s dostatečnou mírou přesnosti byly validovány Proxy-basin testem na podpovodí Spůlka A. Sada parametrů označovaná jako „v010g“ je vhodné použít v případě nenasycených podmínek. sada parametrů označovaná „v014f“ popisuje možný stav při nasycení předešlou srážko-odtokovou událostí.

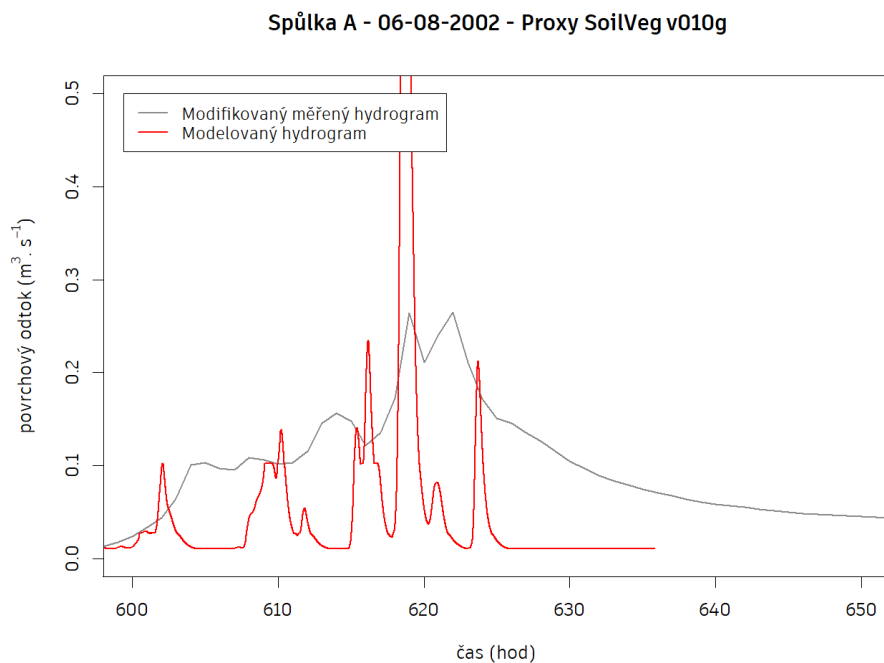
Ukázka řešení na vybrané změřené události je zobrazena na Obrázek 30.

Tabulka 20: Sada parametrů pro SoilVeg tabulku v010g

Druh půdy	k (m.s <sup>-1</sup> )	s (m.s <sup>-1/2</sup> )	b (-)	x (-)	y (-)	τ (Pa)	v (m.s <sup>-1</sup> )
Hlína	4,47E-07	2,58E-04	1,74	10,08	0,56	10,79	0,25
Písčitá hlína	8,81E-07	1,60E-04	1,79	9,20	0,46	10,66	0,25
Hlinitý písek	1,20E-06	6,50E-05	1,82	8,81	0,37	10,66	0,25
Bez půdy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	3,00

Tabulka 21: Sada parametrů pro SoilVeg tabulku v014f

Druh půdy	k (m.s <sup>-1</sup> )	s (m.s <sup>-1/2</sup> )	b (-)	x (-)	y (-)	τ (Pa)	v (m.s <sup>-1</sup> )
Hlína	4,47E-07	7,23E-04	1,74	10,08	0,56	10,79	0,25
Písčitá hlína	8,81E-07	4,48E-04	1,79	9,20	0,46	10,66	0,25
Hlinitý písek	1,20E-06	1,82E-04	1,82	8,81	0,37	10,66	0,25
Bez půdy	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	3,00



Obrázek 30: Přibližné zobrazení hydrogramů Proxy-basin testu podpovodí Spůlka A pro epizodu 06082002 SoilVeg tabulky 010g

## Závěr

Z výsledků plyne, že v lesních povodích je značná redistribuce srážkové epizody mezi jednotlivé odtokové procesy. Jelikož model obsahuje popis pouze rychlého povrchového odtoku, nebylo možné dosáhnout roztažení modelovaného hydrogramu, protože k zploštění dochází vlivem proudění vody pod povrchem.

Během simulací byl model velmi citlivý na maximální srážkový úhrn, což odráží nedostatečnost Philipovy infiltrační rutiny a simulaci pouze rychlého povrchového odtoku pro použití na lesních povodích. Dále sorptivita, která výrazně ovlivňuje chování modelu, je nejistým parametrem a je potřeba provést měření pro ověření její hodnoty. Během simulací bylo zjištěno, že změnou sorptivity je možné částečně popisovat stav nasycení modelovaného povodí. V případě použití modelu SMODERP2D by měl být kladen důraz na správné uplatnění sorptivity a vhodně ji měnit, pokud chceme reflektovat předchozí nasycenost povodí. Jestliže modelujeme nasycené povodí, tak je potřeba hodnotu sorptivity zmenšit a naopak, pokud modelujeme nenasycené povodí.

### 1.4.5.6. MIKE-SHE

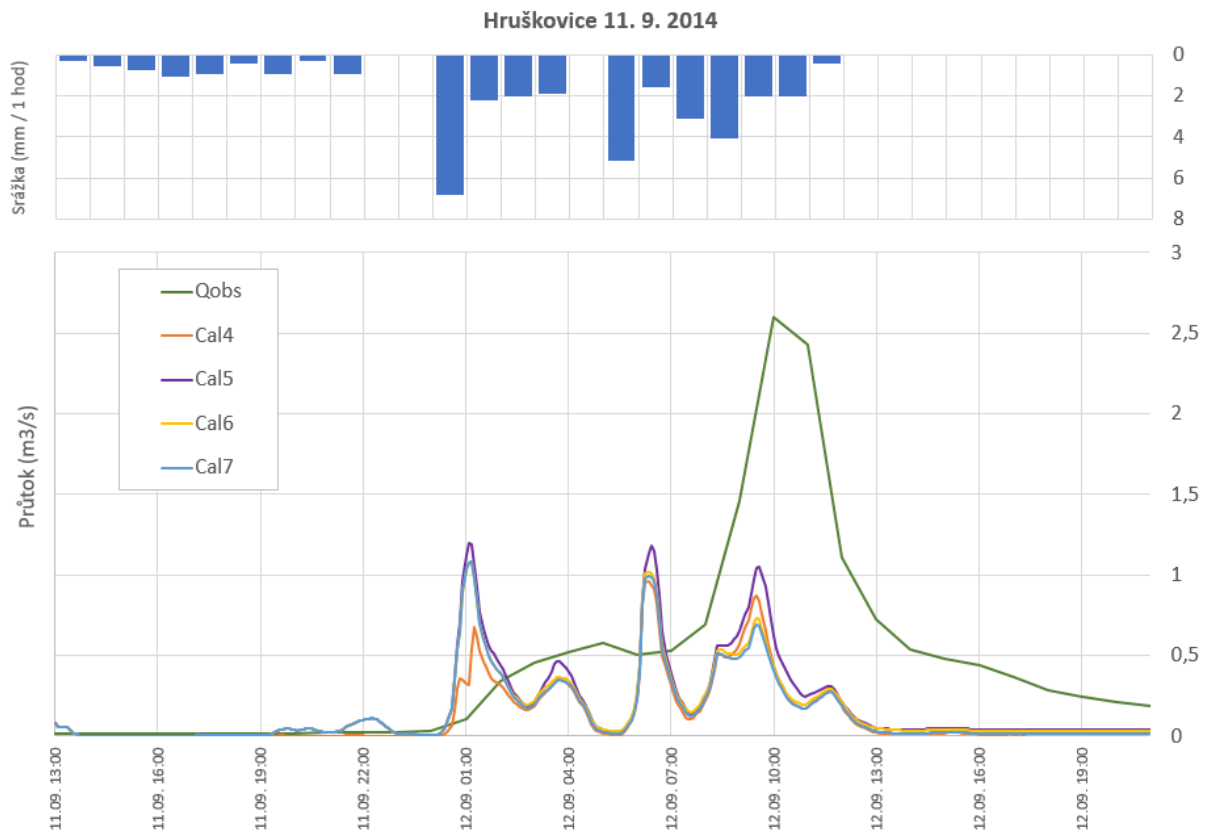
V roce 2021 pokračovaly aktivity hydrologického modelování fyzikálním přístupem v proprietárním modelu Mike-SHE. V předchozím roce řešení byl sestaven model povodí Hruškovice (k profilu Osvětimany) a provedeny dvě zkušební kalibrace na dvou z pěti zaznamenaných významnějších srážko-odtokových událostí, jejich hlavní charakteristiky uvádí Tabulka 22. První z událostí se ukázala jako nevhodná k modelování kvůli své nízké vydatnosti srážky (12 mm) a době opakování. Druhý test na události z roku 2014 poukázal na potřebu pečlivé revize hodnot povrchové retence, povrchových drsností a půdních infiltračních charakteristik.

Tabulka 22: Významné srážko-odtokové události v profilu Hruškovice – Osvětimany

Datum kulminace	Max. vodočet (cm)	Kulm. průtok (m <sup>3</sup> /s)	Doba opakování (roky)
26. 6. 2006 21:00	54	0,541	1-2
2. 6. 2010 9:00	146	4,81	10-20
13. 6. 2012 00:15	NA	1,535	2-5
12. 9. 2014 11:00	123	3,19	5-10
31. 7. 2016 18:50	NA	1,55	2-5

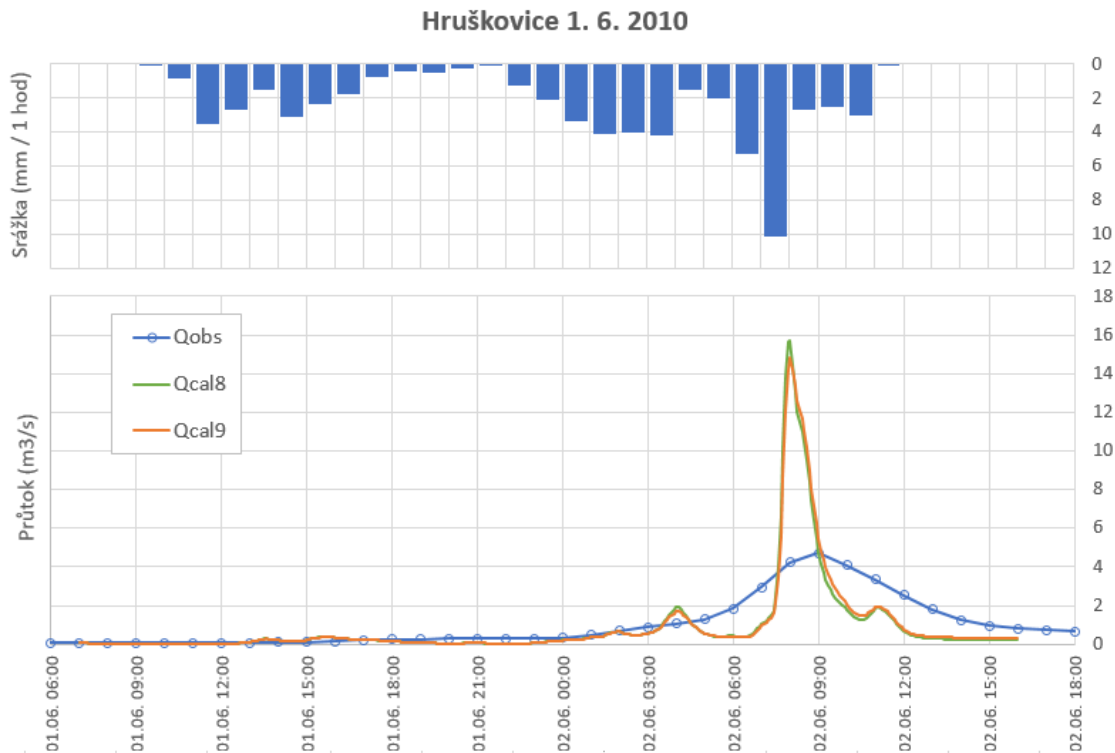
V rámci řešení v roce 2022 bylo navázáno na existující model a provedeny další simulace události z roku 2014. Oproti původnímu nastavení (scénář cal\_4) byly uvažovány poloviční hodnoty povrchové retence (scénář cal\_5-7). V prvních testech byly půdní infiltrační charakteristiky přiřazeny na základě zrnitosti půd orientačně odhadnuté podle příslušnosti k HSP dle Vopravila (2018). Ve dvou scénářích (cal 6-7) byly zrnitosti převzaty z nové mapy zrnitostí vytvořené metodami digitálního mapování v rámci projektu TJ0200234 v roce 2021.

Parametry pro infiltrační rutinu byly v obou případech přežaty z evropského projektu EU-HYDI (Tóth, 2015), přičemž scénáře cal\_6 a cal\_7 se lišily pouze různým sacím tlakem na čele zvlhčení. Simulované odtokové vlny jsou zobrazeny na Obrázek 31. Oproti původnímu scénáři cal\_4 je patrný mírný nárůst celkového simulovaného objemu odtoku, stále však model značně podhodnocuje pozorování. Vícevrcholový charakter odtokové odezvy pak naznačuje, že model generuje odtok jen z menší (méně propustné) části povodí a celkově nedokáže reprodukovat charakter pozorované odtokové vlny. Půdní charakteristiky přiřazené na základě nově zmapovaných zrnitostí jsou mírně propustnější, ale v celkovém měřítku nehrají roli, totéž platí pro změnu sacích tlaků v metodě Green&Ampt.



Obrázek 31: Výstupy simulací srážko-odtokové události z 11. 9. 2014 v povodí Hruškovice

Při dalším testování modelu byla simulována událost s nejvyšší zaznamenanou kulminací z roku 2010. Scénáře cal\_8 i cal\_9 využily méně propustné odhady infiltračních parametrů na základě vrstvy HSP dle Vopravila (2018), poslední ze scénářů pak testoval vliv vyšší povrchové drsnosti pro zpomalení povrchového odtoku. Výsledky simulací jsou zobrazeny na Obrázek 32. Překvapivě změna povrchové drsnosti nevedla k významným rozdílům v časování odtokové vlny. Objem odtoku u této události sice poměrně dobře souhlasí s pozorováním (85 %), ovšem charakter odtokové vlny a její kulminace se s pozorováním značně mýlí.



Obrázek 32: výstupy simulací srážko-odtokové události z 1.-2. 6. 2010 v povodí Hruškovice

Nízká shoda simulací s pozorovanými průběhy odtoků naznačují nesoulad mezi předpokladem modelu o formování odtoku metodou překonání infiltrační kapacity (tzv. *infiltration excess*) a převážně hypodermickým charakterem odtoku zejména v zalesněných částech povodí. V příštím roce řešení tak bude hlavním úkolem fyzikálně založeného hydrologického modelování verifikovat model Mike-SHE na povodí s více zemědělským a urbanizovaným charakterem (např. Dobřešovický potok) a dále prověřit kalibrovatelnost modelu pomocí změny infiltračních charakteristik (propustnosti, počáteční nasycení).

#### 1.4.6. 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 přístupováno 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.

## 2. Výsledky projektu

V návrhu projektu je slíbeno celkem patnáct závazných výsledků. Publikaci průběhu řešení a výsledkům projektu jsou věnovány odborné články. Z toho jsou dva příspěvky v kategorii *Imp* a tři v kategorii *Jost*. Aplikačními výsledky je metodika využití návrhových srážek pro hydrologické modelování návrhů opatření v ploše povodí, dále pak dvě certifikované mapy a software, který bude umožňovat přístup k datům návrhových srážek. Nad rámec řešení bylo

publikováno několik dalších výsledků. Publikovaný článek v kategorii Jimp na téma malých zdrojových povodí byl plánován v kategorii Jost, ale byl publikován ve vyšší kategorii Jimp.

V době odevzdání této průběžné zprávy je v rámci projektu publikován následující seznam publikací a dalších výsledků ve vztahu k řešenému projektu dle kategorie RIV. Dva další příspěvky z kategorie Jost/Jimp jsou v pokročilé fázi recenzního řízení.

Citace příspěvku	Kategorie
Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M., Zacharov, P., 2019. Radar-derived climatology of precipitation intensities in Czechia: improvement due to daily totals from rain gauges. International Conference on Radar Meteorology, 16-20 September, Nara, Japan.	O
Crhová, L., Kliegrová, S., 2019. Analysis of precipitation intensity in the Czech Republic - past and present. 14th International Meeting on Statistical Climatology, 24-28 June, Toulouse, France. Poster	O
Kašpar M., Bližňák V., Hulec F., Müller M., 2019: Spatial analysis of sub-daily rainfall time structure variability. International Precipitation Conference, 19-21 June, Irvine, U.S.A.	O
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.	Jimp
Kašpar, M., Bližňák, V., Hulec, F., Müller, M., 2021: Prostorová variabilita průběhů subdenních srážek v ČR. Výroční seminář ČmeS, 21.-23. září, Louny.	O
Kavka, P.; Neumann, M.; Novák, P.; Zadešřovací hlava dešťového simulátoru; Czech Republic. Utility Model CZ 34224. 2020-07-21.	Fuzit
Kavka, P.; Neumann, M.; Swinging-Pulse Sprinkling Head for Rain Simulators; Hydrology. 2021, 2(8), ISSN 2306-5338.	Jimp
Kavka, P.; Strouhal, L.; Cajthaml, J.; Definition of Headwater Catchment Boundaries; In: ICC 2021 - IEEE International Conference on Communications. New York: IEEE, 2021. ISSN 1550-3607. ISBN 978-1-7281-7122-7.	O
Kavka, P.; Strouhal, L.; Weyskrabová, L.; Landa, M.; Müller, M.; Návrhové krátkodobé srážky pro vodohospodářské stavby v krajině; Pozemkové úpravy. 2019, 27(2), 11-16. ISSN 1214-5815.	Jost
Kavka, P.; Spatial Delimitation of Small Headwater Catchments and Their Classification in Terms of Runoff Risks; Water. 2021, 2021(13(23)), ISSN 2073-4441.	Jimp
Landa, M.; Jeřábek, J.; Kavka, P.; Jáchymová, B.; Could be hydrological model parameters inferred from a soil texture?; In: EGU General Assembly 2019. Vienna: European Geosciences Union, 2019. vol. vol. 21. ISSN 1607-7962.	O
Landa, M.; Jeřábek, J.; Pešek, O.; Kavka, P.; SMODERP2D SOIL EROSION MODEL ENTERING AN OPEN SOURCE ERA WITH GPU-BASED PARALLELIZATION; In: The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Göttingen: Copernicus GmbH (Copernicus Publications, 2019. p. 143-149. ISSN 1682-1750.	O
Neumann, M.; Kavka, P.; Devátý, J.; Strouhal, L.; Tejkl, A.; Stašek, J.; Rodrigo-Comino, J.; Rainfall simulation experiments in vineyards comparing two different plot scales; In: EGU General Assembly 2021. Göttingen: Copernicus Publications, 2021.	O
Neumann, M.; Kavka, P.; Laburda, T.; Tejkl, A.; Swiping/pulse portable nozzle rainfall simulator; In: EGU General Assembly 2020. Göttingen: Copernicus Publications, 2020.	O
Valeriánová, A., Crhová, L., 2019. Sub-daily precipitation intensity: Comparison of statistics based on regular measurement and running time intervals. EMS Annual Meeting 2019, 9-13 September, Copenhagen, Denmark. poster	O

### 3. Využití nákladů za jednotlivé příjemce

PRO PUBLIKACI NA WEBU ODSTRANĚNO

## 4. Uskutečněné zahraniční cesty

PRO PUBLIKACI NA WEBU ODSTRANĚNO

## 5. Řešitelský tým

### ČHMÚ

Složení řešitelského týmu ČHMÚ v roce 2021 bylo shodné s plánem dle návrhu projektu, Některým členům týmu (S, Kliegrová a M, Pecha) byly však sníženy plánované úvazky oproti návrhu z 0,2 na 0,1, a to z důvodu celkového zvýšení potřebných mzdových nákladů oproti době plánování projektu, Dle plánu nebyl v roce 2021 oproti minulým rokům do řešení projektu již zapojen Ing, Pavel Lipina,

### ÚFA

Složení řešitelského týmu ÚFA AV ČR, v. v. i. a výše jednotlivých pracovních úvazků se v roce 2021 oproti roku 2020 nezměnily. V následujícím roce opustí tým RNDr. Petr Zacharov, Ph.D. Výše úvazků ostatních členů týmu zůstane nezměněna. Reagujeme tak na snížení celkového úvazku v souladu s návrhem projektu a na odbornou náplň plánovaných aktivit v posledním roce řešení.

### ČVUT

Na pracovišti ČVUT v Praze se na řešení projektu podíleli pracovníci jak z Katedry hydromeliiorací a krajinného inženýrství, tak z Katedry geomatiky. Klíčové osoby ve složení Kavka, Cajthaml, Strouhal, Neumann, Kubínová. Dále byl stejně jako v roce 2020 zapojen 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. Po návratu z mateřské dovolené byla do týmu zapojena opět Lenka Weyskrabová. Formou OON byla do týmu zapojena Rulfová Zuzana pro zpracování satelitních dat reanalýz a družicových vlhkostních dat.

### Sweco Hydroprojekt, a,s,

Za společnost Sweco Hydroprojekt a.s. se na řešení projektu podíleli pouze kmenoví zaměstnanci. Kromě klíčových osob ve složení Martin Pavel, Martin Stehlík a Libor Sychra se na projektu dále podíleli na pozicích technických pracovníků (další osoby podílející se na řešení) Ing. Lucie Brožová, Ing. Jiří Bohůnek a Ing. Jaroslav Blažek.

## 6. Plánované aktivity na 2022

Rok 2022 je posledním rokem řešení projektu. V toto roce budou aktivity zaměřeny především na syntézu výsledků dílčích úkolů, zejména stavu nasycení a vazby na potenciální hydrologickou odezvu s ohledem na aplikaci poznatků do inženýrské praxe a navrhování vodohospodářských opatření v ploše povodí.

Dále pak budou aktivity zaměřeny na publikaci výsledků a seznámení odborné veřejnosti se závěry projektu. Na podzim 2022 je proto plánovaná konference představující závěry projektu a jejich implementaci do navrhování opatření v povodí ve vazbě na pozemkové úpravy. Konference je součástí plánu akcí Středočeské pobočky ČMKPÚ. Dále jsou v rámci projektu plánované příspěvky jako do českých tak mezinárodních periodik.

Poslední součástí je příprava metodiky navrhování. Ta by měla navazovat a nahradit stávající metodiku „*Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině*“. Součástí bude i publikace výstupů a zpřístupnění srážkových dat pro hydrologické modelování formou webových služeb.

Plánované aktivity jsou rozděleny následovně:

- A2201 Finalizace návrhových intenzit krátkodobých srážek
- A2202 Nasycenost povodí před návrhovými srážkami
- A2203 Experimentální měření a hydrologické modelování
- A2204 Publikace výsledků projektu a seznamování odborné veřejnosti se závěry projektu

### 6.1. A2201 – Finalizace návrhových intenzit krátkodobých srážek

Činnosti spojené s aktivitou A2201 budou probíhat ve spolupráci ÚFA a ČHMÚ. V souladu s návrhem projektu budou stanoveny finální odhady ročních, příp. měsíčních (květen až září) návrhových úhrnů srážek na území ČR s vysokým prostorovým rozlišením (1 km) a pro vybrané subdenní délky akumulace (30 min. až 24 hod.), příp. 6 průběhů 6 hod. srážkových intenzit. V závislosti na dostupnosti kvalitních staničních dat budou odhady stanoveny s využitím propojení adjustovaných radarových dat a vybraných staničních měření, kde budou vedle pokročilých a v průběhu projektu ověřených metod regionální frekvenční analýzy založených na tzv. metodě oblasti vlivu aplikovány i nově testované metody založené na prostorové interpolaci diferencí.

### 6.2. A2202 – Nasycenost povodí před návrhovými srážkami

V rámci aktivity A2202 budou zpracovány regresní modely mezi blokovými maximy subdenních intenzit srážek, příp. jejich N-letostmi, a relativními hodnotami indexů vyjadřujících množství předchozích srážek. Kromě ročních maxim budou analyzovány i případné rozdíly uvedeného vztahu napříč bezmrazovým obdobím. Z adjustovaných radarových dat budou dále vyjádřeny vztahy mezi průběhem šestihodinového srážkového maxima a velikostí předchozích srážek, což umožní lépe specifikovat míru rizika výskytu silně koncentrovaných srážek do nadnormálně nasyceného povodí.

I když základem nasycenosti před návrhovými srážkami budou data pozemních radarů pro verifikaci bude cílem využít data vlhkostí získaných z družicových dat a reanalýz po ověření jejich relevance s pozemními měřeními.

### 6.3. A2203 – Experimentální měření a hydrologické modelování

Aktivity v rámci projektu budou zaměřeny zejména na citlivostní analýzu parametrů modelů. U metody CN, která je považována za základní metody při odvozování odtokových charakteristik z malých povodí, bude cílem dokončit a porovnat parametry modelu pro



jednotlivá povodí a pro jednotlivé zaznamenané významné odtokové události. Ke stávajícím scénářům bude připraven scénář vycházející z resimulace nasycenosti území České republiky v denním kroku od roku cca 2009, kdy již byla aplikace FFI v testovacím provozu. Budou tak modelovány scénáře využívající hodnot CN z aplikace FFI. Srážkoodtokovým modelem HEC-HMS (pomocí metody SCS-CN a testovaných typů hydrogramů) budou namodelovány zbývající scénáře. Ve všech povodích, s výjimkou povodí Černé Nisy, které je díky své velikosti a charakteru uvažováno pouze jako celistvé, budou namodelovány scénáře pro celistvou a pro distribuovanou variantu povodí. Následně budou všechny simulace porovnávány s naměřeným průtokem během vybraných epizod v závěrových profilech vybraných malých povodích. Dále pak bude aktivita směřovat k odhadu variability a vlivu konkrétních parametrů na celkovou odezvu modelu, především ve vazbě na počáteční podmínky modelovaných situací.

Na povodích budou také modelovány syntetické návrhové srážky pro zjištění porovnání jejich odezvy s měřenými daty.

V případě fyzikálních modelů je směr aktivit podobný. S tím rozdílem, že do popisu variability budou vstupovat konkrétní fyzikálně založené veličiny.

Hlavním cílem testování modelů bude zúžení počtu modelovaných scénářů pro návrhovou praxi pro dané typy konstrukcí a určení konkrétních tvarů návrhových srážek s určitou dobou opakování a stavem nasycení, a to jako pro metodu CN, tak pro fyzikálně založené modely.

#### 6.4. A2204 – Publikace výsledků projektu a seznamování odborné veřejnosti se závěry projektu

Tato aktivita je zaměřena na publikaci výsledků a závěrů projektu. Bude se jednat zejména o uspořádání konference, kde bude odborná veřejnost seznámena s výsledky projektu. Představena bude teoretická část v rovině návrhových srážek a jejich odvození, ale i aplikace výsledků do konkrétních návrhů. Příprava konference byla zahájena již v roce 2021 a je podporována ČMKPÚ. Předpokládaný termín konání je polovina října 2022.

Z hlediska aplikace výsledků do praxe je plánována certifikovaná metodika, která by měla nahradit stávající metodiku „Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině“ (Kavka, 2018).

Prostorová výsledná data návrhových srážek a malých povodí budou poskytována formou certifikovaných map. Dostupnost dat bude zajištěna formou webových služeb pomocí plánovaného inovativního SW.

Odborná vědeckovýzkumná komunita pak bude nadále seznamována s výsledky projektu formou příspěvků na odborných konferencích a v odborných časopisech dle plánu jednotlivých zapojených pracovišť.

#### 6.5. Plánované náklady na rok 2022

PRO PUBLIKACI NA WEBU ODSTRANĚNO

## 7. Literatura

### 7.1. Seznam použité literatury

Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M., 2018. Radar-based summer precipitation climatology of the Czech Republic. *Int. J. Climatol*, 38, 677–691.

Janderková, J. et al. (2000). *Systém komplexního hodnocení půd*. Brno: AOPK ČR, p. 96.

Janeček Miloslav. (1992). *Ochrana zemědělské půdy před erozí : Realizační výstup st. úkolu P 06-329-813-06 "Intenzifikace využití půdy na svazích protierozními opatřeními"* (1. vyd.). Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství.

Janeček, M., Bečvář, M., Bohuslávka, J., Dufková, J., Dumbrovský, M., Dostál, T., Hůla, J., Jakubíková, A., Kadlec, V., Krása, J., Kubátová, E., Novotný, I., Podhrázká, J., Tippl, M., Toman, F., Vopravil, J., & Vrána, K. (2007). *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika* (p. 76). Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy.

Janeček, M. (2012). *Ochrana zemědělské půdy před erozí- - Metodika*. Česká zemědělská univerzita Praha.

Kavka, P., Müller, M., Strouhal, L., Kašpar, M., Bližňák, V., Landa, M., Weyskrabová, L., Pavel M., & Dostál, T. (2018). *Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině*. ČVUT v Praze. <http://rain.fsv.cvut.cz>

Kavka, P.; Neumann, M., Swinging-Pulse Sprinkling Head for, Rain Simulators. *Hydrology* 2021, 8, 74., <https://doi.org/10.3390/hydrology8020074>

Kubát, J.-F.; SMODERP 2D – analýza vlivu vstupních dat na hydrologickou odezvu. Praha 2022. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Petr Kavka, Ph. D.

Kulasová, B., Šercl, P., & Boháč, M. (2004). Verifikace metod odvození hydrologických podkladů pro posuzování bezpečnosti vodních děl za povodní. In *ČHMÚ: Vol. VaV QD1368*.

Kuráž, V., & Váška J. (1998). Metodika hodnocení nevýrobních ekologických funkcí půdy. *ENVIRO NITRA 1998*, 130–134.

Macků, J. (2012). Problematika stanovení hydrologických skupin půd v lesích. *Krajinné Inženýrství 2012*, 15–22.

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

USDA NRSC. (2009). *National Engineering Handbook. Part 630 Hydrology*.

Strouhal, L., Beitlerová, H., Kavka, P., Žížala, D., & Bosáková, S. (2020). *Odborná zpráva projektu TJ02000234 za rok 2019*.

Šercl, P. (2005). Vývoj metod predikce stavů sucha a povodňových situací na základě infiltračních a retenčních vlastností půdního pokryvu ČR – Metoda CN-křivek. Průběžná zpráva za ČHMÚ Praha pro projekt VaV 1D/1/5/05.

Tomášek, M. (2002). Hydrogeologická charakteristika půdotvorných substrátů ČR. Podkladová mapa k řešení projektu. Archiv VÚMOP.

Tóth, B., Weynants, M., Nemes, A., Makó, A., Bilas, G., & Tóth, G. (2015). New generation of hydraulic pedotransfer functions for Europe. *European Journal of Soil Science*, 66(1), 226–238. <https://doi.org/10.1111/ejss.12192>

Vopravil, J., Holubík, O., Huislová, P., Khel, T., Matoušková, Š., Petera, M., & Řeháček, D. (2018). Optimalizace využívání zemědělské půdy z pohledu podpory infiltrace a retence vody s dopady na predikci sucha a povodní v podmínkách České republiky. *Závěrečná Zpráva Projektu NAZV QJ152026*, 60.

## 7.2. Seznam publikací v souvislosti s dosavadním řešením projektu

Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M., Zacharov, P., 2019. Radar-derived climatology of precipitation intensities in Czechia: improvement due to daily totals from rain gauges. *International Conference on Radar Meteorology*, 16-20 September, Nara, Japan.

Crhová, L., Kliegrová, S., Valeriánová, A., 2022. Měření srážkových intenzit na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a průběh jejich zpracování. *Meteorologické zprávy (v recenzním řízení)*.

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.

Kašpar, M., Bližňák, V., Hulec, F., Müller, M., 2021. Prostorová variabilita průběhů subdenních srážek v ČR. *Výroční seminář ČmeS*, 21.-23. září, Louny.

Kašpar M., Bližňák V., Hulec F., Müller M., 2019: Spatial analysis of sub-daily rainfall time structure variability. *International Precipitation Conference*, 19-21 June, Irvine, U.S.A.

Kavka, P.; Spatial Delimitation of Small Headwater Catchments and Their Classification in Terms of Runoff Risks; *Water*. 2021, 2021(13(23)), ISSN 2073-4441.

Kavka, P.; Strouhal, L.; Cajthaml, J.; Definition of Headwater Catchment Boundaries; In: *ICC 2021 - IEEE International Conference on Communications*. New York: IEEE, 2021. ISSN 1550-3607. ISBN 978-1-7281-7122-7.

Kubát, J.-F.; SMODERP 2D – analýza vlivu vstupních dat na hydrologickou odezvu. Praha 2022. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. Vedoucí práce Ing. Petr Kavka, Ph. D.

Neumann, M.; Kavka, P.; Devátý, J.; Strouhal, L.; Tejkl, A.; Stašek, J.; Rodrigo-Comino, J.; Rainfall simulation experiments in vineyards comparing two different plot scales; In: *EGU General Assembly 2021*. Göttingen: Copernicus Publications, 2021.

Strouhal, L.; Kavka P. Hydrologické skupiny půd – rozevřené nůžky hydrologických výpočtů. *Vodní hospodářství*. 2022 (v tisku).