

Redakčně upravená závěrečná zpráva projektu QJ1520265

Číslo projektu: QJ1520265

**Název projektu: Vliv variability krátkodobých srážek a následného odtoku v malých povodích České republiky na hospodaření s vodou v krajině**

Téma: Udržitelný rozvoj lesního a vodního hospodářství a ostatních oblastí zemědělství

Priorita: Stanovit možnosti zvýšení retence a akumulace povrchových a podzemních vod v povodí na základě analýzy generování rychlé složky odtoku povrchových a podzemních vod

Doba řešení: 1.4.2015 - 31.12.2017  
Odpovědný řešitel: Ing. Petr Kavka, Ph.D.  
Příjemce koordinátor: ČVUT v Praze ( PK ) 68407700

Číslo smlouvy: 7009/2015-MZE-17012  
Číslo jednací: 115-2015-17012

Odpovědný řešitel: Ing. Petr Kavka, Ph.D.

.....  
Praha, Leden 2018

# 1. Osnova zprávy a její součásti

|        |  |           |
|--------|--|-----------|
| 1.     | Osnova zprávy a její součásti.....   | 2         |
| 2.     | Organizace účastníci se řešení .....   | 3         |
| 3.     | Řešitelský tým .....   | 3         |
| 4.     | Cíle projektu.....   | 4         |
| 5.     | Náklady za projekt celkem .....  | 5         |
| 6.     | Zhodnocení průběhu řešení .....  | 5         |
| 6.1.   | <i>Zhodnocení průběhu prací za rok 2017 .....</i>  | <i>5</i>  |
| 6.2.   | <i>Aktivita řešené v roce 2017.....</i>  | <i>7</i>  |
| 6.2.1. | <i>A1701 – Metodika (C001) .....</i>   | <i>8</i>  |
| 6.2.2. | <i>A1702 – Uspořádání konference (C001) .....</i>  | <i>10</i> |
| 6.2.3. | <i>A1703 - Optimalizace mapových serverů a tvorba mapových výstupů projektu (C002).....</i>                            | <i>11</i> |
| 6.2.5. | <i>A1705 - Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení jednotlivých typových povodí (C006) .....</i> | <i>18</i> |
| 6.2.6. | <i>A1706 - Vliv na vodohospodářské stavby (C007) .....</i>   | <i>23</i> |
| 6.2.7. | <i>A1707 - Analýza vlivu rozdělení srážky ve vybraných hydrologických modelech (C005) .....</i>                        | <i>37</i> |
| 6.2.8. | <i>A1708- Měření v terénu (C008) .....</i>   | <i>53</i> |
| 6.3.   | <i>Celkové zhodnocení průběhu řešení a postupu prací.....</i>  | <i>56</i> |
|        | Literatura .....   | 59        |
| 7.     | Dosažené výsledky.....   | 61        |
| 8.     | Popis uplatnění výsledků.....  | 63        |

## 2. Organizace účastníků se řešením

|                      |  |
|----------------------|--|
| Příjemce koordinátor | České vysoké učení technické v Praze   |
| Příjemce             | Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. |
| Další účastník       | Sweco Hydroprojekt a.s.                |

## 3. Řešitelský tým

### Řešitelský tým

České vysoké učení technické v Praze

Ing. Petr Kavka, Ph.D. - odpovědný řešitel

doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál

doc. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.

Ing. Luděk Strouhal

Ing. Martin Landa, Ph.D.

Ing. Tomáš Janata, Ph.D.

Ing. Lenka Weyskrabová

Ing. Martin Neumann

Ing. David Zumr, Ph.D.

Ing. Jakub Jeřábek

Bc. Karel Vlasák

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

RNDr. Miloslav Müller, Ph.D. - řešitel

RNDr. Marek Kašpar, Ph.D.

RNDr. Vojtěch Bližňák, Ph.D.

Mgr. Blanka Gvoždíková

Mgr. Kateřina Skripniková, Ph.D.

Sweco Hydroprojekt a.s.

Ing. Martin Pavel - další řešitel

Ing. Libuše Kudrnová

Ing. Miroslav Lubas

Ing. Petr Kožant

## 4. Cíle projektu

Celkový rámec a hlavní cíl projektu bylo zpracování návrhových krátkodobých dešťů pro potřeby hydrologického či erozního modelování. Tyto krátkodobé deště pak zhodnotit právě z hlediska využitelnosti v kontextu inženýrského návrhu opatření v ploše povodí sloužící k podpoře retence, akumulace vody v povodí a nakládání s povrchovými vodami v malých povodích. Projekt byl rozčleněn do osmi dílčích cílů, které jsou uvedeny v následující Tabulce 1. Dílčí cíl C003 byl dokončen v předchozím roce řešení.

Tabulka 1: Dílčí cíle projektu QJ1520265.

| Identifikace | Název dílčího cíle  |
|--------------|---|
| C001         | Vytvoření metodiky využití návrhových krátkodobých dešťů pro hydrologické a erozní modely při navrhování opatření pro retenci a odvádění povrchových vod v malých povodích                                |
| C002         | Vytvoření aplikace mapového serveru a tematických map   |
| C003         | Vytvořit generalizované koncepční modely srážkových událostí (již splněn)   |
| C004         | Určit plošné rozdělení generalizovaných koncepčních modelů srážkových intenzit na území ČR  |
| C005         | Výběr reprezentativních prakticky orientovaných hydrologických a erozních modelů a následné provedení analýzy citlivosti jejich výstupů na přesnost návrhové srážky s ohledem na nejistoty dalších vstupů |
| C006         | Určení a vyhodnocení základních charakteristik malých povodí v České republice  |
| C007         | Dopad zpřesněných základních návrhových parametrů povrchového odtoku z malých povodí na dimenzování vodohospodářských staveb  |
| C008         | Terénní měření, jejich vyhodnocení a porovnání s modelovanými hodnotami   |

## 5. Náklady za projekt celkem

Celkové náklady za projekt a vyčíslení nákladů za rok 2017 je uvedeno v následující Tabulce 2. Vrácení dotace ve výši 59 tis. Kč, jsou nevyčerpané prostředky na pořádanou konferenci.

Tabulka 2: Náklady za projekt

| 3.e.2.1. Náklady za projekt |          |                      |
|-----------------------------|----------|----------------------|
| Ukazatel                    | Jednotka | Za celou dobu řešení |
| 18. UZNANÉ NÁKLADY          | tis. Kč  | 12 991               |
| 19. PŘÍMÉ NÁKLADY           | tis. Kč  | 9 764                |
| 19.10 Osobní                | tis. Kč  | 7 667                |
| 19.20 Pořízení HMM          | tis. Kč  | 216                  |
| 19.30 Pořízení NHMM         | tis. Kč  | 437                  |
| 19.40 Provoz a údržba HMM   | tis. Kč  | 363                  |
| 19.50 Služby                | tis. Kč  | 425                  |
| 19.60 Materiál              | tis. Kč  | 158                  |
| 19.70 Cestovné              | tis. Kč  | 462                  |
| 19.80 Specifické            | tis. Kč  | 36                   |
| 20. DOPLŇKOVÉ NÁKLADY       | tis. Kč  | 3 227                |

| 3.e.2.2. Zdroje za projekt |          |                      |
|----------------------------|----------|----------------------|
| Ukazatel                   | Jednotka | Za celou dobu řešení |
| MZE18. DOTACE Z MZe        | tis. Kč  | 8 667                |
| VRATKA18. Vrácení dotace   | tis. Kč  | 59                   |
| MZE19.10. Osobní z MZe     | tis. Kč  | 4 361                |
| NZF18. CELKEM Z NZF        | tis. Kč  | 4 324                |
| OVZ18. CELKEM Z OVZ        | tis. Kč  | 0                    |

| 1.5.3.1. Náklady za projekt |          |           |            |
|-----------------------------|----------|-----------|------------|
| Ukazatel                    | Jednotka | Schváleno | Skutečnost |
| 18. UZNANÉ NÁKLADY          | tis. Kč  | 5 117     | 5 068      |
| 19. PŘÍMÉ NÁKLADY           | tis. Kč  | 3 857     | 3 798      |
| 19.10 Osobní                | tis. Kč  | 2 937     | 2 936      |
| 19.20 Pořízení HMM          | tis. Kč  | 90        | 60         |
| 19.30 Pořízení NHMM         | tis. Kč  | 170       | 182        |
| 19.40 Provoz a údržba HMM   | tis. Kč  | 133       | 117        |
| 19.50 Služby                | tis. Kč  | 278       | 258        |
| 19.60 Materiál              | tis. Kč  | 46        | 51         |
| 19.70 Cestovné              | tis. Kč  | 153       | 173        |
| 19.80 Specifické            | tis. Kč  | 50        | 21         |
| 20. DOPLŇKOVÉ NÁKLADY       | tis. Kč  | 1 260     | 1 270      |

| 1.5.3.2. Zdroje za projekt |          |           |            |
|----------------------------|----------|-----------|------------|
| Ukazatel                   | Jednotka | Schváleno | Skutečnost |
| MZE18. DOTACE Z MZe        | tis. Kč  | 3 428     | 3 369      |
| VRATKA18. Vrácení dotace   | tis. Kč  | 0         | 59         |
| MZE19.10. Osobní z MZe     | tis. Kč  | 1 714     | 1 714      |
| NZF18. CELKEM Z NZF        | tis. Kč  | 1 689     | 1 699      |
| OVZ18. CELKEM Z OVZ        | tis. Kč  | 0         | 0          |

| 1.5.3.3. FUUP za projekt |          |           |            |
|--------------------------|----------|-----------|------------|
| Ukazatel                 | Jednotka | Schváleno | Skutečnost |
| 30. PŘEVOD DO FUUP       | tis. Kč  | 0         | 0          |
| 30. ČERPÁNÍ Z FUUP       | tis. Kč  |           | 44         |

|                               |                                    |
|-------------------------------|------------------------------------|
| a.) náklady za projekt celkem | b.) náklady za projekt v roce 2017 |
|-------------------------------|------------------------------------|

## 6. Zhodnocení průběhu řešení

Kapitola zhodnocení průběhu řešení je vzhledem k ukončení projektu rozdělena na tři části. V první části je zhodnocení celkového průběhu prací za rok 2017. Navazuje pak kapitola detailněji popsaných aktivit v řešených v roce 2017. Aktivity jsou popsány obdobným způsobem jako v předchozích průběžných zprávách za jednotlivé roky řešení. Na tuto podkapitolu navazuje celkové shrnutí průběhu řešení projektu po jednotlivých základních celcích.

### 6.1. Zhodnocení průběhu prací za rok 2017

Celý řešitelský kolektiv ve třetím roce pracoval na aktivitách, které navazovali na předchozí řešení projektu v letech 2015 a 2016. Nadále pokračovali aktivity spojené s návrhovými srážkami a to především v regionalizaci pravděpodobnostního výskytu jednotlivých tvarů, ale také z hlediska předchozích srážek, které jsou důležité z hlediska hydrologického modelování. Samotné modelování, citlivost dříve vybraných modelů na vstupní srážku bylo jednou z hlavních aktivit závěrečného roku řešení projektu. Dříve provedená klasifikace povodí byla využita pro určení zastoupení rozptylů parametrů v případě stochastického modelování.

V průběhu posledního roku řešení celý řešitelský tým pracoval na metodice poskytující postup jak získané poznatky projektu promítnout do praxe. V souvislosti s metodikou byly nadále vyvíjeny a upravovány webprocesingové služby poskytující srážková data.

### **Řešitelský tým**

V řešitelském týmu nedošlo v posledním roce řešení k významným změnám. Všechna tři pracoviště byla zapojena do projektu dle předpokládaného návrhu projektu. Řešitelský tým jako celek se scházel jednou za tři měsíce s cílem představit si vzájemně dosažené výsledky a prodiskutovat společné body. Na jednotlivých pracovištích byla setkání členů daleko častější. Za ČVUT v Praze se na projektu podíleli Ing. Petr Kavka, Ph.D., Ing. Luděk Strouhal Ph.D., Doc. Dr. Ing. Tomáš Dostál, Doc. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D, Ing. Martin Landa, Ph.D, Dále pak studenti doktorského a magisterského studia Ing. Jakub Jeřábek a nově Bc. Karel Vlasák. Řešitelský tým Ústavu fyziky atmosféry AV ČR pracoval ve složení: RNDr. Miloslav Müller, Ph.D., RNDr. Marek Kašpar, Ph.D. a RNDr. Vojtěch Bližňák, Ph.D.

### **Zapojení pracovišť do řešení jednotlivých aktivit**

Pro třetí poslední rok řešení projektu bylo plánováno osm aktivit, které se vztahují k dílčím cílům celého projektu. Dílčí cíle projektu na rok 2017 shrnuje Tabulka 1 uvedená v Kapitole 4. Aktivity v roce 2017 měly dlouhodobý charakter a navazovali na aktivity řešené v předchozí části projektu.

Dle plánu projektu byla činnost v roce 2017 rozdělena do osmi aktivit.

- A1701 Metodika
- A1702 Uspořádání konference
- A1703 Optimalizace mapových serverů a tvorba mapových výstupů projektu
- A1704 Lokalizace typových hyetogramů v ČR
- A1705 Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení jednotlivých typových povodí
- A1706 Vliv na vodohospodářské stavby
- A1707 Analýza vlivu rozdělení srážky ve vybraných hydrologických modelech
- A1708 Měření v terénu

Postup prací je rozčleněn po jednotlivých pracovištích. Detailněji jsou jednotlivé aktivity popisovány v následující kapitole. Společnou aktivitou (A1701) bylo sestavení metodiky (cíl C001), která měla za cíl výsledky projektu shrnout, tak aby byly využitelné v projekční praxi při navrhování drobných staveb v krajině a za účelem hydrologických studií na malých povodích. Na této aktivitě se spolupodíleli členové všech odborných pracovišť. Při zpracování metodiky byly využity souhrnné výsledky z průběhu celého průběhu řešení projektu.

Řešitelský tým ČVUT pracoval v závěrečném roce projektu 2017 na čtyřech aktivitách, jednak na výše zmiňované metodice, dále pak na aktivitě A1703, která byla zaměřena na finalizaci webových služeb a nástrojů (cíl C002) pro zprostředkování výsledků projektu odborné veřejnosti a navazovala na rozpracované řešení z předchozího roku 2016. Zejména se jedná o nástroje poskytující uživatelsky jednoduchou formou návrhové hyetogramy srážek pro libovolnou lokalitu v ČR. Služby jsou zpřístupněny na rozcestníku [rain.fsv.cvut.cz](http://rain.fsv.cvut.cz). Vybrané výsledky řešení byly také v rámci této aktivity prezentovány formou mapy s odborným obsahem.

V rámci třetí aktivity A1706 byly dopočteny a analyzovány rozsáhlé soubory scénářů v hydrologických modelech SMODERP, MikeSHE a HEC-HMS (návaznost na cíl C005). V předchozích letech uvažované nebo testované modely KINFIL a Topmodel byly z aktivity

vyloučeny z později uvedených důvodů. Cílem analýzy téměř 20.000 simulací ve fyzikálních modelech a 675.000 simulací v konceptuálním modelu HMS bylo identifikovat význam variability krátkodobých srážek na modelované odtokové charakteristiky ve srovnání s ostatními zdroji variability a srovnání použitých modelů. Tato aktivita byla zakončením řady aktivit řešených v předchozích dvou letech a byla vstupem pro aktivity A1706 (vliv na hospodářské stavby) a A1701 (Metodika). Déle se pracoviště ČVUT spolupodílelo na dokončení aktivity klasifikace povodí.

Poslední aktivitou A1708 v návaznosti na cíl projektu C008 bylo pokračování měření v terénu, které se soustředilo na pokračování kontinuálního měření na experimentálním povodí Býkovice. Jednalo ze především o pravidelnou údržbu, obnovu a rozvoj měrných profilů a experimentálních ploch.

Pracoviště ČVUT má také z pozice hlavního řešitele řídicí úlohu. Mimo řešení jednotlivých dílčích úloh má na starosti vedení celého týmu, zajištění komunikace mezi jednotlivými spolupracujícími organizacemi, propojení a návaznosti aktivit v rámci celého řešitelského kolektivu.

Řešitelský tým ÚFA AVČR, v.v.i. se podílel na publikačních aktivitách, zejména tvorbě metodiky (A1701) a uspořádání konference (A1702). Z výzkumného hlediska se v posledním roce řešení soustředil na realizaci cíle C004 (Určit plošné rozdělení generalizovaných koncepčních modelů srážkových intenzit na území ČR). Cíle bylo dosaženo prostřednictvím aktivity A1704 (Lokalizace typových hyetogramů v ČR).

V rámci této aktivity byly zpracovány adjustované radarové odhady srážkových intenzit z celé ČR z hlediska zastoupení šesti syntetických hyetogramů šestihodinových srážek, které byly odvozeny v rámci aktivity A1602 a testovány v rámci aktivity A1603. Potvrdilo se, že toto zastoupení je proměnné v závislosti na uvažované době opakování návrhové srážky, proto bylo vyhodnoceno v několika variantách podle extremity návrhových srážek. Aktivita byla doplněna o studii průměrné předchozí nasycenosti před vlastními srážkami, která je rovněž silně závislá na velikosti návrhové srážky.

Řešitelé společnosti Sweco Hydroprojekt a.s. v roce 2017 pracovali na čtyřech aktivitách. Jednak se spolupodíleli na společné aktivitě A 1701 (Metodika).

Druhá aktivita v součinnosti s A1705 byla věnována statistickému vyhodnocení charakteristik malých povodí v návaznosti na v předchozím roce dokončenou klasifikaci povodí IV. řádu (cíle C006). Výsledky analýzy v letošním roce sloužily hlavně ke stochastickému modelování hydrologické odezvy povodí daných tříd v aktivitě A1707 a na přípravě podkladů pro mapu s odborným obsahem.

V samostatně řešené aktivitě A1707, která je klíčová pro dokončení cíle C007, byl analyzován dopad zohlednění variability krátkodobých srážek při odvozování návrhových hydrologických charakteristik odtoku z malých povodí na dimenzování vodohospodářských staveb. Vybrány byly z hlediska návrhové charakteristiky nejvýznamnější typy vodohospodářských a protierozních opatření a na nich byla formou variantních výpočtů analyzovány náklady spojené s jejich realizací.

Poslední aktivitou pak byla příprava a realizace odborné konference v září 2017(aktivita A1702), na níž celý řešitelský kolektiv projektu prezentoval průběžné výsledky projektu.

## **6.2. Aktivity řešené v roce 2017**

Aktivity jsou v následujícím textu uvedeny postupně v souladu s označením v návrhu projektu. Reálná návaznost jejich řešení je mírně odlišná. Aktivity A1701, A1702 a A1703 slouží především pro prezentaci, snadnou využitelnost a uplatnění výsledků a jsou v nich uplatněny

výsledky dalších aktivit. Aktivity A1704 až A1708 navazovaly na obdobné aktivity z předcházejícího roku.

Některé dílčí úkoly jsou detailněji popsány v publikacích řešitelského kolektivu. Tam, kde to bylo možné, je na příslušné publikace odkazováno. Pro lepší pochopení projektu jako celku jsou hlavní postupy řešení uvedeny i v této zprávě.

### **6.2.1. A1701 – Metodika (C001)**

Jednou z hlavních aktivit naplánovaných v posledním roce řešení byla příprava metodiky s názvem „Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině“, jakožto nástroje pro využití výsledků projektu v praxi. Certifikační proces metodiky byl zahájen ve spolupráci s SPÚ.

Stěžejními částmi řešení jsou kromě teoretických předpokladů návody na využití návrhových srážek. Cílem metodiky je popsat praktické postupy pro získání objemů návrhových srážek s vnitřním rozdělením zobecněných hyetogramů pro dané území ČR. Obsahem jsou dvě typické ukázky a příklady využití pro vybrané nejčastější typy staveb v malých povodích.

Vlastní metodika je členěna na čtyři části. První část je věnována typům navrhovaných opáření, navazující část je pak zacílena na využití hydrologických modelů, jejich rozdělení a komentářům k nejčastěji využívaným nástrojům v ČR a popisu vstupních dat pro tyto modely. Samostatnou kapitolou je popis metody odvození hyetogramů návrhových srážek včetně popisu webových nástrojů a služeb umožňujících zefektivnění a automatizaci celého procesu. Součástí metodiky jsou také zpracované dvě typové úlohy. Metodika je koncipována jako samostatně stojící a aplikovatelný dokument. V příloze publikované přehledové mapy jsou však vzhledem k velikosti tiskových stran spíše informativní. Přehledněji a ve větším detailu jsou obsahem mapy s odborným obsahem s názvem “Mapa výskytu krátkodobých dešťů na kategorizovaných povodí IV řádu”. Pro maximálně efektivní využití metodiky je však vhodné využít popsané mapové služby provozované na portálu [rain.fsv.cvut.cz](http://rain.fsv.cvut.cz). Tyto mapové služby jsou postaveny na platformě Gisquick. Jedná se o otevřenou (OpenSource) platformu, tak aby byla zajištěna udržitelnost těchto služeb nezávisle na finančních prostředcích licencí komerčních softwarů.

Metodika tomu zohledňuje existenci silných trvalých i přívalových srážek na většině lokalit Česka, a proto navrhuje šest syntetických hyetogramů platných pro celé území ČR. Prostorové rozdíly v klimatologii subdenních úhrnů srážek jsou vyjádřeny procentuálním zastoupením šesti hyetogramů v rastrové síti 1x1 km. Toto zastoupení je navíc vyjádřeno jako proměnné s ohledem na zvolenou dobu opakování srážky, což lépe odpovídá skutečnosti. Zvolené šestihodinové okno umožnilo nejen rozlišit koncentrované a rovnoměrné srážkové epizody, nýbrž zjistit také procentuální zastoupení případů se dvěma vrcholy intenzity srážek, a to ve dvou variantách syntetického hyetogramu.

Dalším zjevným přínosem navržené metodiky je kvantitativní analýza nasycenosti povodí, která je v průměru dosahována před návrhovými srážkami a může podstatně ovlivnit odtokovou odezvu. Novost přístupu je v rozlišení průměrné nasycenosti pro šest syntetických hyetogramů návrhových srážek i různé doby opakování jejich úhrnů. Nasycenost je vyjádřena jako procento normálu, což umožňuje využití těchto údajů v hydrologickém modelování. Jakkoliv je relativní nasycenost stanovena jen průměrně pro celou ČR, ukazují dosažené výsledky značný potenciál tohoto přístupu, který může být dále rozvíjen.

Předložená metodika je první prací tohoto druhu pro české území, která využívá velkého prostorového (1 km) a časového (10 min.) rozlišení radarových měření, která jsou navíc adjustována daty z husté sítě srážkoměrů. Pouze desetiletá datová základna sice neumožnila zcela přesný odhad parametrů rozdělení extrémních srážek, kvalita odhadu však byla



podstatně zvýšena použitím progresivních metod regionální frekvenční analýzy. Také zde existuje potenciál pro další zpřesnění poznatků s prodlužujícím se obdobím pokrytým současně daty ze srážkoměrů a meteorologických radarů.

### 6.2.2. A1702 – Uspořádání konference (C001)

Konference s názvem „Variabilita krátkodobých srážek v hydrologickém modelování“ se uskutečnila 26. září 2017 a místo konání byl kongresový sál Masarykovy koleje ČVUT. Samotná konference se konala od 9:00 do 16:00. Na konferenci byli pozváni odborníci jak z řad akademické obce, tak z řad společností, kteří mohou uplatnit výstupy z řešeného projektu v praxi. Pozvánka na konferenci byla také zaslána na příslušné státní instituce a organizace (MZe, MŽP, CHMÚ, VÚMOP, SPU, atd.). Cílem konference bylo seznámit veřejnost s probíhajícím projektem, ukázat aktuální výsledky a zároveň umožnit diskusi nad výsledky i s dalšími odborníky v souvisejících tématech. Na obrázku 1 je zachycen průběh konference.

Program konference je uveden níže:

8:30 9:00 Registrace

9:00 9:30 Úvodní slovo - Kavka

#### BLOK I.

9:30 10:00 Pozorované a projektované změny charakteristik srážkových událostí – Hanel (host)

10:00 10:30 Prostorová a časová distribuce subdenních srážek v teplé polovině roku – Bližňák

10:30 11:00 Určení variant srážkových epizod v závislosti na průběhu jejich intenzit – Müller

11:00 11:30 Zastoupení variant srážkových epizod na území ČR v závislosti na velikosti srážky – Kašpar

11:30 13:00 Oběd

#### BLOK II.

13:00 13:30 Ilustrace vlivu počátečních podmínek zimní sněhové pokrývky na letní nízké průtoky: dopady klimatických změn na příkladu Švýcarských povodí – Jeníček (host)

13:30 13:45 Kategorizace povodí IV. řádu - Strouhal

13:45 14:00 Motivace pro výběr vhodného hydrologického modelu - Kavka

14:00 14:15 Typické hydrologické modely a jejich aplikace (HEC-HMS, SMODERP, MIKE-SHE) - Kavka/ Strouhal

14:15 14:30 Odezva vybraných hydrologických modelů na typické průběhy srážek - Strouhal

14:30 15:00 Občerstvení

#### BLOK III.

15:00 15:30 Dopad variability návrhových průtoků na dimenzování drobných vodohospodářských staveb v malých povodích – Pavel/Kožant

15:30 16:30 Tvorba vlastní webové aplikace s využitím WPS nástrojů pro výpočet návrhové srážky - Landa



Obrázek 1: Účastníci konference Variabilita krátkodobých srážek v hydrologickém modelování.

Konference se zúčastnilo celkem 51 posluchačů z 58 registrovaných.

### 6.2.3. A1703 - Optimalizace mapových serverů a tvorba mapových výstupů projektu (C002)

V roce 2017 byla provedena optimalizace a další rozšíření nabízených webových processingových služeb WPS. V rámci optimalizace byla na produkčním serveru nasazena nejnovější verze frameworku PyPWS verze 4, což byl podstatný krok pro údržbu řešení v následujících letech, nic méně to vyžádalo kompletní přepsání všech nabízených WPS nástrojů. Dlouhodobá udržitelnost i po ukončení projektu byla důležitým aspektem.

Ve výsledku bylo rozhodnuto, že poskytované služby budou v produkčním nasazení provozovány na open source platformě postavené na softwarových komponentách MapServer, PyWPS, GRASS GIS a Gisquick, a to s cílem dlouhodobé udržitelnosti použitých technologií a jejich nezávislosti na licenční politice dodavatele. Z těchto důvodů bylo upuštěno od platformy postavené na licencovaných technologiích společnosti Esri. Zároveň byl kladen důraz na co nejdostupnější formu poskytování srážkových dat uživatelům.

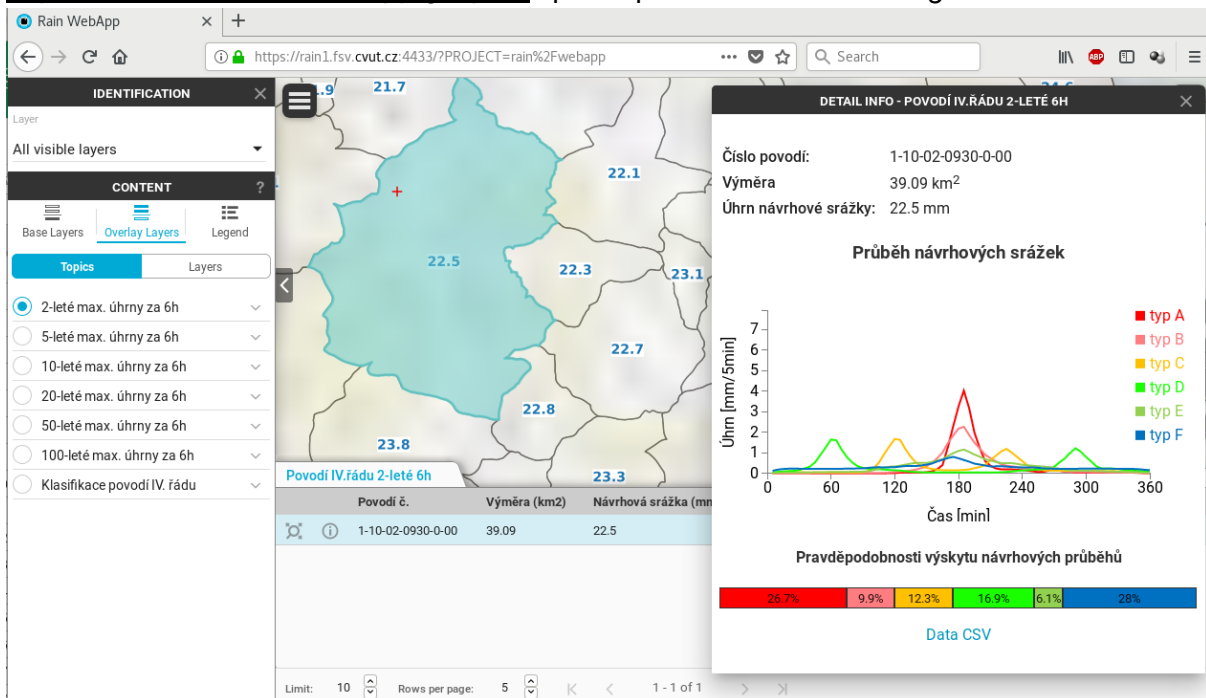
Autorizace uživatelů byla implementována na straně webové platformy Gisquick. Po registraci může uživatel vytvářet svoje vlastní webové mapové aplikace. Jako jeden z výstupů projektu vznikla online dokumentace (<https://rain1.fsv.cvut.cz/docs>) podrobně popisující práci s platformou Gisquick nejen z pohledu pasivního uživatele, ale především tvůrce webových mapových aplikací. V tomto procesu lze efektivně využít webové processingové služby, které vznikly v rámci projektu. Tímto se portfolio webových služeb a aplikací uzavírá do logického celku, kdy může uživatel použít svoje vlastní geografická data, vypočítat úhrny návrhových srážek pro libovolnou délku srážky a dobu opakování, a výsledek přetavit do formy moderní interaktivní webové mapové aplikace.

V rámci webových mapových služeb (WMS) došlo k přejmenování nabízených vrstev a doplnění legendy. Výraznější změny se dotkly především webových processingových služeb (WPS). Původně nabízené nástroje z roku 2016 byly přejmenovány na *d-rain-shp*, *d-rain-csv* a *d-rain-point*. Došlo k jejich sladění po stránce uživatelského rozhraní i algoritmickém. Hodnota úhrnu návrhové srážky zvolené délky trvání je počítána na výpočetním serveru nástrojem *r.subdayprecip.design* založeném na redukci denních úhrnů dle známého vztahu a koeficientů metodiky (Hrádek). Úhrny jsou získány pomocí zonální statistiky nad rastrem denních úhrnů s prostorovým rozlišením 1km. Vzhledem k tomu, že byly N-leté úhrny odvozeny jako bodové hodnoty, mají služby definovány plošné omezení na vstupní data. Pro polygony s výměrou nad 20km<sup>2</sup> vrací nástroje chybovou hodnotu úhrnu návrhové srážky -1.

Zásadního přepracování se dostalo nástroji *subdayprecip-design-shapes*. Na základě něho vznikl nový nástroj s názvem *d-rain6h-timedist*. Ten je fixován na délku trvání srážky 6 hodin, kromě úhrnu návrhové srážky vyčísluje nově i pravděpodobnosti jejich výskytu na základě vstupních polygonových či bodových dat zadaných uživatelem. Úhrn je dále distribuován do časového průběhu pomocí bezrozměrných typizovaných distribučních křivek. Typické průběhy a jejich pravděpodobnosti výskytu jsou označovány písmeny A až F. Hodnoty šestihodinových úhrnů byly odvozeny frekvenční analýzou radarových srážkových dat.

Dále vznikl nový nástroj *totalrain6h-timedist*, který vrací průběhy šestihodinových návrhových srážek pro uživatelem přímo zadanou hodnotu úhrnu návrhové srážky. Tento nástroj umožňuje uživateli zadat jiným způsobem získaný úhrn šestihodinové srážky, například na základě dat získaných od ČHMÚ. Časový průběh srážky je odvozen stejným způsobem jako v případě předchozího nástroje. Pravděpodobnost výskytu jednotlivých typů průběhu srážky neposkytuje. Oba výše uvedené nástroje vrací výsledky v jednoduchém textovém formátu CSV.

Hlavní činností byla v roce 2017 výstavba produkční webové aplikace. Pro její tvorbu byla použita open source publikační platforma Gisquick (dříve GIS.lab Web), která byla zprovozněna na serveru provozovaném řešitelem na ČVUT. Dále byla tato platforma upravena tak, aby umožňovala vykreslovat průběh návrhové srážky ve formě interaktivního grafu včetně identifikace pravděpodobnosti výskytů typizovaných průběhů. Na základě toho tak vznikla aplikace, která zobrazuje typizovanou vrstvu povodí 4. řádu s vyčíslenými úhrny návrhových srážek v tématech podle doby opakování (2, 5, 10, 20, 50 a 100 let) odvozenými pro pevně definovanou dobu srážky 6 hodin. Pomocí vestavěného nástroje identifikace lze pro vybrané povodí zobrazit grafickou interpretaci průběhu teoretických tvarů, viz obrázek 2. Zároveň je možné získat výše uvedené rozdělení šestihodinového úhrnu do příslušných tvarů včetně pravděpodobnosti jejich výskytu ve formátu CSV (odpovídající funkcionalitou webové služby *d-rain6h-timedist*). Ukázková webová aplikace je dostupná na adrese <https://rain1.fsv.cvut.cz/webapp/gisquick> i pro nepřihlášené uživatele – *guest*.



Obrázek 2: Vykreslení průběhu návrhových srážek včetně pravděpodobností výskytu jednotlivých typů v prostředí ukázkové webové aplikace.

Zajímavou funkcionalitou webové platformy Gisquick je možnost publikovat vlastní mapové projekty. Každý uživatel si tak může po registraci vytvořit vlastní webovou aplikaci. Proces tvorby mapového projektu od registrace do systému až po jeho publikování je podrobně popsán v dokumentaci (<https://rain1.fsv.cvut.cz/docs>).

Kromě webové platformy Gisquick byla do finální podoby přepracována webová aplikace pro bodový výpočet redukovaných denních úhrnů pomocí metody Hrádka (1994). Data jsou poskytována na základě spojitých rastrů, které vznikly na interpolaci hodnot bodových denních úhrnů (Šamaj, 1984). Tyto rastrové vrstvy vznikly v přechozích letech řešení projektu. V jednoduchém prostředí zajišťovaném knihovnou OpenLayers je možné volat nástroj *d-rain-point* a tak interaktivně pro daný bod odečítat při zadané hodnotě doby opakování a délky srážky hodnotu úhrnu návrhové srážky v mm. Aplikace je dostupná na adrese <https://rain1.fsv.cvut.cz/webapp/d-rain-point>.

Mapové výstupy tvořené v rámci projektu tradiční formou kartografického díla poskytují informace o variabilitě srážek a kategorizaci povodí IV. řádu. Mapové kompozice jsou tvořeny s ohledem na další využití a počítají s tiskovým formátem. Proto v rámci projektu vzniklo několik variant mapových výstupů.

Tvary návrhových srážek určitých dob opakování jsou formou příloh součástí metodiky (A1701). Pro každou dobu opakování a tvar srážky byla vytvořena samostatná mapa. Spojitá rastrová data jsou zobrazena kontrastní barevnou škálou tak, aby bylo možné určit jaký je převažující tvar hyetogramu v daném místě. Škála je na všech mapách shodná v sedmi kategoriích. Pro lepší orientaci jsou mapy obohaceny o hranice krajů, větší města a hlavní vodní toky. Sice se předpokládá spíše využití výše popisovaných webových služeb a aplikací, přesto tyto mapy mohou nahradit služby například v době jejich výpadku.

Součástí této aktivity byla také příprava a zpracování certifikované mapy s odborným obsahem. Tato mapa zobrazuje povodí IV. řádu. Jednotlivá povodí IV. řádu jsou barevně odlišena podle zatřídění do jednotlivých kategorií. Kategorizace povodí je detailněji popisována v přechozích zprávách projektu viz A1705. Certifikovaná mapa je samostatným výstupem projektu.

#### **6.2.4. A1704 - Lokalizace zobecněných hyetogramů v ČR (C004)**

Aktivitami v předchozích letech byly vytvořeny syntetické hyetogramy návrhových srážek v ČR, přičemž pro několik vybraných bodů bylo vyhodnoceno jejich zastoupení. Bylo prokázáno, že pravděpodobnost výskytu jednotlivých hyetogramů je podmíněna především nadmořskou výškou, přičemž zastoupení syntetických tvarů v určité lokalitě je dále proměnné v závislosti na velikosti srážky. Aktivita A1704 spočívala v aplikaci těchto závěrů na celé území ČR s horizontálním rozlišením 1 km, které odpovídá rozlišení meteorologických radarů.

#### **Frekvenční analýza šestihodinových úhrnů srážek**

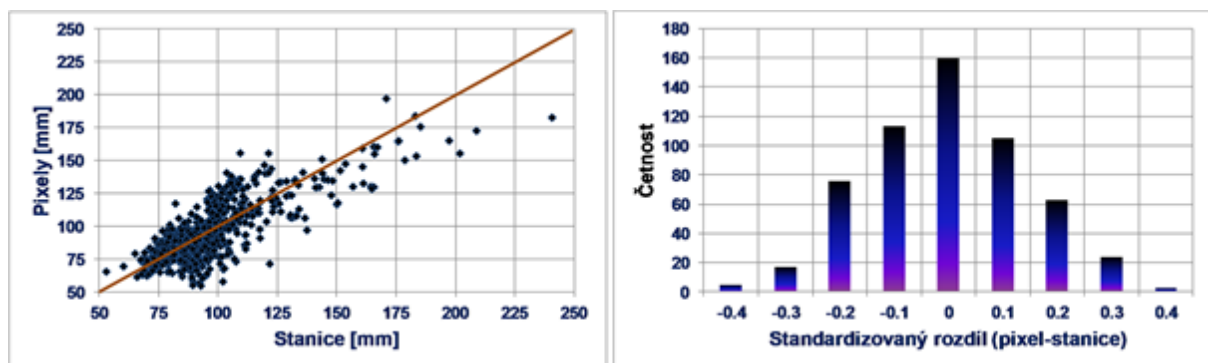
Pro účely studia zastoupení tvarů návrhových srážek bylo nejprve třeba zpracovat pomocnou frekvenční analýzu 6-hodinových srážkových úhrnů za studované období, a to v síti pixelů radarové domény s horizontálním rozlišením 1 km. V jednotlivých pixelech byly odvozeny distribuční funkce, které popisují rozdělení pozorovaných vysokých srážkových úhrnů, a to pro každý z tvarů srážek zvlášť. Srážkové epizody byly přitom řazeny k jednomu ze šesti syntetických tvarů na základě standardizované střední vzdálenosti k centroidům šesti shluků, odpovídajících šesti syntetickým hyetogramům.

Pro popis rozdělení vysokých srážkových úhrnů bylo zvoleno tříparametrické zobecněné rozdělení extrémních hodnot (dále jen GEV; Coles, 2001), u něhož bylo prokázáno, že je vhodným parametrickým modelem pro srážkové extrémy na území ČR (Kyselý a Píček 2007). Parametry GEV byly určeny z hodnot výběrových L-momentů rozdělení ročních maxim adjustovaných úhrnů srážek standardizovaných střední hodnotou maxim v období 2002 až 2011 tak, že se první tři výběrové L-momenty položí rovny jejich teoretickým vyjádřením pro GEV (Hosking, 1990). Odhady parametrů GEV pomocí L-momentů pro malé a střední výběry dat mohou mít lepší vlastnosti než v případě metody maximální věrohodnosti a metody konvenčních momentů (Hosking et al., 1985).

Výběrové L-momenty pro daný pixel byly spočteny tzv. ROI metodou („region-of-influence“; Burn 1990) z bodových odhadů L-momentů v pixelech uvnitř statisticky homogenní oblasti příslušející tomuto pixelu. Statisticky homogenní oblast, kde se předpokládá stejné rozdělení standardizovaných extrémních hodnot, byla sestavována iteračním způsobem doporučeným a popsáným v práci (Kyselý et al., 2011) a její homogenita testována podle (Lu a Stedinger, 1992). Výběrové L-momenty pak byly odvozeny z průměrné hodnoty L koeficientu rozptylu a

L šikmosti v oblasti (Hosking a Wallis, 1997). Použití výše zmíněného regionálního přístupu pomocí metody ROI umožňuje provést robustnější odhad parametrů GEV, který je vhodný zejména s uvážením poměrně krátkého referenčního období (Kyselý et al., 2011).

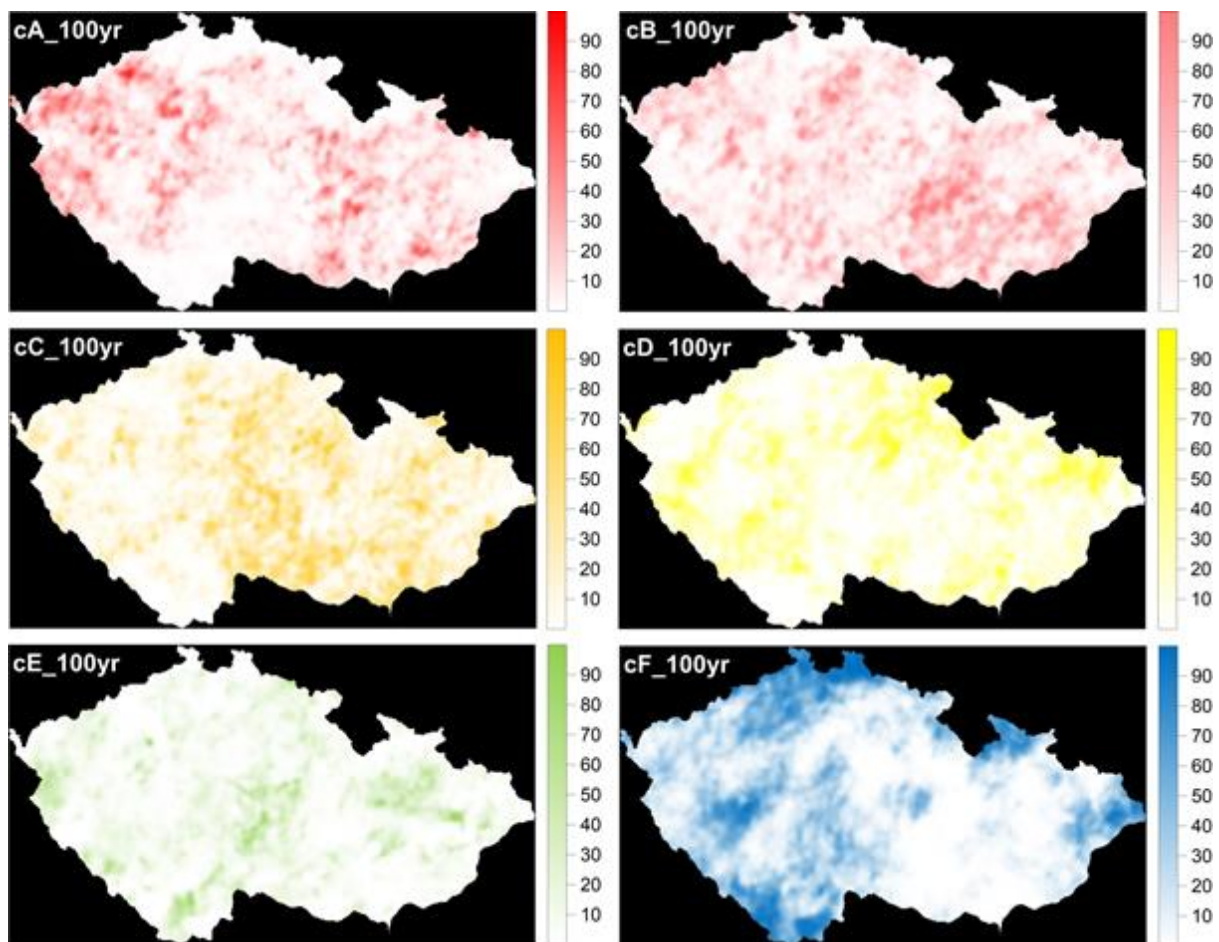
Aplikovaná metoda frekvenční analýzy byla testována na analogickým způsobem odvozených distribučních funkcích vysokých jednodenních srážkových úhrnů ve více než pěti stech pixelech, v nichž se nacházejí srážkoměrné stanice. Návrhové úhrny v pixelech pro vybrané doby opakování byly porovnány s návrhovými úhrny na stanicích spočtenými s využitím stejného regionálního přístupu, avšak z měření v podstatně delším období 1961 až 2010 (Müller a Kašpar, 2014). Výsledky porovnání potvrdily validitu aplikované metody frekvenční analýzy. I přes robustnost metody bylo přistoupeno k její dílčí optimalizaci minimalizací střední kvadratické chyby a maximalizací korelačního koeficientu mezi oběma soubory dat. Porovnání se omezilo na návrhové úhrny s dobou opakování 100 roků, pro kterou jsou rozdíly obecně největší a nejcitlivější na změny volitelných parametrů metody. Při optimalizaci se využily možnost měnit nastavení iteračního algoritmu sestavování statisticky homogenní oblasti, zejména počáteční velikost oblasti a váha jednotlivých pixelů v oblasti (Kyselý et al., 2011), a vzhledem k vysokému prostorovému rozlišení též potřeba hladit parametry GEV vhodným prostorovým filtrem. Obrázek 3 shrnuje výsledky porovnání po optimalizaci pro parametry GEV shlazené dvoudimenzionálním Gaussovým filtrem s obecně různými vahami pro horizontální a vertikální vzdálenosti (Haddad a Akansu, 1991). Střední kvadratická chyba standardizovaná návrhovými úhrny na stanicích dosahuje hodnoty 15,6 % a korelační koeficient hodnoty 0.8.



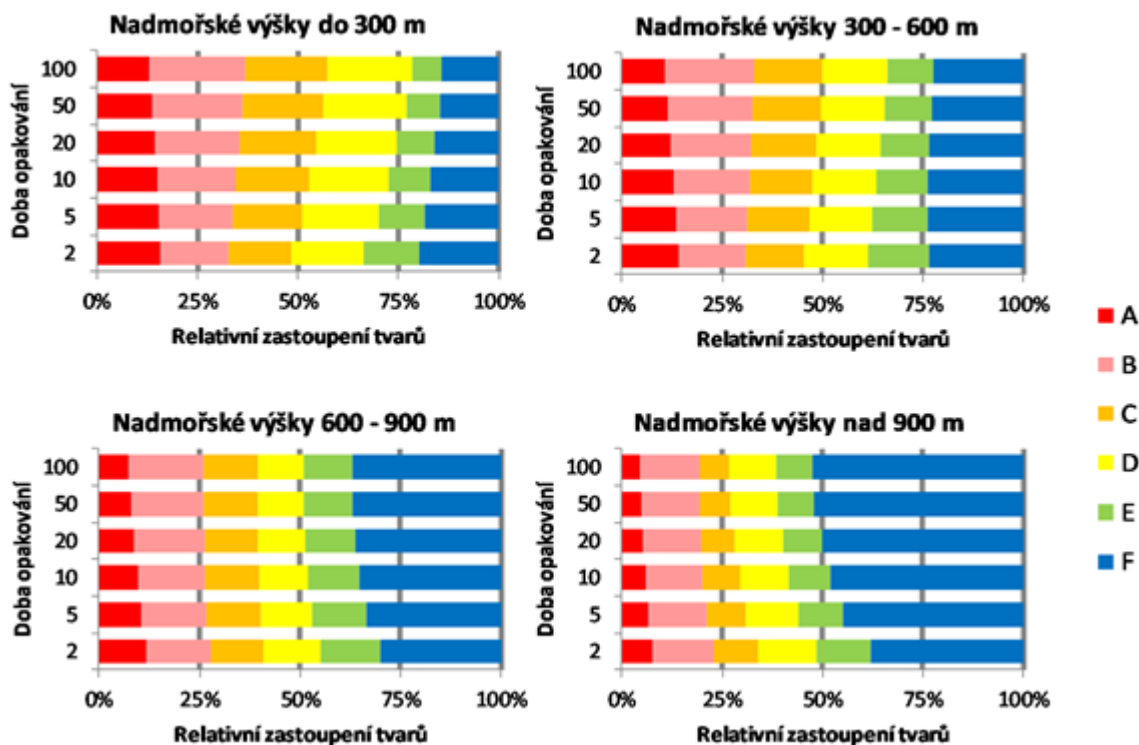
Obrázek 3: Hodnoty návrhových jednodenních úhrnů srážek s dobou opakování 100 let na stanicích a v odpovídajících pixelech radarové domény (vlevo) a histogram četností rozdílů návrhových úhrnů mezi pixely a stanicemi standardizovaných úhrnem na stanicích (vpravo).

### **Analýza prostorového zastoupení syntetických hyetogramů na území ČR**

Výsledky prostorové analýzy jsou podrobně prezentovány v publikované metodice. Na Obrázku 4 je prezentováno zjištěné prostorové zastoupení pro stoleté úhrny, Obrázek 5 pak shrnuje průměrnou závislost na hlavním faktoru - nadmořské výšce - při zohlednění různé doby opakování šestihodinových návrhových úhrnů. Z obrázků je patrné, že v nejnižších polohách do 300 m. n. m. je zastoupení syntetických tvarů nejvíce rovnoměrné a s rostoucí dobou opakování dochází pouze k malému poklesu zastoupení tvarů s rovnoměrnou intenzitou srážek (E a F). Zastoupení tvaru F podle očekávání výrazně roste s rostoucí nadmořskou výškou lokality, přičemž ve vyšších polohách dále roste s dobou opakování srážky. Ve výškách nad 900 m podíl rovnoměrných srážek tvaru F pro doby opakování 20 a více roků přesahuje 50 %, nicméně nelze vyloučit ani koncentrované tvary srážek A a B (souhrnný podíl téměř 20 %). Vazba na nadmořskou výšku však není jednoznačná, dalšími faktory mohou být např. tvar reliéfu, blízkost výrazné orografie, směr převládajícího proudění apod.



Obrázek 4: Procentuální zastoupení šesti syntetických hyetogramů stoletých návrhových 6-hodinových úhrnů srážek na území ČR.



Obrázek 5: Průměrné zastoupení šesti syntetických hyetogramů návrhových srážek A-F s různou dobou opakování pro čtyři intervaly nadmořských výšek.

### Analýza průměrné nasycenosti před srážkami šesti syntetických tvarů

Vzhledem k podstatným rozdílům v časové distribuci intenzit mezi šesti syntetickými tvary návrhových srážek je třeba předpokládat i podstatné rozdíly v množství srážek před jejich počátkem, což může podstatně ovlivnit odtokovou odezvu. Aktivita A1704 byla proto rozšířena o analýzu průměrné předchozí nasycenosti před návrhovými srážkami, a to opět se zohledněním jejich doby opakování.

Pro každý ze šesti syntetických hyetogramů a interval doby opakování byla určena průměrná předchozí nasycenost, a to na základě reálných srážkových epizod z celého území ČR. Vyhodnoceny byly srážkové úhrny během 6, 24, 72 a 120 hodin (tedy ¼, 1, 3 a 5 dní) před počátkem uvažované epizody. Tabulky 3 a 4 uvádějí výsledky pro nejdelší, resp. nejkratší uvažovaný časový úsek. Průměrné úhrny před srážkovými epizodami určitého tvaru pro různou dobu opakování, a to bez ohledu na místo výskytu v rámci ČR, jsou v nich vyjádřeny relativně k velikosti průměrného úhrnu dané délky v ČR ve vegetačním období. Jeho velikost byla stanovena z průměrných měsíčních úhrnů za normálové období 1961-1990.

Z Tabulky 3, ve které jsou žlutě vyznačeny hodnoty blízké 100 % normálu a červeně hodnoty silně nadnormální, vyplývá, že pouze v případě nejvíce koncentrovaných srážek tvaru A a B s delší dobou opakování je předchozí nasycenost, vyjádřená pětidenním úhrnem srážek, mírně pod normálem, avšak zpravidla jen o 5 až 10 %. Naopak pro delší doby opakování srážek tvaru C a všechny ostatní tvary návrhových srážek bez ohledu na dobu opakování je třeba uvažovat vyšší stupeň nasycení, přičemž v případě srážek tvaru F s dobou opakování 15 roků a více překračuje průměrná nasycenost normál více než pětinásobně.

Z hlediska předchozích šesti hodin je pak kontrast mezi jednotlivými návrhovými hyetogramy ještě větší (Tabulka 4 - zeleně jsou vyznačeny hodnoty silně podnormální, žlutě blízké normálu, červeně silně nadnormální hodnoty). V případě návrhových srážek tvaru A a B je



šestihodinová předchozí srážka oproti normálu výrazně snižena, v případě tvaru A zhruba na 50 %. Pro ostatní tvary je i krátkodobá nasycenost v průměru výrazně nadnormální, přičemž v případě srážkových epizod tvaru F s dobou opakování nad 25 let překračuje srážkový úhrn za předchozích šest hodin normál v průměru více než 20krát, neboť tyto srážkové události zpravidla podstatně přesahují uvažovanou délku trvání srážky šest hodin.

Tabulka 3: Relativní průměrná velikost [%] pětidenních úhrnů před návrhovými srážkovými epizodami šesti tvarů pro různé intervaly doby opakování, vztažená k normálu pětidenních úhrnů za měsíce květen až září.

|                         |           | Tvary srážek |     |     |     |     |     |
|-------------------------|-----------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                         |           | A            | B   | C   | D   | E   | F   |
| Intervaly dob opakování | 1,5 - 2,5 | 97           | 106 | 108 | 157 | 148 | 282 |
|                         | 2,5 - 4   | 97           | 106 | 108 | 163 | 164 | 320 |
|                         | 4 - 7,5   | 99           | 104 | 112 | 166 | 184 | 357 |
|                         | 7,5 - 15  | 96           | 104 | 126 | 200 | 210 | 433 |
|                         | 15 - 25   | 95           | 101 | 123 | 210 | 195 | 519 |
|                         | 25 - 40   | 95           | 89  | 150 | 230 | 200 | 547 |
|                         | 40 - 75   | 99           | 95  | 175 | 241 | 193 | 567 |
|                         | 75 - 125  | 90           | 84  | 199 | 211 | 215 | 574 |

Tabulka 4: Průměrná relativní velikost [%] 6-hodinových úhrnů před návrhovými srážkovými epizodami šesti tvarů pro různé intervaly doby opakování, vztažená k normálu 6-hodinových úhrnů za měsíce květen až září.

|                         |           | Tvary srážek |    |     |     |     |      |
|-------------------------|-----------|--------------|----|-----|-----|-----|------|
|                         |           | A            | B  | C   | D   | E   | F    |
| Intervaly dob opakování | 1,5 - 2,5 | 54           | 89 | 139 | 340 | 263 | 1016 |
|                         | 2,5 - 4   | 53           | 88 | 131 | 352 | 308 | 1168 |
|                         | 4 - 7,5   | 49           | 74 | 143 | 333 | 308 | 1297 |
|                         | 7,5 - 15  | 44           | 69 | 150 | 349 | 349 | 1690 |
|                         | 15 - 25   | 51           | 71 | 143 | 406 | 320 | 1994 |
|                         | 25 - 40   | 48           | 63 | 176 | 433 | 310 | 2321 |
|                         | 40 - 75   | 53           | 60 | 214 | 465 | 287 | 2371 |
|                         | 75 - 125  | 61           | 49 | 236 | 287 | 325 | 2160 |

### 6.2.5. A1705 - Statistické vyhodnocení charakteristik malých povodí a určení jednotlivých typových povodí (C006)

V rámci předchozích aktivit v prvních dvou letech řešení projektu byla provedena klasifikace povodí IV. Řádu. Z hlediska potenciální odtokové odezvy bylo určeno pět hlavních tříd. Kvůli návaznosti dále popisovaných prací následuje shrnutí těchto předchozích aktivit a výstupů z přechodného řešení. Z celkem 8842 povodí byla vyloučena povodí pod 0,5 km<sup>2</sup> a pro zbylých 7739 povodí byla určena řada morfologických a dalších charakteristik. Jejich výčet byl poté zúžen na pět klíčových charakteristik, na základě nichž byla povodí metodou K-means klasifikována do 7 tříd. Dvě třídy byly posléze vyloučeny kvůli velmi nízkému počtu zástupců nebo nestandardním podmínkám v těchto povodí (např. mezipovodí kanálů), celkově bylo takto vypuštěno méně než 10 % povodí. Pro výsledných pět tříd byla poté vybrána reprezentativní povodí, jejichž parametry byly blízké těžišti parametrického prostoru, a které byly vhodné pro detailní modelování. Tabulka 5 uvádí již dříve publikovaný popis odvozených tříd a k nim příslušná reprezentativní povodí.

Tabulka 5: Třídy a reprezentativní povodí odvozené v roce 2016.

| Třída | Reprezentativní povodí | Charakteristika skupiny  |
|-------|------------------------|--|
| 1     | Býkovický p.           | Vějířovitá povodí se střední hustotou říční sítě a smíšeným půdním pokryvem.   |
| 2     | Struhařovský p.        | Protáhlá povodí s vysokou hustotou říční sítě, jako půdní pokryv převládají povrchy s nižší retencí (zem. půda, antrop. plochy). |
| 5     | Chouzavá               | Přechodný tvar povodí s pokryvem s vysokou retencí.  |
| 6     | Škvorecký p.           | Protáhlý tvar povodí s nízkou hustotou říční sítě a dlouhými drahami odtoku. Převažují povrchy s nízkou retencí.                 |
| 7     | Halounský p.           | Přechodný až vějířovitý tvar povodí a velmi dlouhé dráhy odtoku. Z hlediska půdního pokryvu převažují povrchy s vysokou retencí. |

V roce 2017 bylo na tyto práce navázáno aktivitou A1705, v rámci níž byla na klasifikovaných povodích analyzována zastoupení hodnot parametrů vstupujících do stochastického modelování v rámci aktivity A1707. V prostředí simulačního systému HMS byly sestaveny hydrologické modely reprezentativních povodí a v nich využita statistická rozdělení parametrů vstupujících do výpočtu odtokové výšky metodou SCS-CN a odtokové odezvy metodou SCS jednotkového hydrogramu. Celkem byly využity tři základní parametry:

|                |  |
|----------------|--|
| <b>CN 2</b>    | číslo odtokové křivky pro průměrný stav nasycení, z něj odvozeny hodnoty CN 1 a CN 3 pro suchý a vlhký stav. |
| <b>Imp</b>     | Procento nepropustných ploch   |
| <b>LagTime</b> | Doba zpoždění v minutách vyčíslená dle SCS pro varianty CN 1–3   |

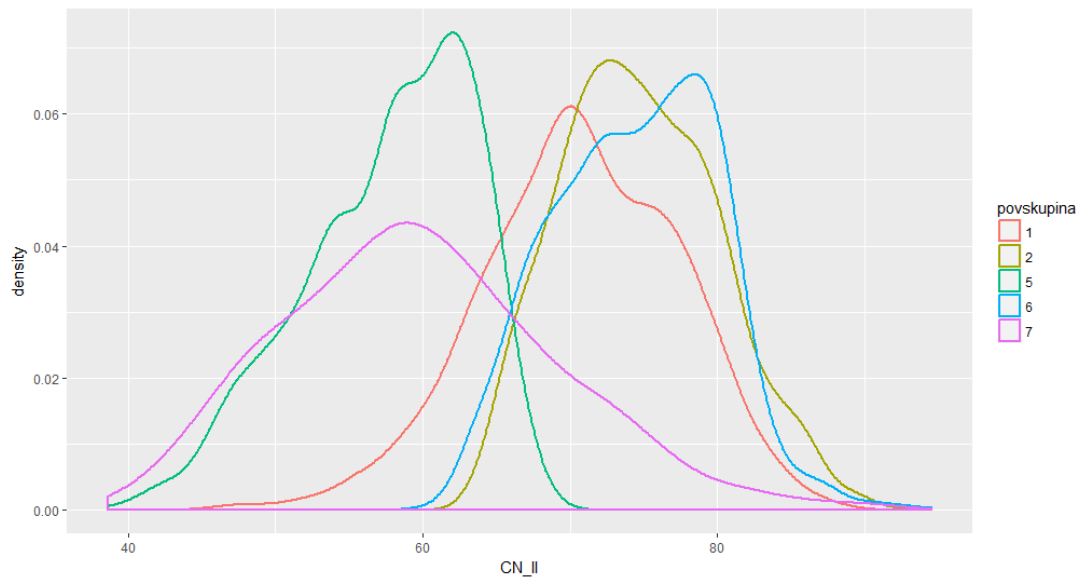
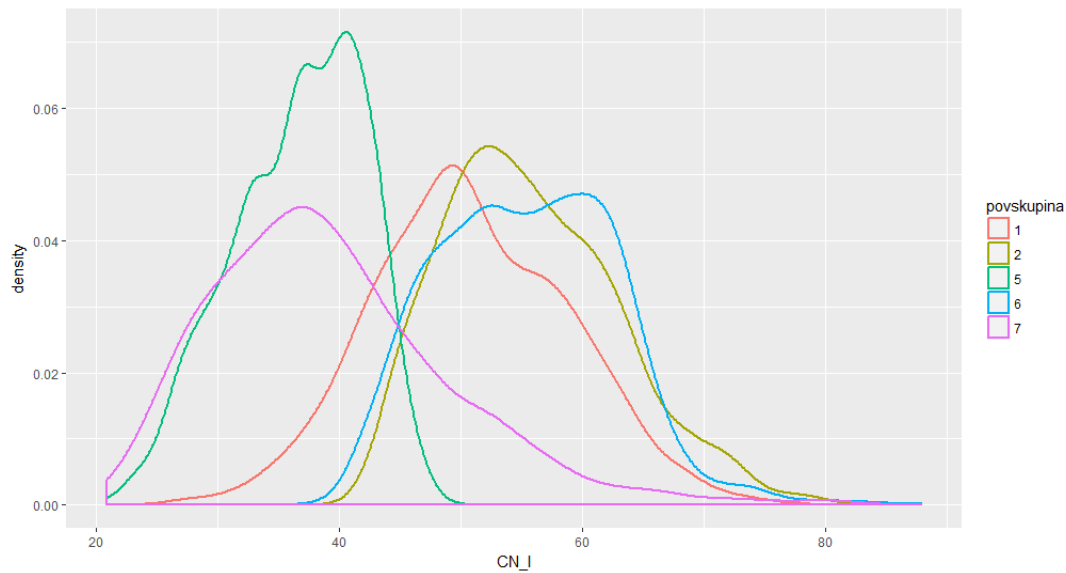
### CN - číslo odtokové křivky

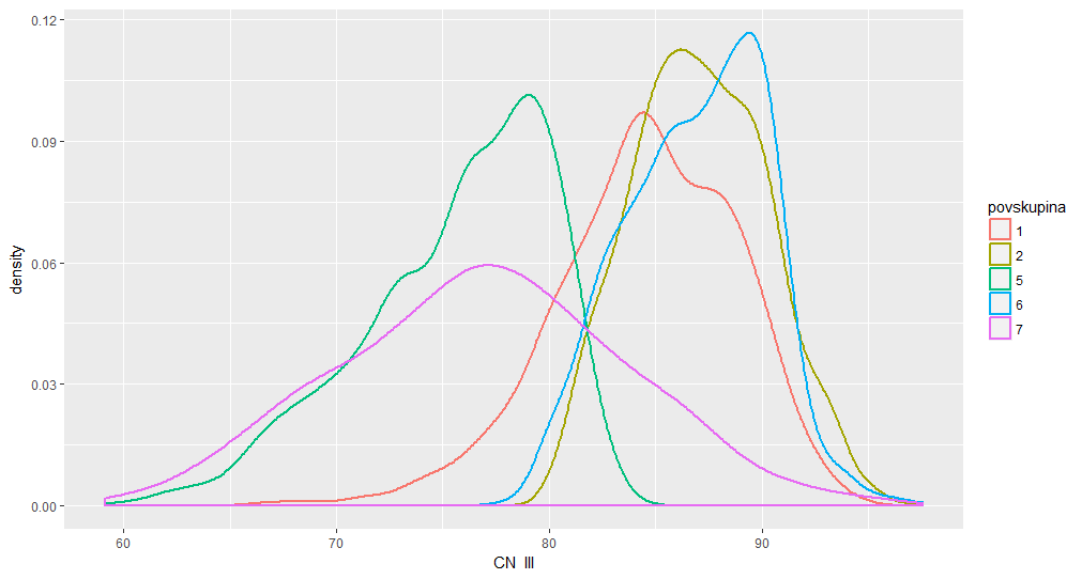
Hodnoty CN 2 na všech povodích byly převzaty z podkladových dat použitých pro klasifikaci povodí (viz předchozí zprávy projektu). Hodnoty pro zbylé krajní stavy CN 1 a CN 3 byly přepočteny pomocí empirických vztahů dle Chow (1988):

$$CN I = \frac{4,2 * CN II}{10 - 0,058 * CN II}$$

$$CN III = \frac{23 * CN II}{10 + 0,13 * CN I}$$

Hustoty rozdělení hodnot pro jednotlivé třídy povodí a všechny stavy předchozího nasycení jsou znázorněny na Obrázku 6.





Obrázek 6: Hustoty rozdělení hodnot CN 1–3 dle třídy povodí.

Hodnoty CN v metodě SCS-CN určují odtokovou výšku, menší hodnoty CN přitom generují menší objemy odtoku. Na Obrázku 6 je patrné, že třídy lesních povodí 5 a 7 mají výrazně nižší hodnoty CN, přičemž ale poslední jmenované vykazuje extrémní variabilitu a překryv s ostatními třídami.

Pro potřeby stochastického modelování musela být empirická rozdělení aproximována některým z teoretických rozdělení, které nabízí komponenta citlivostní analýzy v modelu HMS. Konkrétně se jedná o rozdělení normální, lognormální, gamma a weibullovo rozdělení. Pro každou třídu povodí a variantu předchozího nasycení byly nalezeny parametry nejlépe aproximujícího rozdělení. Shoda byla posuzována pomocí Kolmogorov-Smirnovova testu na hladině významnosti 5 %. Statisticky významná shoda byla nalezena vždy v případě tříd povodí 1, 2 a 7, požadované přesnosti nebylo dosaženo u třídy 5 a 6. V těchto případech byla použita teoretická rozdělení s nejbližší přijatelnou hodnotou kritéria K-S testu.

### Imp - podíl nepropustných ploch

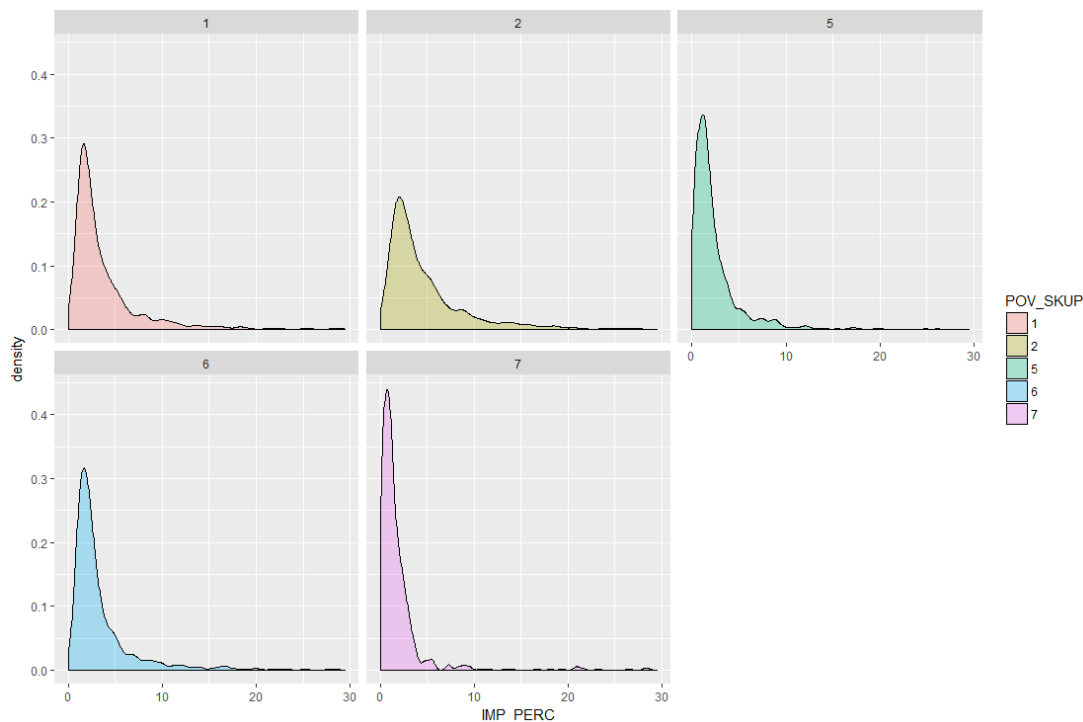
S pomocí polohopisných dat ZABAGED byl na všech klasifikovaných povodích IV. řádu vyčíslen podíl nepropustných ploch. Mezi ně byly započteny následující kategorie uvedené v Tabulce 6:

Tabulka 6: Kategorie nepropustných ploch v databázi ZABAGED.

|                  |               |                |                       |             |
|------------------|---------------|----------------|-----------------------|-------------|
| usazovací nádrže | vodní plochy  | transformátory | letišťe               | bloky budov |
| odkališťe        | žel. stanice  | fóliovníky     | kůlny                 | elektrárny  |
| silnice          | skalní útvary | lomy           | skleníky              | rozvodny    |
| dálnice          | sila          | parkovišťe     | místa povrchové těžby |             |

U liniových vrstev silnic byl uvažován buffer produkující výslednou šířku 7-28 m dle třídy komunikace. Pro empirická rozdělení (Obrázek 7) byla opět hledána nejlépe přiléhající teoretická rozdělení. Tentokrát nevyhovělo na zvolené hladině významnosti žádné z

testovaných teoretických rozdělení, jako nejbližší vhodné bylo ve všech případech vybráno lognormální rozdělení.



Obrázek 7: Hustoty rozdělení podílu nepropustných ploch dle třídy povodí.

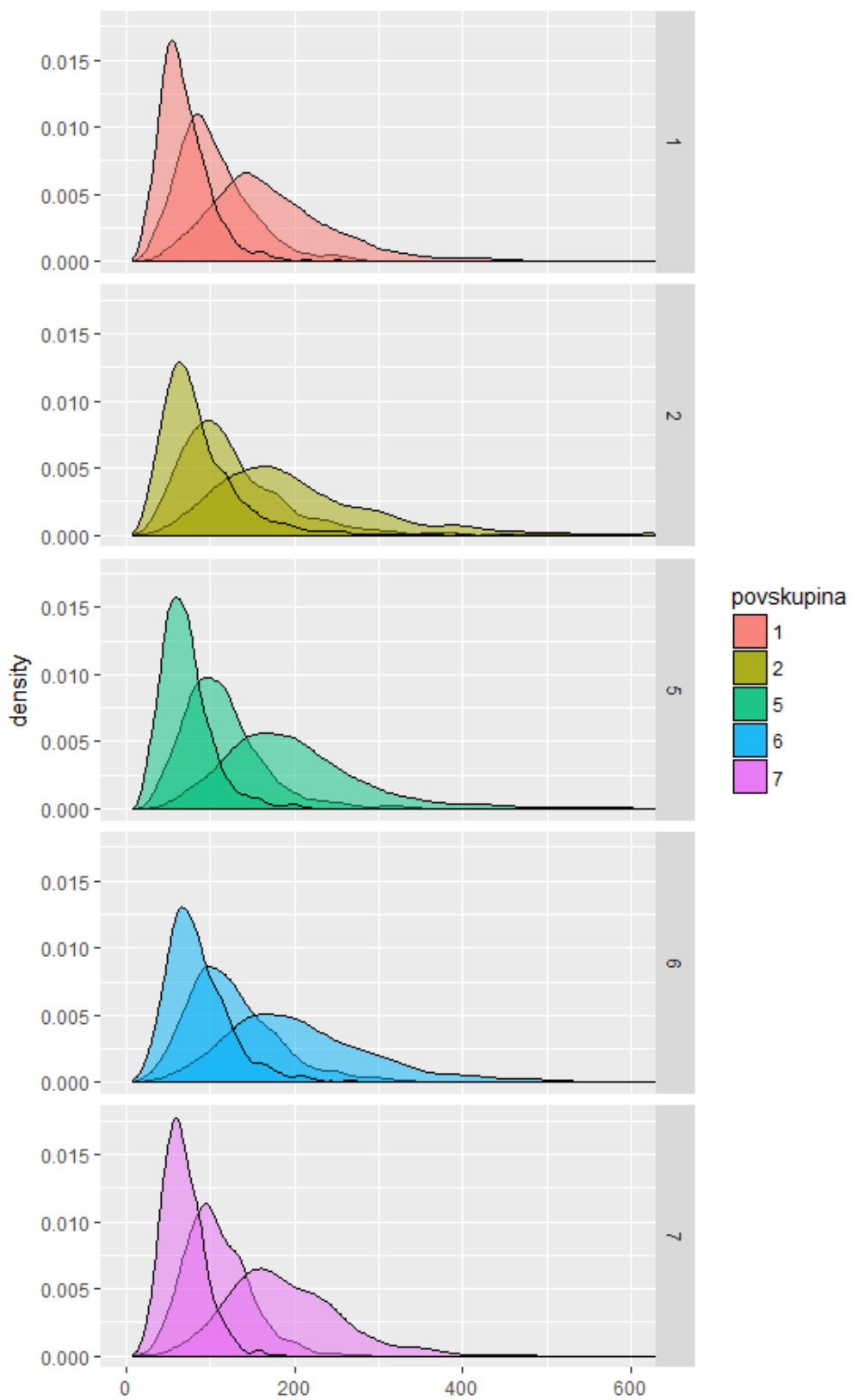
### LagTime - doba zdržení

Tento parametr určuje v metodě SCS jednotkového hydrogramu velikost posunu vrcholu jednotkového hydrogramu od těžiště srážkového impulzu, zjednodušeně řečeno tedy spoluurčuje načasování kulminace odtokové odezvy povodí. Dle metodiky SCS (1972) lze dobu zpoždění vyjádřit následujícím vztahem:

$$T_{LAG} = \frac{L_{MAX}^{0,8} * (S + 1)^{0,7}}{1900 * (\% slope)^{0,5}}$$

|     |           |   |
|-----|-----------|---|
| kde | $T_{LAG}$ | Doba zdržení (hod)                                |
|     | $L_{MAX}$ | Délka nejdelší odtokové dráhy povodí (ve stopách) |
|     | % slope   | Průměrný sklon povodí (%)                         |
|     | S         | Maximální potenciální retence (v palcích)         |

Délka nejdelší odtokové dráhy stejně jako sklon povodí byly vyčísleny v předchozích letech řešení projektu při výběru vhodných charakteristik pro klasifikaci povodí. Vzhledem k závislosti hodnoty doby zpoždění na CN byly vyčísleny tři varianty doby zpoždění pro tři uvažované stavy předchozího nasycení. Empirické rozdělení hodnot pro všechny stavy nasycení 1–3 ilustruje Obrázek 8. Nejvyšší vrchol představuje dobu zpoždění pro nejvyšší stupeň předchozího nasycení a obráceně. Při výběru vhodných teoretických rozdělení bylo ve většině případů využito lognormální rozdělení, pouze na poslední třídě povodí 7 bylo nejvíce statisticky průkazné gamma rozdělení. Ve všech případech vyhověla aproximující funkce K-S testu na hladině významnosti 5 %.



Obrázek 8: Empirické hustoty rozdělení doby zpoždění (v minutách) povodí dle tříd.

### **6.2.6. A1706 - Vliv na vodohospodářské stavby (C007)**

V roce 2017 byla zpracována analýza dopadu různých odtokových scénářů (viz cíl C005) na dimenzování vodohospodářských staveb. Zhodnocení vlivu zpřesnění návrhových parametrů odtoku z malých povodí na zvýšení možnosti retence vody v krajině, bezpečnosti a spolehlivosti vodohospodářských staveb a ekonomický dopad efektivnějšího dimenzování vodohospodářských staveb vlivem zpřesnění návrhových odtokových charakteristik z malých povodí. Analýza dopadů jednotlivých scénářů je provedena samostatně pro každý typický vodohospodářský objekt (stavbu) definovaný v roce 2016 pomocí SWOT analýzy. Pro každý typický vodohospodářský objekt vznikl podrobný samostatný katalogový list, který má následující části:

- popis a technické parametry
- účel a efekt opatření
- dimenzování
- náklady na realizaci
- provozní náklady
- grafická část

Tyto dílčí cíle jsou v souladu s výsledkem V005 a jeho závěry budou promítnuty do výsledné metodiky (V001).

#### **01 Suchá nádrž**

##### ***Popis a technické parametry***

Hlavními objekty suché nádrže je hráz a výpustná zařízení (výpustě a bezpečnostní přeliv). Návrh výpustných zařízení se řídí ustanoveními ČSN 75 2410. Pro suché nádrže se doporučuje navrhovat výpustná zařízení, která nevyžadují obsluhu, tj. zpravidla bez pohyblivých konstrukcí. Každá suchá nádrž musí mít vyřešeno převádění velkých vod. Ve výjimečných a řádně zdůvodněných případech lze u zemních hrází nižších než 5 m nahradit bezpečnostní přeliv převáděním povodňových průtoků přes korunu hráze. V tomto případě musí být koruna hráze a vzdušní líc hráze upraveny a opevněny tak, aby nemohlo vlivem přepadajícího paprsku vody dojít k jejich poškození. Plocha zátopy je v období běžných průtoků zpravidla zemědělsky využívána, nejčastěji jako louky či pastviny.

##### ***Účel a efekt opatření***

Primárním účelem suché nádrže je zachycení objemu povodňové vlny při přívalových srážkách a snížení průtoku na tzv. neškodný odtok, stanovený na základě posouzení kritických míst v zastavěném území, které má nádrž chránit. Suchá nádrž může sloužit i pro ochranu zemědělských pozemků, komunikací a jiných objektů před přitékající vodou a následné neškodné odvedení.

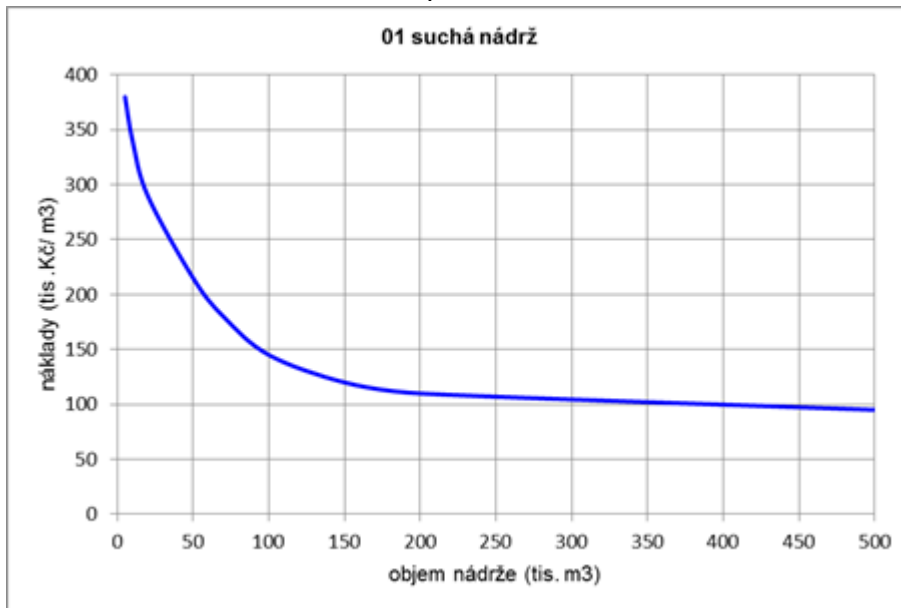
V nádrži zadržaná voda zvyšuje podíl infiltrace do podloží nádrže.

##### ***Dimenzování***

Objem suché nádrže je většinou určen morfologií území, případně limitující zástavbou nebo technickou infrastrukturou. Suchá nádrž může mít i malý objem stálého nadržení – tato vodní plocha tvoří lokální biocentrum (umělý mokřad), aniž by významně ovlivnila celkový objem nádrže. Vodohospodářské řešení se provádí podle ČSN 73 6815. Musí z něho být patrná transformace N-letých průtoků a musí být prokázána bezpečnost díla za povodní.

##### ***Náklady na realizaci***

Náklady na zřízení suché nádrže se odvíjejí od jejích dimenzí a jsou znázorněny v grafu závislosti na ploše objemu nádrže (Obrázek 9). Pro násyp hráze se předpokládá využití místního materiálu, většinou lze použít materiál z budoucí nádrže.



Obrázek 9: Závislost realizačních nákladů suché nádrže na objemu.

### **Provozní náklady**

Do provozních nákladů je nutno započítat pravidelnou kontrolu konstrukce hráze a výpustných zařízení. Jsou-li zjištěny poruchy, je nezbytná jejich náprava pro správné fungování nádrže a vyloučení rizika zvláštních povodní. Travní porost na návodním i vzdušném líci hráze je nutno pravidelně udržovat sečením (min. 2x ročně), výsadba keřů a stromů se nedoporučuje.

U suchých nádrží je nutná každoroční údržba plochy vymezené zátopy, tj. sečení travinného porostu a odstraňování případných sedimentů, pokud není plocha zátopy obhospodařována jiným subjektem.

Všechny tyto činnosti jsou zakotveny v provozním, případně i manipulačním řádu.

## **02 Protierozní sedimentační nádrž**

### **Popis a technické parametry**

Hlavními objekty protierozní sedimentační nádrže je hráz a výpustná zařízení (výpustě a bezpečnostní přeliv). Nádrže, u kterých se předpokládá masivní přísun smyté zeminy, je nezbytné doplnit vybavením, které umožní čištění retenčního prostoru (zpevněný sjezd do dna nádrže, manipulační plocha).

Hráz protierozní sedimentační nádrže může být sypaná zemní, případně zděná z kamene nebo betonová, s charakterem přehrážek hrazení bystřin.

Voda z nádrže po odsazení nesených půdních částic buď odtéká výpustným potrubím, nebo vsakuje do dna nádrže. Podmínkou infiltrace vody do půdního profilu dna nádrže je jeho dostatečná infiltrační schopnost (vhodné jsou např. písčité, nejvýše písčitohlinité půdy).

### **Účel a efekt opatření**

Protierozní sedimentační nádrže slouží k ochraně intravilánu nebo jiné chráněné lokality (vodní nádrže, infrastruktury, atd.) před následky transportu smyté zeminy a povrchového odtoku ze zemědělských pozemků.

### **Dimenzování**

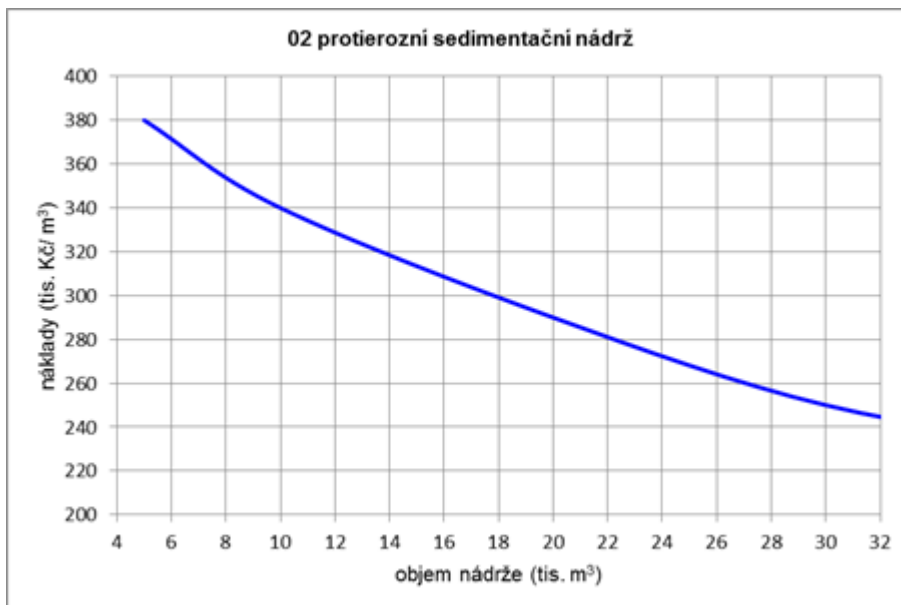


Protierozní sedimentační nádrže jsou navrhovány na dráze soustředěného odtoku s dostatečnou zdrojovou plochou a vhodnou konfigurací profilu k vybudování.

Nádrže plní řadu protierozních funkcí, zejména snižují podélný sklon údolí, zachycují splaveniny a část odtoku vody převádějí infiltrací na podzemní odtok. K sedimentaci transportovaných půdních částic v prostoru nádrže dochází vlivem snížení průtočné rychlosti. Voda z nádrže po odsazení nesených půdních částic buď odtéká výpustným potrubím, nebo vsakuje do dna nádrže. Podmínkou infiltrace vody do půdního profilu dna nádrže je jeho dostatečná infiltrační schopnost (vhodné jsou např. písčité, nejvýše písčitohlinité půdy).

### **Náklady na realizaci**

Náklady na zřízení protierozní sedimentační nádrže se odvíjejí od jejího charakteru. Pro sypanou zemní hráz jsou znázorněny v grafu závislosti na objemu nádrže (Obrázek 10). Pro násyp hráze se předpokládá využití místního materiálu, většinou lze použít materiál z budoucí nádrže.



Obrázek 10: Závislost realizačních nákladů protierozní sedimentační nádrže na objemu.

### **Provozní náklady**

Podmínkou trvalé funkčnosti protierozní sedimentační nádrže je pravidelná údržba, spočívající především v odstraňování usazenin ze dna nádrže a pravidelná kontrola stability hráze a stavu objektů.

## **03 Ochranná hrázka**

### **Popis a technické parametry**

Ochranné hrázky jsou tvořeny zemním tělesem lichoběžníkového tvaru a stabilizovány zatravněním. Pokud může dojít k zatopení návodního líce hrázky, je nutno ji budovat tak, aby byla zachována její stabilita, tj. dodržet požadovaný stupeň zhutnění a podélný profil koruny hrázky vést bez lokálních depresí, ve kterých by mohlo dojít k soustředěnému přelítí.

Hrázky mohou být přejezdné a nepřejezdné. Přejezdné hrázky mají max. sklon svahů 1 : 5, lépe 1 : 10.

Korunu hrázky je možno ozelenit křovinnou nebo stromovou vegetací, čímž v krajině vznikne zajímavá ekologická linie.

### **Účel a efekt opatření**

Ochranné hrázky jsou používány buď ve spojení se záchytným příkopem, nebo průlehem – pak se v zásadě jedná o protierozní mez, nebo samostatně jako ochranné hrázky, budované na ochranu určité lokality (většinou zastavěného území) před povrchovým odtokem z výše ležících pozemků). Hrázka je v takovém případě budována při dolním okraji pozemku, její trasa je vedena po vrstevnici s mírným odklonem, bez bezodtokých míst.

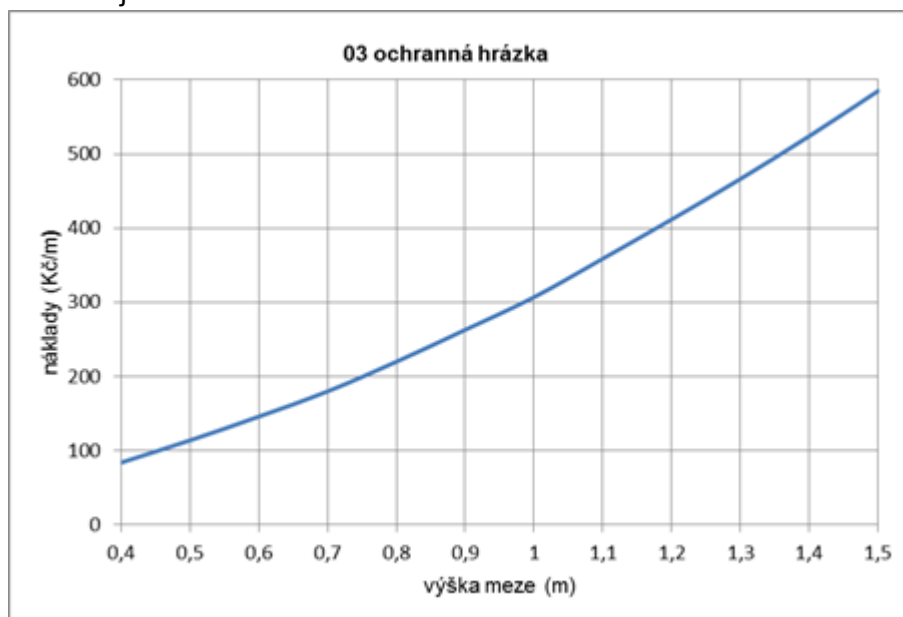
Pokud jsou hrázky navrženy jako retenční, jejich trasa je vedena po vrstevnici a jsou vybaveny výpustným zařízením s česlemi, které odvádí zadrženu vodu po usazení splavenin. Volbu místa odtoku je nutné přizpůsobit recipientu odvodňovací sítě.

### **Dimenzování**

Výška hrázky vychází z výpočtu objemu odtoku a splavenin z N-leté návrhové srážky, která je volena na základě důležitosti chráněných objektů metodou CN křivek. Dále je nutný hydrotechnický výpočet pro určení kapacity záchytného prostoru.

### **Náklady na realizaci**

Náklady na zřízení hrázky se odvíjejí od jejich dimenzí a jsou znázorněny v grafu závislosti na ploše příčného profilu hrázky pro 1 m délky (Obrázek 11). Náklady na případné výpustné zařízení je nutno určit individuálně.



Obrázek 11: Závislost realizačních nákladů ochranné hrázky na výšce meze.

### **Provozní náklady**

Provozní náklady zahrnují pravidelnou údržbu hrázek sečením (2x ročně), kontrolu stavu hrázky a její stability a stavu objektů, zejména po průtoku větších vod.

## **04 Retenční příkop**

### **Popis a technické parametry**

Retenční příkop je liniový prvek, nejčastěji lichoběžníkového nebo miskovitého profilu se šířkou ve dně 0,3 – 0,6 m, hloubkou 0,6 – 1,2 m a sklonem svahů 1:1,5 až 1 : 2. Opevněn je většinou pouze zatravněním.

Z hlediska umístění mohou být členěny na příkopy záchytné nebo sběrné.

Záchytný příkop chrání pozemek před přítokem vnějších vod. Přitom za vnější plochu může být uvažován nejen les nebo jiná nezemědělská plocha, ale i sousední zemědělský pozemek.

Sběrný příkop je liniový prvek, umístěný na pozemku v místě nutného přerušení svahu. Může být kombinován s dalšími liniovými prvky v krajině (mezí, cestou, pásovým obděláváním, biokoridorem, apod.).

***Účel a efekt opatření***

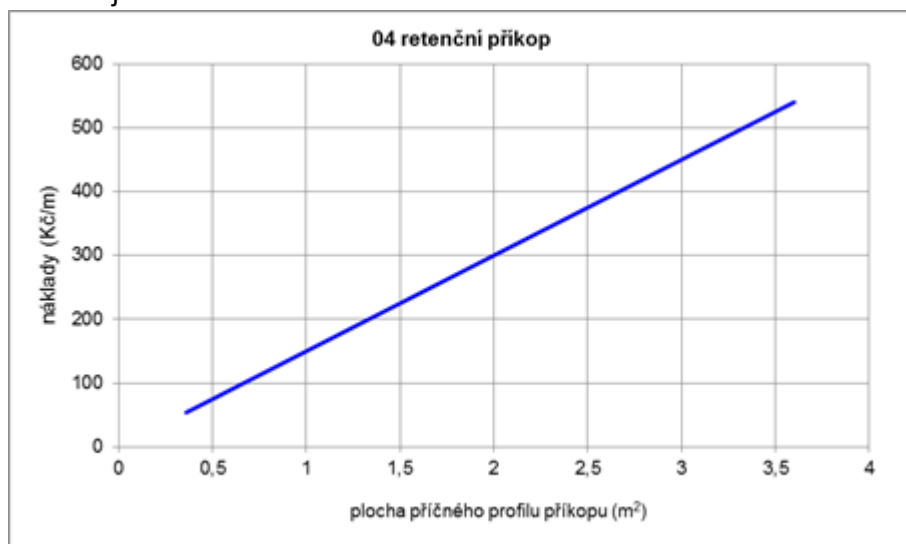
Smyslem retenčního příkopu je zachycení povrchového odtoku a jeho převedení na infiltraci.

### **Dimenzování**

Tento typ opatření je poměrně rizikový co do dimenzování, protože při překročení kapacity hrozí přelítí a soustředění odtoku. Navíc hydraulická vodivost půdy se v čase mění jednak díky vývoji vegetace, ale i díky usazeným splaveninám. Proto se doporučuje, aby měl retenční příkop vždy řešenou možnost odvodu zachycené vody povrchově mírným podélným sklonem a jako vsakovací byl navrhován jen ve výjimečných případech a v příznivých půdních podmínkách.

### **Náklady na realizaci**

Náklady na zřízení příkopu se odvíjejí od jeho dimenzí a jsou znázorněny v grafu závislosti na ploše příčného profilu příkopu pro 1 m délky (Obrázek 12). Náklady na případné výpustné zařízení je nutno určit individuálně.

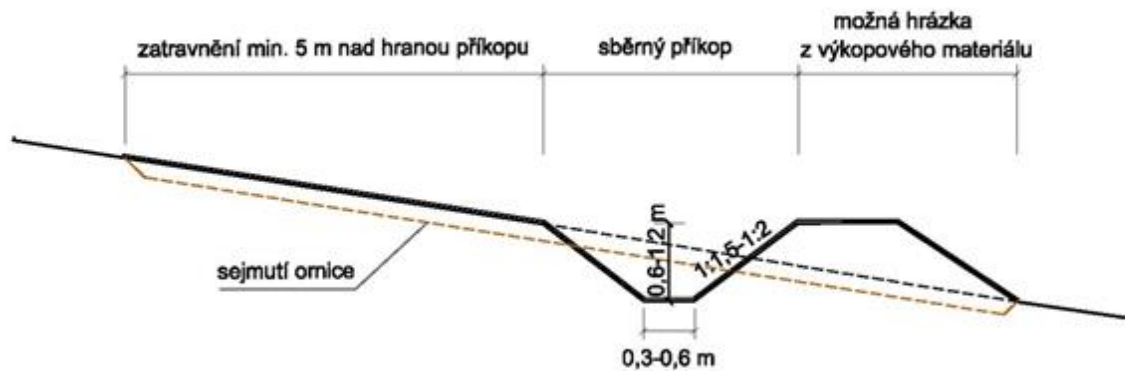


Obrázek 12: Závislost realizačních nákladů retenčního příkopu na ploše příčného profilu.

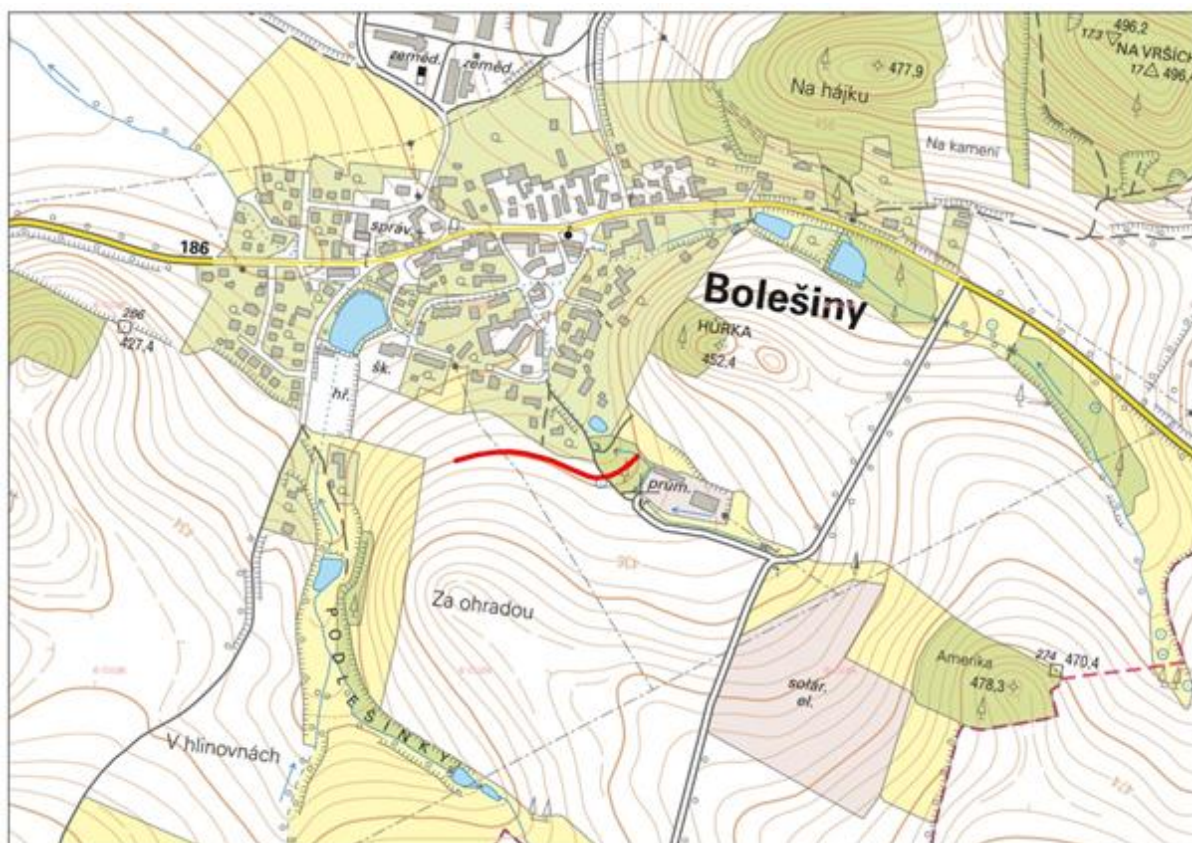
### **Provozní náklady**

Provozní náklady spočívají v nutnosti zachování trvalé funkčnosti retenčních příkopů, pro kterou je nutné jejich pravidelné čištění od nánosů a porostů, a to zejména po erozně odtokových epizodách, kdy je třeba v rámci kontrolních prohlídek ověřit míru zanesení sedimenty a zajistit jejich případné odtěžení. Současně je třeba věnovat pozornost souvisejícím objektům, především propustkům a mostkům, a udržovat jejich průtočnost.

## Grafická část



Obrázek 13: Vzorový příčný řez retenčním příkopem.



Obrázek 14: Situace retenčního příkopu.

## 05 Odváděcí příkop

### Popis a technické parametry

Odváděcí příkop je liniový prvek, jehož příčný profil je nejčastěji lichoběžníkový, se šířkou ve dně 0,3 – 0,6 m, hloubkou 0,6 – 1,2 m a sklonem svahů 1:1,5 až 1 : 2. Pokud je to možné vzhledem ke sklonovým poměrům, dimenzi příkopu a místním materiálům, je preferováno, aby příkopy byly opevněné pouze zatravněním, svodné příkopy ale díky většímu podélnému sklonu jsou většinou opevněny. Nejjednodušší volbou jsou betonové žlabovky nebo betonové

desky ve dně a patách svahů, svahy jsou často chráněny polovegetačními tvárnici, případně kamennou dlažbou.

### **Účel a efekt opatření**

Z hlediska umístění mohou být členěny na příkopy záchytné, sběrné nebo svodné.

Záchytný příkop je situován nad chráněným pozemkem a zabraňuje přítoku vnějších vod.

Sběrný příkop (případně soustava sběrných příkopů) je navrhován přímo v ploše řešeného pozemku s cílem zkrátit volnou délku povrchového odtoku tak, aby nedocházelo k překročení přípustné ztráty půdy.

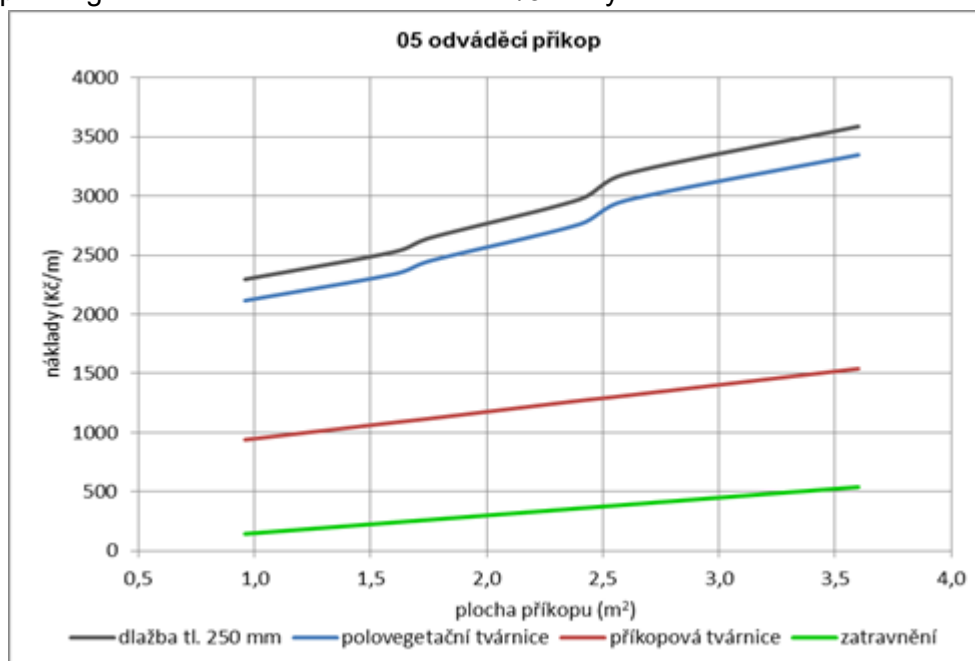
Svodný příkop je recipientem příkopů záchytných nebo sběrných a odvádí zachycenou vodu do recipientu. Při jeho navrhování je třeba respektovat návrhové parametry všech zaústěných sběrných nebo záchytných příkopů.

### **Dimenzování**

Příkopy jsou dimenzovány na dobu opakování nejméně 5 let, pokud je cílem jen ochrana zemědělského pozemku. Pro ochranu intravilánu nebo jiné infrastruktury je míra ochrany vyšší dle konkrétních podmínek, zpravidla na srážku s opakováním 10 – 50, výjimečně 100 let.

### **Náklady na realizaci**

Náklady na zřízení příkopu jsou závislé na velikosti jeho průtočného profilu a na způsobu opevnění. V grafu (Obrázek 15) jsou uvedeny čtyři možnosti opevnění – zatravněním, opevněním příkopovou tvárnici (pouze opevnění dna), příkopovou tvárnici doplněnou polovegetačními tvárnici zhruba do 2/3 délky svahů a kamennou dlažbou.

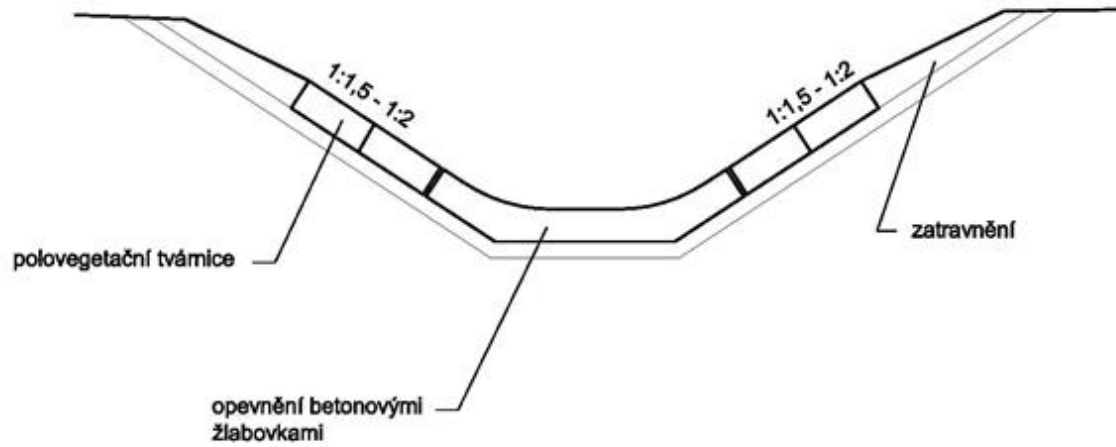


Obrázek 15: Závislost realizačních nákladů odváděcího příkopu na ploše příčného profilu příkopu a způsobu opevnění.

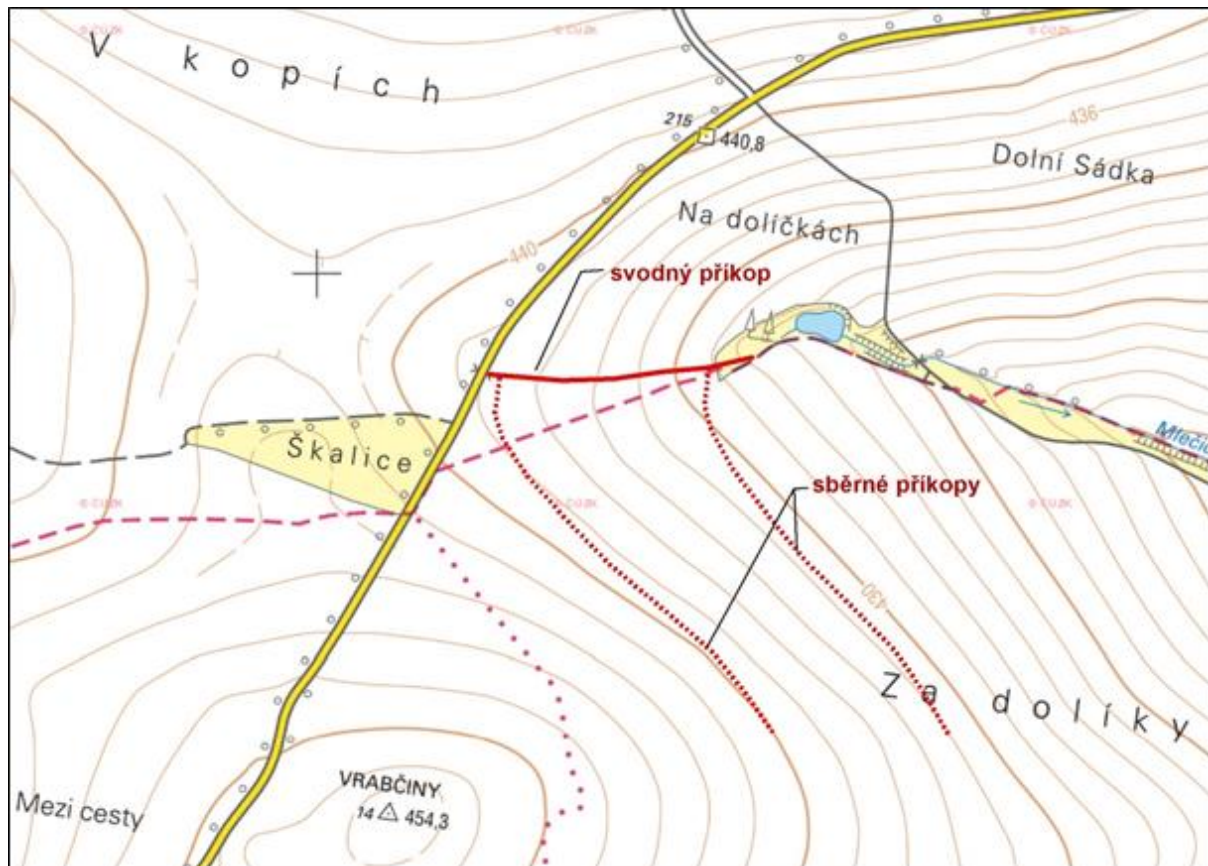
### **Provozní náklady**

Provozní náklady se vztahují k pravidelnému sečení a odklizení travní hmoty a po každém větším přívalovém dešti odstranění sedimentů. U opevněných příkopů je nutná kontrola stavu opevnění a jeho případné opravy a doplnění.

## Grafická část



Obrázek 16: Vzorový příčný řez odváděcím příkopem.



Obrázek 17: Situace odváděcího (svodného) příkopu.

## 06 Retenční průleh

### **Popis a technické parametry**

Retenční průleh je liniový prvek, jehož úkolem je zachytit povrchový odtok a převést ho na infiltraci, což může mít potenciálně výrazný vliv na snížení odtoku z krajiny a doplňování zásoby podzemní vody. Průleh je mělký, široký příkop zpravidla s parabolickým nebo lichoběžníkovým příčným profilem. Sklony svahů by neměly překročit 1 : 5, zpravidla jsou navrhovány mírnější (např. 1 : 10) tak, aby byl průleh přejezdný, případně obdělávatelný.

Retenční průleh se zásadně opevňuje ve dně a svazích pouze zatravněním – použitím jiného typu opevnění by byla popřena jeho základní funkce. Retenční průlehy jsou vhodné na pozemcích se sklonem do 4 %.

Pod průlehem se zpravidla buduje protierozní mez za účelem zvýšení retenčního objemu příkopu a využití materiálu z výkopu.

Retenční průleh se neumísťuje nad zástavbu či infrastrukturu.

### **Účel a efekt opatření**

Retenční průleh umožňuje zachytit a neškodně vsáknout (případně vypařit) srážkovou případně drenážní vodu na povrchu území.

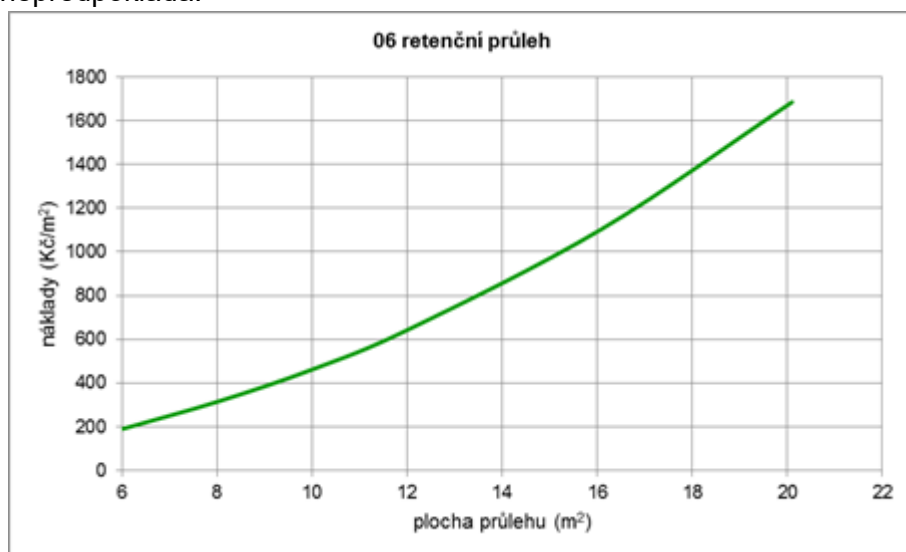
### **Dimenzování**

Tyto prvky se dimenzují na celkový objem odtoku ze srážky ze zdrojové plochy. Obvykle proto mají větší příčný profil než prvky odváděcí. Retenční průlehy se navrhují tak, aby ve svém akumulacním prostoru dokázaly zachytit celý objem odtoku z výše ležících pozemků při návrhové srážce pro  $N=5, 20, 100$  let, přičemž hloubka průlehu je v rozmezí 0,3 – 1,0 m.

Retenční průleh musí být na vhodném místě vybaven vypouštěcím zařízením s opevněným korunovým přelivem, zaústěným do zatravněné údolnice nebo do vhodného svodného prvku či do vodoteče.

### **Náklady na realizaci**

Náklady na zřízení průlehu se odvíjejí od jeho dimenzí a jsou znázorněny v grafu závislosti na půdorysné ploše průlehu pro 1 m délky (Obrázek 18). Pro jednoduchý odhad nákladů lze uvažovat 150 Kč/m<sup>3</sup> příčného profilu průlehu. V ceně je zahrnuto zatravnění, odvoz zeminy se nepředpokládá.



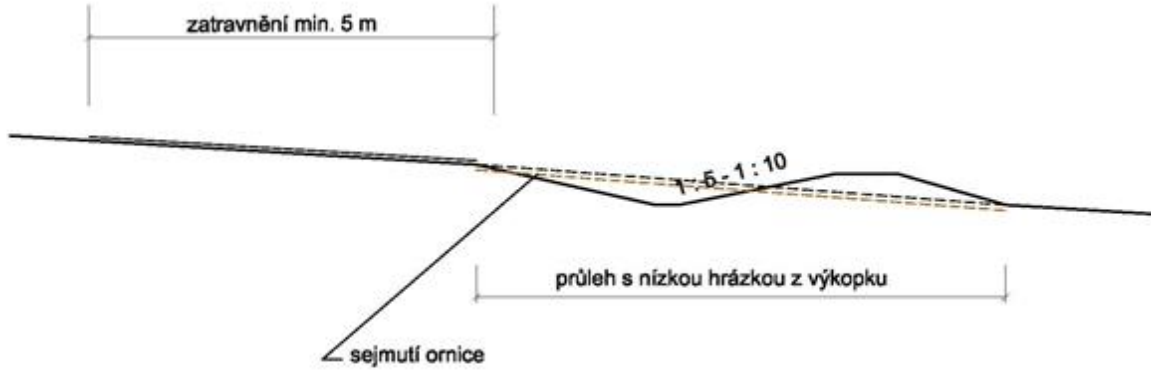
Obrázek 18: Závislost realizačních nákladů retenčního průlehu na ploše příčného profilu.



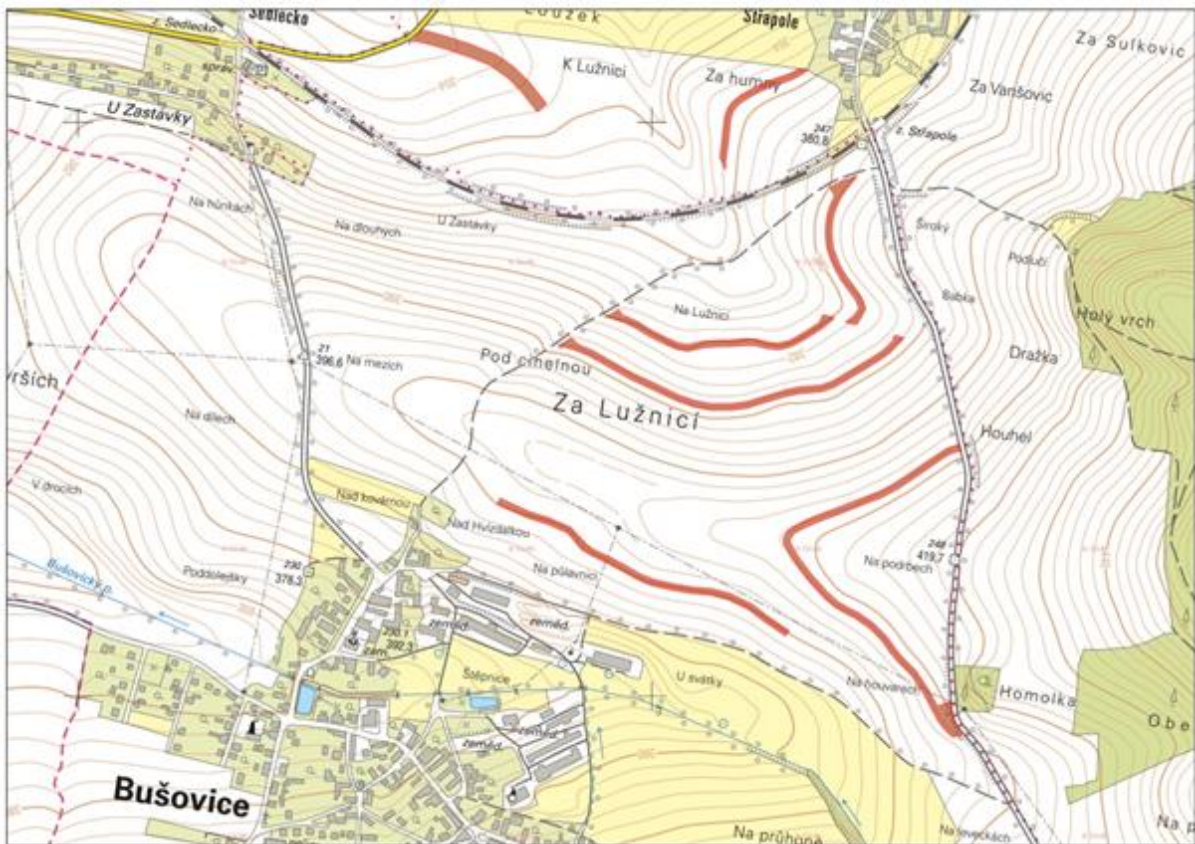
### Provozní náklady

Provozní náklady zahrnují pravidelné sečení (2x ročně) a kontrolu propustnosti dna a svahů s ohledem na možné zakolmatování zeminou.

### Grafická část



Obrázek 19: Vzorový příčný řez retenčním průlehem.



Obrázek 20: Situace systému retenčních průleहů.

## **07 Odváděcí průleh**

### ***Popis a technické parametry***

Odváděcí průleh je liniový prvek, jehož úkolem je zachytit povrchový odtok a odvést ho mimo chráněnou plochu do recipientu.

Z hlediska lokalizace jsou průlehy děleny na:

- záchytné – které jsou situovány nad chráněným pozemkem a zabraňují přítoku vnějších vod,
- sběrné – linie, které jsou navrhovány přímo v ploše řešeného pozemku s cílem přerušit volnou délku povrchového odtoku tak, aby nedocházelo k překročení přípustné ztráty půdy,
- svodné – které jsou recipientem příkopů či průlehů odváděcích. Jeho úkolem je bezpečné svedení zachycené vody do vodní nádrže nebo toku.

Záchytné a sběrné průlehy jsou zpravidla nezpevněné, sklony svahů by neměly překročit 1 : 5, zpravidla jsou navrhovány mírnější (např. 1 : 10) tak, aby byl průleh přejezdný, případně obdělávatelný. Vzhledem k požadavku na sklon svahů je průleh aplikovatelný na mírnějších pozemcích o sklonu pod 10 %.

U svodných průlehů je max. střední profilová rychlost pro zatravnění 1,5 m/s, při vyšších rychlostech musí být průleh opevněn, např. dlažbou nebo polovegetačními tvárnicemi.

### ***Účel a efekt opatření***

Odváděcí průleh ochraňuje před erozí buď zájmový pozemek (v případě průlehu záchytného) nebo zkracuje délku dráhy povrchového odtoku (v případě průlehu sběrného) na zemědělském pozemku tak, aby nedocházelo k překročení přípustné ztráty půdy.

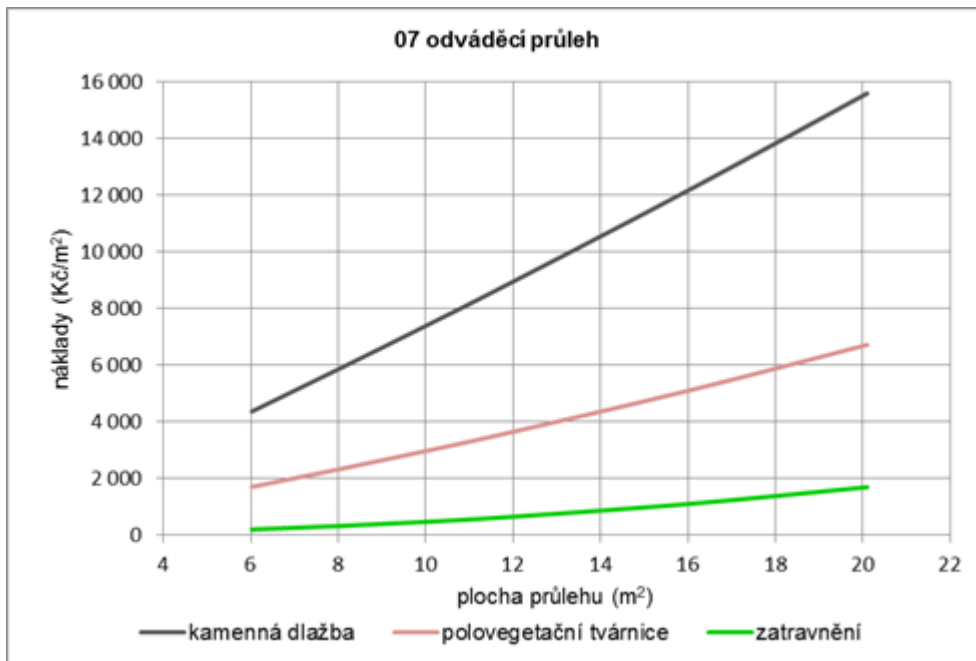
Svodný průleh ovlivňuje odtokové poměry při přívalových deštích spíše negativně (do jisté míry urychluje odtok), jako kompenzační opatření lze navrhnout speciální objekty pro zpomalení odtoku, např. kaskády, přehrážky apod., případně před zaústěním do recipientu situovat suchou nádrž. Svodný průleh je ale nezbytným prvkem soustavy protierozních příkopů, případně průlehů.

### ***Dimenzování***

Návrh podélného sklonu a příčného profilu průlehu se provádí pomocí hydrologických metod. Podélný sklon a příčný profil určují průtočnou kapacitu průlehu a rychlost proudění, na kterou je třeba posoudit stabilitu dna a svahů.

### ***Náklady na realizaci***

Náklady na zřízení průlehu se odvíjejí od jeho dimenzí a způsobu opevnění a jsou znázorněny v grafu závislosti na půdorysné ploše průlehu pro 1 m délky (Obrázek 21).

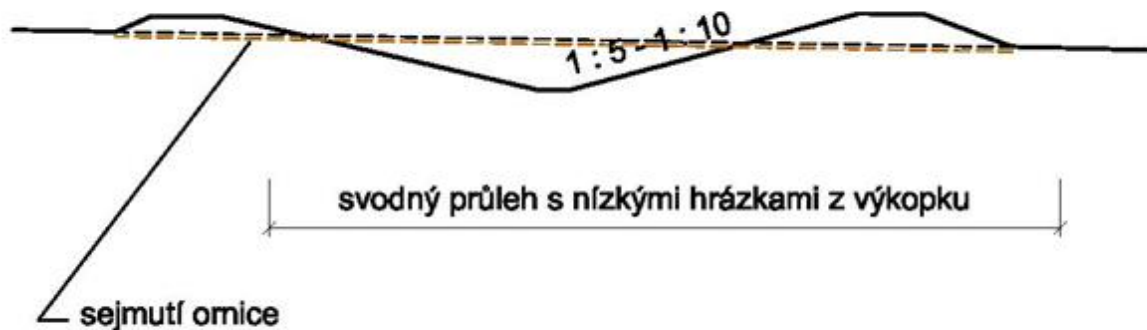


Obrázek 21: Závislost realizačních nákladů odváděcího průlehu na ploše příčného profilu a způsobu opevnění.

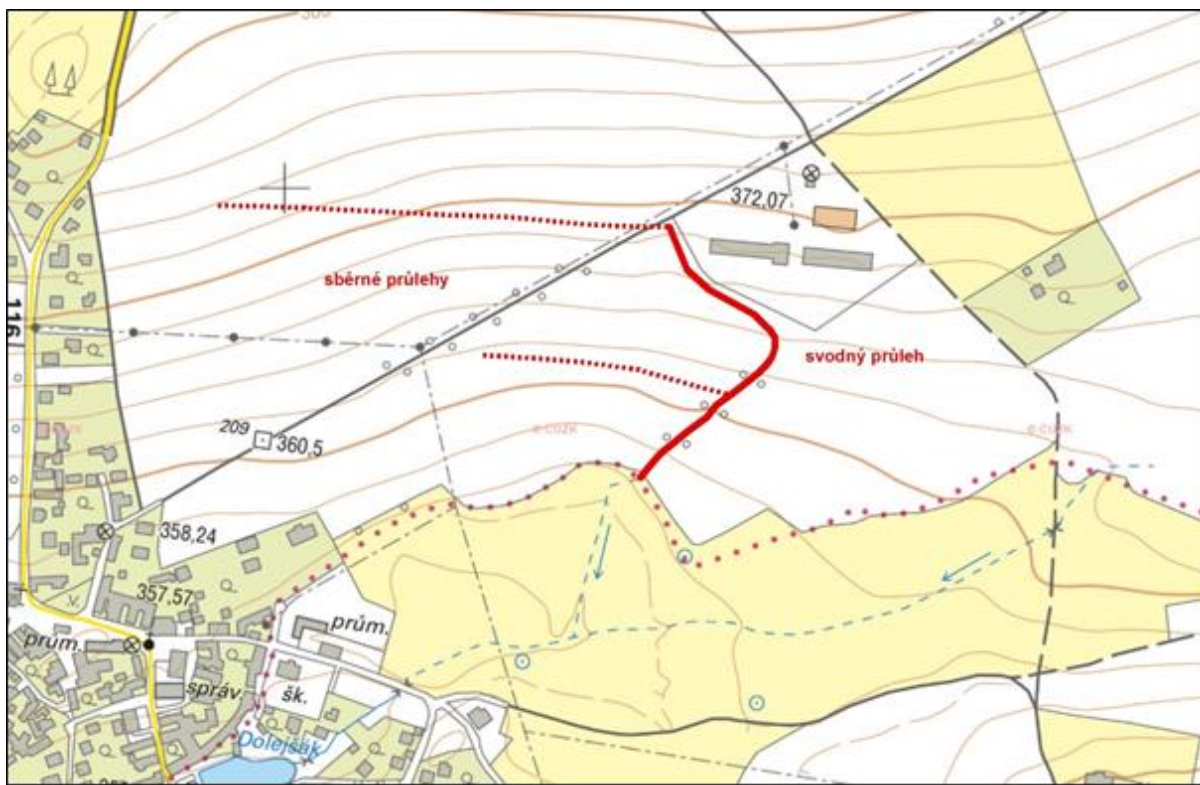
### Provozní náklady

Náklady na údržbu průlehů jsou obdobné jako u jiných vodohospodářských děl. Nezbytné je provádět pravidelnou vizuální kontrolu technického stavu průlehů a to hlavně po povodňových událostech - zejména stavu opevnění a případných objektů – propustků, skluzů apod. Pravidelně by měla být prováděna údržba travních porostů sečením.

### Grafická část



Obrázek 22: Vzorový příčný řez odváděcím průlehem.



Obrázek 23: Situace svodného průlehu se zaústěnými sběrnými průlehy.

## 08 Propustek

### **Popis a technické parametry**

Propustek je mostní objekt, popř. jeho část s kolmou světlostí mostního otvoru do 2,00 m včetně, sloužící k provedení stálých nebo občasných vod tělesem komunikace. Je tvořen základní nosnou konstrukcí, prefabrikovanou betonovou troubou kruhového profilu DN50 – DN200.

### **Účel a efekt opatření**

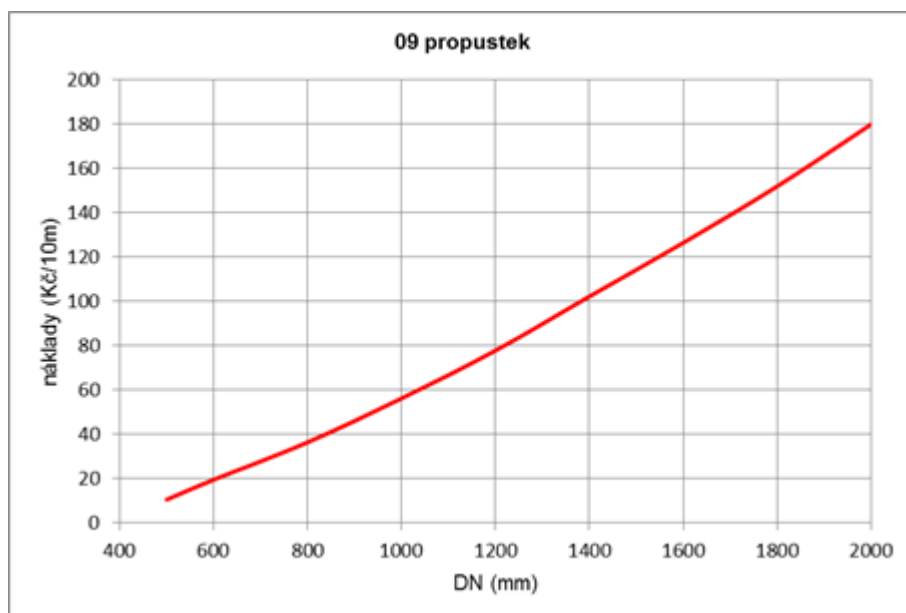
Jak je uvedeno výše, propustek slouží pro převedení průtoků v příkopech nebo průlezích tělesem komunikace.

### **Dimenzování**

Světlost propustku musí umožnit volný průtok při návrhové srážce. Návrh propustku musí odpovídat požadavkům ČSN 75 2130.

### **Náklady na realizaci**

Náklady na realizaci jsou uvažovány pouze jako cena betonových trub včetně těsnění, které jsou pro cenu propustku rozhodující. Závislost ceny propustku o délce 10 m na profilu je v následujícím grafu (Obrázek 24).



Obrázek 24: Závislost realizačních nákladů propustku na světlosti trouby propustku.

### **Provozní náklady**

Nejméně jedenkrát ročně je nutno provést běžnou prohlídku všech přístupných částí propustku z hlediska stavu spodní stavby a nosné konstrukce. Po povodňových událostech je nutná mimořádná prohlídka, sledující stav zanesení propustku a jeho případné vyčištění.

### **6.2.7. A1707 - Analýza vlivu rozdělení srážky ve vybraných hydrologických modelech (C005)**

Tato aktivita navazuje na předchozí aktivity z prvních dvou let řešení projektu. V rámci nich byl sestaven seznam v českém prostředí využívaných nebo zmiňovaných hydrologických modelů a byla provedena jejich klasifikace z hlediska struktury, výpočetních metod a dalších hledisek. V rámci hlavních skupin bylo vybráno pět reprezentativních modelů a většina z nich byla otestována s cílem identifikovat klíčové rutiny a citlivost na vstupní parametry. Jedná se o modely: HEC-HMS, SMODERP, KINFIL, Topmodel a MikeSHE. Na rok 2017 bylo plánováno dokončení započatých hydrologických simulací a vyhodnocení citlivosti výstupních charakteristik modelů (objem, kulminace, doba zpoždění) na jednotlivé srážkové scénáře a to v kontextu citlivosti na další vstupní parametry modelů.

Vývoj modelu KINFIL je v současné době pozastaven. Současný stav modelu neumožňuje široké použití, přestože je veden v několika metodikách. Náhradní model podobného typu nebyl nalezen, ale jeho vypuštění nepředstavuje zásadní ochuzení projektu.

Druhou komplikací byl Topmodel, v němž byly nalezeny chyby ve zdrojovém kódu znemožňující korektní simulaci epizodních srážko-odtokových událostí. Zvažována sice byla varianta opravy modelu (jedná se o OpenSource nástroj), ale vzhledem k tomu, že se nejedná o model využívaný v českém prostředí a neexistují jednoznačné návody na parametrizaci (běžně jsou parametry získávány spíše kalibrací na pozorovaných datech), bylo rozhodnuto tento model rovněž z výběru vyřadit. Model byl původně zařazený do výběru kvůli svému specifickému konceptuálnímu modelu tvorby odtoku. Ověření využitelnosti modelu pro rutinní nasazení v ČR a zařazení do národních normativů je nad rámec tohoto projektu. V inženýrské praxi je prakticky nevyužíván a jeho vyřazení tedy nesníží užítost připravované metodiky.

Výslednými nástroji, pomocí nichž byla hodnocena citlivost hydrologických modelů na variabilitu krátkodobých srážek, byly dva fyzikální modely MikeSHE a SMODERP a

konceptuální HEC-HMS založený na široce používané metodě SCS-CN. Protože se jedná z hlediska struktury a výpočetních metod o dva odlišné typy modelů, lišily se i počty simulovaných scénářů a způsob jejich odvození ze vstupních dat. Následuje stručný popis metod tvorby těchto scénářů včetně datových podkladů.

### Zdrojová data a tvorba výpočetních scénářů

Ve všech vybraných nástrojích (HMS, MikeSHE, SMODERP) byly sestaveny modely pěti charakteristických povodí: Býkovického potoka (1), Struhařovského potoka (2), Chouzavé (3), Škvoreckého (4) a Halounského potoka (5). Tato povodí byla vybrána jako charakterističtí zástupci tříd povodí vzešlých z klasifikace, která byla obsahem jedné z předchozích aktivit tohoto projektu a stručně je připomenuta na začátku popisu aktivity A1705 v této zprávě. Základní charakteristiky reprezentativních povodí uvádí Tabulka 7.

Modely těchto povodí byly zatíženy 30 variantami srážkových hyetogramů, jednotlivé varianty sestávaly z kombinací 6 bezrozměrných návrhových hyetogramů aplikovaných na 5 celkových úhrnů s dobami opakování 2, 5, 20, 50 a 100 let. Návrhové úhrny srážek za 6 hodin byly získány metodou redukce denních úhrnů a pohybovaly se v rozmezí od 29 do 88 mm. Morfologické charakteristiky byly odvozovány pomocí DMR 4G, polohopisné údaje ze ZABAGED. Detailní charakteristiky a jejich hodnoty byly zvoleny odlišně pro jednotlivé modely. Vzhledem k podobným principům modelů MikeSHE a SMODERP byly pro tyto modely scénáře vytvářeny téměř identicky až na drobné rozdíly v infiltrační rutině a rutině pro výpočet korytového odtoku. Kvůli značně delší výpočetní době ve SMODERP byl pro tento model vybrán jen kontrolní vzorek scénářů sestavených pro MikeSHE.

Tabulka 7: Reprezentativní povodí a jejich základní charakteristiky.

| Název toku      | Plocha<br>a<br>(km <sup>2</sup> ) | Nadm.<br>výška<br>(m n. m.) | Sklon<br>(%) | CN<br>II | Lesnatost | Tvar       | Hustota<br>říční sítě | Převažující<br>zrnatost půd |
|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------|--------------|----------|-----------|------------|-----------------------|-----------------------------|
| Býkovický p.    | 7.75                              | 344–515                     | 10,6         | 76.4     | 20 %      | vějířovité | střední               | pH, hP                      |
| Struhařovský p. | 5.79                              | 347–515                     | 11,0         | 72.7     | 30 %      | protáhlé   | vysoká                | H, pH, hP                   |
| Chouzavá        | 4.86                              | 360–504                     | 8,6          | 55.8     | 80 %      | přechodný  | střední               | H                           |
| Škvorecký p.    | 9.36                              | 249–420                     | 5,7          | 77.4     | 30 %      | protáhlé   | nízká                 | hP, pH                      |
| Halounský p.    | 6.09                              | 245–578                     | 12,8         | 58.5     | 70 %      | přechodný  | nízká                 | hP, pH                      |

Pro modelování infiltrace ve fyzikálních modelech jsou klíčovým vstupem hydraulické charakteristiky půd, zejména (a často pouze ona) nasycená hydraulická vodivost. Tato veličina je závislá na řadě půdních charakteristik, nejčastěji je vztahována k jejímu zrnitostnímu složení. Regionalizované informace o zrnitosti půd lze v ČR sice získat pouze syntézou z více datových zdrojů zejména kvůli rozdělení půdního fondu na lesní a zemědělskou půdu. Pro

modelování zde byla propojena data o zrnitosti ornice z komplexního průzkumu půd dle VÚMOP a zrnitosti lesních půd vztažené k lesním typům získané od ÚHUL.

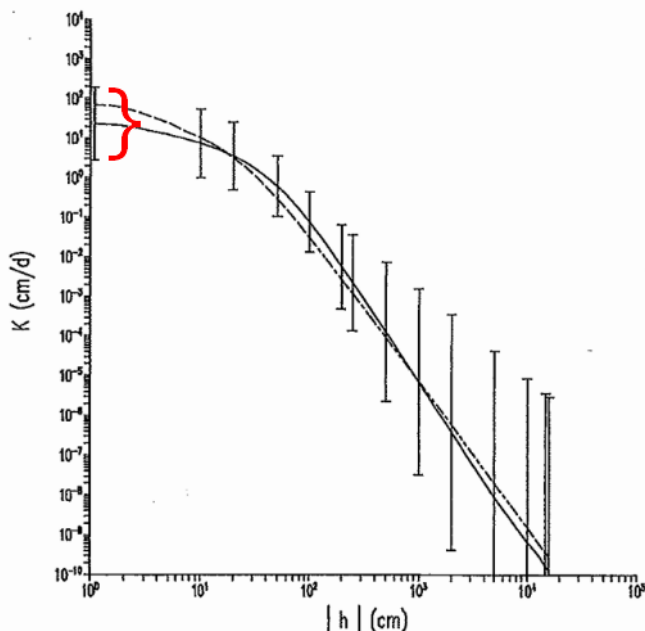
### **Scénáře pro MikeSHE a SMODERP**

Vedle parametrů zátěžové srážky byly při tvorbě scénářů pro citlivostní analýzu v MikeSHE a SMODERP vybrány následující parametry:

- Nasycená hydraulická vodivost půd
- Počáteční nasycení půdy
- Drsnost povrchu pro transformaci povrchového odtoku
- Povrchová retence
- Intercepce
- Základní parametry pro transformaci v korytech

Vstupy pro scénáře fyzikálních modelů nemohly být stanoveny na základě rozdělení skutečných hodnot v rámci ČR. Prvním důvodem je výpočetní doba vybraných fyzikálních modelů, která neumožňuje v rozumném čase výpočet řádově stovek tisíců scénářů, jako bylo později realizováno v případě HMS. Druhým a zásadnějším omezením je velmi limitovaná dostupnost vstupních dat. Například plošná data o hodnotách hydraulické vodivosti půd v ČR neexistují a plošně konzistentní databáze zrnitostního složení - její nejčastější zástupné veličiny - také ne. Proto byla citlivostní analýza pojata jako analýza kombinací několika kategorických stavů na konkrétních, již zmíněných pěti charakteristických povodích, pro něž bylo reálné v rámci projektu podkladová data shromáždit.

Na základě nejnovějších evropských půdních databází a publikovaných pedotransferových funkcí byly převzaty průměrné hodnoty nasycené hydraulické vodivosti ( $K_s$ ) včetně odhadu rozptylu pro hlavní půdní druhy, který ilustruje Obrázek 25. Na každém z charakteristických povodí byly uvažovány tři skupiny scénářů: s průměrnou hodnotou  $K_s$  (mean0) a s dvěma krajními hodnotami danými směrodatnou odchylkou ( $m$ -STD,  $m$ +STD) pro každý půdní druh v povodí se reálně vyskytující.



Obrázek 25: Střední hodnoty a směrodatné odchylky křivky hydraulické vodivosti hrubozrné půdy v závislosti na sacím tlaku dle Wöstena [20]. Pro hodnotu  $h=0$  odpovídá nasycené hydraulické vodivosti, patrný je rozptyl v rozsahu stovek cm/d.

### Počáteční nasycenost půdy

Obdobně jako v případě hydraulických vodivostí byly určeny tři varianty počátečních podmínek od nejméně po nejvíce “nasycený” scénář IC1–3. Způsob implementace ve fyzikálních modelech byl kvůli odlišné infiltrační rutině rozdílný. V případě MikeSHE a jím použité infiltrační metody Green&Ampt byly definovány tři hodnoty počáteční vlhkosti při 10, 50 a 90 % saturace efektivního pórového prostoru a jim odpovídající hodnoty sacího tlaku na čele zvlhčení. V modelu SMODERP použitá Philipova rovnice pak počáteční nasycenost zohledňuje pomocí hodnoty sorptivity. Její hodnoty byly zvoleny tak, aby modelovaný průběh infiltrace odpovídal suchému, středně a vysoce nasycenému stavu půdy.

### Drsnost povrchu a intercepce

Podkladem pro prostorové rozložení drsností půdního povrchu a intercepce bylo devět kategorií půdního pokryvu odvozených ze ZABAGED: Orná půda, travní porosty, ostatní zeleň, vodní plochy, sady, křovinaté porosty, lesní porosty, antropogenní a zpevněné plochy, zahrady. Prostorové rozložení obou veličin bylo uvažováno neměnné, hodnoty zprůměrovány z několika zdrojů z odborné literatury. V případě drsnosti povrchu byly použity tři scénáře: nízká (nL), průměrná (n0) a vysoká drsnost (nH). Intercepce byla uvažována pouze ve dvou variantách: základní či vysoká (IH) a nízká, resp. nulová (IL).

### Parametry transformace v korytech

Pro výpočet korytového průtoku je model MikeSHE provázán s hydraulickým modelem MikeHydro (dříve Mike11), který řeší 1D proudění na základě podrobného podélného profilu nivelety dna a příčných profilů. Podélný profil byl ve všech charakteristických povodích odvozen na základě vyhlazeného DMR4G agregovaného z rozlišení 5 na 10 m. Příčné profily byly použity syntetické, v podobě složených lichoběžníkových profilů s odstupňovanými šířkami a hloubkami. Drsnost koryta byla uvažována ve dvou variantách: scénáře „FAST“



reprezentují spíše hydraulicky hladší, udržované koryto s Manningovou drsností kynety a berem  $n = 0.02$ , resp.  $0.025$ , které vodu z povodí odvádí rychleji a méně odtok transformují. Scénáře „SLOW“ oproti tomu představují přírodě bližší, méně udržované koryto s drsnostmi kynety a berem  $n = 0.03$ , resp.  $0.035$ .

V modelu SMODERP byl podélný profil vodních toků odvozen obdobně jako u modelu MikeSHE. Koryto však bylo zjednodušeno na jednoduchou obdélníkovou kynetu, jejíž Manningova drsnost byla volena rovněž ve dvou variantách a shodně s modelem MikeSHE, tedy  $n = 0.02$  pro variantu „FAST“ a  $0.03$  pro variantu „SLOW“.

### **Výsledné scénáře pro fyzikální modely**

Při uvážení 5 charakteristických povodí, 30 srážkových scénářů, po 3 variantách propustnosti půd, počátečních nasyceností půdy a povrchových drsností a při dvou variantách povrchové retence, intercepce a drsností pro odtok v korytech je možné sestavit celkem 32 400 scénářů. Po výpočtu reprezentativního vzorku 1080 scénářů (všechny scénáře pro jedno povodí, jednu variantu drsností v ploše povodí a jednu variantu korytového odtoku) byla po předběžné analýze výsledků vyškrtuta celá polovina zbylých scénářů s nulovou hodnotou intercepce, neboť tento parametr byl shledán jako prakticky nevýznamný. Výsledný počet scénářů po této redukci klesl na 16 740.

### **Scénáře pro HEC-HMS**

Při tvorbě scénářů pro citlivostní analýzu v modelu HEC-HMS byly vybrány následující hydrologické charakteristiky:

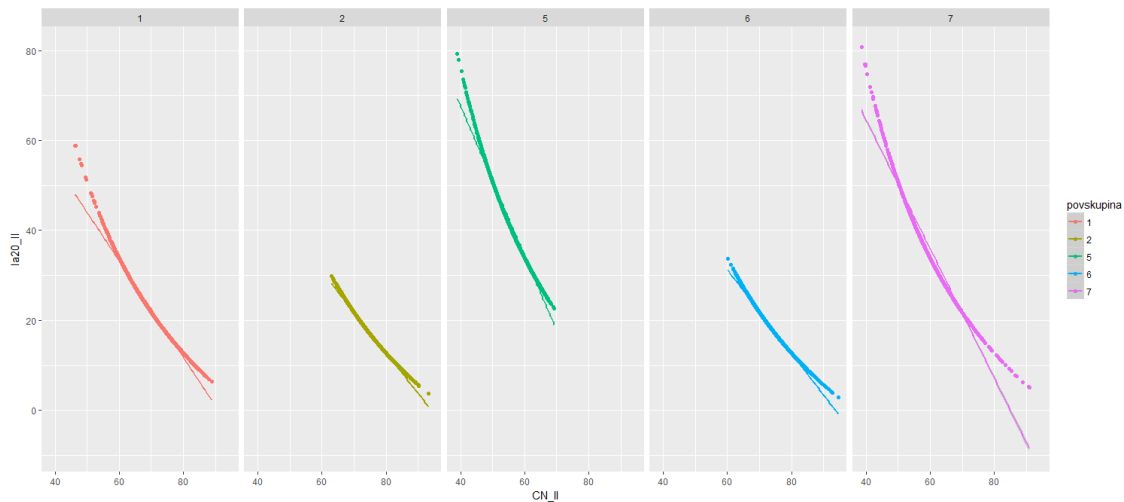
- Hodnota CN
- Podíl nepropustných ploch v %
- Doba zpoždění  $T_L$
- Počáteční podmínky dle IPS
- Podíl počáteční ztráty vůči maximální pot. retenci  $\lambda$

V rámci každé z 5 tříd povodí dle v předchozích letech řešení projektu provedené klasifikace byly určeny statistické parametry rozdělení hodnot CN, doby zpoždění a procenta nepropustných ploch. Podrobně je tento postup popsán u aktivity A1705 této zprávy. Tyto parametry byly použity pro náhodné generování hydrologických charakteristik ve všech skupinách scénářů v HMS, pro každou skupinu vždy v počtu 500 realizací. Skupina scénářů byla dána konkrétní kombinací zbylých charakteristik (IPS a  $\lambda$ ), které představovaly určité nastavení hydrologického modelu a čistě z technických důvodů vyžadovaly samostatně sestavený model v rámci HMS.

Počáteční podmínky byly zohledněny pomocí indexu předchozích srážek ve třech variantách IPS 1 až IPS 3. Z technického pohledu se modely s odlišným indexem předchozích srážek lišily nastavením parametrů statistického rozdělení čísel CN a doby zpoždění. Pro modely s IPS 1 odpovídalo rozdělení hodnot CN 1, resp.  $T_{L-CN1}$ , pro IPS 2–3 analogicky.

Počáteční ztráta  $\lambda$  je v metodě SCS-CN stanovena jako podíl maximální potenciální retence. Protože ta je závislá na hodnotě CN (a  $\lambda$  na variantě IPS), bylo nutné pro každou kombinaci IPS~ $\lambda$  sestavit vlastní submodel. Počáteční ztráta byla uvažována ve třech variantách ve výši 10, 20 a 25 % maximální potenciální retence. Protože hodnoty CN jsou při výpočtu generovány

náhodně (dle zvoleného rozdělení pravděpodobnosti), nebylo možné nechat hodnoty  $la$  rovněž generovat náhodně, tím by byla zrušena vazba mezi oběma charakteristikami. Výpočetní modul v HMS umožňuje při generování hodnot vstupní parametry na sebe vzájemně navázat, ale bohužel umožňuje pouze lineární závislost. Vztah  $CN \sim la$  však lineární není, proto musel být zjednodušen pomocí lineární regrese. Příklad aproximace ilustruje Obrázek 26. Z něj je patrné, že počáteční ztráta se výrazně odchylovala od korektních hodnot na okrajích definičního oboru hodnot  $CN$ , dokonce by v případě ponechání volnosti nabývala záporných hodnot. Proto bylo použito omezení při generování hodnot  $CN$  na pevně určenou maximální hodnotu zamezující vzniku těchto extrémů. Vztaženo k použitému souboru hodnot (přes 7000 povodí IV. řádu) se toto omezení dotklo méně než 0,1 % případů.



Obrázek 26: Regresní modely použité pro generování hodnot  $la$  na základě hodnot  $CN$  v úrovni 20 % potenciální retence a pro střední index předchozí srážky IPS 2.

V celkovém úhrnu bylo v HMS sestaveno 45 submodelů povodí (5 povodí, 3 varianty IPS, 3 varianty  $la$ ) a v každém z nich vyčísleno 500 realizací pro každou variantu zátěžové srážky. Při 30 variantách zátěžové srážky (5 dob opakování a 6 typických průběhů) to představuje 675 000 simulací.

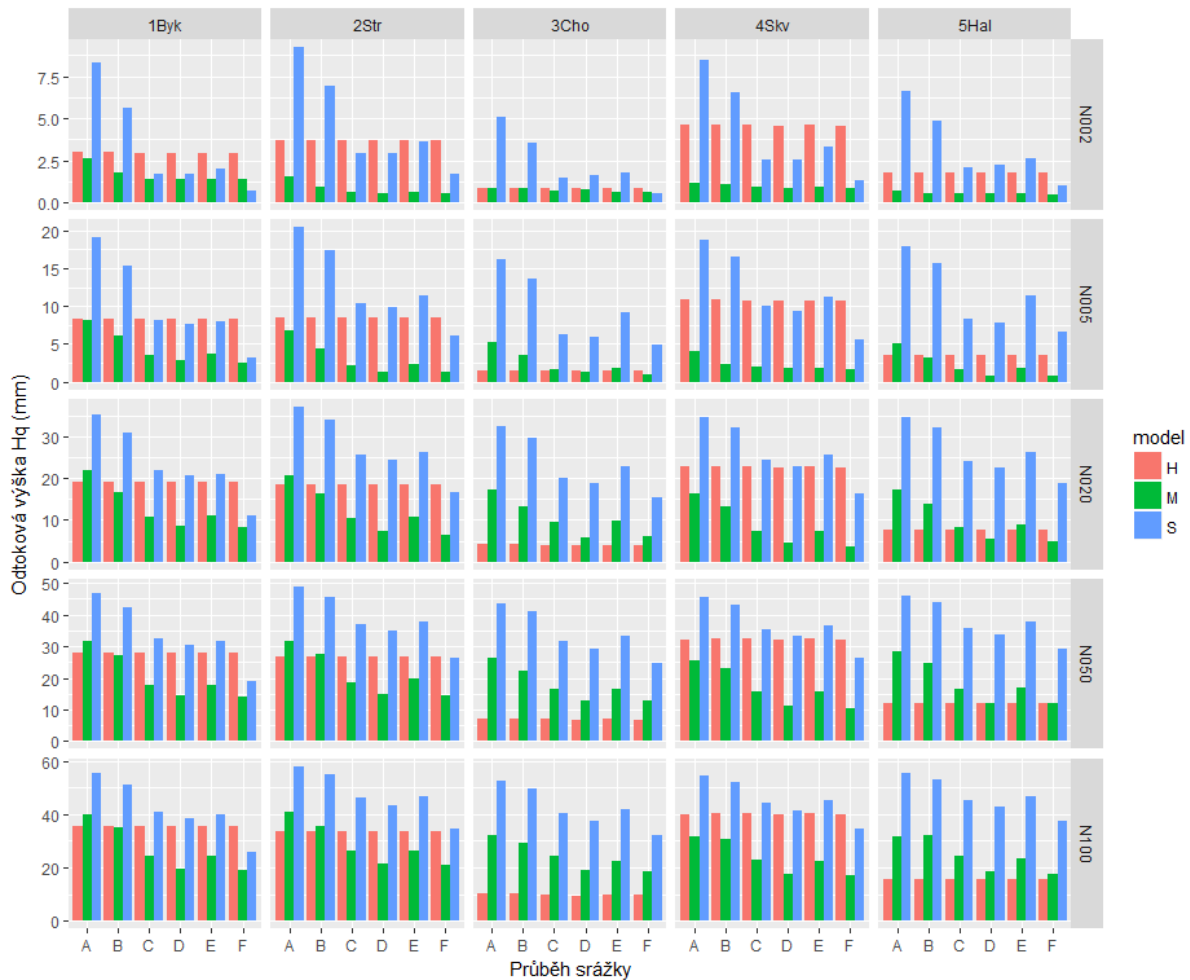
## Výsledky a diskuze

Výše popsané soubory scénářů daly vzniknout značně rozsáhlé sadě výstupů, jejichž plná analýza je mimo možnosti této zprávy, ta se předpokládá v navazující publikaci, která vznikne nad rámec tohoto projektu. Hlavní poznatky jsou prezentovány ve třech částech. Nejprve je uvedeno srovnání třech použitých modelů s akcentem na identifikaci klíčových proměnných. Poté následuje podrobná citlivostní analýza výstupů z fyzikálního modelu MikeSHE se zaměřením na vliv časového průběhu srážek a následně obdobná analýza výstupů z modelu HMS.

### Srovnání modelů

Přímé srovnání všech tří použitých modelů je komplikované kvůli nejednoznačnému přiřazení odpovídajících scénářů mezi konceptuálním HMS a fyzikálními modely. Zátěžové stavy (parametry srážky) a charakteristická povodí byla sice použita identická, ale vztah mezi hydrologickými a dalšími parametry povodí u HMS ( $CN$ ,  $la$ , IPS) a fyzikálních modelů (vodivosti půd, hodnoty retence a intercepce, počáteční podmínky) je možné určit pouze kvalitativně. Jako sobě nejlépe odpovídající bylo vybráno 150 simulací (5 povodí x 5 dob opakování x 6 typů srážek), přičemž ve scénářích v HMS byl použit druhý, průměrný stav

nasycení IPS 2 pro odvození hodnot CN a nejčastěji používaný poměr Ia pro stanovení počáteční ztráty ve výši 20 % maximální potenciální retence povodí (odvozené z CN dle platných vztahů). U fyzikálních modelů pak byl zvolen scénář s průměrnými hodnotami hydraulické vodivosti půd uváděnými v literatuře pro příslušné zrnitostní třídy, počátečními podmínkami IC2 odpovídajícími průměrnému nasycení půd, volným prostorem pro povrchovou retenci i intercepci a “rychlé” variantě transformace korytového odtoku, která odpovídá zkapacitněným a udržovaným korytům.

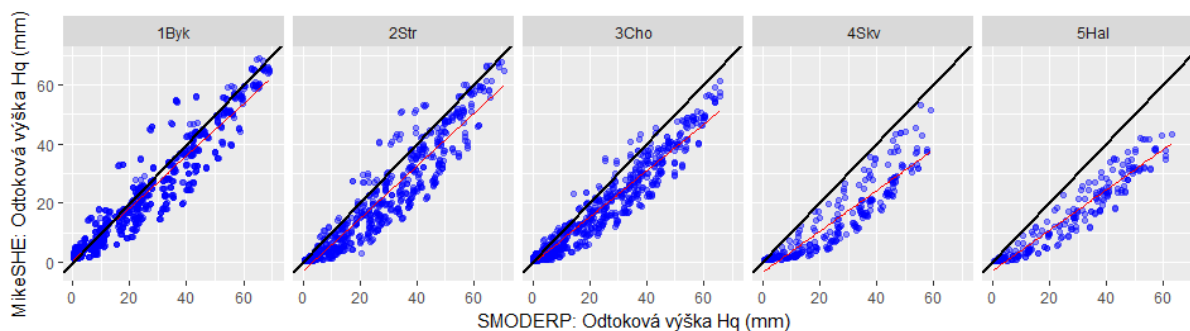


Obrázek 27: Odtokové výšky modelované v HMS (H), MikeSHE (M) a SMODERP (S) ve 150 základních srážko-odtokových scénářích (povodí 1 až 5, doby opakování  $N = 2$  až 100 let, typy srážek A až F).

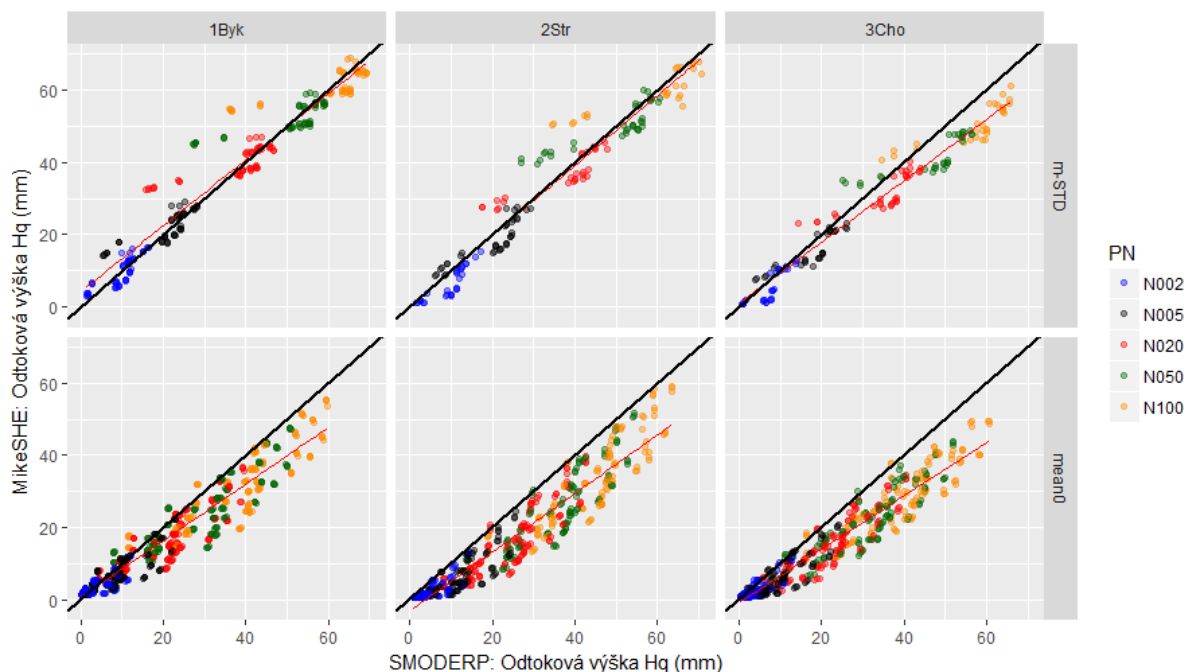
Na grafech na Obrázku 27 jsou vyneseny odtokové výšky z referenčních scénářů na jednotlivých povodích v závislosti na době opakování a tvaru srážky. Na první pohled jsou patrné konstantní odtokové výšky z modelu HMS v rámci každé doby opakování. To potvrzuje známou skutečnost, že metoda SCS-CN není z hlediska objemu odtoku citlivá na průběh zátěžové srážky. Oproti tomu oba fyzikální modely vliv tvaru srážky zohledňují, na jednotlivé typy průběhů reagují různě. Nejvyšší odtoky generují dva nejkonzentrovanejší typy A a B, nejnižší rovnoměrná srážka typu F. Typy C–E jsou relativně rovnocenné, poměrně překvapivý je ale z nich často ve vyvolaných odtokových výškách dominující typ E. Ten se z nich sice vyznačuje nejnižší maximální intenzitou, ale představuje zřejmě nepříznivou kombinaci vytrvalejší srážky s jedním intenzivnějším vrcholem.

Druhým zřetelným rysem na Obrázku 27 jsou konzistentně nižší odtoky v modelu HMS na převážně lesních povodích 3 a 5 oproti spíše zemědělským povodím 1, 2 a 4 (viz tabulka 2). Napříč všemi dobami opakování odtéká z povodí Chouzavé (č. 3) pětina až čtvrtina množství oproti Škvoreckému potoku (č. 4), v povodí Halounského potoka (č. 5) je to pak přibližně třetina. Oproti HMS jsou odtoky z lesnatých povodí Chouzavé a Halounského potoka v modelu MikeSHE jen o něco nižší než u prvních dvou povodí a srovnatelné se čtvrtým - ve všech třech případech tedy spíše zemědělsky využívaná povodí s podílem lesních ploch do 30 %. V případě druhého fyzikálního modelu SMODERP jsou odtoky z lesních povodí znatelně nižší než u prvních dvou povodí, logicky však pouze u srážek s nižší dobou opakování a zejména u intenzivních srážek typu A a B. Méně koncentrované typy a vyšší N-letosti produkují odtokové výšky srovnatelné s ostatními povodími. Obecně nízká citlivost obou fyzikálních modelů vůči zalesněným povodím je vhodným podkladem pro podrobnější vyhodnocení, které jde nad rámec této zprávy a jeho publikaci autoři připravují. Na tomto místě uvedme zkrácené vysvětlení, že klíčovou roli zde hraje metoda výpočtu infiltrace a její parametrizace ve fyzikálních modelech. Ta v případě konzistentního určení zrnitosti půdy na lesní a zemědělské půdě žádným dalším způsobem tyto dvě domény nerozlišuje. To je rozdíl od metody SCS-CN, která implicitně pro lesní porosty předpokládá nižší CN a tedy vyšší srážkové ztráty.

Posledním významným rysem na Obrázku 27 jsou disproporce mezi modely. Mimo lesní povodí dává HMS až na výjimky koncentrovaných srážek odtokové výšky vyšší než MikeSHE a relativně srovnatelné jako SMODERP. Ten oproti MikeSHE produkuje až na naprosté výjimky vždy vyšší odtokové výšky, přestože u těchto dvou modelů je přiřazení scénářů jednoznačné a v parametrizaci se liší jen u několika málo veličin. Dvou i vícenásobně vyšší odtoky ze SMODERP jsou zřejmé zejména u koncentrovaných srážek A a B a při nízkých dobách opakování (úhrnech) srážky. Díky téměř identicky definovaným scénářům je možné analýzu rozdílů v těchto dvou modelech rozšířit, přestože v modelu SMODERP byla vypočtena jen přibližně čtvrtina scénářů oproti MikeSHE. Vzájemně vnesené odtokové výšky u srovnatelných scénářů na všech pěti povodích ukazuje graf na Obrázku 28. Z něj jsou patrné odlišné rozdíly mezi modely napříč povodími. Téměř vždy dává SMODERP vyšší odtokové výšky na povodí Halounského potoka (224 scénářů,  $R^2 = 0,91$ ), shoda modelů reprezentovaná červenou regresní křivkou se pak blíží k ideální (černé diagonále) vlivem rozdílného počtu identických scénářů směrem doleva k povodí Býkovického potoka (1157 scénářů,  $R^2 = 0,92$ ).



Obrázek 28: Odtokové výšky  $H_q$  z modelu MikeSHE oproti modelu SMODERP z reprezentativních povodí pro všechny N-letosti a typy srážek. Černě vynesena diagonála, červeně regresní přímka.



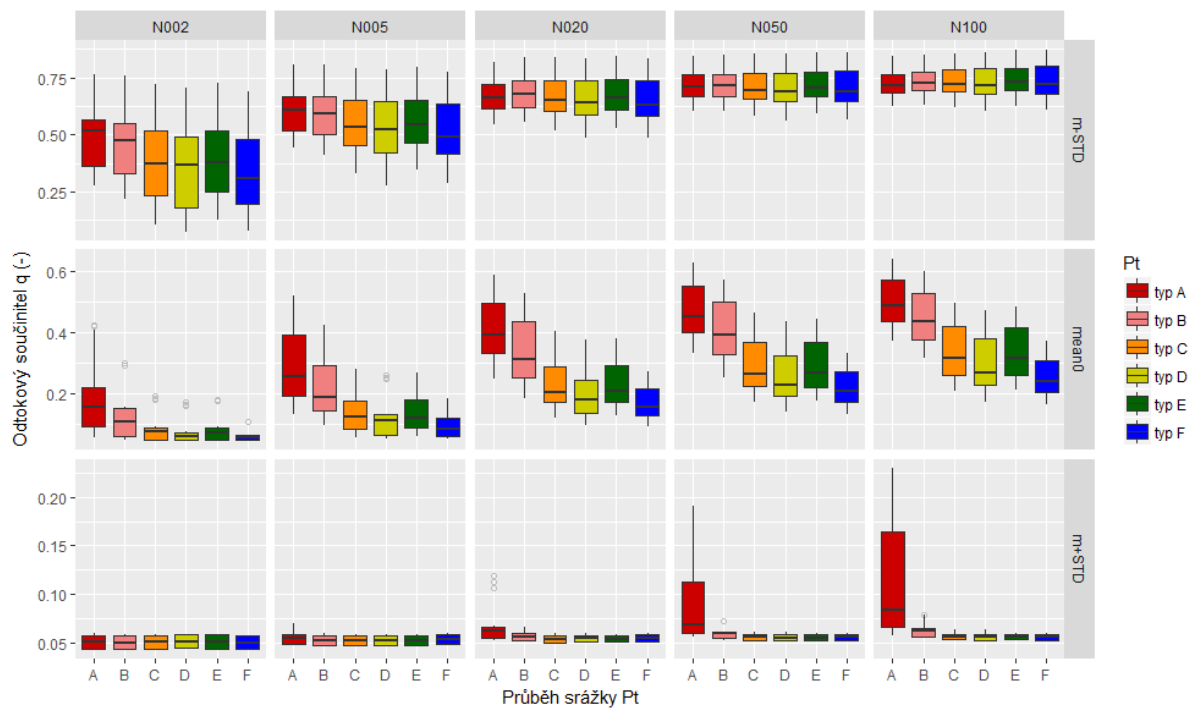
Obrázek 29: Odtokové výšky Hq z modelu MikeSHE oproti modelu SMODERP ze tří reprezentativních povodí pro všechny N-letosti a typy srážek a dvě úrovně propustnosti půd: průměrné (mean0) a snížené (m-STD). Černě vynesena diagonála, červeně regresní přímka.

Protože datové sady u jednotlivých povodí nejsou stejně početné, ani dílčí subrody dle dalších parametrů, byly výsledky zobrazeny podle variant propustnosti půd. Dvě ze tří variant uvádí Obrázek 29, poslední varianta s vysoce propustnými půdami (m+STD) byla pro značně omezenou datovou sadu vyřazena. Z grafů je patrné, že velmi dobrou shodu oba modely vykazují v případě scénářů s podprůměrnými propustnostmi půd. To lze vysvětlit upozaděním rozdílů způsobených odlišnou infiltrační rutinou (Philipova metoda u SMODERP vs. G&A s redistribucí u MikeSHE). Oproti tomu u scénářů s průměrnou vodivostí půd způsobují rozdíly v modelech až dvojnásobné odtokové výšky z modelu SMODERP tak, jak bylo patrné na prvním srovnání na Obrázku 27. Další analýzy rozdílů naznačily podstatnou úlohu definice počátečních podmínek. Zatímco pro nasycený stav (IC3) dávaly oba modely téměř shodné odtokové výšky ( $R^2 = 0.97$ ), průměrný stav IC2 a suchý stav IC1 byly zdrojem hlavních rozdílů ( $R^2 = 0.94$ , resp.  $0.89$ ). Právě počáteční podmínky je obtížné definovat v obou modelech stejně, protože i při stejných hodnotách  $K_s$  se jejich infiltrační rutiny liší dalšími parametry, mezi nimiž nelze definovat přímý vztah (sorptivita u Philipovy rovnice, sací tlak a počáteční vlhkost u G&A). Tyto rozdíly se ukazují jako dominantní například oproti časovému průběhu srážek, na něž oba modely reagují podobně, resp. jimi dané rozdíly jsou méně patrné než rozdíly způsobené odlišnostmi v metodě a parametrizaci výpočtu infiltrace.

### Citlivostní analýza modelu MikeSHE a typy srážek

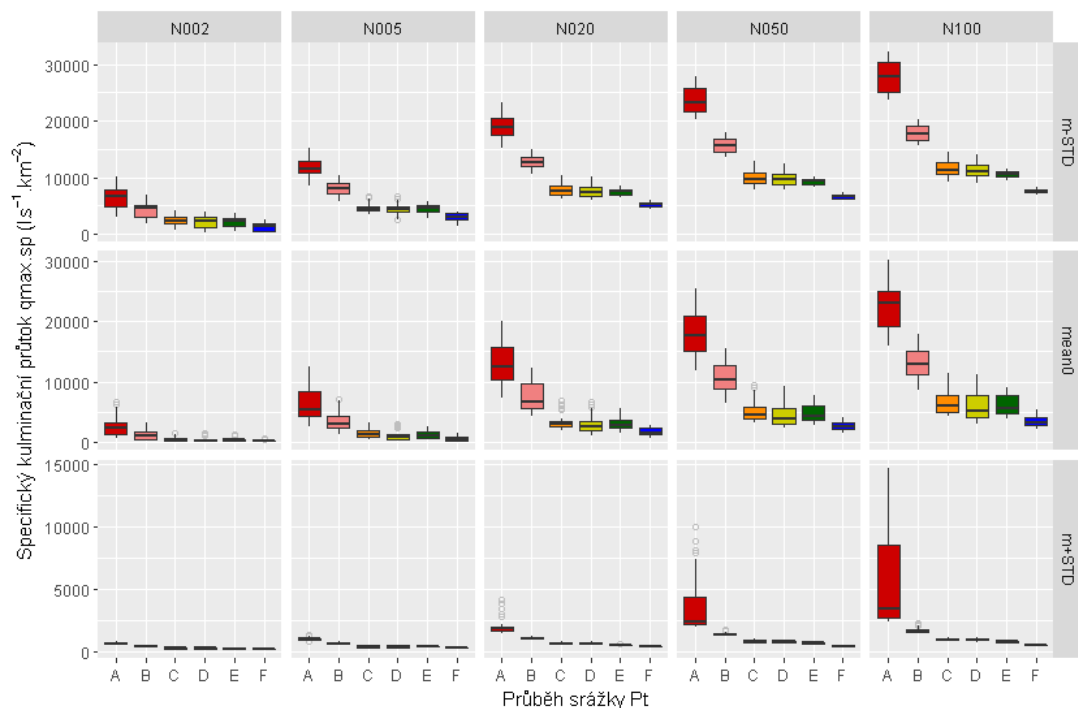
Vzhledem k rozsáhlosti datového souboru je zde pro přehlednost uveden podrobnější rozbor výsledků jen na prvním z reprezentativních povodí - Býkovického potoka. Na Obrázku 30 jsou znázorněny kvartilové charakteristiky koeficientů odtoku (poměr odtokové a srážkové výšky) v závislosti na době opakování a typu srážky, v řádcích rozdělených podle stupně propustnosti půd. Z grafů je patrné, že u scénářů s nadprůměrnou vodivostí půd došlo ke generování odtoku až od doby opakování srážky 20 let a výše a to navíc pouze v případě nejintenzivnějšího typu srážky A. Naopak scénáře s podprůměrnou vodivostí už se od doby opakování 20 let (srážka s úhrnem 62.5 mm) příliš navzájem mezi N-letostmi ani napříč typy průběhů srážek neliší, všechny generují velmi podobné poměry odtoku s mediánem kolem

70 %. To znamená, že vodivosti půd zde byly natolik malé, že spolu s povrchovou retencí dokázaly absorbovat výraznější část zátěžové srážky pouze v případě úhrnů do doby opakování mezi 5 a 20 lety. V těchto případech pak nejpriznivější podmínky pro infiltraci představovala nejrovnoměrnější srážka typu F. Největší variabilitu lze pozorovat u typu D, což je dvouvrcholový průběh srážky s delší pauzou mezi hlavními epizodami, který poskytuje dostatek prostoru pro částečné zotavení infiltračních schopností půdy za dalších příznivých podmínek.



Obrázek 30: Kvartilové charakteristiky odtokového součinitele (poměrů odtoku) z povodí Býkovického potoka podle doby opakování a tvaru srážky pro tři varianty vodivosti půd.

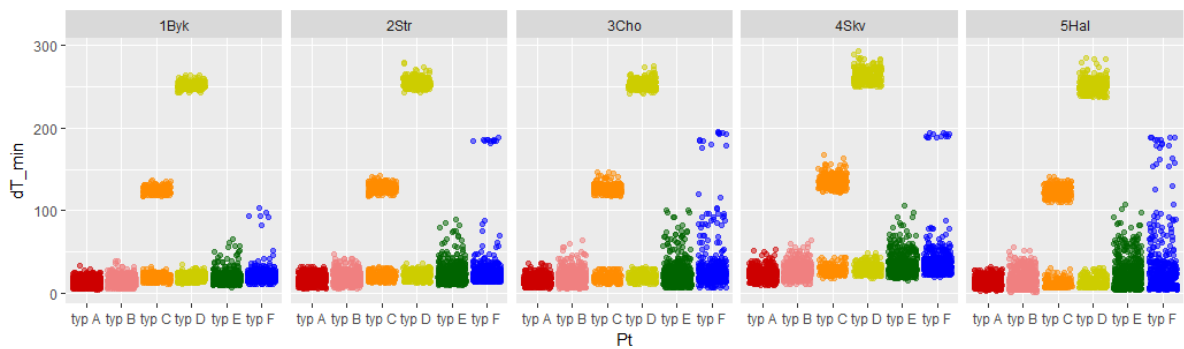
Největší variabilitu odtokových koeficientů v závislosti na tvaru lze pozorovat u průměrně vodivých půd (mean0). To lze vysvětlit menším významem parametrů ovlivňující infiltraci a větším prostorem pro uplatnění dalších parametrů, jako je drsnost povrchu nebo povrchová retence. Zde jsou největší odtokové výšky a s nejvyšší variabilitou generovány intenzivními typy A a B, nejnižší odtoky s nejnižší variabilitou rovnoměrnou srážkou typu F. Průběhy typu C-E produkují relativně podobné odpovědi, opět je zde zajímavý efekt dvouvrcholové srážky typu D, která jak do rozsahu tak mediánu poskytuje příznivější (nižší) odpovědi než rovnoměrnější srážka typu E.



Obrázek 31: Kvartilové charakteristiky specifických kulminačních odtoků z povodí Býkovického potoka podle doby opakování a tvaru srážky pro tři varianty vodivosti půd.

Při pohledu na kulminační průtoky na Obrázku 31 je v případě nadprůměrně vodivých půd zřejmá podobná situace jako v případě poměrů odtoku. Protože je odtok generován jen v případě silně koncentrovaných srážek A a B a to až od dob opakování 20 let, jsou i v případě kulminací ostatní krabicové grafy redukovány na nulovou úroveň. Zatímco u podprůměrně vodivých půd se rozpětí poměrů odtoku v rámci dané doby opakování značně překrývala napříč typy srážek, v případě kulminačních průtoků jsou jednoznačně vydělené zejména nejkonzentrovanější typy srážek A a B. Mezi tvary C-E pak není významnější rozdíl zejména ve středních hodnotách kulminací. To může mít přímý dopad do inženýrské praxe, kdy při navrhování opatření, u nichž je klíčovou charakteristikou pouze návrhový průtok, nebude nutné zahrnovat do výpočtu všechny tyto tři typy návrhových srážek. U průměrně vodivých půd jsou pak patrné podobné znaky jako u podprůměrně vodivých až na to, že rozsahy odezev na jednotlivé tvary v rámci dané doby opakování jsou si bližší a více se překrývají.

Zajímavé výsledky poskytuje analýza doby posunu kulminace  $dT$ , definovaná jako časová odlehlost kulminace odtokové vlny od okamžiku výskytu maximální intenzity příčinné srážky. Z Obrázku 32 je patrné, že z hlediska variability dob posunu jsou dominantní srážko-odtokové události vyvolané příčinnými srážkami typu C a D. Hodnoty  $dT$  u těchto průběhů srážek přitom nepokrývají souvislou škálu mezi minimální a maximální hodnotou, ale tvoří vždy dva jasné oddělené shluky. Jejich odlehlost se liší pro příčinné srážky typu C a D. Příčinou této struktury dat je struktura samotné příčinné srážky. Ta má vždy dva vrcholy, přičemž první má vyšší maximální intenzitu než druhý. Pokud kulminace odtoku vzniká v reakci na první srážkový vrchol, pak je doba posunu  $dT$  nízká a podobné velikosti jako v případě prvních dvou průběhů A a B. Pokud však kulminace vzniká v reakci až na druhý vrchol srážky, pak dosahuje výrazně vyšších hodnot a protože srážka typu D se vykazuje delší pauzou mezi hlavním a vedlejším maximem, pak je i kulminace odtoku dosažena později než u srážky typu C.



Obrázek 32: Doby zpoždění kulminací (v minutách) podle povodí a průběhu příčinné srážky.

Jelikož se všechna povodí v odezvě na dva dvouvrcholové průběhy srážky chovají obdobně, lze jejich odezvu blíže zkoumat na menším podvýběru. Obrázek 33 ukazuje velikosti posunů kulminací na třetím reprezentativním povodí Chouzavé v odezvě na srážku typu C, tedy variantu s menším rozestupem mezi hlavním a vedlejším vrcholem. Řádky na obrázku odpovídají různým stupňům předchozího nasycení, sloupce třem variantám propustnosti půd, barevně jsou rozlišeny varianty povrchové retence (Re = volný prostor, Rf = zaplněný). Velikost bodu pak ilustruje velikost odtokové výšky.

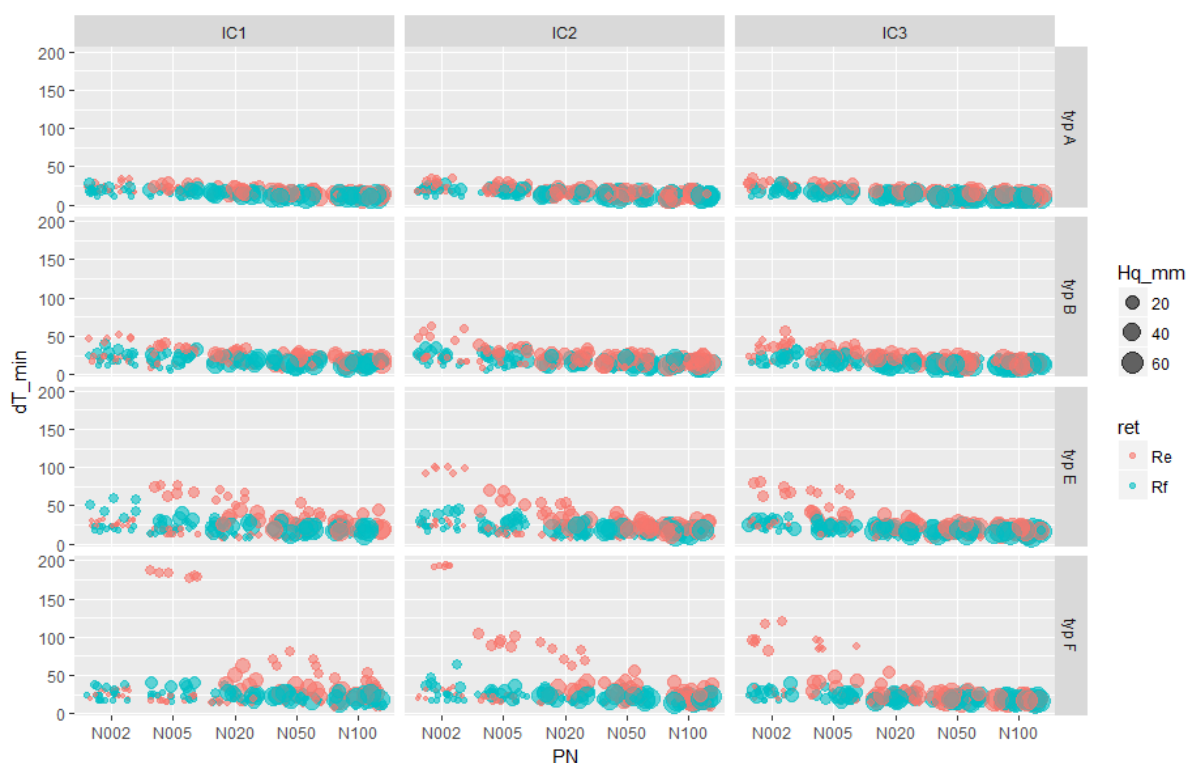


Obrázek 33: Doby zpoždění kulminací (v minutách) na povodí 3-Chouzavé v odezvě na srážku typu C, podle úrovně propustnosti půdy a předchozího nasycení. Barevně varianty dostupného prostoru pro retenci, velikost bodu ukazuje na velikost odtokové výšky.

Srovnáním grafů v rámci každého sloupce je patrné, že od nejsuššího předchozího stavu směrem k nejvyššímu roste počet událostí, jejichž kulminace vzniká v reakci již na první vrchol. Rozdíl mezi sloupci je pouze v poměru obou stavů. V případě podprůměrně propustných půd je většina kulminací v suchém stavu v odpovědi na druhý srážkový vrchol a s rostoucí předchozí nasyceností postupně přebírá rozhodující úlohu první vrchol srážky. Citlivější a na první vrchol srážky náchylnější jsou přitom logicky scénáře se zaplněným prostorem pro povrchovou retenci. U středně propustných půd dochází k přesunu kulminace blíže k prvnímu vrcholu srážky až v případě nejvíce nasyceného předchozího stavu, a to rovněž pouze v



případě scénářů se zaplněnou povrchovou retencí. V případě nadprůměrně vodivých půd se vliv předchozího nasycení jeví přerušen, jedná se totiž o scénáře generující nulové nebo velmi nízké odtokové výšky. Rozhodující pro velikost posunu  $dT$  je zde evidentně možnost tohoto minimálního generovaného odtokového množství zachytit se v prostorech pro povrchovou retenci nebo nikoliv.

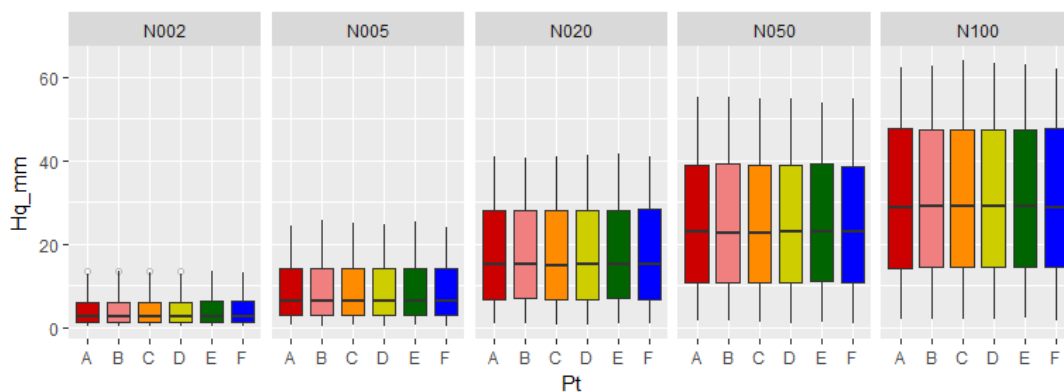


Obrázek 34: Doby zpoždění kulminací (v minutách) na povodí 3-Chouzavé v odezvě na jednovrcholové srážky a podle úrovně předchozího nasycení. Barevně varianty dostupného prostoru pro retenci, velikost bodu ukazuje na velikost odtokové výšky.

Na Obrázku 34 jsou znázorněny posuny kulminací u scénářů s jednovrcholovými srážkami. Je patrné, že variabilita posunů v případě dvou nejintenzivnějších průběhů srážek A a B je nevýznamná. Oproti průměru se výrazněji vydělují až odezvy na rovnoměrnější srážky typu E a F a patrná je zde klíčová role povrchové retence. Posuny jsou největší u scénářů s nízkou dobou opakování a tedy úhrnem srážky a s rostoucím úhrnem klesají, neboť retenční prostory postupně zachycují stále menší část srážky, až dojde k jejich vyčerpání ještě před dosažením kulminace srážkové intenzity. Jedinou výjimkou je stav nízkého předchozího nasycení IC1, kde nejsou generovány prakticky žádné odtoky a hodnoty posunu  $dT$  zde tak jsou zavádějící.

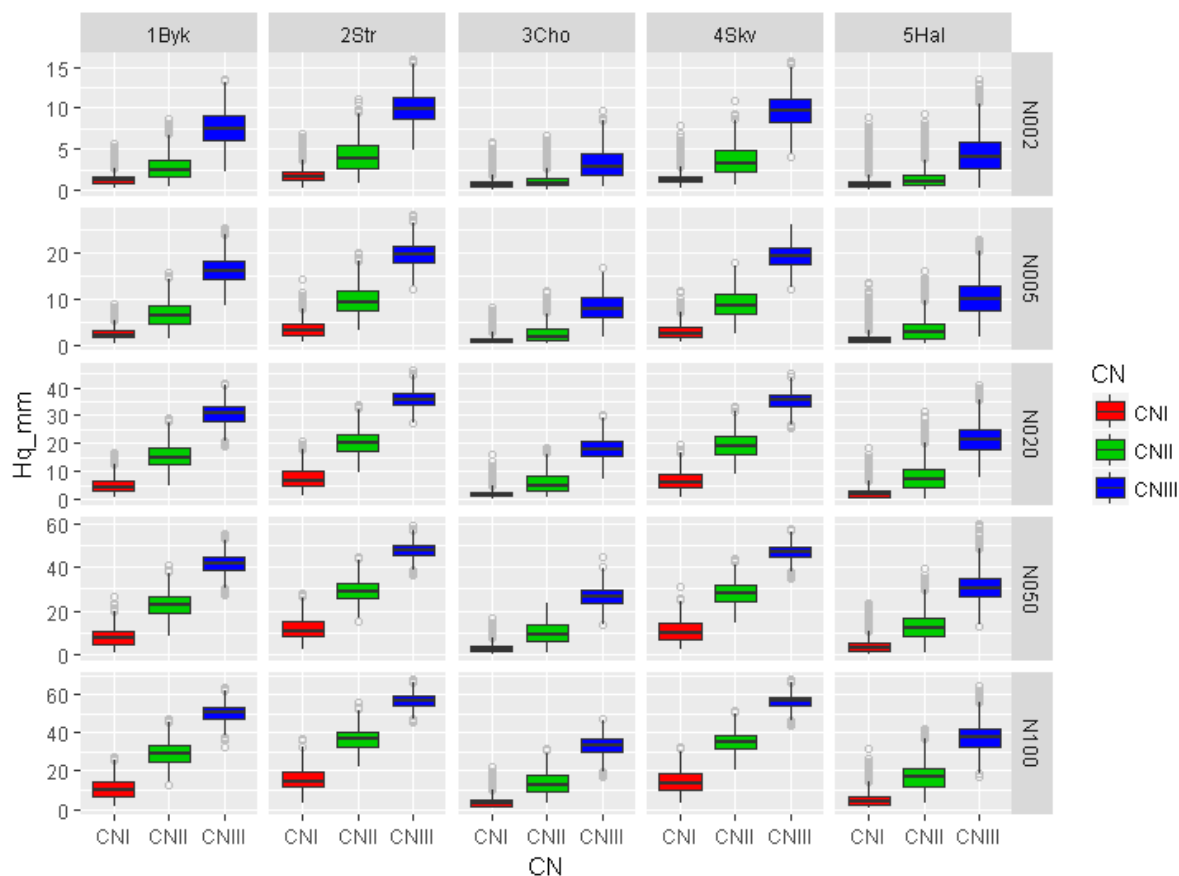
#### Citlivostní analýza modelu HMS a typy srážek

Nejprve byla zkoumána variabilita odtokových výšek. Dle očekávání byla prokázána nezávislost odtokových výšek na průběhu srážky (viz Obrázek 35), neboť metoda SCS-CN neobsahuje mechanismus pro jeho zohlednění. Celková variabilita ilustrovaná mezikvartilovým rozpětím přitom narůstá s rostoucí dobou opakování, což se zdá na první pohled neintuitivní, neboť s rostoucím úhrnem srážky by měl klesat vliv všech ostatních proměnných.



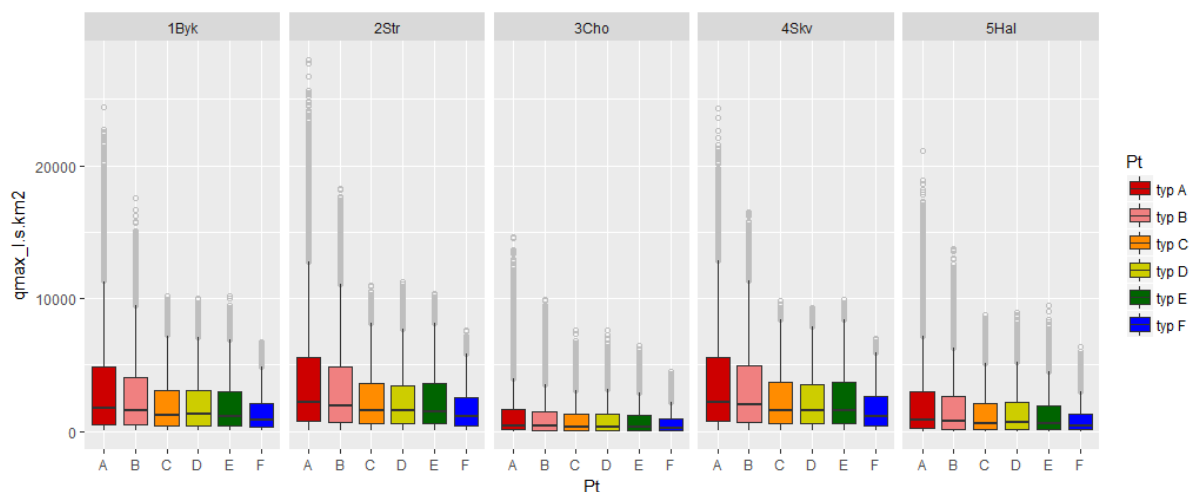
Obrázek 35: Odtokové výšky ze všech povodí v závislosti na době opakování a průběhu srážky.

Tuto skutečnost vysvětluje Obrázek 36, který rozděluje odtokové výšky podle doby opakování srážky (v řádcích) a počátečních podmínek charakterizovaných indexem předchozích srážek. Variabilita odtokových výšek s rostoucí dobou opakování sice v rámci každé skupiny počátečních podmínek klesá, ale samotné mediány jednotlivých skupin počátečních podmínek se od sebe s rostoucí dobou opakování vzdalují.



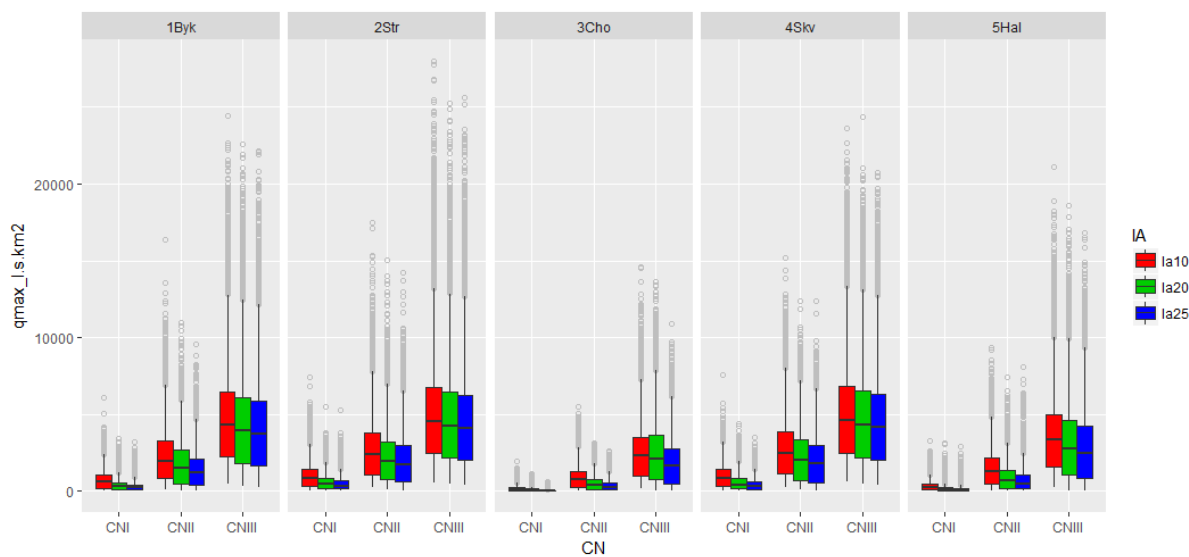
Obrázek 36: Odtokové výšky z jednotlivých povodí v závislosti na době opakování srážky a indexu předchozích srážek reflektujícím rozdílné počáteční podmínky.

Druhou zkoumanou odtokovou charakteristikou je specifický kulminační průtok. Obrázek 37 ukazuje rozptyly této veličiny pro všechna povodí v závislosti na průběhu srážky. Ukazuje se, že největší variabilita odtokové odezvy přísluší nejintenzivnější srážce typu A a s klesající koncentrací srážky klesá, přičemž pro tvary C-E je jen nevýznamně odlišná.

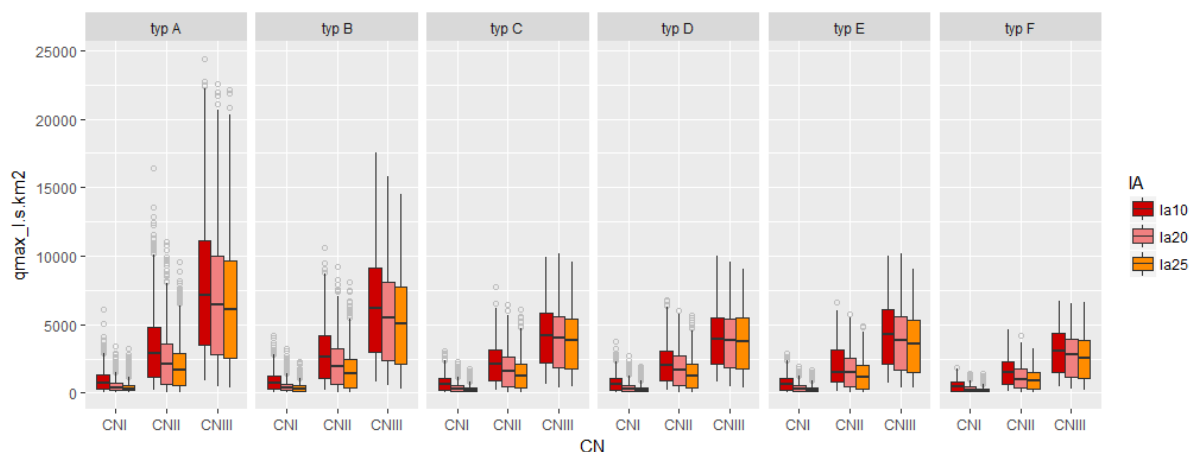


Obrázek 37: Specifické kulminační odtoky ( $l.s^{-1}.km^{-2}$ ) z jednotlivých povodí v závislosti na průběhu srážky.

Podrobnější pohled na Obrázek 38 ukazuje, že více než tvar srážky jsou pro kulminační průtoky rozhodující počáteční podmínky. Rovněž vliv úrovně počáteční ztráty je zde nepoměrně nižší. Obrázek 39 pak ukazuje na příkladu povodí třídy 1 kombinovaný vliv průběhu srážky a počátečních podmínek, které působí synergicky. Tedy čím koncentrovanější srážka a vyšší nasycenost povodí, tím vyšší a variabilnější jsou odtoky z této třídy povodí.

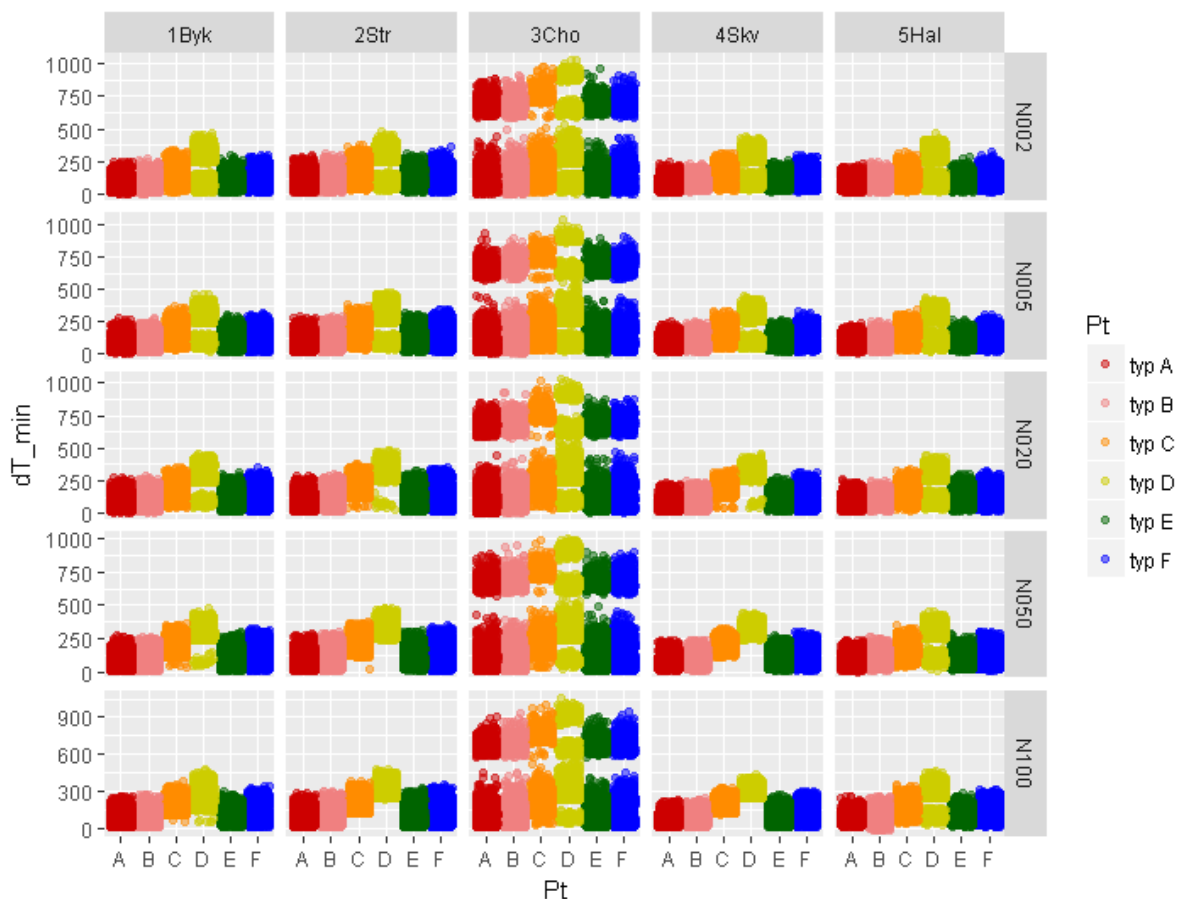


Obrázek 38: Specifické kulminační odtoky ( $l.s^{-1}.km^{-2}$ ) z jednotlivých povodí v závislosti na počátečních podmínkách a míře počáteční ztráty.



Obrázek 39: Specifické kulminační odtoky ( $l.s^{-1}.km^{-2}$ ) z povodí třídy 1 v závislosti na průběhu srážky, indexu předchozích srážek a míře počáteční ztráty.

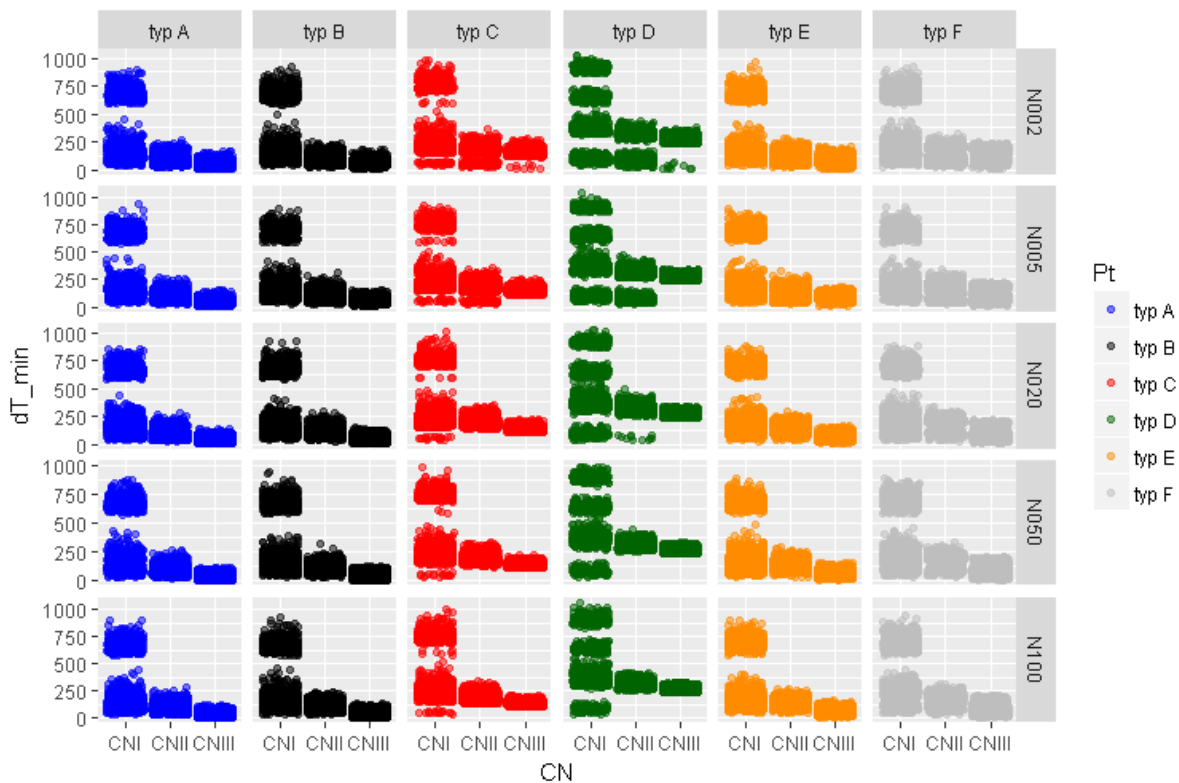
Poslední zkoumanou charakteristikou jsou posuny kulminace odtokové vlny od času výskytu maximální intenzity příčné srážky. Na Obrázku 40 je nápadné, že na povodích všech tříd kromě č. 3 a u dvou nejvíce a dvou nejméně koncentrovaných srážek tvoří tyto posuny celistvé shluky. Oproti tomu na povodí třídy 3 a u dvouvrcholových srážek typu C a D se tyto posuny rozpadají na více či více shluků.



Obrázek 40: Posuny kulminace na jednotlivých povodích v závislosti na době opakování a průběhu srážky.

Podrobněji situaci přibližuje Obrázek 41, na kterém jsou znázorněny posuny kulminací pouze z povodí třídy č. 3 a s rozlišením podle doby opakování a tvaru srážky a podle počátečních podmínek. Prvním poznatkem je, že obecně s rostoucí počáteční nasyceností povodí posuny

kulminací klesají, neboť odtoky zde jsou rychlejší (IPS ovlivňuje CN a to přímo zkracuje  $T_{LAG}$ ). Druhým poznatkem je, že k rozpadu do dvou a více skupin dochází zejména v případě nejsušších počátečních podmínek a ojediněle u středně nasycených podmínek. Třetím poznatkem je rozpad na více než dva shluky v případě dvouvrcholových srážek C a D.



Obrázek 41: Posuny kulminace na povodí č.3 (Chouzavá) v závislosti na době opakování a průběhu srážky.

Podrobná analýza tohoto jevu vyžaduje poměrně rozsáhlou diskuzi, která jde za rámec této souhrnné zprávy a bude předmětem připravovaných odborných článků řešitelského kolektivu.

### 6.2.8. A1708- Měření v terénu (C008)

Experimentální měření byla soustředěna především na pokračování dlouhodobého monitoringu procesů ovlivňujících odtok a erozi na malém zemědělsky využívaném povodí Býkovického potoka. V letošním roce nebyla nijak významně rozšiřována infrastruktura měření. Hlavní náplní bylo pokračování měření ve stávajících profilech na drobném vodním toku a v místě bývalé zatravněné údolnice, které byly osazeny v minulých letech. Zahájení sezónního měření povrchových procesů na experimentálních plochách bylo vzhledem ke změně osevnického postupu posunuto.

#### Vybavení povodí

##### Srážky

Na povodí jsou osazeny 2 srážkoměry, jeden u experimentálních erozních ploch a jeden přibližně 300 metrů po toku, kde je další experimentální místo a je měřena výška hladiny. Data srážek u erozních ploch jsou od 15.5, kdy byly osazeny plochy a zapojen datalogger a pak je měření kontinuální do konce roku. V průběhu roku byl srážkoměr s plochou 200 cm<sup>2</sup> vyměněn za srážkoměr s plochou 500 cm<sup>2</sup>. U druhé ho srážkoměru byla provedena údržba a byl překalibrován.

### ***Měření průtoku v korytě potoka***

Za rok 2017 je kontinuální řada hladin potoka měřena na 4 vybraných profilech. Měření je prováděno pomocí tlakových čidel umístěných na dně koryta, měřících hloubku proudící vody. První čidlo je umístěno před přítokem do rybníka umístěného nad povodí. Další se nachází nedaleko experimentální části povodí před a další za soutokem s druhým korytem. Čidlo za soutokem je umístěno uprostřed betonového kruhového propustku. Čidla nejsou připojena na centrální datalogger a mají vlastní záznamovou jednotku. Není tedy prováděno zasílání informací online a je třeba tyto lokality navštívit a data manuálně stáhnout do počítače. Poslední čidlo je umístěno za povodím asi 300 m po toku u druhého srážkoměru. Toto čidlo je napojeno na datalogger s kontinuální zasíláním dat online.

### ***Měření hladiny podzemní vody***

Ve vytipovaných profilech byly do půdy studny na měření hladiny podzemní vody. Stěny byly zpevněny plastovými trubkami, které jsou ve spodní části studny perforované. Jedna studna je umístěna v blízkosti melioračního systému prakticky v dráze soustředěného odtoku, tak aby bylo možné sledovat změnu hladiny právě vlivem melioračního kanálu a zároveň zdali dochází k větším pohybům hladiny díky koncentrovanému odtoku. Druhé číslo je umístěno v blízkosti potoka, aby bylo možné ovlivnění hladiny podzemní vody ve vztahu k hladině vody v toku.

### ***Plošný povrchový odtok***

Z hlediska odtoků z elementárních iniciálních ploch byly na povodí osazeny experimentální plochy, jak Wishmayerovy s délkou 22,13 m, tak plochy s délkou 8m, které jsou referenční pro měření s mobilním dešťovým simulátorem. Oproti minulým letům došlo k mírné redukci počtu ploch (o jednu plochu o délce 22,13 m a referenční plochu 4 x 0,9, které měla sloužit pro verifikaci dat s halovým dešťovým simulátorem, ale od tohoto záměru bylo upuštěno. Odtoky ze všech ploch jsou zaznamenávány do dataloggeru.

### ***Mělký podpovrchový odtok a půdní vlhkost***

Měření mělkého podpovrchového odtoku je měřeno pomocí šterkového drénu. Tento drén je umístěn v úrovni rozhraní ornice a podorničí, kde dochází ke změně infiltrace do spodních horizontů a část vody proudí po tomto rozhraní. Pro dokreslení dějů probíhajících v půdním profilu jsou měřeny vlhkosti v půdě ve dvou půdních horizontech. V patnácti centimetrech pro měření změny vlhkost v profilu ornice a pak v padesáti centimetrech, kde je měřena změna vlhkosti právě na výše zmiňovaném rozhraní.

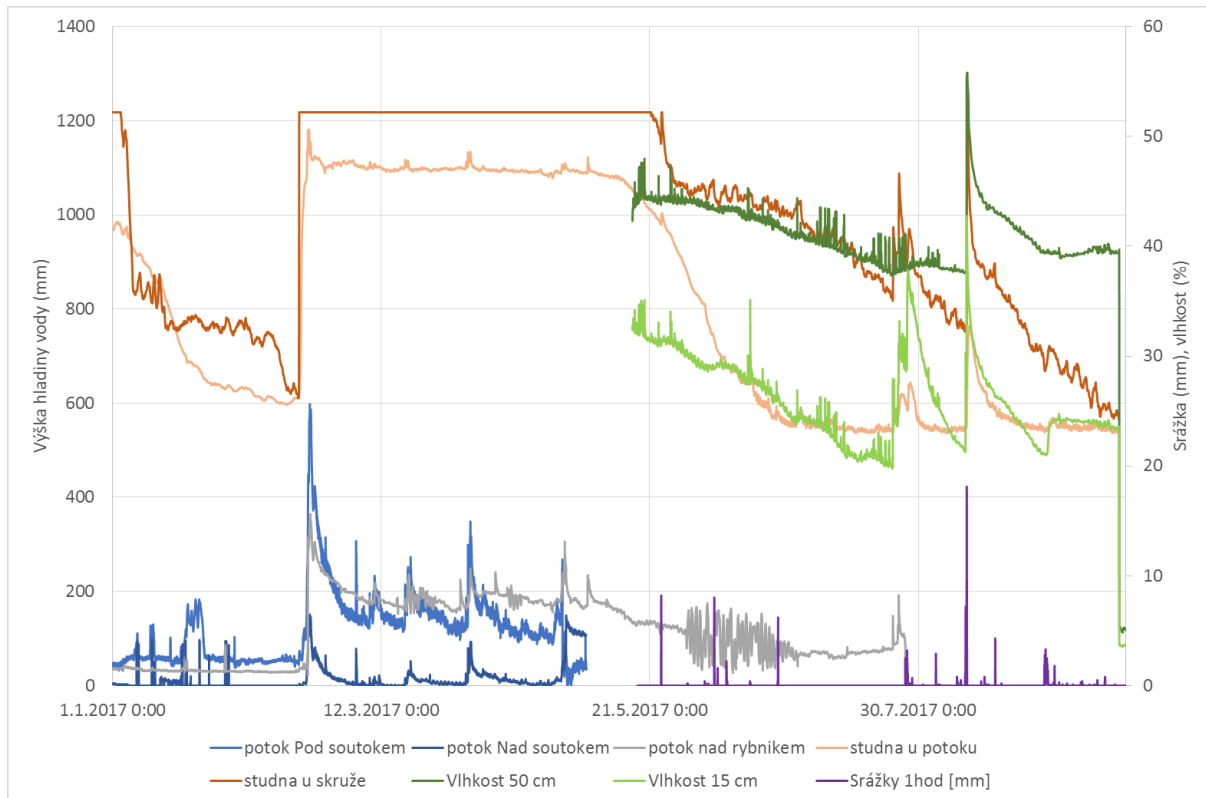
### ***Údolnice***

V loňském roce nově založené měření povrchového odtoku v údolnici a proudění v drenážním systému, kde je přirozeně soustředován povrchový odtok z plochy pole, bylo v nejnižším místě osazeno přelivem ve tvaru písmene V. Nad tímto přelivem bylo umístěno ultrazvukové čidlo, které měřilo výšku hladiny vody. Ještě před vegetační sezónou došlo ještě během jarního tání k povrchovému odtoku a značnému eroznímu poškození. Nově osazený profil byl do úrovně profilu zanesen sedimentem. Zároveň byl sedimentem zanesen i drenážní systém, který ztratil svou funkci a musí být vyčištěn a opraven. Protože to bylo v době před zahájením sezonního měření, na erozních plochách nebyla zaznamenána intenzita srážky. Zároveň se jednalo o výjimečnou jarní událost spojenou s táním sněhu, kterou je obtížné modelovat.

### **Komentář k naměřeným hodnotám za rok 2017**

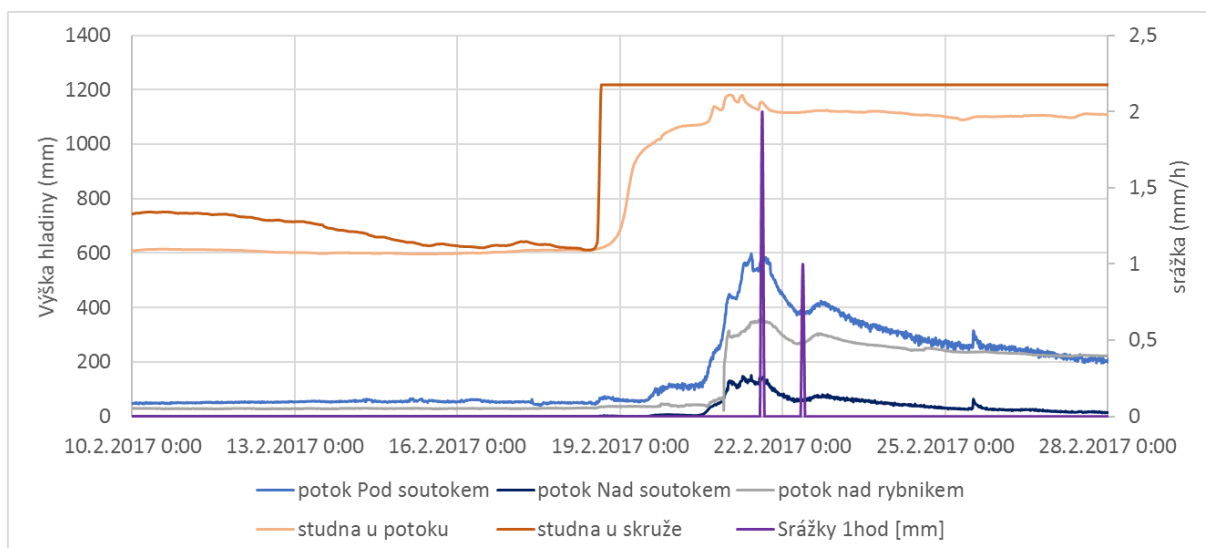
V roce 2017 průběh měření sledovaných veličin ukazuje, jak složky odtoku reagují na příčinnou srážku. Z celkového přehledu za celou sezónu 2017 (Obrázek 42) je možné vyčíst tři hydrologicky významnější události. Jedna byla zaznamenána v době před zahájením měření na erozních elementárních plochách a nebyla zaznamenána příčinná srážka. Zároveň

došlo ke srážce po oblevě, a tedy byl vliv srážky zesílen vlivem nasyceného půdního profilu a tajícího sněhu.



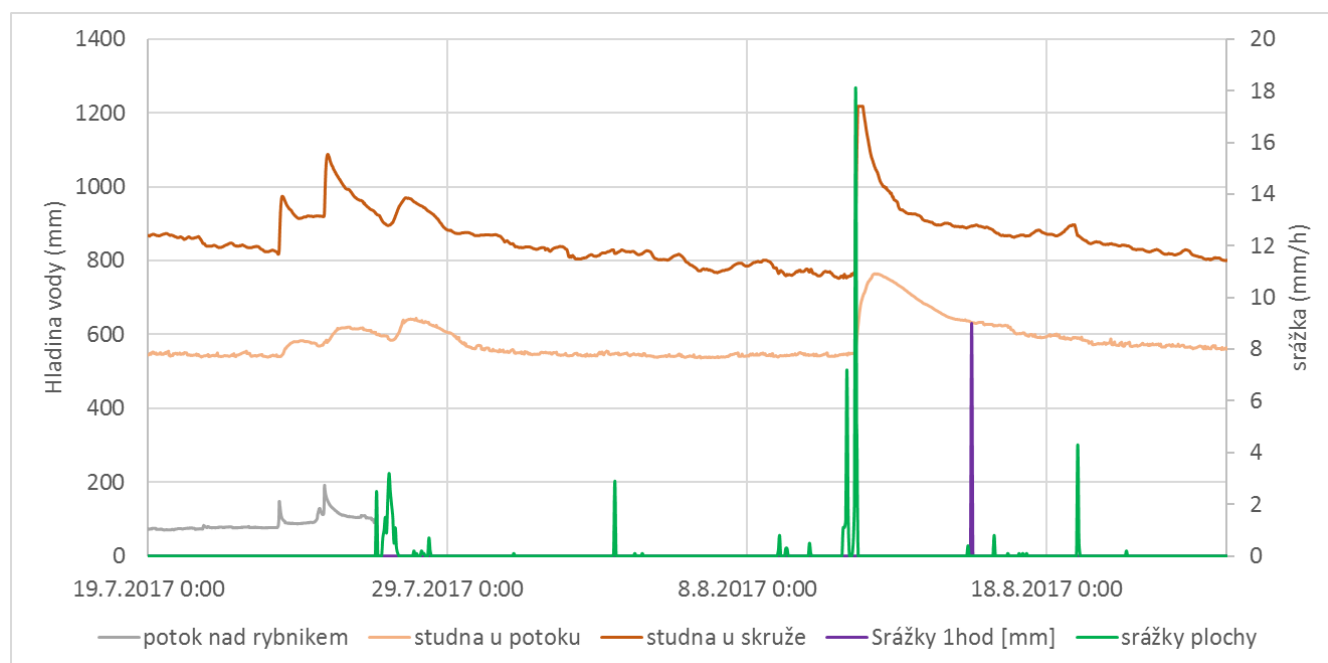
Obrázek 42: Celkový průběh měřených veličin za sezónu 2017.

Jsou zde zobrazena všechna podstatná čidla kontinuálního měření, není zobrazeno měření povrchového a podpovrchového odtoku. Je vidět mnoho případů, kdy si události přímo odpovídají a jsou vidět velké změny ve stejných časových obdobích. Některá měření jsou kontinuální v celém roce, některá začínají až po instalaci erozních ploch a zapojení dataloggeru.



Obrázek 43: Detail 10. 2. - 28. 2. 2017

Vybrán byl úsek jednoho měsíce 10. 2. - 28. 2. (Obrázek 43), kdy došlo mezi 18. a 19. 2. k velké změně hladiny podzemní vody u obou čidel, u skruže je tato změna okamžitá, u studny u potoka je pozvolná. Prudká změna může být způsobena zaplavením skruže a vystoupaním hladiny v ní z hlediska zanešené drenáže v půdě a tím k ovlivnění nedaleké studny. Tento jev však neodpovídá srážkám na daném území a bude ovlivněn nedalekými srážkami a podpovrchovým tokem vody v drenáži. Okolo 22.2 je vidět závislost mezi zvýšením průtoku v korytě potoka a srážkami. Zvýšení průtoku nastává dříve než srážky a to z důvodu, kdy srážky, jež tento jev způsobily, začaly proti proudu potoka a zvýšili tak jeho dotaci vody.



Obrázek 44: Detail 19. 7. – 25. 8. 2017.

Zde je zobrazen další detail z období 19. 7. – 25. 8. 2017 (Obrázek 44). Nejsou již staženy záznamy z potoka, ale je zde vidět závislost mezi srážkou a změnou hladiny podzemní vody v obou studnách a také to, že se jedná o velice rychlou reakci. Jsou zde data ze dvou srážkoměrů, kdy je vidět, že 15.8 je zachycena srážka srážkoměrem dále od ploch, ale tím umístěným vedle ploch již nikoliv, může jedna o lokální srážku, jež postihuje malé území. Také je vidět, že oblast experimentálních ploch nic neovlivnila.

### 6.3. Celkové zhodnocení průběhu řešení a postupu prací

Tento tříletý projekt měl za cíl doplnit stávající deficit přesnějšího určení krátkodobých dešťů pro potřeby praktického využití hydrologického modelování v souvislosti s efektivním a ekonomickým navrhováním drobných vodohospodářských staveb v krajině. Cílem projektu bylo postihnout tvarovou variabilitu krátkodobých srážek, ale i prostorovou variabilitu co do intenzity deště, ale i do pravděpodobnostního výskytu tvarů. Tuto problematiku pomocí různých přístupů hydrologických modelů zasadit do kontextu problematiky navrhování drobných staveb v krajině, které jsou součástí pozemkových úprav, protierozní ochrany, organizačních opatření v ploše povodí atd.

Práce měla tři hlavní části. První byla analýza vnitřní variabilita krátkodobých srážek. Nejprve byla stanovena metoda určování charakteru subdenních srážek formou hledání převažující části srážky v polovičním intervalu. Tato metoda byla použita pro časová okna od 24 hodin do půlhodinového okna. Výsledkem byla volba základního šestihodinového okna, které postihuje



variabilitu srážek a zároveň se jedná o relativně krátké časové okno. Výš popsanou metodou hledání převažující části bylo analyzováno 1950 nejextrémnějších událostí v 39ti uzlových bodech. Pomocí shlukové analýzy bylo určeno šest shluků hyetogramů. Pro každou z těchto skupin byl vytvořen zobecněný hyetogram odpovídající srážkám průběhu srážek v daném shluku.

Navazující částí bylo určení prostorové variability srážek na základě radarových dat. Popis této metody je detailněji uveden v této zprávě v rámci aktivity A1704. Výsledkem jsou mapy pravděpodobnostního zastoupení jednotlivých tvarů srážek pro určité doby opakování na celém území ČR.

Datová základna, na které byla data zpracovávána, obsahovala desetiletou řadu radarových snímků a pozemních měření nutných pro adjustaci a dále dlouhodobou řadu bodových hodnot. Je zřejmé, že desetiletá řada radarových měření nemůže být pokládána za dlouhodobou řadu, nic méně lokální extrémní srážky díky spjitým datům mohou být zaznamenány s větší pravděpodobností než v případě bodových srážkoměrů. Prodloužením datových řad radarových snímků při zachování metody zpracování je do budoucna možné aktualizovat výsledky dosažené v tomto projektu.

Projekt nic méně prokázal, že prostorová distribuce krátkodobých dešťů je prostorově variabilní co do zastoupení tvarů a intenzit srážek a k hodnocení každé lokality je třeba přistupovat individuálně.

Vedle této aktivity byla také provedena interpolace dříve zpracovaných bodových hodnot návrhových denních úhrnů (Šamaj, 1984), ke kterým je navázána možnost redukce na kratší blokové deště (Hrádek, 1994). I když se jedná o relativně zastaralá data a přístup redukce denních úhrnů na kratší časové úseky zdaleka neodpovídá současným možnostem, tak se jedná o doplnění dostupných srážkových dat.

Cílem projektu bylo odborné veřejnosti co nejsnazším způsobem poskytnout návrhová srážková data. Proto bylo další aktivitou v rámci projektu vytvořit webové služby a aplikace, na kterých by bylo možné srážkové data získat. Protože se jedná o data pokrývající celé území ČR a prostorově variabilní na celém území ČR, bylo nutné poskytnout data formou mapových služeb. V rámci projektu byly testovány dva přístupy k publikování dat a to s využitím ArcGIS serveru a nativních protokolů přímo pro ArcGIS. Výhodou měla být relativně jednoduchá implementace, nevýhodou je pak licence komerčního software. Druhým přístupem pak jsou geoprocessingové služby postavené na OpenSource softwarech určené spíše pro nekomerční SW (Grass, Qgis, atp. které podporují protokol OGC WPS na straně klienta). Hlavní výhodou jsou nižší (z hlediska licence na SW nulové) náklady, čímž může být zajištěna jejich dlouhodobá udržitelnost. Nejprve byly testovány obě platformy, nakonec ale byla zvolena cesta otevřeného software, ve kterém jsou služby provozovány. Celkem vzniklo v rámci projektu několik webových služeb a aplikací. Tyto služby jsou detailněji popsány v kapitole A1703, dále jsou popisovány v příspěvku v časopise VTEI (Landa, 2018), ale především na portálu [rain.fsv.cvut.cz](http://rain.fsv.cvut.cz), který je rozcestníkem těchto služeb.

Aktivita hydrologického modelování, která přímo navazuje na výsledky tvarů návrhových srážek, měla nejprve za cíl zhodnotit stávající využívané hydrologické modely a to především z hlediska přístupu konkrétního modelu k popisu sledovaných procesů. Do hodnocení zahrnuto celkem osmnáct modelů, které jsou obsahem stávajících normativů a metodik, nebo jsou alespoň v nějaké míře používány v ČR. Tyto modely byly kategorizovány z hlediska popisu procesu metody efektivní srážky a popisu routingu v ploše povodí. Dále bylo do hodnocení modelů zahrnuto časové měřítko popisovaných dějů, prostorové dělené modelu a

způsob a parametry srážky. Z takto vytvořených skupin byli vybráni zástupci pro další hodnocení. Z pěti vybraných modelů nakonec byly hodnoceny pouze tři. Zbylé dva modely se ukázali v průběhu řešení jako nevyužitelné. V jednom případě se jednalo prakticky o autorský software a druhém případě o verzi modelu, která vykazovala numerickou nestabilitu a výsledky nebylo možné použít jako relevantní.

I přes množství spočtených scénářů (celkově se jednalo o desetitisíce simulací) v různých modelech spíše ukázalo na rozdíly mezi jednotlivými modely a současný nedostatek dalších vstupních dat než aby bylo možné hodnotit podíl variability srážky a ostatních vstupních parametrů. Krom určení tvarů a objemů návrhových srážek, jejíž výzkum byl cílem tohoto projektu, je značný datový a znalostní deficit také v dalších oblastech vstupních dat pro hydrologické modely. Asi největší deficit zůstává v oblasti půdních dat. Ať už se jedná o jejich dostupnost, tak relevantnost jejich infiltračních vlastností. Již rozdílná metoda zatřídění půd na zemědělské a lesní půdě má za následek nekonzistenci vstupních dat. Mezi další důležitý parametr, který má i vazbu na tvar návrhové srážky je aktuální stav území na počátku modelované srážky. V rámci projektu bylo na základě výše zmiňovaných adjustovaných radarových dat pro jednotlivé tvary srážek spočteno průměrné množství srážek předcházející danému tvaru srážky na území ČR pro jednotlivé doby opakování srážky. Z hlediska předchozích srážek je zcela zásadní rozdíl v nasycenosti povodí mezi velmi koncentrovanými nebo naopak rovnoměrnými srážkami. Tato aktivita, na kterou nebylo v době přípravy projektu tolik poukazováno, se ukázala jako velmi přínosná právě z hlediska redukce nutných scénářů pro modelování. Další vstupy do modelů, jako je přesné určení tvaru koryta a jeho drsnosti, intercepce rostlin, atp., tak významné nejsou.

Jednou z dalších možných nejistot z hlediska modelování byla volba vhodného reprezentativního povodí. Je zřejmé, že při nevhodně zvoleném anebo uměle vytvořeném povodí by mohlo dojít k vyřazení některých tvarových charakteristik. Obdobně jako nelze srážky popsat jedním typickým hyetogramem, nelze určit jedno zcela typické povodí pro celou republiku. Proto byla v rámci řešeného projektu provedena kategorizace povodí IV. řádu. Jednotlivé shluky povodí byly vytvářeny na základě podobnosti v pěti nezávislých parametrech (CN, součinitel tvaru, délka plošného odtoku, hustota říční sítě, maximální odtoková dráha). Celkem bylo vytvořeno pět skupin povodí obsahující 90% povodí IV. řádu) a vedle toho skupina nehodnocených povodí, kam byla zařazena povodí do 0,5 km a tvarově extrémní povodí. V každé skupině povodí bylo vybráno jedno typické povodí. Těchto pět reprezentativních povodí pak bylo využito v hydrologickém modelování. Skupiny povodí byly ještě využity pro vyhodnocení zastoupení hodnot parametrů vstupujících do stochastického modelování, detailněji popsáno v kapitole A1705.

Posledním záměrem projektu bylo, jak se výše uvedené nejistoty v hydrologickém modelování a tvarech návrhových srážek promítnou do navrhování drobných staveb v ploše povodí nebo na malých vodních tocích. Nejprve byla provedena revize v praxi navrhovaných staveb a zatříděny podle parametrů, na základě kterých jsou navrhovány (průtok, objem, celý tvar návrhové vlny). V další fázi pak bylo pro jednotlivé prvky a konstrukce sledováno jakou procentní část ceny tvoří z celkového rozpočtu stavby. A jak se do ceny případně promítnou nejistoty tvořené způsobené použitím hydrologického modelování. Po jednotlivé typické stavby byla na základě současných cen určena závislost jednotkové ceny příslušného prvku a jeho hlavního dimenzačního parametru. Tyto podpůrné údaje pak mohou pomoci stanovit efektivně navržené a přitom přiměřeně zabezpečené dílo. Detailněji to je popsáno v kapitole 6.2.6 této zprávy.

Z projektu byl také podporován dlouhodobý hydrologický monitoring, jakožto možnosti a nástroje nástroje pro verifikaci hydrologických modelů. Tato aktivita je z dlouhodobé perspektivy velmi důležitá a žádoucí byť v některých aspektech přesahuje tento konkrétní projekt. Zachycení extrémní srážkové události a její odezvy vyžaduje značné úsilí na údržbu měřicí techniky v různých částech povodí. Údržba je náročná jak finančně tak personálně. Samotná informace o příčinné srážce pro verifikaci modelu nestačí. Dále je nutné mít znalost o aktuálním stavu povodí z hlediska nasycenosti a infiltrační kapacity, například znalostí vývoje vlhkosti nebo sacích tlaků. V zemědělských povodích je navíc měření ztíženo agrotechnickými operacemi, které ovlivňují aktuální stav povodí. V rámci projektu byl podporován dlouhodobý monitoring na zemědělském povodí Býkovice. V rámci projektu došlo k rozšíření jednoho stávajícího měrného profilu na další tři. Dále byl v rámci projektu instalován měrný profil v místě drenážního systému v místě dřívější zatravněné údolnice. Cílem těchto rozšíření bylo postihnout větší variabilitu a sledovat více procesů v povodí. Rozšířením měrných profilů bylo povodí rozděleno na dílčí podpovodí, každé s jiným funkčním využitím ploch, cílem bylo sledování vnitřní variability těchto menších ploch. Měření v bývalé zatravněné údolnici má za cíl sledování procesů v ploše povodí. Za tříleté období projektu nebyla žádná významná událost zaznamenána tak, aby bylo možné ji kvantifikovat ve všech sledovaných veličinách a využít ji pro verifikaci modelů. K nejvýznamnějším událostem došlo v době mezi navazujícími agrotechnickými operacemi a část měřicí techniky byla v té době odpojena. Navíc se jednalo o relativně netypické události v zimních měsících. V letních měsících nedošlo k žádné významné události, která by například způsobila povrchový odtok. Zaznamenané události nic méně ukazují komplexnost a náročnost sledování přírodních procesů, které je obtížné popsat příliš zjednodušujícími metodami.

Z hlediska výstupů z projektu je třeba zmínit především zpracovanou metodiku s názvem „Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině“, která je zacílena na získávání srážkových dat pro potřeby hydrologického modelování a nabízí postup jak s navrhovanými srážkovými daty pracovat. Dalším pro praxi důležitým výstupem je portál [rain.fsv.cvut.cz](http://rain.fsv.cvut.cz), na kterém jsou nabízeny geoprocessingové služby poskytující návrhové srážky a to jak z hlediska jejich objemu, ale i pravděpodobnosti zastoupení příslušného tvaru. I na tomto místě se sluší upozornit na výše uvedené omezení délky časové řady, na jejímž základě byly tyto srážky odvozeny a nadále platí, že co se týká objemu návrhového deště, jsou nejrelevantnějším podkladem data poskytovaná ČHMÚ. Dále v rámci projektu vznikla mapa s certifikovaným obsahem a řada dalších publikací popisující jednotlivé dílčí aktivity a závěry tohoto projektu, jejich seznam je uveden v kapitole 7.

## Literatura

Kadlec V., Dostál T., Vrána K., Kavka P., Krása J., Devátý J., Podhrázký J., Pochop M., Kulířová P., Heřmanovská D., Novotný I., Papaj V., 2014: *Navrhování technických protierozních opatření*. VÚMOP, v.v.i., ČVUT v Praze, 101 s. ISBN 978-80-87361-29-0

Kulhavý, Z. a kol., 2015, *Opatření k posílení infiltračních procesů v krajině*, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., ISBN 978-80-87361-52-8

Novotný I. a kol., 2014: *Příručka ochrany proti vodní erozi. Metodika*. Ministerstvo zemědělství, 73 s. ISBN 978-80-87361-33-7.

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

Coles, S., 2001: *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*. Springer-Verlag, London.

Haddad, R.A., Akansu, A.N., 1991: A Class of Fast Gaussian Binomial Filters for Speech and Image Processing. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 39, 723–727.

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

Hosking, J.R.M., Wallis J.R., 1997: *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments*. Cambridge University Press, Cambridge.

Hosking, J.R.M., Wallis, J.R., Wood, E.F., 1985: Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments. *Technometrics*, 27, 251–261.

Hrádek F., Kovář P., 1994. Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů. *Vodní hospodářství*. roč. 11, s. 49. ISSN 1211-0760

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

Kyselý, J., Píček, J., 2007: Regional growth curves and improved design value estimates of extreme precipitation events in the Czech Republic. *Climate Research*, 33, 243–255.

Lu, L.-H., Stedinger J.R., 1992: Sampling variance of normalized GEV/PWM quantile estimators and a regional homogeneity test. *Journal of Hydrology*, 138, 223–245.

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

Šamaj F., Valovič Š. a Brázdil R., 1985. Denní úhmy zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901–1980. In: *Zborník prác Slovenského hydrometeorologického ústavu*. Bratislava: ALFA.

### **Dále byly použity ČSN**

ČSN 73 6815 Vodohospodářská řešení vodních nádrží

ČSN 75 2130 Křížení a souběhy vodních toků s dráhami, pozemními komunikacemi a vedeními

ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže;

ČSN 75 2415 Suché nádrže

ČSN 75 4500 Protierozní ochrana zemědělské půdy

ČSN 75 4210 Hydromeliorace – Odvodňovací kanály

## 7. Dosažené výsledky

Výsledky dosažené v souvislosti s řešeným projektem jsou uvedeny v následující tabulce. Výsledky dosažené v posledním roce řešení jsou označeny šedě. Výsledky jsou seřazeny podle druhu výsledku.

Tabulka 8: Přehled výsledků dosažených v souvislosti s řešeným projektem.

| Druh výsledku | Název   |
|---------------|---|
| Nmet          | Kavka P., a kol. Krátkodobé srážky pro hydrologické modelování a navrhování drobných vodohospodářských staveb v krajině, 2017. - probíhá certifikační proces  |
| Jimp          | Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M., 2017: Radar-based summer precipitation climatology of the Czech Republic. <i>Int. J. Climatol.</i> , published online. DOI: 10.1002/joc.5202   |
| Nmap          | Mapa výskytu krátkodobých dešťů na kategorizovaných povodí IV řádu, ČVUT v Praze, 2017  |
| R             | LANDA, M., KAVKA, P., a STROUHAL, L. Nástroj pro výpočet úhrnu návrhové srážky. [Software splňující podmínky RIV (dřív Autorizovaný)]. 2017, Dostupné z: <a href="http://rain.fsv.cvut.cz/webapp/webove-sluzby/ogc-wps/">http://rain.fsv.cvut.cz/webapp/webove-sluzby/ogc-wps/</a>  |
| M             | Variabilita krátkodobých srážek v hydrologickém modelování, Praha, 26. 9. 2017, uspořádání konference   |
| D             | Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M., 2015. Comparison between radar derived precipitation estimates and rain gauge data in a sub-daily resolution. In: Molnar, P. and Peleg, N. (Eds.), <i>Rainfall in urban and natural systems. Proceedings of the 10th International Workshop on Precipitation in Urban Areas (UrbanRain15)</i> , Pontresina, 1-5 December 2015 (Paper UR15-02). ETH-Zürich, Institute of Environmental Engineering, doi: 10.3929/ethz-a-010549004.  |
| D             | LANDA, M., et al. BUILDING A COMPLETE FREE AND OPEN SOURCE GIS INFRASTRUCTURE FOR HYDROLOGICAL COMPUTING AND DATA PUBLICATION USING GIS.LAB AND GISQUICK PLATFORMS [online]. In: <i>International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. FOSS4G-EU 2017. Paris   Marne-la-Vallée, 18.07.2017 - 22.07.2017. Munich: ISPRS. 2017, s. 101-105. sv. XLII-4/W2. ISSN 2194-9034. Dostupné z: <a href="https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-4-W2/101/2017/">https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLII-4-W2/101/2017/</a></i> |
| D             | MULLER, M., et al. Precipitation intensity during heavy rains in various altitudes.. In: <i>Rainfall in urban and natural systems: Proceedings of the 10th International Workshop on Precipitation in Urban Areas. Urban Rain 2015. Pontresina, 01.12.2015 - 05.12.2015. Zürich: ETH. 2015</i>  |
| D             | STROUHAL, L., et al. CLASSIFICATION OF SMALL WATERSHEDS IN CZECH REPUBLIC FOR HYDROLOGICAL MODELLING. <i>17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, Conference Proceedings. 2017, 17(31), s. 121-128. ISSN 1314-2704. Dostupné z: <a href="https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article9496">https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article9496</a></i>   |
| Jrec          | KAVKA, P., et al. Kategorizace povodí IV. řádu pro potřeby srážko-odtokového modelování. <i>Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. 2018, 2018ISSN 0322-8916.</i>   |
| Jrec          | KAVKA, P., et al. Nástroj pro odvození návrhových srážkových úhrnů na území ČR. <i>Vodní hospodářství. 2016, 66(8), s. 9-15. ISSN 1211-0760.</i>  |
| Jrec          | NYVLT, O. N. a KAVKA, P. Řídicí systém mobilního simulátoru deště. <i>AUTOMA - časopis pro automatizační techniku. 2016, 2016s. 29-34. ISSN 1210-9592. Dostupné z: <a href="http://automa.cz/cz/casopis-clanky/ridici-system-mobilniho-simulatoru-deste-2016_07_54961_07766/">http://automa.cz/cz/casopis-clanky/ridici-system-mobilniho-simulatoru-deste-2016_07_54961_07766/</a></i>  |

|      |   |
|------|---|
| Jrec | STROUHAL, L., KAVKA, P. a WEYSKRABOVÁ, L. Variabilita odezvy vybraných hydrologických modelů na typické průběhy krátkodobých srážek. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. 2018, 2018ISSN 0322-8916.  |
| Jrec | LANDA M., KAVKA, P., STROUHAL, L. a CAJTHAML J. Webové služby pro poskytování návrhových srážek. Vodohospodářské technicko-ekonomické informace. 2018, 2018ISSN 0322-8916.  |
| O    | BAUER, M., et al. Rainfall simulators - innovations seeking rainfall uniformity and automatic flow rate measurements [online]. In: Geophysical Research Abstracts. European Geosciences Union General Assembly 2016. Vienna, 17.04.2016 - 22.04.2016. Göttingen: Copernicus GmbH. 2016, Dostupné z: <a href="http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-936.pdf">http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-936.pdf</a> |
| O    | Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M.: Radar-based diurnal cycle of summer precipitation in the Czech Republic. 17th EMS Annual Meeting – European Conference for Applied Meteorology and Climatology, Dublin (Ireland), 4-8 September 2017.  |
| O    | Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M.: Radar-based precipitation climatology of the Czech Republic in the warm part of the year. 16th EMS Annual Meeting & ECAC, Trieste (Italy), 12–16 September 2016  |
| O    | Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M.: Radar-based precipitation climatology of the Czech Republic in the warm part of the year. European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, Antalya (Turkey), 10–14 October 2016.   |
| O    | Bližňák, V., Kašpar, M., Müller, M.: Sub-daily temporal reconstruction of historical extreme precipitation events using NWP model simulations. 9th European Conference on Severe Storms, Pula (Croatia), 18–22 September 2017.  |
| O    | Bližňák, V., Müller, M., Kašpar, M., 2017. Radarová klimatologie letních srážek s ohledem na orografii České republiky. In: Lysá hora – 120 let meteorologických měření a pozorování. Sborník příspěvků z konference ČHMÚ a ČMeS, Lysá hora, 14. – 15. června 2017, s. 162-165.   |
| O    | Bližňák, V., Müller, M., Kašpar, M.: Radarová klimatologie letních srážek s ohledem na orografii České republiky. Lysá hora – 120 let meteorologických měření a pozorování. Konference ČHMÚ a ČMeS, Lysá hora, 14. – 15. 6. 2017.   |
| O    | Gvozdíková, B., Müller, M., Kašpar, M.: The spatial and seasonal variability of extreme precipitation events in Central Europe. 17th EMS Annual Meeting – European Conference for Applied Meteorology and Climatology, Dublin (Ireland), 4-8 September 2017.  |
| O    | Kašpar, M., Bližňák, V., Müller, M.: High resolution spatial analysis of short-term rainfall time structure variability. 17th EMS Annual Meeting – European Conference for Applied Meteorology and Climatology, Dublin (Ireland), 4-8 September 2017.   |
| O    | Kašpar, M., Müller, M., Bližňák, V.: Analysis of heavy rains with respect to precipitation intensity course. 16th EMS Annual Meeting & ECAC, Trieste (Italy), 12–16 September 2016.   |
| O    | KAVKA, P., et al. Exploring the Variability of Short-term Precipitation and Hydrological Response of Small Czech Watersheds [online]. In: Geophysical Research Abstracts. European Geosciences Union General Assembly 2017. Vienna, 23.04.2017 - 28.04.2017. Göttingen: Copernicus GmbH. 2017, EGU General Assembly 2017. sv. 19. ISSN 1607-7962.   |
| O    | KAVKA, P., et al. Problematika návrhových srážek v hydrologických modelech. In: Odborná konference s mezinárodní účastí Vodní toky 2016 : správa vodních toků, financování, legislativa, výzkum, extrémní hydrologické jevy (sucho, povodně), plánování v oblasti vod, technická opatření na vodních tocích. Kostelec nad Černými Lesy: Lesnická práce. 2016, s. 134-138. ISBN 978-80-7458-091-8.   |
| O    | Kavka, P., et al. Variabilita krátkodobých srážek jako zdroj nejistot v hydrologickém modelování v malých povodích České republiky. In: BRYCH, Karel a TESARĚ, Miroslav, eds. HYDROLOGIE MALÉHO POVODÍ 2017. Hydrologie malého povodí 2017. Praha, 18.04.2017 - 20.04.2017. Praha: Ústav pro hydrodynamiku AV ČR, v. v. i.. 2017, ISBN 978-80-87117-15-6.   |

|   |   |
|---|---|
| ○ | KAVKA, P., et al. <i>Variability of Short-term Precipitation and Runoff in Small Czech Drainage Basins [online]. In: Geophysical Research Abstracts. European Geosciences Union General Assembly 2016. Vienna, 17.04.2016 - 22.04.2016. Göttingen: Copernicus GmbH. 2016</i>  |
| ○ | KAVKA, P., JEŘÁBEK, J., a STROUHAL, L. <i>Numerical model SMODERP [online]. In: AGU Fall meeting 2016. AGU Fall meeting. San Francisco, 12.12.2016 - 16.12.2016. Baltimore: AGU. 2016</i>   |
| ○ | KAVKA, P., LANDA, M., a STROUHAL, L. <i>Využití GIS pro geostatistické zpracování srážkových podkladů [online]. In: PAVELKA, K., et al., eds. Sborník workshopu RPAS a SVK, Telč 2015. Workshop fotogrammetrie, DPZ, laserového skenování a GIS - Telč 2015. Telč, 09.11.2015 - 11.11.2015. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební. 2015, ISBN 978-80-01-05828-2.</i>  |
| ○ | LANDA, M. a KAVKA, P. <i>A GIS Tool for Reduction Day Precipitation to Subday [online]. In: Geomatics WorkBooks. FOSS4G Europe 2015. Como, 14.07.2015 - 17.07.2015. Politecnico di Milano. 2015, s. 725. sv. 12. ISSN 1591-092X. Dostupné z: <a href="http://geomatica.como.polimi.it/workbooks/n12/GW12_FOSS4G-eu15.pdf">http://geomatica.como.polimi.it/workbooks/n12/GW12_FOSS4G-eu15.pdf</a></i>  |
| ○ | LANDA, M., et al. <i>GIS.lab: Hydrological modelling on the Web. In: FOSS4G 2016. FOSS4G 2016. Bonn, 24.08.2016 - 26.08.2016. OSGeo. 2016</i>   |
| ○ | Müller, M., Bližňák, V., Kašpar, M.: <i>Analysis of short-term rainfall time structure by concentration indexes. 9th European Conference on Severe Storms, Pula (Croatia), 18–22 September 2017.</i>  |
| ○ | Müller, M., Kašpar, M., Bližňák, V.: <i>Quantification of precipitation intensity variations during heavy rains. European Geosciences Union, General Assembly, Wien (Austria), 18–22 April 2016.</i>  |
| ○ | NEUMANN, M. a KAVKA, P. <i>VYUŽITÍ DVOU METOD MĚŘENÍ RYCHLOSTI POVRCHOVÉHO ODTOKU KE KALIBRACI SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH MODELŮ. In: LABURDA, T., et al., eds. Voda a krajina 2015. Voda a krajina 2015. Praha, 23.09.2015. Praha: ČVUT, Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného hospodářství. 2015, s. 81-89. ISBN 978-80-01-05794-0.</i>  |
| ○ | STROUHAL, L., ZUMR, D., a KAVKA, P. <i>Investigating runoff generation on compacted subsoil using a field rainfall simulator [online]. In: Geophysical Research Abstracts. European Geosciences Union General Assembly 2016. Vienna, 17.04.2016 - 22.04.2016. Göttingen: Copernicus GmbH. 2016, Dostupné z: <a href="http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-1135.pdf">http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-1135.pdf</a></i> |
| ○ | WEYSKRABOVÁ, L., KAVKA, P., a STROUHAL, L. <i>Návrhové srážky pro inženýrskou praxi. In: CAJTHAML, J., et al., eds. GIS a životní prostředí 2015. GIS a životní prostředí 2015. Týnec nad Sázavou, 09.06.2015 - 10.06.2015. 2015, s. 30. 1. vydání. ISBN 978-80-01-05717-9.</i>   |

## 8. Popis uplatnění výsledků

Výsledky projektu budou uplatněny v několika oblastech. První se týká využití certifikované metodiky. Ta najde své uplatnění zejména ve vodním hospodářství se zaměřením na extrémní jevy. Její využití se předpokládá dále při zpracování studií sloužících k ochraně půdního fondu, pozemkových úprav, ke zvýšení retence krajiny, protierozních a protipovodňových opatření. Předpokládanými uživateli jsou projektanti hydrotechnických staveb na drobných vodních tocích nebo v ploše malých povodí a dále autoři studií odtokových poměrů v povodích, které mají za cíl identifikovat kritické body infrastruktury, navrhnout zlepšení stavu povrchových vod a zkvalitnit správu povodí. Dobře zpracované studie uvažující variantní řešení jsou nezbytným vstupem pro navrhování plánu společných zařízení v rámci komplexních pozemkových úprav, které se tak mohou stát základem dlouhodobě udržitelné stabilní krajiny. Metodika poskytuje dostatečný návod na využití srážkových dat pro navrhování opatření v krajině, která umožní co nejefektivnější a zároveň citlivé využití řešené lokality. Dále metodika poskytuje ucelený náhled na problematiku hydrologického modelování a možných dopadů jeho využití na realizaci staveb.

Druhou oblastí pro uplatnění výsledků jsou webové mapové a procesingové služby, které jsou poskytovány na portálu [rain.fsv.cvut.cz](http://rain.fsv.cvut.cz). Vzhledem k charakteru poskytovaných informací se předpokládá využití stejnou skupinou uživatelů jako v případě metodiky. Uživatelsky komfortní charakter nabízených aplikací a služeb dostupných z prostředí webového prohlížeče i lokálně instalovaných GIS softwarů umožní přístup ke srážkovým datům široké skupině uživatelů.

Za třetí, výsledky projektu budou také využity a zpracovány do studijních plánů oborů Životní prostředí a Vodní stavby na Fakultě stavební, ČVUT v Praze. Postupy získané v rámci řešení projektu a využití výsledků projektu bude nabídnuto dalším vysokým školám v ČR, pro obohacení jejich studijních plánů.

V neposlední řadě pak budou výsledky využity samotnými řešiteli projektu v navazujících vědeckovýzkumných aktivitách v příslušných oborech zájmu. Výsledky budou také uplatňovány při navrhování a posuzování staveb dalším řešitelem projektu – SWECO Hydroprojekt a.s.