



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

# MOŽNOSTI POSOUZENÍ OHROŽENOSTI POVODÍ PŘÍVALOVÝM DEŠTĚM

ASSESSMENT OF TORRENTIAL FLOOD SUSCEPTIBILITY FOR CHOSEN PROFILE

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Hana Doleželová

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ KOZEL, Ph.D.

BRNO 2022



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Hana Doleželová
Název	Možnosti posouzení ohroženosti povodí přívalovým deštěm
Vedoucí práce	Ing. Tomáš Kozel, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

---

doc. Ing. Daniel Marton, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT



## **PODKLADY A LITERATURA**

Starý, M.: Hydrologie, skriptum, FAST VUT Brno, 2005.

Hydrologic Engineering Center. HEC-HMS User's Manual version 4.7. Selecting a discretization method. Retrieved February 18, 2021.

## **ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ**

Studentka sestaví srážko-odtokový model pro vybrané povodí, který nakalibruje na vybraných epizodách. Dále provede vyhodnocení výše uvedeného modelu na validačních epizodách a závěrem se pokusí stanovit pravděpodobné chování pro nebezpečnou situaci z pohledu přívalových povodní v daném povodí.

## **STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Tomáš Kozel, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá průběhem přívalových povodní na povodích řeky Oslavy a Oskavy. Cílem bakalářské práce bylo sestavení srážko-odtokového modelu, jeho nakalibrování na vybraných epizodách a následné vyhodnocení na validačních epizodách. Dalším z cílů bylo také stanovení pravděpodobného chování za vzniku přívalové povodně v daném území. Model byl sestaven v programu HEC-HMS, ve kterém byly pro výpočet vybrány metody SCS Curve Number, SCS Unit Hydrograph a Lag. V závěru bakalářské práce je shrnuto sestavení modelu a průběh simulovaných epizod. Dále je zde zhodnocena vhodnost vybraných výpočetních metod.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

srážkoodtokový model, přívalová povodeň, přívalový déšť, HEC-HMS, povodí

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis deals with the course of flash floods in the Oslava and Oskava river basins. The aim of the bachelor thesis was to create a rainfall-runoff model, calibrate it on selected episodes and then evaluate it on validation episodes. Another goal was also to determine the probable behaviour during flash flood occurrence in the area. The model was created in the HEC-HMS program, in which the SCS Curve Number, SCS Unit Hydrograph and Lag methods were selected for the calculation. In the conclusion of the bachelor thesis, the developed model and the course of the simulated episodes are summarized. The suitability of the selected computational methods is also evaluated.

## **KEYWORDS**

rainfall-runoff model, flash flood, torrential rain, HEC-HMS, basins

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Hana Doleželová *Možnosti posouzení ohroženosti povodí přívalovým deštěm*. Brno, 2022. 66 s., Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Tomáš Kozel, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Možnosti posouzení ohroženosti povodí přívalovým deštěm* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 22. 5. 2022

---

Hana Doleželová  
autor práce

## **PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Možnosti posouzení ohroženosti povodí přívalovým deštěm* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2022

---

Hana Doleželová  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Ráda bych tímto poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomášovi Kozlovi, Ph.D., za odborné vedení, věnovaný čas a vstřícný přístup.

# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CÍL.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>METODIKA.....</b>	<b>4</b>
3.1	Povodí.....	4
3.2	Srážkoodtokový proces v povodí.....	5
3.3	Extrémní deště a přívalové povodně.....	8
3.3.1	Vznik přívalových povodní .....	9
3.3.2	Aspekty ovlivňující vznik přívalové povodně .....	10
3.3.3	Vliv lesa na přívalové povodně.....	11
3.4	Možnosti predikce přívalových povodní v podmínkách ČR .....	14
3.5	Hydrologické modely.....	14
3.5.1	Základní klasifikace hydrologických modelů.....	15
3.5.2	HEC-HMS.....	17
3.5.3	MIKE-SHE.....	18
3.5.4	DesQ-MaxQ .....	19
3.5.5	Aqualog .....	19
3.5.6	HYDROG .....	19
3.5.7	Kalibrace .....	19
3.6	Metoda CN křivek .....	20
3.7	Data .....	22
3.7.1	Měření srážek.....	22
<b>4</b>	<b>APLIKACE .....</b>	<b>25</b>
4.1	obecný popis.....	25
4.1.1	Fyzicko – geografické poměry území .....	27
4.1.2	Přívalové povodně 2020 .....	37
4.2	Podklady.....	40
4.2.1	Srážkoodtoková data.....	40
4.3	Sestavení modelu .....	42

4.3.1	Schematizace.....	42
4.3.2	Výpočetní metody .....	43
4.3.3	Další prvky .....	44
4.3.4	Optimalizace.....	45
4.4	Výsledky.....	46
4.4.1	Optimalizace.....	46
4.4.2	Vybrané epizody .....	49
4.4.3	Varianty vybraných epizod .....	54
<b>5</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ .....</b>	<b>67</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>68</b>
<b>9</b>	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>70</b>

# 1 ÚVOD

Ačkoliv jsou přívalové deště výrazněji vnímány až během posledních let, dochází k nim již od nepaměti. Jedná se o déšť velké intenzity (dle G. Hellmana 10 až 80 mm za dobu kratší než 180 minut), krátkého trvání a malého plošného rozsahu. Jev je nežádoucí hned z několika důvodů. Vzhledem k velké intenzitě mají dešťové kapky poměrně velkou kinetickou energii a úspěšně tak rozrušují půdu, pokud není nijak chráněna vegetací. Největší riziko je tedy na jaře, kdy ještě rostliny nedosáhly dostatečného vzrůstu, nebo v oblastech kde je zasazena vegetace která půdu dostatečně nechrání. Výsledkem je poté vznik koncentrovaného povrchového odtoku. Ten sebou unáší zrnka úrodné zeminy a za sebou nechává erozní rýhy. Odtok dále vniká do intravilánu, kde zatopí sklepy a způsobí jiné materiální škody. Další možností je jeho vnik do toků a vodních nádrží. Svým zanášením tak snižuje jejich kapacitu, a s tím i jejich schopnost ochrany obyvatelstva. Pro obnovení kapacity je nutno zeminu vytěžit, ta je již toxická a není ji možné nijak využít. Mimo zanášení může zemina také způsobit eutrofizaci. Ta bývá způsobena přihnojováním půdy, kdy se díky splachu dostávají dusík a fosfor do toku. Přihnojování je však v současné době poměrně stabilizováno a eutrofizace způsobují spíše atomy železa a hliníku obsažené v zemině, ty zvyšují schopnost na sebe fosfor vázat.

Samotný průběh přívalové povodně je pak ovlivněn více faktory. Náleží mezi ně nasycenost území, morfologie, typ půdy, druh vegetace, kapacita a tvar koryta nebo jeho meandrovitost.

Průběh přívalové povodně se vyznačuje rychlým nástupem i poklesem, což poskytuje omezený čas na reakci z pohledu ochrany obyvatelstva. Z tohoto důvodu by bylo vhodné se jejich průběhu více věnovat a snažit se tak zabránit případným dalším škodám a ztrátám na životech.

V rámci bakalářské práce bylo vybráno zájmové území v okolí Uničova, rozkládající se na povodích řeky Oslavy a Oskavy. Zde došlo k přívalové povodni ve dnech 7. a 8. června 2020, kdy byl překročen úhrn srážek 100 mm/24 h, z toho místy až 70 mm/3 h. Pro vytvoření simulace vybraných epizod modelovaného povodí byl zvolen program HEC-HMS, ve kterém byly



pro výpočet vybrány metody SCS Curve Number, SCS Unit Hydrograph a Lag. Jedná se o metody s nízkou náročností na vstupní data. Uvedené metody byly vybrány, aby se zjistilo, jak dokonale je možno provést simulaci je-li k dispozici omezené množství informací týkajících se řešeného území.

## **2 CÍL**

Cílem práce je sestavení srážko-odtokového modelu pro vybrané povodí řeky Oslavy a Oskavy, jeho nakalibrování na vybraných epizodách a následné vyhodnocení na validačních epizodách. Jedním z cílů je také stanovení pravděpodobného chování za vzniku přívalové povodně v daném území.

## 3 METODIKA

### 3.1 POVODÍ

Povodí je základní pracovní jednotku v hydrologii. Jeho území je omezeno rozvodnicí a voda z něj odtéká přes uzávěrový profil. Jedná-li se o povodí orografické, probíhá rozvodnice přes nejvyšší kóty, hřebeny a sedla v blízkosti toku. Druhým případem je povodí hydrogeologické. Díky složitější geologické stavbě zde nesouhlasí rozsah s povrchovým odtokem s rozsahem plochy s podzemním odtokem. Voda může přitékat podzemní cestou ze sousedního povodí nebo do něj může naopak odtékat.

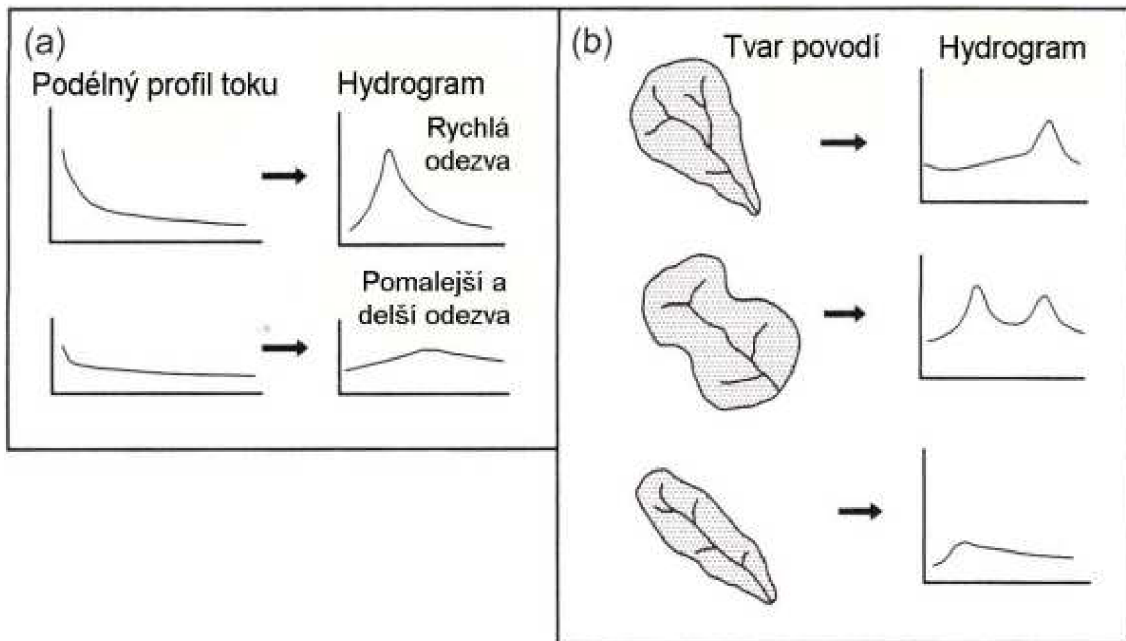
Objem, koncentraci a velikost povodňové vlny ovlivňuje několik charakteristik. Jsou jimi velikost povodí, tvar svažítost nebo také geomorfologické vlastnosti.

Pokud bude tvar povodí spíše zakulacený a rozložitý, je možné, že voda z hydrologicky nejvzdálenějších bodů doteče do závěrového profilu ve stejný čas a tím způsobí vyšší kulminaci povodňové vlny. Oproti tomu u povodí protáhlého tvaru bude trvat delší dobu, než voda z nejvzdálenějšího hydrologického profilu doteče. Zároveň, pokud ramena nacházející se na toku nebudou nevhodně rozmístěna, nemělo by dojít k jejich současnému přítoku.

Svažítost ovlivňuje rychlost a velikost odtoku. Kromě rychlosti samotného toku je ovlivňována i rychlost dopadajících srážek. Tím že je povodí svažítější nedopadají srážky kolmo k půdě a gravitační síla tak urychluje jejich odtok. Zároveň je snížena jejich čas na infiltraci. Voda tak doteče do koryta toku dříve než se stačí infiltrovat.

Povodí v České republice se mohou nacházet v Karpatském systému nebo Českém masivu. Na území Karpatského systému se nachází flyšové hory. Ty mají zvětralinový plášť s jemným substrátem, to má za výsledek urychlení povrchového odtoku. Území Českého masivu je tvořeno krystalickými horninami s hrubším zvětralinovým pláštěm. Jeho jemnozrnný substrát umožňuje vyšší akumulární a retenční schopnosti. Povrchový odtok je tedy

zpomalen a k infiltraci dochází ve větší míře, pokud je zanedbán vliv vegetace. (Ruda, 2014)



Obrázek 1: Vliv podélného toku (vlevo) a tvaru povodí (vpravo) na tvar průtokové vlny (Charakteristika povodní, 2017)

### 3.2 SRÁŽKOODTOKOVÝ PROCES V POVODÍ

„Srážkoodtokovým procesem v povodí rozumíme postupnou transformaci srážky dopadající na povodí až na odtok vody závěrovým profilem povodí.“ (Starý, 2005). Samotný srážkoodtokový proces je ovlivněn řadou vlivů. Jsou jimi klimatické faktory, geografické činitele a samotný člověk. Proces lze zjednodušeně vyjádřit dle rovnice:

$$R = P - ET$$

Kde: R odtok  
 P srážky  
 ET evapotranspirace

Pro úvahu kratší bilance je třeba uvažovat i další vlivy:

$$R = P - ET - IC + I + \Delta SS + \Delta SG$$

Kde: R je odtok  
P jsou srážky  
ET je evapotranspirace  
IC je intercepce  
I je přítok z výše ležícího povodí  
 $\Delta SS$  je změna povrchové zásoby v povodí (nádrže, inundace, deprese, sněhová pokrývka)  
 $\Delta SG$  je změna podpovrchové zásoby vody v povodí (nádrže, inundace, deprese, sněhová pokrývka)

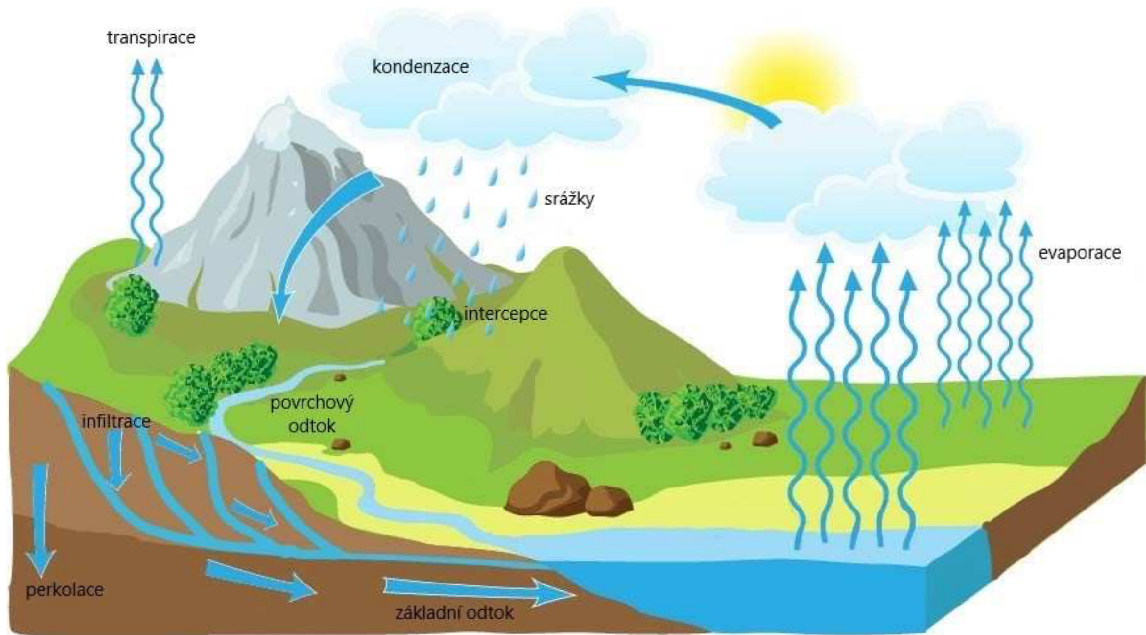
Mezi klimatické faktory se řadí průběh a množství spadlých srážek, sluneční záření, teplota, vlhkost vzduchu a bilanční poměry v povodí. Geografičtí činitelé jsou ovlivněny vlastnostmi konkrétního povodí. Patří mezi ně: plocha, velikost, střední nadmořská výška, vegetace, tvar reliéf, říční síť. (Starý, 2005)

Srážkoodtokový proces se skládá ze dvou transformací, a to hydrologických a hydraulických. Mezi transformace hydrologické spadá ztráta intercepce, evaporací a transpirací. Při intercepce dochází k zachycování srážek na rostlinách a jejich zbytcích (větve, listí, lesní hrabanka). Pod lesní klenbou může dojít k zachycení až 20 mm. V dlouhodobém úhrnu to může být 20 až 40 % dopadajících srážek. Z tohoto důvodu mají zalesněná území mnohem menší odtok nežli louky, pole a horské stráně. (Odtokový proces) Srážky, které nejsou zachyceny intercepce pokračují dále po povrchu půdy. Půda k sobě vodu váže kapilárními silami. V této fázi může dojít ke její ztrátě evaporací, transpirací nebo odtokem po povrchu. Pokud je voda vytlačena již infiltrovanými srážkami.

Díky nerovnostem v povrchu zůstane část vody v mikrodepresích. Zde dojde ke ztrátě evaporací nebo infiltrací.

Přímý odtok je dělen na povrchový a hypodermický. Povrchový odtok je část odtoku odtékající po povrchu povodí. Hypodermický odtok je ta část, která se infiltruje do půdy, ale nedostane se až k podzemní vodě.

U vody v půdě dochází ke třem pohybům, a to infiltraci, perkolaci a akumulaci. K infiltraci dochází ve svrchní vrstvě povrchu. Pokud je přítomna vyšší půdní vlhkost nebo nasycenost povodí, dochází k akumulaci.



Obrázek 2: Srážkoodtokový cyklus povodí (The drainage basin hydrological system, 2018).

Mezi nejvýznamnější atmosférické podmínky spadá:

Sluneční záření – větší přísun energie formou slunečního záření zvyšuje potenciál přeměny skupenství vody na páru, to vede ke zvýšení evapotranspirace

- Teplota vzduchu – čím je vyšší teplota, tím je vyšší potenciál výparu a transpirace
- Vlhkost vzduchu – vlhkost vzduchu omezuje přijímání další vody z evapotranspirace
- Rychlost větru – ovlivňuje výměnu vzduchu nad povrchem. Pokud přijme vzduch vodu z evapotranspirace, snižuje tak další schopnost jejího přijmutí. Dojde-li však k nahrazení suchým vzduchem odjinud, schopnost evapotranspirace opět stoupá.
- Tlak vzduchu – je-li nízký tlak vzduchu, roste jeho sytostní doplněk při stejném rozdílu teploty vzduchu a teploty vlhkého vzduchu. Tím tedy mírně roste i potenciální evapotranspirace.

Důležitá je také vegetační fáze, kdy největší potenciální evapotranspirace je dosaženo během největšího fenologického rozvoje rostlin.

### **3.3 EXTRÉMNI DEŠTĚ A PŘÍVALOVÉ POVODNĚ**

„Přívalové povodně jsou působeny přívalovými srážkami konvekčního či stříhového původu, v reakci, na něž dochází k rychlému odtoku po svazích, v jinak suchých údolích a ve vodních tocích. Jsou charakteristické rychlým vzestupem hladiny trvajícím řádově minuty až jednotky hodin a významným uplatněním dynamické síly turbulentního proudění jako faktoru vzniku povodňových škod.“ (Šercl, 2015)

Ačkoliv jsou přívalové povodně fenoménem spíše posledních let, k jejich vzniku docházelo i v minulosti. Pro příklad mohou být uvedeny např: povodeň z povodí Berounky, Karlovy Vary v květnu 1852, Doubrava 1908 a další. (Šercl, 2015)

V České republice dochází ke vzniku těchto povodní:

- Jarní povodně jsou způsobené táním sněhu, případně s kombinací dešťových srážek. K jejich výskytu dochází v podhorských oblastech, kde dále postupují po proudu větších toků.
- Letní povodně způsobují několikadenní regionální srážky, které zasahují velká území. Vyskytují se ve všech tocích zasažené oblasti. K jejich postupu dochází po proudu velkých toků.
- Povodně způsobené lokálními intenzivními srážkami. K výskytu dochází v letních měsících. Zasahují převážně malé toky.
- Extrémní ledové jevy způsobují ledové povodně.

### **3.3.1 Vznik přívalových povodní**

Jak již bylo zmíněno přívalové povodně jsou z převážně většiny způsobeny intenzivními srážkami. Ty jsou v létě často spojené s výskytem silných bouřek.

Za vznikem bouřek často stojí jev zvaný konvekce. To je výstup teplejšího vzduchu do vyšších vrstev. Vystupující teplý vzduch s sebou nese i vodní páru. Svým vzestupem se však vzduch ochlazuje a z důvodu nižší schopnosti chladného vzduchu pojmout páru dochází ke vzniku srážek nebo ledových krystalek, které vidíme jako oblaka. Je-li rychlost vzduchu dostatečně rychlá, dojde k formulaci bouřkového mraku s názvem Cumulonimbus. (Daňhelka, 2009)

Ke konvekci může docházet vlivem rozdílného zahřívání povrchu, orografickými překážkami, či stříh větru. Při stříhu větru dochází k rozdílným směru jeho proudění. (Daňhelka, 2009)

V České republice je nejčastější příčinou přívalových srážek s vysokými úhrny pomalý postup supercelárních či multicelárních bouří. Další příčinou déletrvajících silných srážek bývá tzv. train effect. Při něm dochází ke vzniku jednotlivých bouřkových cel. Ty jsou iniciovány na určitém místě a postupují pak po shodné dráze. Vypadávající silné srážky při tom zasahují stále stejné území. (Šercl, 2015)



### 3.3.2 Aspekty ovlivňující vznik přívalové povodně

Na vznik povodně má vliv mnoho aspektů. Jsou jimi klimatické podmínky, charakter krajiny (povodí) a vliv lidské činnosti.

Nejvýznamnější roli hraje nasycení, dále má vliv také morfologie terénu a způsob využívání. Pokud je území svažité kromě škod způsobených samotným zaplavením dojde i ke škodám způsobeným rychlostí proudící vody. (Šercl, 2015)

Lidská činnost a její zásah do krajiny má nepopíratelný vliv na vznik přívalových povodní. Antropogenní příčiny lze rozdělit do 3 skupin:

- zásahy do plochy povodí přímo v katastru obce,
- nevhodné stavby v intravilánu obce,
- zásahy povodí mimo katastr obce. (Langhammer, 2007)

Dle vyhodnocení dat je možno říci, že řada povodní na lokální úrovni je významně umocněna současným nevyhovujícím stavem české krajiny. (Langhammer, 2007) Samy za sebe mluví výsledky nacházející se v následující tabulce.

Tabulka 1: Příčiny povodní a problémy spojené s povodněmi v důsledku lidských zásahů do krajiny (Langhammer, 2007)

<b>Příčina povodní/problémy spojené s povodněmi</b>	<b>Četnost odpovědi</b>
Splachy bahna z polí	16
Jiné splaveniny než bahno (z lesů, plodiny z polí)	11
Půdní eroze (v důsledku nevhodných lesních cest, nezalesněných svahů apod.)	10
Odlesnění	5
Nevhodná regulace toků	1

Výsledky byly získány vyhodnocením řízených rozhovorů ve 33 obcích ČR, pro jednu obec je obvykle relevantních více faktorů. Z tabulky vyplývá, že významný vliv má nevhodná zemědělská činnost.

Mimo nevhodné zásahy do krajiny má vliv naopak i nedostatek lidských zásahů. Údaje jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 2: Nedostatek zásahů do sítě vodních toků jako příčina povodní (Langhammer, 2007)

Příčina povodní	Četnost odpovědi
Zanesená koryta v důsledků sporů mezi správci o správu toku (tj. Komu tok "patří")	11
Neregulované toky	9
zanesená koryta v důsledku nedostatečné péče	9
Neudržované meliorační kanály	4
Staré nevyhovující regulace toků	2

Mezi nejčastější důvod patřila nedostatečná péče o koryta vodních toků a melioračních kanálů. Díky tomu dochází k zanášení splaveninami. Díky tomu je zmenšena kapacita koryta a dochází k vylévání toku. Za vinou jsou správci, kteří mezi sebou vedou spory a také nedostatek financí. (Langhammer, 2007)

### 3.3.3 Vliv lesa na přívalové povodně

Bylo provedeno mnoho výzkumů ohledně vlivu lesa na oběh vody v krajině. Z výsledků jasně vyplývá, že lesní půda je jeden ze zásadních faktorů ovlivňující srážkoodtokový proces. Samotný srážkoodtokový proces v lese má také několik faktorů.

Jedním z prvních faktorů jsou atmosférické srážky. Jedná-li se o deště regionální, nebude mít les na povodňovou vlnu až takový vliv. Déšť má dlouhodobý charakter a lesní půda už dále nebude schopna infiltrace, bude tedy docházet k povrchovému odtoku. Bude-li se však jednat např o liják, který má pravděpodobnost výskytu v dané lokalitě jednou za sto let a může dosáhnout intenzity až 5 mm /min při trvání 10 min, 0.7 mm/min při trvání 120 min, měla by být zdravá lesní půda schopna infiltrace. (Kantor, 2003)

U jisté části atmosférických srážek dopadajících na lesní kulturu dojde ke ztrátě. Ta je tvořena kapkami zachycených na korunách stromů, intercepce do lesní půdy a následným nasátím lesní kulturou. Po nasátí dochází k evaporaci.

Ztráty vody, které jsou tvořeny díky korunám stromů jsou závislé na mnoha faktorech. A to geografických, meteorologických a porostních. Mezi geografické faktory patří nadmořská výška a pohyb vzdušných mas.

Zásadním předělem je výška nad 600 m. n. m. Zde se nachází oblaky špatného počasí a srážky z horkých mlh. Nedochází tak k žádné intercepci a voda dopadá na zem i s jistým přídatkem vody navíc.

Jakkoliv může být však důležitá porostová stavba lesa, půda hraje ještě důležitější roli.

Lesní půda je složena z několika vrstev. První vrstvu tvoří hrabanka, ta obsahuje jehličí, větvičky a listí v různém stádiu rozkladu. V druhé vrstvě se nachází humus, zde dochází ke zvýšené biologické činnosti. Dále se zde může nacházet třetí vrstva, ta je běžně tvořena prokořeněnou vrstvou se vzdušnou kapacitou 15 až 20 % způsobenou makropóry. Mezi jednotlivými vrstvami se může nacházet přechod, jedná se o zvětralinu podloží horniny s různou propustností. (Kantor, 2003)

Lesní půda je schopna mnohem větší infiltrace než půda zemědělská. To je dáno obsahem gravitačních pórů v lesní půdě. Voda se tak pohybuje preferenčně těmito póry. Důsledkem toho reprezentuje hypodermický odtok u lesních půd významnou složku. Asi 10 až 40 % úhrnu srážkové vody je takto přeměněn na odtok hypodermický. Díky tomu kulminuje ve vodních tocích s časovou prodlevou oproti odtoku povrchovému. (Kantor, 2003)

Pokud jsou zmíněny vlivy na srážkoodtokový proces v lese, nesmí se zapomenout na ty způsobené lidmi. Nevhodně obhospodařované lesy mají nemalý vliv na katastrofálních povodních jak v horských oblastech, tak v nížinách. Problém může být zjednodušeně rozdělen do tří okruhů:

- a) vlivy druhové a prostorové skladby lesních porostů,
- b) vlivy obnovených sečí, kalamitních ploch (holiny) a odlesnění,
- c) vlivy lesních komunikací (charakter a hustota)

*ad a) Vlivy druhové a prostorové skladby lesních porostů*

Skladba lesa je tvořena jehličnany a listnáči. Během posledních 200 let došlo k významné změně co se týče jejího složení. Zastoupení jehličnanu, které dříve tvořilo pouze kolem 34 % dosahuje v současnosti až 77 % (z toho smrk 54 %). Pohled, že listnáče jsou lepší, než jehličnany je však značně

zjednodušený. Za předpokladu nedostupnosti vody je les závislý pouze na atmosférických srážkách. (Kantor, 2003)

Na spotřebu vody dle druhu porostu byly provedeny výzkumy, ze kterých vyplývá, že závislost odtoku vody ze smrkových porostů na nabídce srážek je těsně lineární. Naopak u porostů bukových má celkový výpar s rostoucími srážkami mírně klesající tendenci. Závislost odtoku vody z bukových porostů má také lineární charakter, který má však ještě strmější trend. (Kantor, 2003)

*Ad b) Vlivy obnovených sečí, kalamitních ploch (holiny) a odlesnění*

Z řady výzkumů bylo zjištěno, že k celkovému zvýšenému odtoku dochází převážně v prvních letech, poté postupně s nárůstem kleče a bylin dochází opět k jeho snížení. (Kantor, 2003)

*Ad c) Vliv lesních komunikací (charakter a hustota)*

Lesní komunikace a různá úbočí fungují jako svodnice srážkové vody. To se pak může projevit na objemu jednotlivých povodňových vln. Významnou roli zde hraje plocha cest. Z poznatků vyplývá, že pokud mýtní těžba se soustředováním lesa zasahuje do více jak 1/3 malého povodí, zpravidla to má za výsledek ovlivnění charakteristik maximálních průtoků Povrchový odtok není tvořen pouze samotným povrchovým odtokem na komunikaci, spolu s ním působí i vyvěrající hypodermický odtok z různých zářezů nacházejících se na cestách. Co se cest týče, jistá náprava může být učiněna zprofilováním nezpevněných lesních cest, do výrazného příčného profilu spolu s jejich zhutněním. Dále je třeba zabezpečení příčného odtoku vody do příkopů, vyčištění a zhutnění dna příkopů a vyčištění trubních propustků. (Kantor, 2003)

### 3.4 MOŽNOSTI PREDIKCE PŘÍVALOVÝCH POVODNÍ V PODMÍNKÁCH ČR

Možnost předpovědi přívalových povodní závisí na charakteru příčinných srážek. Letní povodně v podmínkách střední Evropy lze rozdělit do tří skupin: (Šercl, 2015)

- Povodně z velkoprostorových (stratiformních) srážek
- Povodně ze smíšených (stratiformních i konvektivních) srážek
- Povodně z přívalových (konvektivních) srážek

Velkoprostorové srážky je možno relativně dobře předpovídat pomocí numerických modelů počasí. Zasahují území o rozloze řádově v tisících kilometrů čtverečních. Největší vliv mají na středně velké až velké vodní toky (Vltava, Morava, Bečva). Vzestup povodní není oproti ostatním typům tak rychlý, proto již zmíněná dobrá možnost predikce. (Šercl, 2015)

Smíšené srážky zasahují také velká území. Na rozdíl od srážek velkoprostorových je však horší možnost jejich předpovědi. Chyby numerických předpovědních modelů se pohybují mezi desítkami až stovkami kilometrů. Z toho plyne, že skutečná srážka může zasáhnout úplně jiné povodí. (Šercl, 2015)

Přívalové srážky zasahují malá povodí o rozloze desítek až stovek kilometrů čtverečních. Mohou trvat desítky minut, nejvýše však několik hodin. Srážkové úhrny mohou dosáhnout extrémních hodnot. V zasažených povodí pak dochází k prudkým vzrůstům hladin v tocích. Jejich prediktabilita je velmi nízká. (Šercl, 2015)

### 3.5 HYDROLOGICKÉ MODELY

*„Cílem matematického modelování hydrologických procesů je vyjádření časové, nebo časově-prostorové závislosti určitých veličin, charakterizujících hydrologický režim modelovaného objektu, tj. povodí, nebo jeho částí.“* (Kulhavý, 2000). Matematickým modelem je simulován skutečný srážkoodtokový proces, umožněna je však i predikce reakce modelovaného prototypu za extrémních srážkové situace.

Sestavení modelu může být rozdělen do tří fází. V první fázi je třeba získat vstupní data. V druhé fázi probíhá nastavení modelu a úprava okrajových podmínek. Ve třetí fázi již dochází k interpretaci výstupu a jejímu dalšímu využití.

### **3.5.1 Základní klasifikace hydrologických modelů**

Hydrologické metody lze rozdělit dle: (Daňhelka, 2007)

- a) účelu a způsobu aplikace,
- b) simulovaného hydrologického procesu a míry komplexnosti,
- c) hloubky a komplikovanosti vazeb simulovaného procesu,
- d) požadovaného rozsahu časové a prostorové diskretizace,
- e) kontinuity výpočtů.

ad a) Účel a způsob aplikace

Dle účelu využití sestavovaného modelu jeho stavby a zaměření. Účel může být např. protipovodňová ochrana, městské kanalizace nebo zásobovací systémy.

ad b) Simulovaný hydrologický proces a míra komplexnosti

Lze je dělit na:

- modely sněhové
- modely srážkoodtokového procesu (modely půdní vlhkosti a jednotkový hydrogram)
- modely nádrží
- modely simulující pohyb vody v korytě (hydrologické modely, hydraulické modely)
- Komplexní systémy řešící komplex hydrologických procesů v povodí (systému)

ad c) Hloubka a komplikovanost vazeb simulovaného procesu

Hydrologické procesy obsahují prvky deterministické i stochastické. Většinou však jeden z nich převažuje.

### *Deterministické modely*

Deterministický model bude využit, bude-li cílem vytvořit matematický popis tak, aby odpovídal fyzikální podstatě procesu. Jeho proměnné se dělí na vstupní, vnitřní a výstupní. (Kulhavý, 2000) Výstupními proměnnými mohou být např. množství evapotranspirace, množství vody či vlhkost půdy. Vstupní proměnné jsou spojovány s časovými proměnnými. Obvykle jimi jsou klimatologické faktory (evapotranspirace, meteorologické faktory...). (Becker, 1990) Jsou-li modelované vnitřní veličiny stálé v čase, jsou pak označovány jako parametry modelu. Vztahy mezi veličinami jsou příčinné. Základní prvky struktury modelu jsou tvořeny fyzikálně geometrickými vlastnostmi povodí. (Kulhavý, 2000)

Dle stupně složitosti lze dále dělit na: (Daňhelka, 2007)

- Black box modely

Vztahy jsou dány empirickým odvozením, hydrologické parametry a vztahy uvnitř systému nejsou pevně definovány. Modely jsou závislé na datových sítích a je třeba je často rekalibrovat. Patří mezi ně např. využití neuronových sítí. Jejich nevýhodou je nemožnost kontroly smysluplnosti a zásahy do obsluhy.

- Koncepční modely

Fyzikální zákony jsou zjednodušeně respektovány. Složitější vztahy jsou odvozeny empiricky. Tím je zajištěna možnost obsluhy. Na tomto konceptu je založena většina operativně provozovaných předpovědních modelů.

- Fyzikálně koncipované modely

Fyzikální vztahy jsou pevně definované. Nevýhodou může být složitost systému a vztahů, které komplikují operativnost daných modelů

### *Stochastické modely*

V tomto typu modelu není vazba mezi příčinou a následkem hydrologického jevu. V operativní hydrologii je možno využít stochastické pravděpodobnostní modely. Hydrologické prvky (průtok, vodní stav, objem) jsou pravděpodobnostně rozděleny. Často jsou charakterizovány statistickými charakteristikami (aritmetický průměr, směrodatná odchylka,

součinitel variace a šikmosti...)). V hydrologii jsou využívány spíše k řešení návrhových veličin, či pro dlouhodobé předpovědi.

Ad d) Rozsah časové a prostorové diskretizace

V modelech je možné volit dle potřeby různý časový krok. Obvykle jím je 1 hodina až 1 den. Pokud dochází k modelování např. malého povodí je vhodné volit menší krok. Naopak při modelování dlouhodobých bilančních průtoků je vhodný delší časový krok. Modely lze dělit na dvě základní kategorie:

- Distribuované modely

Respektují prostorovou proměnlivost hydrologických charakteristik. Jsou bližší skutečné reprezentací přírodních dějů. Parametry jsou konstantní na elementárních územích.

- Lumped modely

U těchto modelů se předpokládá, že všechny hydrologické charakteristiky jsou v prostoru povodí rozloženy homogenní a k jejich změně dochází pouze v čase.

### **3.5.2 HEC-HMS**

Jedná se o srážkoodtokový model vyvinutý armádou USA. První verze byla zveřejněna již během 60. let minulého století. Největší výhodou tohoto programu je, že je zcela zdarma. V rámci bakalářské práce byla využívána verze HEC-HMS 4.7.1.

Celý model využívaný v rámci bakalářské práce se skládá ze 4 hlavních komponent, a to modelu povodí (Basin Models), meteorologického modelu (Meteorologic Models), specifikace ovládaní (control specifications) a časové řady (Time-Series Data). Basin Models mají úlohu schematizace řešeného povodí. Díky podpoře propojení s GIS systémy je možné pro lepší prostorovou představivost umístit do pozadí mapu řešeného území. Pro simulaci procesů je povodí třeba znázornit pomocí prvků. K dispozici jsou např.: Subbasin, Reach, Junction nebo Source. Prvky jsou podrobněji popsány na stránkách HEC-HMS.



Samotný program nabízí pro výpočet infiltrace a povrchového odtoku i jiné metody než, které jsou uvedeny v předchozím odstavci. Mezi metody pro výpočet ztrát patří: deficit and constant, exponential, green and ampt, gridded deficit and constant, gridded green and ampt, gridded SCS curve number, Gridded soil moisture accounting, Initial and constant, Layered Green and Ampt, SCS curve number, Smith Parlange a Soil moisture accounting. Z metod transformace je na výběr: Clark Unit Hydrograph, Kinematic Wave, ModClark, SCS Unit Hydrograph, Snyder Unit Hydrograph, Uses Specified S-Graph, User Specified Unit Hydrograph, 2 D Diffusion Wave. Pro výpočet byly vybrány metody SCS Curve Number a SCS Unit Hydrograph.

Pro simulaci proudění v otevřených korytech je na výběr z celkem 9 metod. A to: Lag, Lag a K, Modified Puls, Muskingum, Muskingim-Cunge, Normal Depth a Straddle Stager. Pro výpočet byla vybrána metoda Lag.

Meteorologický model slouží k zadání okrajových podmínek pro dílčí povodí. Lze do něj využít data týkající se krátkovlnného a dlouhovlnného záření, srážek, evapotranspirace a tání sněhu. V rámci zpracovávaného modelu bylo využito pouze dat úhrnu srážek. Program umožňuje výběr z několika metod, dle kterých bude vytvářen hyetograf. Jsou jimi: Frequency Storm, Gage Weights, Gridded Precipitation, HMR52 Storm, Hypothetical Storm, Inverse Distance, Specified Hyetograph a Standard Project Storm. Pro výpočet byla vybrána metoda Specified Hyetograph.

### **3.5.3 MIKE-SHE**

Model MIKE-SHE byl vyvinut Dánským hydraulickým institutem (DHI). Jedná se o deterministický, fyzikálně založený distribuovaný hydrologický model. Kód užitý pro model řeší parciální diferenciální rovnice. (MIKE SHE, 2022)

Nevýhody modelu (MIKE SHE, 2022)

- Potřeba velkého množství vstupních dat. Jejich cena může být vysoká.
- Čas potřebný k provedení
- Složitost modelu může vést ke nadměrnému parametrizování jinak jednoduchých aplikací.

Při modelování určitého procesu jen zřídka dominuje vícero hydrologických procesů. Proto je doporučeno použít fyzikální popisy jen pro ty, které se v modelu vyskytují. (MIKE SHE, 2022)

#### **3.5.4 DesQ-MaxQ**

Jedná se o hydrologický model, který dle vlastností povodí odvodí charakteristiky maximálního odtoku z povodí. Řešení je založeno na principu kinematické povodňové vlny. Model je možno využít pro údolnici i svah. Pomocí modelu je možné spočítat: návrhové doby trvání deště určité intenzity, charakteristiky hydrogramu maximálního odtoku, střední profilové rychlosti, výšky odtokové vrstvy a posouzení vlivu změny vlastností povodí na charakter průtoku. (Starý, 2005)

Model je vhodný pro povodí, které představuje jeden svah nebo je tvaru otevřené knihy. Působení deště je uvažováno na celém povodí konstantní.

#### **3.5.5 Aqualog**

Srážkoodtokový model využívá funkci SACRAMENTO (SACramento Soil Moisture Accounting Model). Model funguje na bázi vertikálně a horizontálně uspořádaných nádrží, kde může být voda zadržována, odčerpávána atpod. dle procesu, který má představovat. (Starý, 2005)

#### **3.5.6 HYDROG**

Srážkoodtokový model má úlohu řízení odtoku vody z povodí s nádržemi za povodňových situací, simulaci a operativní předpovědi. V současnosti je používán pobočkami ČHMÚ v Ostravě a Brně na povodích toků: Svatka, Svitava, Jihlava, Dyje, Bečva, Morava, Odra a Opava. Dále je využíván státními podniky povodí Odry a Labe.

#### **3.5.7 Kalibrace**

Aby model odpovídal realitě, je třeba provést jeho kalibraci. Jedná se o proces, při kterém jsou vstupní hodnoty upravovány tak, aby se simulace co nejvíce blížila realitě. Kalibrace může být manuální nebo automatická. Často je využíváno její kombinace, kdy jsou hrubé nedostatky nejdříve upraveny manuálně a na závěr automaticky.

Nejčastějšími hodnotícími kritérii úspěšnosti kalibrace jsou:

- Relativní či absolutní odchylka celkové hydrologické bilance odteklého objemu vody (za celé kalibrační období, roční bilance, měsíční bilance),
- Relativní odchylka kulminačních průtoků povodní
- Nash-Sutcliffe kritérium, teoreticky nabývající hodnot od  $-\infty$  až  $1+$ .  $1+$  je dokonalá shoda,  $0,6$  až  $0,7$  značí přijatelnou úspěšnost modelu.

$$RNS = 1 - \frac{\sum (H_{OBSi} - H_{SIMi})^2}{\sum \sum (H_{OBSi} - H_{OBS})^2}$$

Kde H je sledovaná veličina, OBS je pozorovaná hodnota, SIM je simulovaná hodnota, a i je pořadí hodnoty v časové řadě.

Kalibrace nikdy není dokonalá, sedí pouze pro dané území v dané chvíli a předpokládá stacionaritu klimatu.

V rámci bakalářské práce bylo podstatné podchytit optimalizací vzestupnou větev, hodnotu a čas kulminačního průtoky, proto byla za hodnotící kritérium považována relativní odchylka kulminačních průtoků povodní.

### 3.6 METODA CN KŘÍVEK

Přímý odtok se skládá z odtoku povrchového a hypodermického. Jejich poměr je znázorněn hodnotou CN. Čím je hodnota větší, tím větší je podíl povrchového odtoku. Odtok vody je ovlivněn množstvím srážek, typu půdy a její schopností infiltrace, druhem vegetace, ročním obdobím.

Objem přímého odtoku je určen dle předpokladu, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadržen. Povrchový odtok začíná po počáteční ztrátě. Ta je tvořena intercepcí, infiltrací a povrchovou retencí. (Janeček, 2012)

Základní vztah pro určený výšky přímého odtoku:

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

Kde:  $H_o$  je přímý odtok [mm]

$H_s$  je úhrn návrhového deště [mm]

$A$  je potenciální retence [mm], vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek (CN)

$$A = 25,4 (1000 / CN - 10)$$

Hodnota CN je určena dle hydrologické skupiny půdy (HSP) a na základě využití území. Hydrologické skupiny půd se dělí do čtyř kategorií:

- A velká infiltrační schopnost i při velké vlhkosti a nízký potenciální odtok
- B ještě dobré infiltrační vlastnosti za vlhka
- C za vlhka pomalá infiltrace
- D velmi malá infiltrace, tzn., velký potenciál tvorby rychlého odtoku

Stanovením hydrologických skupin půd se zabýval Janeček a Šercl. Janeček však uvažoval jako důležitý faktor ovlivňující HSP pouze infiltraci, zatímco Šercl uvedl, že infiltrace je nejdůležitějším parametrem pouze v rovinném a mírně svažitém území. Pokud se jedná o reliéf složitější s většími sklony, hrají zde velkou roli i retenční vodní kapacita a gravitační síly.

Objem přímého  $O_{pH}$  je dán vztahem:

$$O_{pH} = 1000 \cdot P_p \cdot H_o \text{ [m}^3\text{]}$$

Kde:  $P_p$  je plocha povodí [km<sup>2</sup>]

$H_o$  je přímý odtok [mm]

## 3.7 DATA

Mezi hydrologická data patří:

- Vodní stavy,
- Průtoky,
- Data o provozu vodních nádrží,
- Statická data

Mezi meteorologická data patří:

- Teplota vzduchu (modelování sněhové pokrývky)
- Informace o sněhové pokrývce – plošný rozsah sněhové pokrývky, výška sněhu, vodní hodnota sněhu, charakteristika sněhu
- Srážky včetně jejich časoprostorového rozložení (pro srážko-odtokové a sněhové modely)
- Informace o evapotranspiraci
- Předpověď teploty vzduchu
- Předpověď srážek

Fyzicko-geografická data využívaná v distribuovaných modelech a modelech založených na GIS:

- Digitální model terénu
- Informace o půdních vlastnostech (infiltrace, retenční kapacita aj.)
- GIS vrstvy říční sítě a rozvodnic

Mnoho hydrologických veličin je plošných. Vzhledem k tomu, že jejich měření je většinou prováděno plošně je podstatná jejich hustota.

U dat dodávaných do modelu je třeba posoudit jejich homogenitu v čase a reprezentativnost. Kontrola probíhá automaticky pomocí nastavených algoritmů, většinová část však závisí na samotném hydrologovi.

### 3.7.1 Měření srážek

*Standardní srážkoměry*

V ČR připadá průměrně jeden srážkoměr na 100 km<sup>2</sup>. Jejich princip spočívá v odečtu spadlého množství srážek jednou denně, kolem 7. hodiny ranní. U tohoto typu srážkoměru platí, že naměřený úhrn srážek je menší než ve

skutečnosti. To je způsobeno jednak manipulací, dále také větrem. V těsném okolí srážkoměru dochází k zhuštění proudnic a část dešťových kapek je tak vychýleno ze své dráhy a dopadá na zem. K dalším ztrátám dochází vlivem spotřeby množství vody na omočení stěn. K tomuto jevu dochází převážně při počátcích srážek. U velkých úhrnů je toto množství zanedbatelné. Dále může také docházet k výparu či sublimaci, to však pouze v malém množství.

V současnosti je měření pomocí standartních srážkoměrů považováno za spíše historickou záležitost, na vybraných místech však mohou být stále využívány.

#### *Automatické srážkoměry*

Automatické srážkoměry fungují na bázi měření váhy spadlé srážky. Měření je nejčastěji v řádu minut či hodin. Je možné ho nastavit. U tohoto typu dochází často k podhodnocení srážek. Automatický srážkoměr nejčastěji funguje na principu člunkového srážkoměru. Nacházejí se v něm tedy dvě nádoby, které jsou odměřené pro určité množství. Když jsou srážky intenzivní, dochází k překapávání vody mimo nádobu. V případě nízké teploty může dojít k namrznutí člunku. Možný výpar vody je často řešen tenkou vrstvou oleje nacházející se na kapalině.

Nevýhodou pozemních srážkoměrů je dále také prostorová nespojitost.

#### *Radarové odhady srážek*

Radarové stanice byly v rámci Evropy budovány v průběhu 70. a 80. let. Na rozdíl od pozemních stanic poskytují měření spojitá nejen v čase, ale i v prostoru. Meteorologické radiolokátory jsou schopny zjišťovat rozložení atmosférických srážek až do vzdálenosti mezi 100–200 km. Funkce je založena na schopnosti částic v atmosféře odrážet mikrovlny. (Starý, 2005)

### *Satelitní měření*

Pro Českou republiku je využíváno družic METEOSTAT a NOAA.

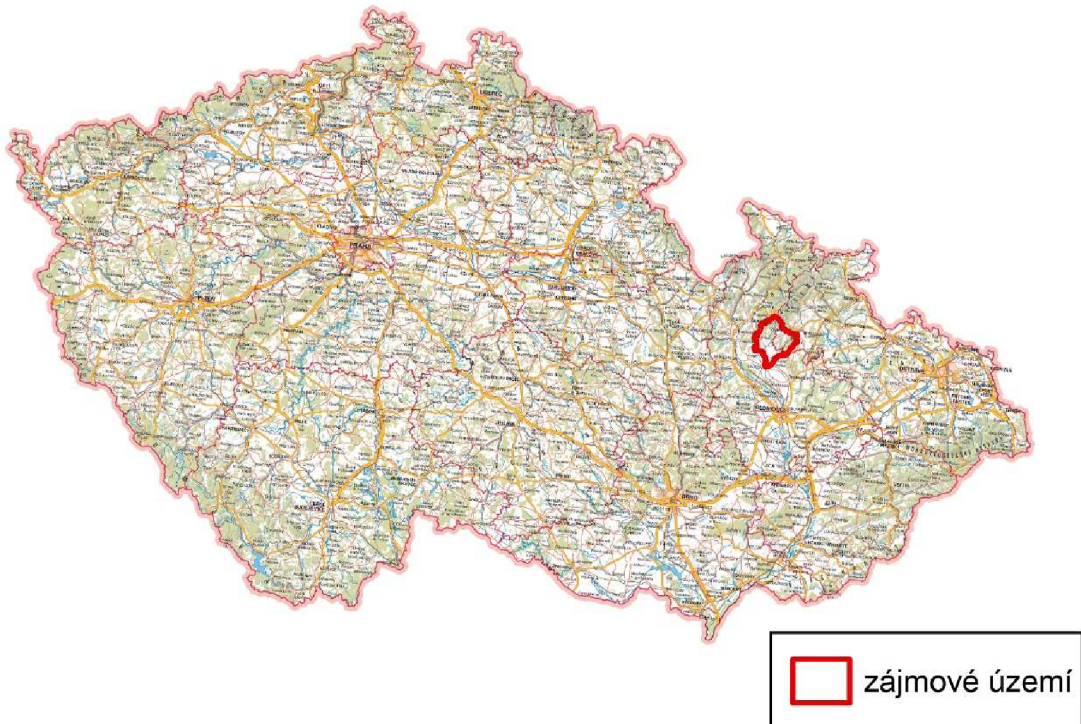
Družice METEOSTAT se řadí mezi družice geostacionární. Zemi obíhá ve výšce kolem 36 000 km v rovině zemského rovníku jednou za 24 h. Díky tomu může snímat stále stejné místo na Zemi.

Oběžná dráha Družice NOAA má oběžnou dráhu ve sklonu 98 až 99 stupňů a výška dráhy je mezi 810 až 870 km. Délka oběhu kolem Země je přibližně 100 minut. Při kompletním systému družic by mělo být dosaženo snímání Země nejméně 4krát za 24 hodin.

## 4 APLIKACE

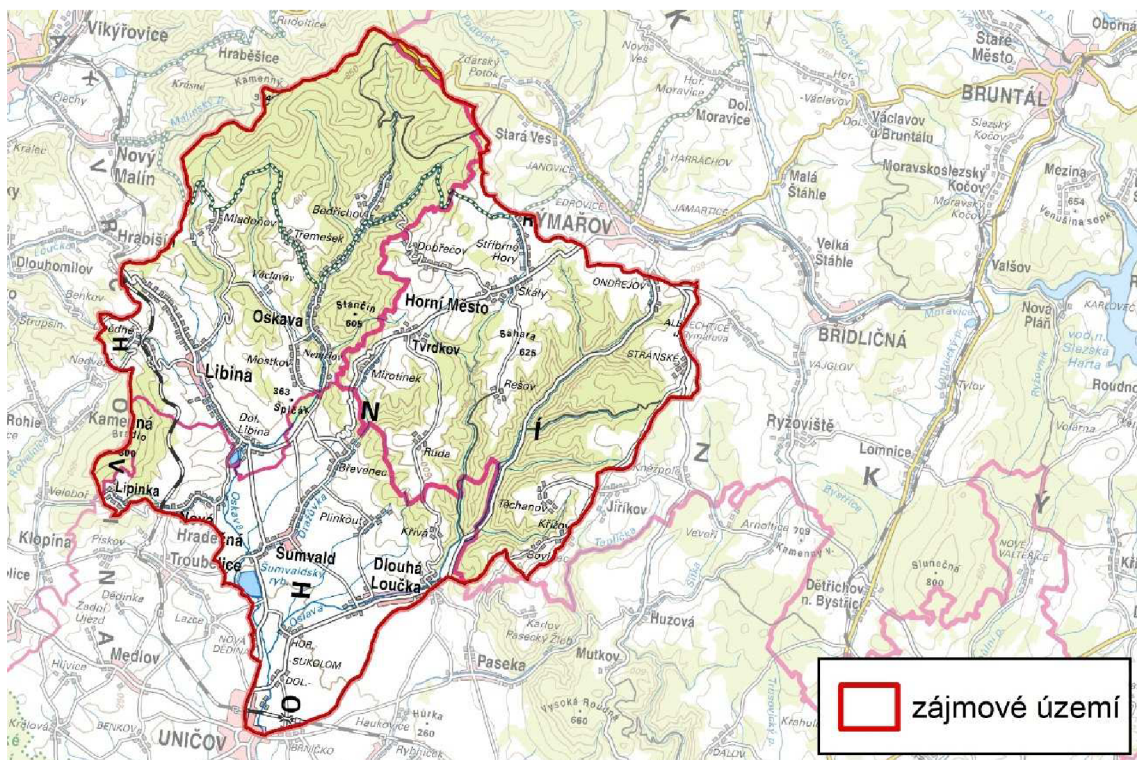
### 4.1 OBECNÝ POPIS

Zájmové území se nachází v Olomouckém a Moravskoslezském kraji, jihovýchodně od Šumperku. Jeho celková rozloha je 256.25 km<sup>2</sup>. Tvořeno je povodími řeky Oslavy a Oskavy. Toky v zájmovém území spadají pod správu Povodí Moravy, s. p. a Lesů České republiky, s. p.



Obrázek 3: Poloha zájmového území v ČR (ČÚZK, 2021).





Obrázek 4: Zájmové území (ČÚZK, 2021).

### Klimatické podmínky

Dle Quittovy klimatické klasifikace (1961 až 2000) spadá řešené území do klimatické oblasti T2. Ta se vyznačuje poměrně krátkým, teplým až mírně teplým jarem. Léto je dlouhé a suché, podzim je poměrně krátký, teplý až mírně teplý. Zima je krátká, suchá až velmi suchá.

Tabulka 3: Charakteristika klimatické oblasti.

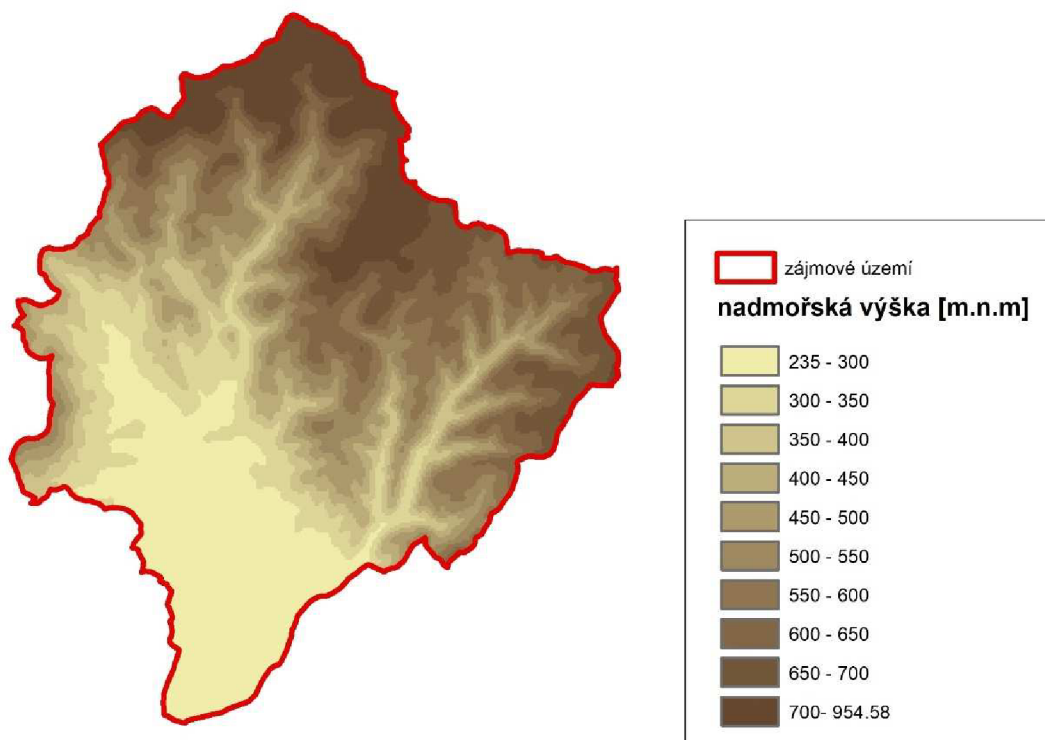
Charakteristika	T2
Počet letních dnů	50–60
Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více	160–170
Počet mrazových dnů	100–110
Počet ledových dnů	30–40
Průměrná teplota v lednu [°C]	-2 - (-3)
Průměrná teplota v červenci [°C]	18–19
Průměrná teplota v dubnu [°C]	8–9
Průměrná teplota v říjnu [°C]	7–9
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	90–100
Srážkový úhrn ve vegetačním období [mm]	350–400
Srážkový úhrn v zimním období [mm]	200–300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	40–50
Počet zamračených dnů	120–140
Počet jasných dnů	40–50

#### 4.1.1 Fyzicko – geografické poměry území

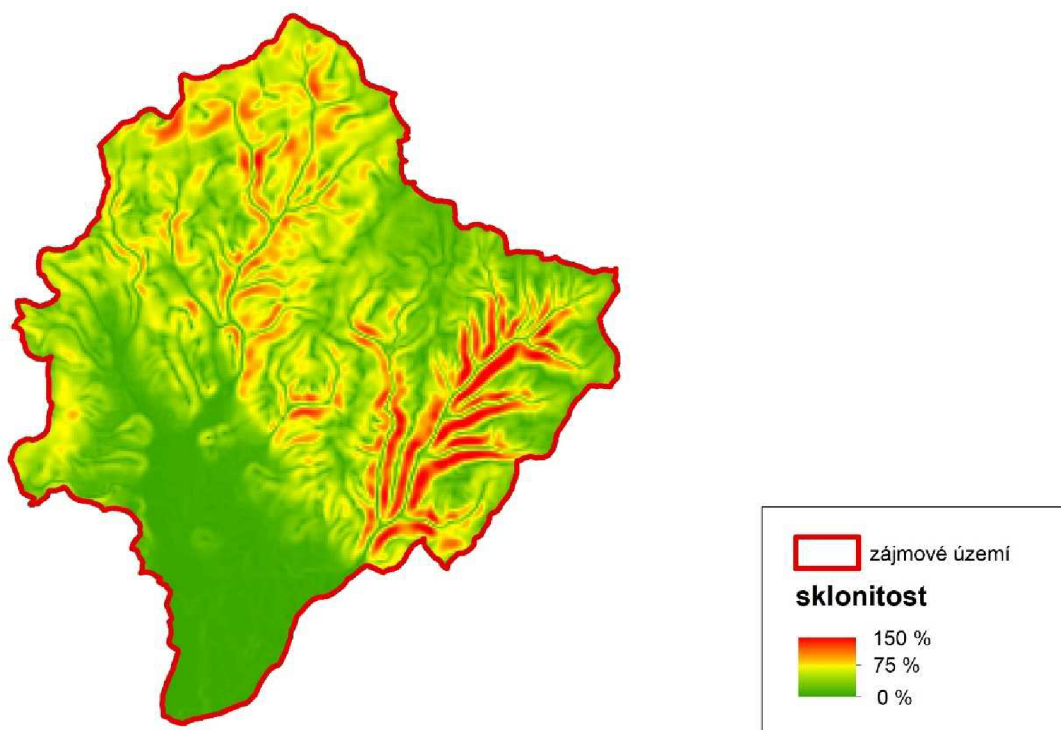
Území je charakterizováno fyzicko-geografickými poměry území.

##### Geomorfologický a topologický profil území

Zájmové území je poměrně členité. V okolí Uničova, se sklon terénu pohybuje v hodnotách kolem 0 % a ve výšce mezi 235 a 300 m. n. m. V oblasti začínajících Nízkých Jeseníků se již výška pohybuje kolem 800 m. n. m. Nejvyšších sklonů území dosahuje v oblasti toků.



Obrázek 5: Mapa nadmořské výšky území.



Obrázek 6: Mapa sklonitosti území.

Zájmové území spadá do systémů Hercynského a Alpsko-himalájského. Zařazení do geomorfologického systému je znázorněno v následující tabulce.

Tabulka 4: Zařazení do geomorfologického systému.

Systém	Provincie	Subprovincie	Oblast	Celek
Hercynský	Česká vysočina	Krkonošsko-jesenická soustava	Jesenická	Hanušovická vrchovina
				Nízký Jeseník
Alpsko-himalájský	Západní Karpaty	Vněkarpatské sníženiny	Západní Vněkarpatské sníženiny	Hornomoravský úval

Hanušovická vrchovina:

Z geologického hlediska je Hanušovická vrchovina tvořena krystalickými břidlicemi a zvrásněnými prvohorními usazeninami Českého masivu. Na vrcholech a hřbetech se nachází mnoho skalních útvarů, povrch je členěn hluboce zaříznutými údolími.

Nízký Jeseník:

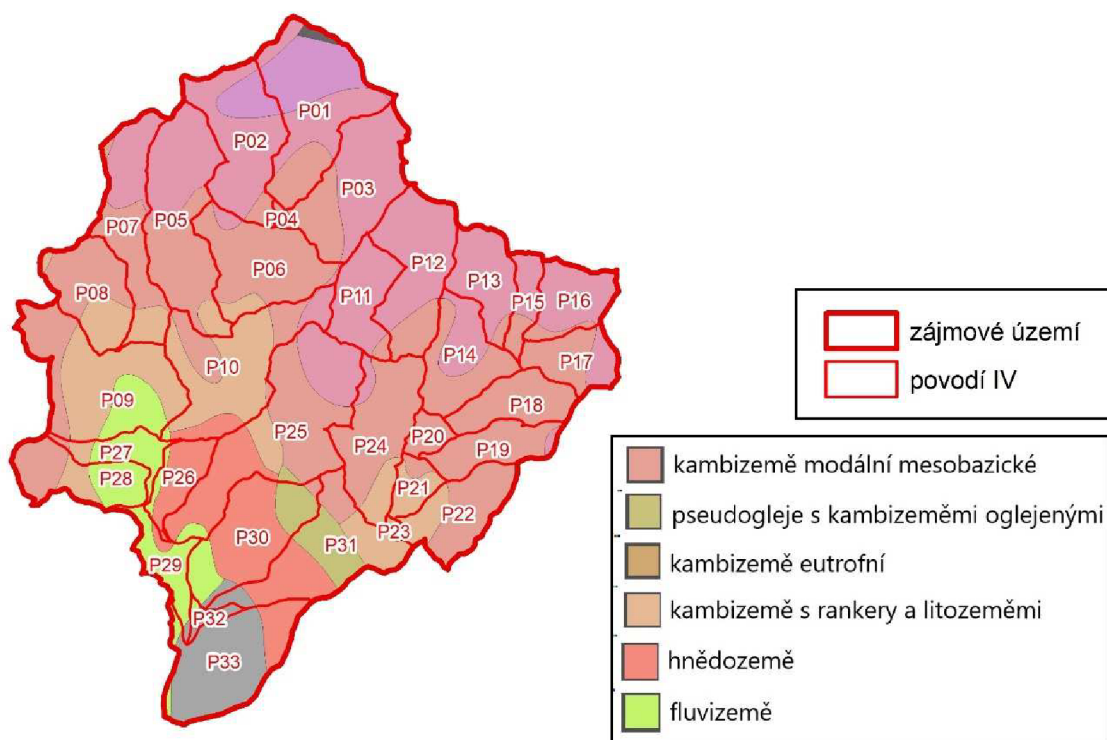
Nízký Jeseník tvoří převážně spodnokarbonské droby a břidlice, v menším množství se zde vyskytují i jiné druhy hornin.

Hornomoravský úval:

Jedná se o propadlinu, která je vyplněna neogenními a kvartérními sedimenty. Místa se mohou nacházet kry mnohem starších hornin Českého masivu.

### **Pedologické a geologické poměry**

Různé typy půd mají odlišné hydrologické vlastnosti, tím ovlivňují množství povrchového odtoku.



Obrázek 7: Půdní mapa zájmového území (GEOČR50).

### Kambizem

Jedná se o půdu s kambickým hnědým horizontem vyvinutým převážně v hlavním souvrství svahovin magmatických, metamorfických a zpevněných sedimentárních hornin a jim odpovídajících souvrstvích. Půdy se vytvářejí převážně ve svažitých podmínkách pahorkatin, vrchovin a hornatin, v menší míře v rovinném terénu. Tento typ půdy vzniká z velkého množství substrátů a tím je podmíněna velká rozmanitost trofismu, zrnitosti a skeletovitosti. Půda se vyskytuje v širokém rozmezí klimatických i vegetačních podmínek. Kambizem modální vzniká ze středně těžkých a lehčích středních substrátů. (Taxonomický klasifikační systém půd ČR)

### Pseudogleje:

Jsou charakterizovány výskytem výrazného mramorovaného, redoximorfního diagnostického horizontu. Došlo-li k vzniku půdy z luvizemí, nachází se nad uvedeným horizontem horizont vybělený s velkým výskytem

výrazných nodulárních novotvarů. Pseudogleje se vytvářejí z pedogenně či litogenně zvrstvených, případně nepropustných substrátů. Vyskytují se v rovinatých částech reliéfu humidnějších oblastí. Jedná se o půdy s periodicky akvickým vodním režimem. (Taxonomický klasifikační systém půd ČR)

Hnědozemě:

K jejich vzniku došlo hlavně v rovinatém a či mírně zvlňeném reliéfu ze spraší prachovic a polygenetických hlín pod původními doubravami a habrovými doubravami. (Taxonomický klasifikační systém půd ČR)

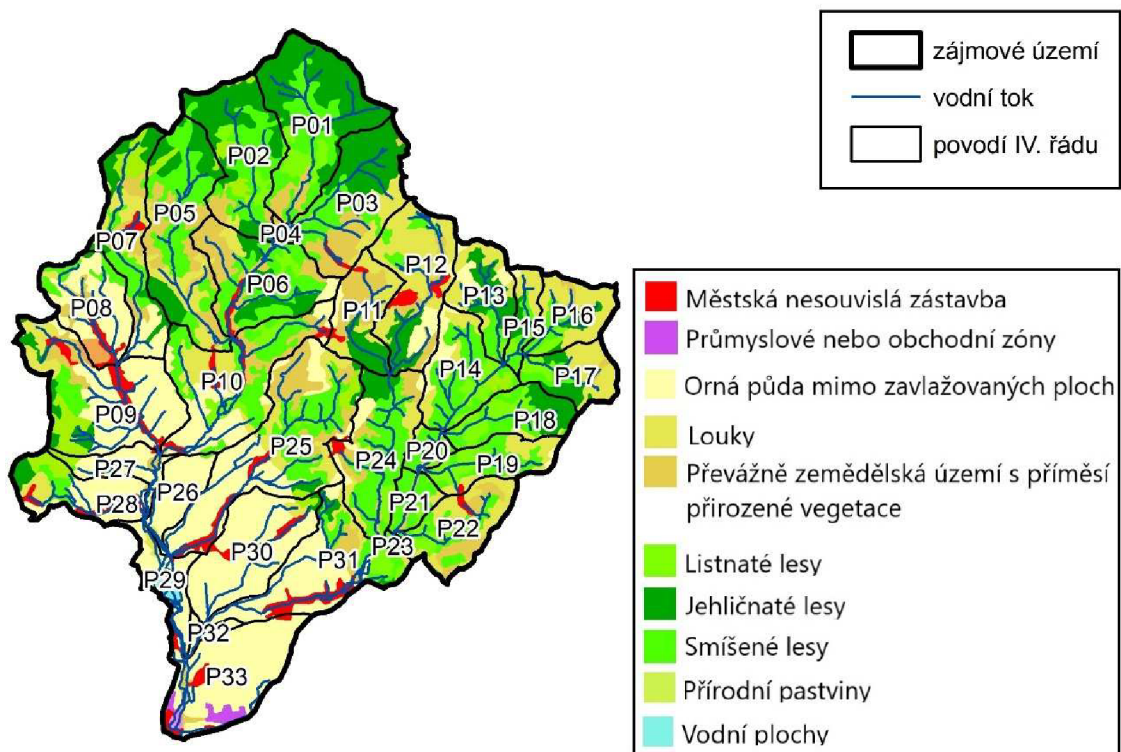
Fluvizemě:

Jsou charakterizovány vrstevnatostí a nepravidelným rozložením látek. Půdy vznikají v nivách řek a potoků z povodňových sedimentů. (Taxonomický klasifikační systém půd ČR)

### **Krajinný ráz a jeho využití**

Skladba využití území je poměrně různorodá. V jižní části zájmového území se nachází převážně orná půda. Zbývající část území už je rozmanitější. Nachází se zde lesy listnaté, jehličnaté a smíšené, zemědělská území s příměsí přirozené vegetace, louky a orná půda. V celém území se místy nachází městská nesouvislá zástavba.





Obrázek 8: Mapa využití území (ČÚZK).



Obrázek 9: Tok Oskavy P14.





Obrázek 10: Zemědělské území P09.



Obrázek 11: Les P1/P2.





Obrázek 12: Mýtina P1/P2.

### **Hydrologické poměry**

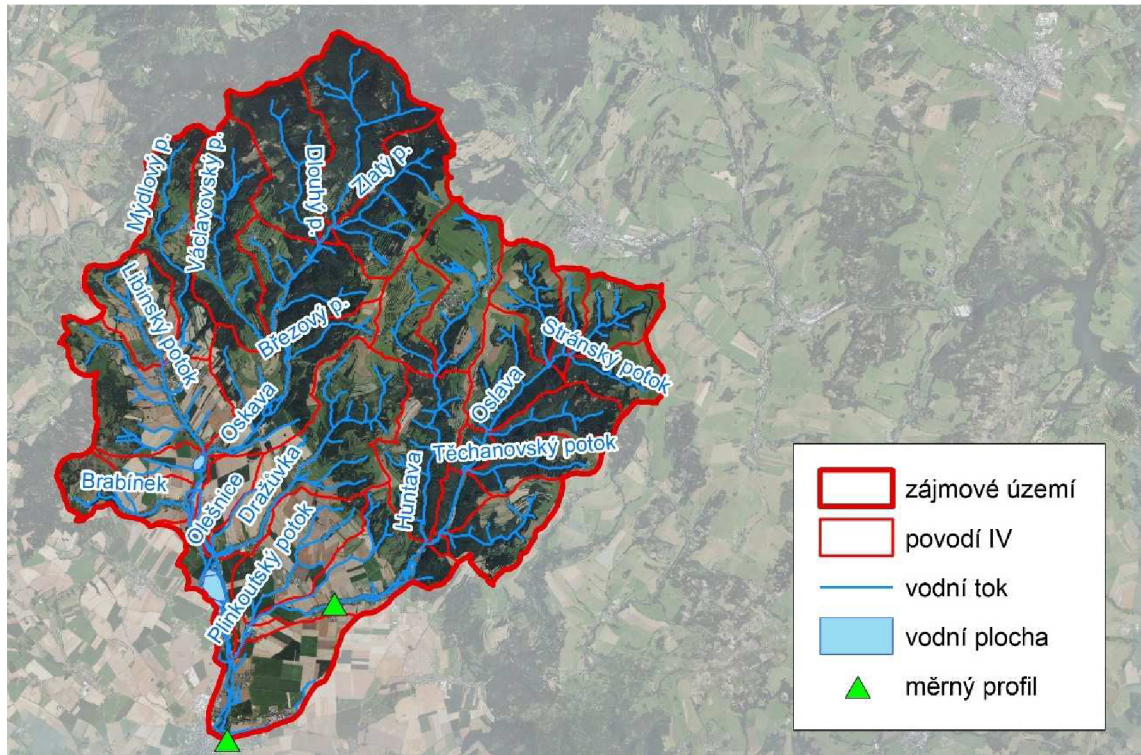
Zájmové území je složeno z povodí řeky Oslavy a Oskavy.

Povodí řeky Oslavy má rozlohu 80.80 km<sup>2</sup>. (Evidenční list operativního profilu) Samotná Oslava pramení jižně pod Rýmařovem v části Rýmařov-Ondřejov v nadmořské výšce 620 m. n. m. (Uničov, 2022) Odtud teče zalesněnou oblastí podél sinice II/449 přes obec Dolní Loučku. Za obcí Horní Sukolom se zprava vlévá do Oskavy. Významnějšími přítoky vlévajícími se do toku jsou levostranný přítok Stránského potoka a pravostranný přítok Huntavy. Operativní profil se nachází v Dlouhé Loučce.

Povodí řeky Oskavy má rozlohu 256.26 km<sup>2</sup>. Oskava pramení na jihozápadních svazích Kamenného vrchu ve výšce 860 m. n. m. (Uničov, 2022) . Protéká menšími obcemi včetně Oskavy a Dolní Libiny až do Uničova. Významnějšími pravostrannými přítoky jsou Dlouhý potok a Mýdlový potok. Levostrannými přítoky jsou Zlatý potok a Oslava. Oslava dále protéká intravilánem Uničova směrem na jihovýchod k Chomoutovu. Zde ústí jako levostranný přítok do Moravy. Hlásný profil se nachází

v Uničově, v místní části Brníčko na levém Břehu řeky, pod silničním mostem.

Na řece Oskavě také leží dva rybníky. Ty však průtok nijak neovlivňují, jedná se o rybníky, které se nenachází přímo na toku, retenční funkci nemají.



Obrázek 13: Mapa vodních toků (ČÚZK, 2021).



Obrázek 14: Vodočetná lať Uničov.



Obrázek 15: Měrná stanice Uničov.

Tabulka 5: Základní údaje (Evidenční list hlásného profilu č.315), (Evidenční list operativního profilu).

Tok	Oskava	Oslava
Stanice	Uničov	Dlouhá Loučka
Kategorie	B	C
Číslo hydrologického pořadí	4-10-03-0540-0-00	4-10-03-0510-0-00
Průměrný roční průtok $Q_a$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	1.82	0.753
$Q_1$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	16.2	7.99
$Q_5$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	34.5	17.3
$Q_{10}$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	43.4	22.1
$Q_{50}$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	65.9	34.9
$Q_{100}$ [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	76.6	41.3
1. SPA [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	15.07	5.73
2. SPA [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	18.64	8.65
3. SPA [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]	24.78	16.1

#### 4.1.2 Přívalové povodně 2020

V zájmovém území byly již v minulosti řešeny extrémní hydrometeorologické situace. Jednou z nejaktuálnějších byla přívalová povodeň, ke které došlo ve dnech 7 a 8. června 2020. Ta byla způsobena extrémní bouřkovou aktivitou. Zasáhla především levostranné přítoky řeky Oskavy – Oslavu a Dražůvku. Nejvyšší stupně povodňové aktivity byly naměřeny ve vodoměrných stanicích obcí Dlouhá Loučka a Uničov. Důsledkem povodně vznikly značné materiální škody a zahynuly dvě osoby. (Povodeň na Uničovsku 7. a 8. června 2020, 2020)







Obrázek 17: Oskava dne 08. 06. 2020 – měrný profil Uničov (Povodeň, 8. června 2020).

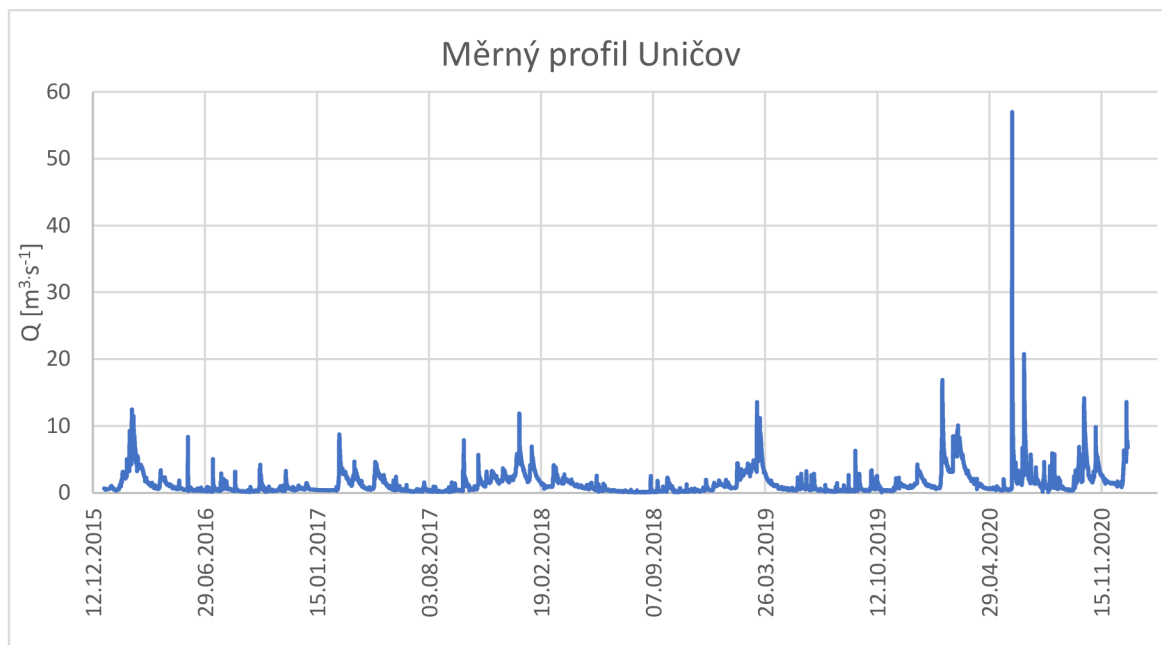


Obrázek 18: Oskava 07. 05. 2022 – měrný profil Uničov.

## 4.2 PODKLADY

### 4.2.1 Srážkoodtoková data

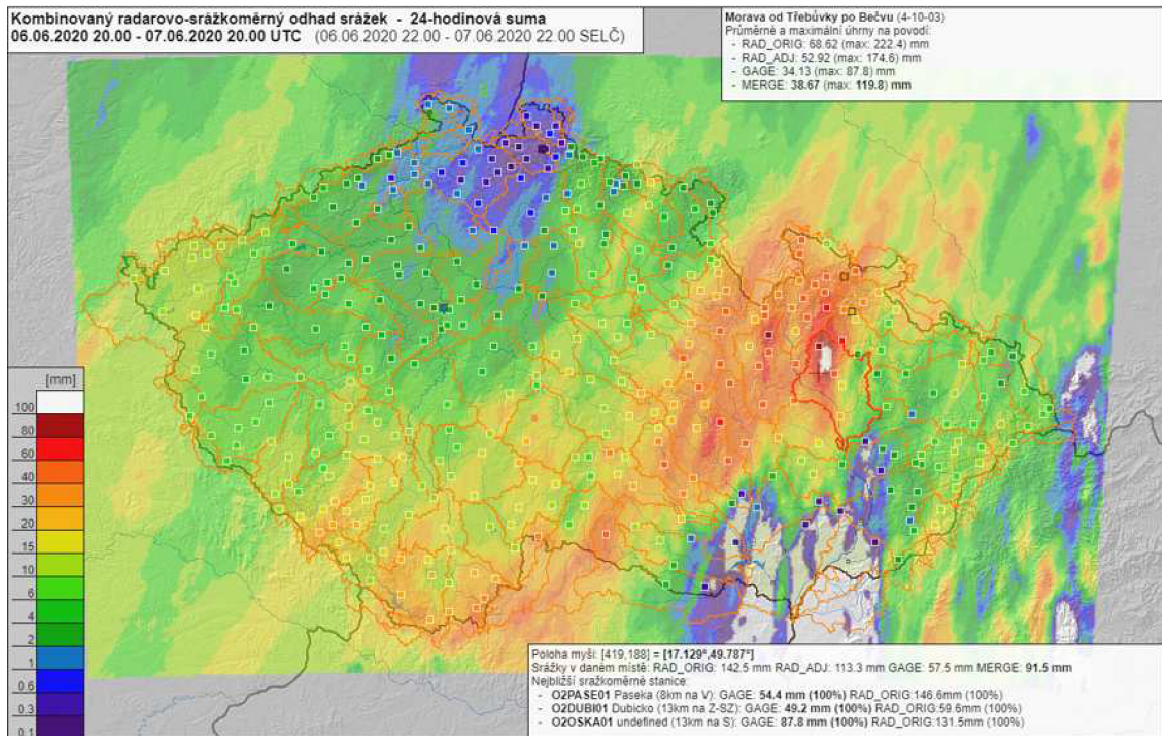
Pro průtok byla využita data z měrné stanice Uničov (obrázek 19). Jedná se o měrnou stanici kategorie B a jejím provozovatelem je ČHMÚ Ostrava. Měrným tokem je řeka Oskava.



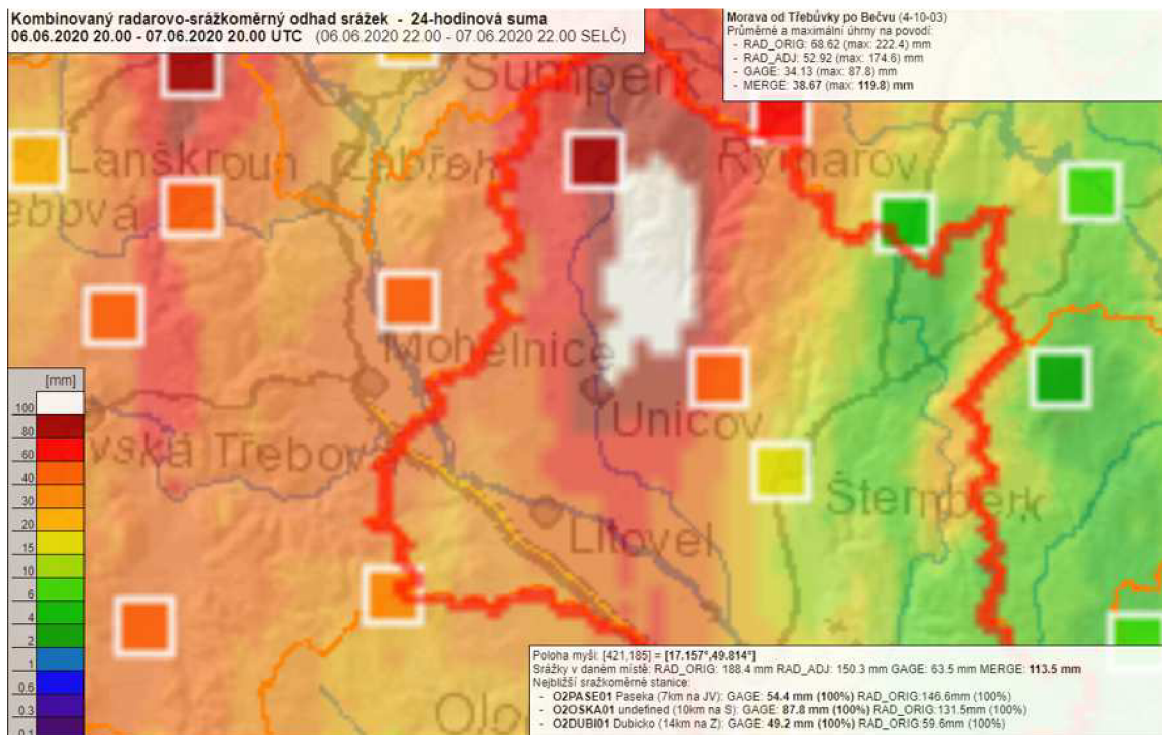
Obrázek 19: Průtoková řada Oskava.

Pro vybrané epizody v daném území byla poskytnuta data o úhrnu srážek v podobě gridu. Konkrétní hodnoty pro povodí 4. řádu byly zjištěny z gridu v prostředí programu Matlab. Na obrázcích 20 a 21 je uveden srážkový úhrn za 24 hodin, který byl získán sloučením dat pozorovaných na stanicích a z radarových pozorování. Dále jsou na obrázcích uvedeny měření ve stanicích. Jak je z obrázků patrné velká část srážky spadla do prostoru mezi stanicemi.





Obrázek 20: Úhrn srážek z radaru 06.06.2020 – 07.06.2020 pro Českou republiku.



Obrázek 21: Úhrn srážek z radaru 06.06.2020 – 07.06.2020 pro oblast zájmového území.

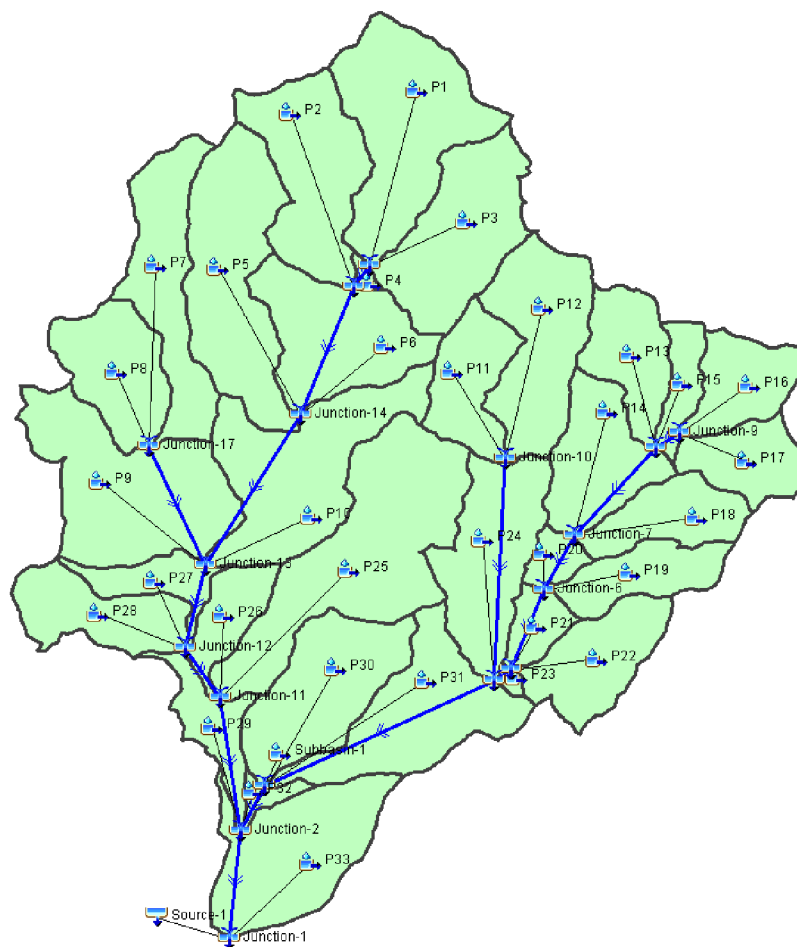


## **4.3 SESTAVENÍ MODELU**

Pro sestavení modelu bylo nutné povodí naschematizovat.

### **4.3.1 Schematizace**

Software Hec-HMS umožňuje schematizaci v podobě dendritické sítě. Dále je možné propojení s programem ArcGis, proto bylo prvním krokem nahrání podkladové mapy pro lepší prostorový kontext. Dále bylo třeba vytvořit hydrologické prvky. Zájmové území bylo rozděleno celkem do 33 dílčích povodí. Jedná se o povodí 4. řádu. Pro ty bylo využito prvku „Subbasin“. Úseků otevřeného vodního koryta bylo 15, znázorněny byly prvkem „Reach“. Jednotlivé prvky byly propojeny pomocí „Junction“. Do závěrového profilu „Junction1“ byl umístěn prvek „Source“, ten zobrazuje průtok v daném úseku, který zde probíhal již před vznikem povodňové vlny. Samotná schematizace povodí je ukázána na obrázku 22.



Obrázek 22: Struktura srážkoodtokového modelu v prostředí HEC-HMS.

### 4.3.2 Výpočetní metody

Po provedení schematizace byly zvoleny výpočetní metody.

#### Loss

Jedná se o vyjádření povrchového odtoku. Pro jeho výpočet byla zvolena metoda SCS Curve Number. Metoda byla zvolena pro svou jednoduchost a nenáročnost na vstupní data, kterými jsou: počáteční vsak, CN křivka a nepropustnost. Počáteční vsak byl odhadnut na hodnotu 10 mm a dále upravován během kalibrace. Hodnota CN byla vypočtena v závislosti na druhu vegetace a dále tak upravována dle kalibrace. Hodnota nepropustnosti byla nastavena na hodnotu 0 % a dále již neměněna.

Plocha dílčích povodí byla zjištěna v programu ArcGis.

### **Transform**

Vyjadřuje přeměnu povrchového odtoku na časový průběh odtoku. Typ grafu byl volen Standard (PRF 484). Pro výpočet byla zvolena metoda SCS Unit Hydrograph. Metoda byla zvolena pro stejné důvody jako metoda pro výpočet odtokových ztrát. Jediným potřebným parametrem byla hodnota dotoku. Pro výpočet vstupní hodnoty bylo třeba znát délku údolnice a průměrná rychlost průtoku. Pro dané povodí byla v programu ArcGis vždy zvolena nejdelší údolnice a poté byly zjištěna její délka. Rychlost byla uvažována vždy 1 m/s.

### **Routing**

Vyjadřuje čas potřebný pro odtok z bodu A do bodu B. Pro výpočet bylo zvolena metoda Lag. Stejně jako u parametru transform bylo potřeba zvolit čas dotoku. Délka toku byla zjištěna z programu ArcGis, rychlost průtoku byla uvažována 2 m/s.

### **4.3.3 Další prvky**

Pro kompletní sestavení modelu je třeba nastavit ještě další prvky.

### **Meteorologický model**

Pomocí meteorologického modelu se nastavují okrajové podmínky týkající se srážkoodtokových dat. Pro každou simulaci srážkové epizody byl v programu sestaven vlastní meteorologický model. Pro metodu vsaku byl zvolen Specified Hyetograph. Metoda umožňuje zadání specifických dat pro každé dílčí povodí. Je vhodná, pokud jsou k dispozici data zpracovaná externě, u kterých již není potřeba provádět jakékoliv změny. Získaná data byla s daným povodím vždy propojena pomocí „Gage“.

Využitá data byla obdržena v podobě gridu o rozměru 1×1 km, který pokrýval zájmové území a jeho okolí. V prostředí programu Matlab byla každá buňka přiřazena ke svému povodí. Z přiřazených buněk pak byl pro každé povodí vypočten aritmetický průměr úhrnu srážek. Získané hodnoty úhrnu srážek v hodinovém kroku byly využity pro meteorologický model.

## **Control specifications**

Prvek umožňuje nastavit dobu, pro kterou bude probíhat simulace. V programu je třeba nastavit datum a čas pro její začátek i konec. Dále je třeba zvolit časový interval. Ten byl zvolen 1 h.

Pro simulace byla data nastavena následovně:

Epizoda 2016      27. května 00:00 až 3. června 23:00

Epizoda 2017      2. října 12:00 až 4. října 12:00

Epizoda 2019      10. března 00:00 až 11. března 23:00

Epizoda 2020      7. června 00:00 až 8. června 23:00

## **Time-Series Data**

Prvkem Time-Series Data se zadávají data týkající srážek a odtoku.

V Precipitation Gage byla nastaveny data týkající se srážek. Každé povodí mělo pro svou epizodu nastaven vlastní Time-Series Gage. Zdroj dat byl zvolen Manual Entry, jednotky byly zvoleny Incremental Milimetres a časový interval 1 hodina.

V Discharge Gage byla nastavena získaná data o průtoku.

### **4.3.4 Optimalizace**

Podstatou kalibrace je, aby se odezva získaná simulací srážkoodtokového děje ze získaných srážkových dat co nejvíce podobala naměřeným průtokům. Aby byla kalibrace úspěšná je třeba měnit parametry modelu. Kalibrace může probíhat manuálně nebo automaticky.

V modelu byla data kalibrována automaticky, to však bylo neúspěšné. Proto bylo nutné provést kalibraci manuálně.

## 4.4 VÝSLEDKY

Optimalizací byly získány výsledné hodnoty parametrů a průběh kulminace průtoku.

### 4.4.1 Optimalizace

Tabulka 6: Hodnoty optimalizace počátečního vsaku.

Počáteční vsak [mm]					
	Návrh	2016	2017	2019	2020
P1	10	40	17	7	20
P2	10	40	17	7	20
P3	10	40	17	7	20
P4	10	40	19	7	25
P5	10	40	17	7	20
P6	10	40	16	4	22
P7	10	40	17	4	20
P8	10	40	16	4	15
P9	10	33	17	4	14
P10	10	34	17	4	14
P11	10	34	19	2	28
P12	10	34	19	2	28
P13	10	34	19	2	28
P14	10	35	19	2	30
P15	10	35	19	2	30
P16	10	35	19	2	30
P17	10	34	19	2	30
P18	10	34	19	2	30
P19	10	33	19	2	30
P20	10	33	19	2	25
P21	10	32	19	2	20
P22	10	32	17	2	30
P23	10	31	18	4	20
P24	10	30	17	6	20
P25	10	30	15	7	20
P26	10	28	15	8	10
P27	10	27	15	10	10
P28	10	25	15	10	10
P29	10	20	20	10	15
P30	10	19	20	11	15
P31	10	17	18	12	15
P32	10	17	20	12	35
P33	10	15	10	15	60

Tabulka 7: Hodnoty optimalizace CN.

CN [-]					
	Návrh	2016	2017	2019	2020
P1	73	70	70	65	50
P2	73	63	63	63	50
P3	73	53	54	54	51
P4	73	45	45	45	42
P5	72	41	41	41	39
P6	72	37	37	37	36
P7	73	37	37	37	36
P8	76	40	40	40	38
P9	75	44	44	44	40
P10	76	41	41	41	42
P11	72	44	44	44	39
P12	73	48	48	48	39
P13	73	50	50	50	39
P14	74	52	52	52	40
P15	73	53	53	53	40
P16	72	55	55	55	41
P17	72	51	51	51	47
P18	74	50	50	50	50
P19	72	50	50	50	50
P20	73	43	43	43	44
P21	73	46	46	46	43
P22	73	42	42	42	36
P23	73	46	46	46	38
P24	73	50	50	50	40
P25	75	53	53	53	38
P26	80	58	58	58	41
P27	78	57	57	57	40
P28	77	55	55	55	40
P29	80	55	55	55	42
P30	79	57	57	57	40
P31	77	60	60	60	60
P32	78	65	65	65	65
P33	80	68	68	68	68

Tabulka 8: Hodnoty optimalizace doby dotoku povodí.

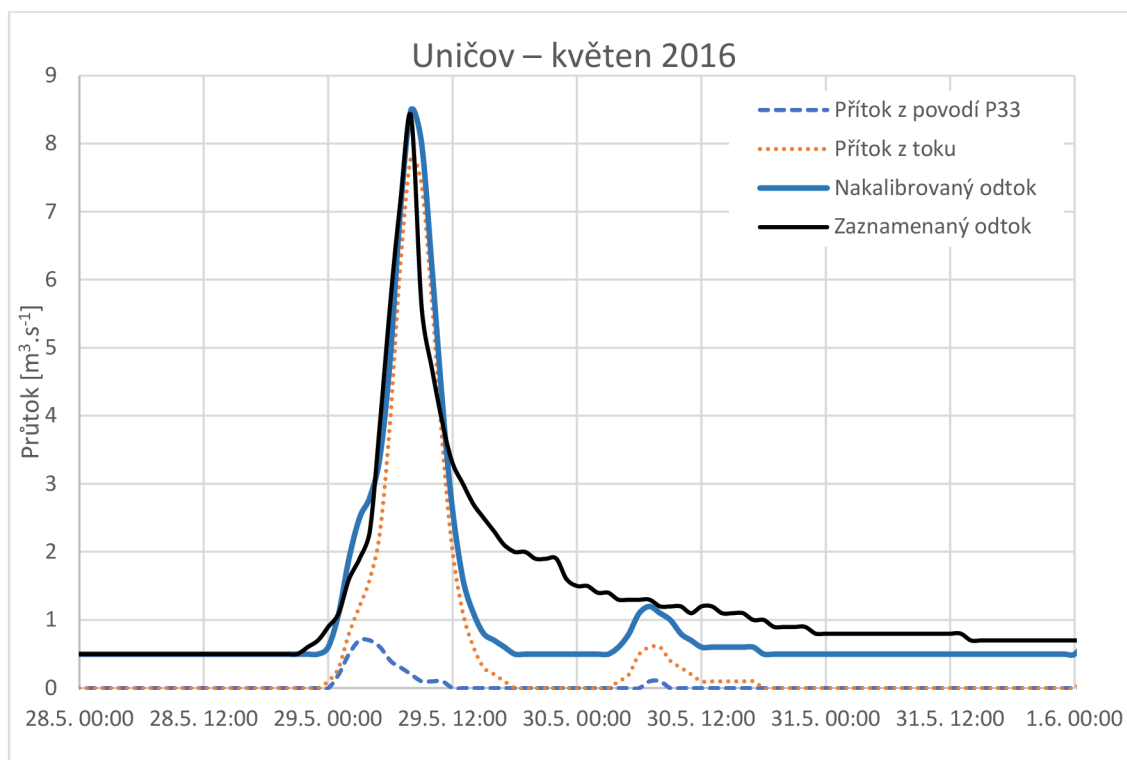
Doba dotoku povodí [min]					
	Návrh	2016	2017(2)	2019	2020
P1	60	130	130	126	170
P2	55	85	110	85	170
P3	46	100	130	100	170
P4	13	24	42	24	42
P5	81	160	170	130	260
P6	51	90	100	90	210
P7	84	150	150	150	220
P8	46	85	90	85	120
P9	61	105	120	105	280
P10	84	155	150	155	250
P11	50	95	180	95	90
P12	68	130	240	130	115
P13	83	160	240	160	90
P14	48	94	180	94	100
P15	35	70	180	70	60
P16	24	48	140	48	90
P17	42	83	170	83	90
P18	47	94	200	94	95
P19	42	84	180	84	95
P20	23	46	66	46	30
P21	29	56	120	56	45
P22	56	112	190	112	95
P23	17	34	34	34	34
P24	71	142	310	142	125
P25	92	182	220	182	320
P26	61	122	90	122	110
P27	62	124	75	124	125
P28	60	118	100	118	125
P29	51	101	90	101	120
P30	59	116	90	116	300
P31	71	140	180	140	100
P32	30	60	32	60	32
P33	95	188	20	188	70

Tabulka 9: Hodnoty optimalizace doby dotoku otevřeného koryta.

Doba dotoku toku [min]					
	Návrh	2016	2017	2019	2020
R3-4	6	12	12	30	25
R4-6	34	65	80	95	65
R6-10	49	84	80	150	90
R8-9	30	62	65	100	90
R10-27	24	54	45	75	75
R15-14	26	60	60	64	55
R17-15	7	37	15	40	12
R20-21	19	40	35	42	30
R26-29	36	60	60	64	230
R28-26	14	37	30	40	85
R14-20	16	35	15	38	20
R21-23	5	10	12	12	12
R12-24	54	72	75	75	75
R23-32	62	81	75	95	85
R31-32	3	7	15	7	50
R32-33	16	18	30	22	120

#### 4.4.2 Vybrané epizody

##### Epizoda květen 2016

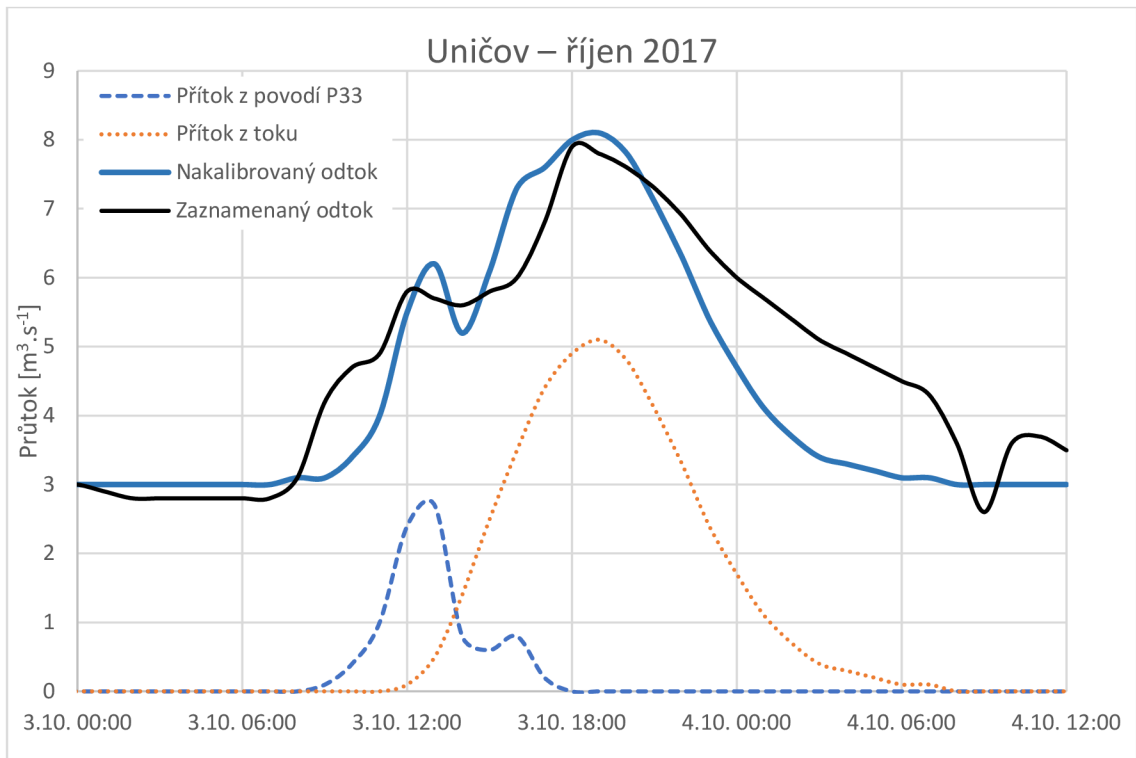


Obrázek 23: Kulminační průtok – epizoda 2016.



Nastavení modelové epizody z května 2015 bylo poměrně zdařilé. Kulminačního průtoku bylo dosaženo 29. května 2016, v 8 hodin a jeho objem činil  $8.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Zaznamenaného kulminačního průtoku bylo dosaženo stejného času, jeho objem byl  $8.4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Objem se podchytit nepodařilo.

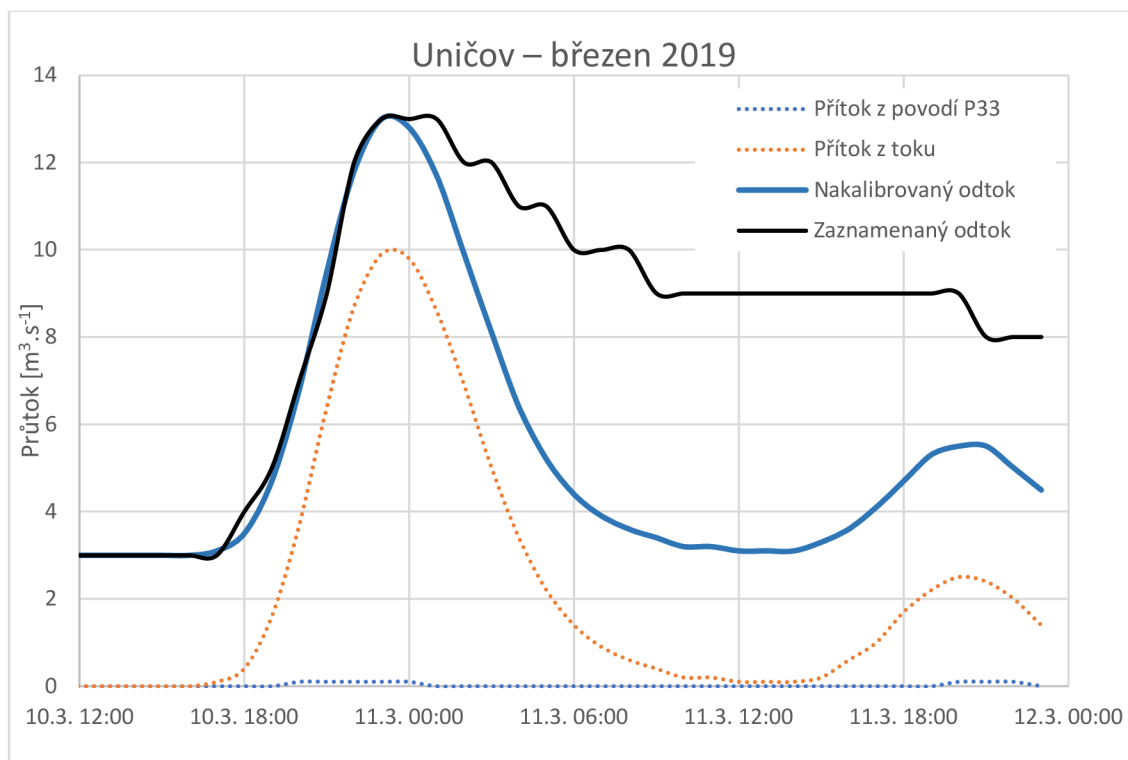
### Epizoda říjen 2017



Obrázek 24: Kulminační průtok – epizoda 2017.

Kulminační průtok byl podchycen dostatečně. Vzestupná větev byla podchycena s odchylkami. K největšímu průtoku simulované epizody došlo 3. října 2017 v 19:00 a jeho objem byl  $8.1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Oproti tomu k zaznamenanému kulminačnímu průtoku došlo 3. října 2017 v 18:00 a jeho objem byl  $7.9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

## Epizoda březen 2019

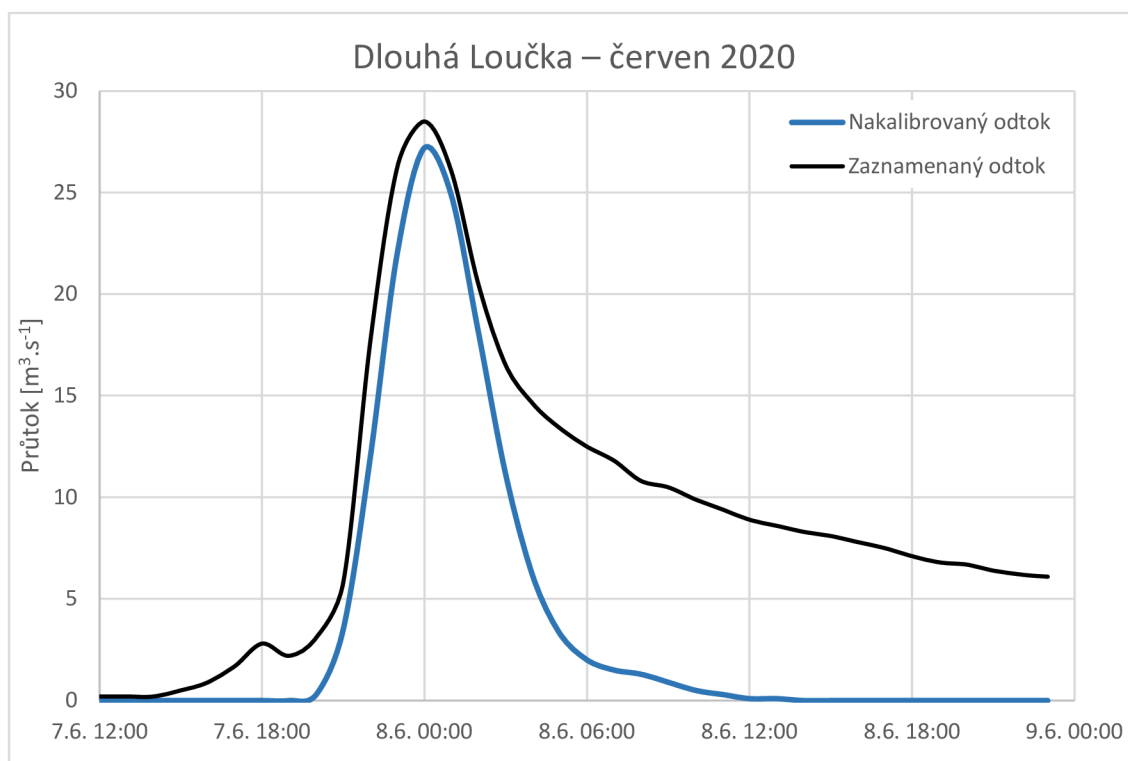


Obrázek 25: Kulminační průtok epizoda 2019.

Vzestupná větev i kulminační průtok byly podchyceny dostatečně. Simulace zaznamenaného objemu nebylo dosaženo. Dle simulované epizody došlo k největšímu průtoku 10. března 2019 v 23.00 a jeho objem byl  $13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Dle zaznamenané epizody došlo k největšímu průtoku ve stejnou dobu, objem byl také stejný.

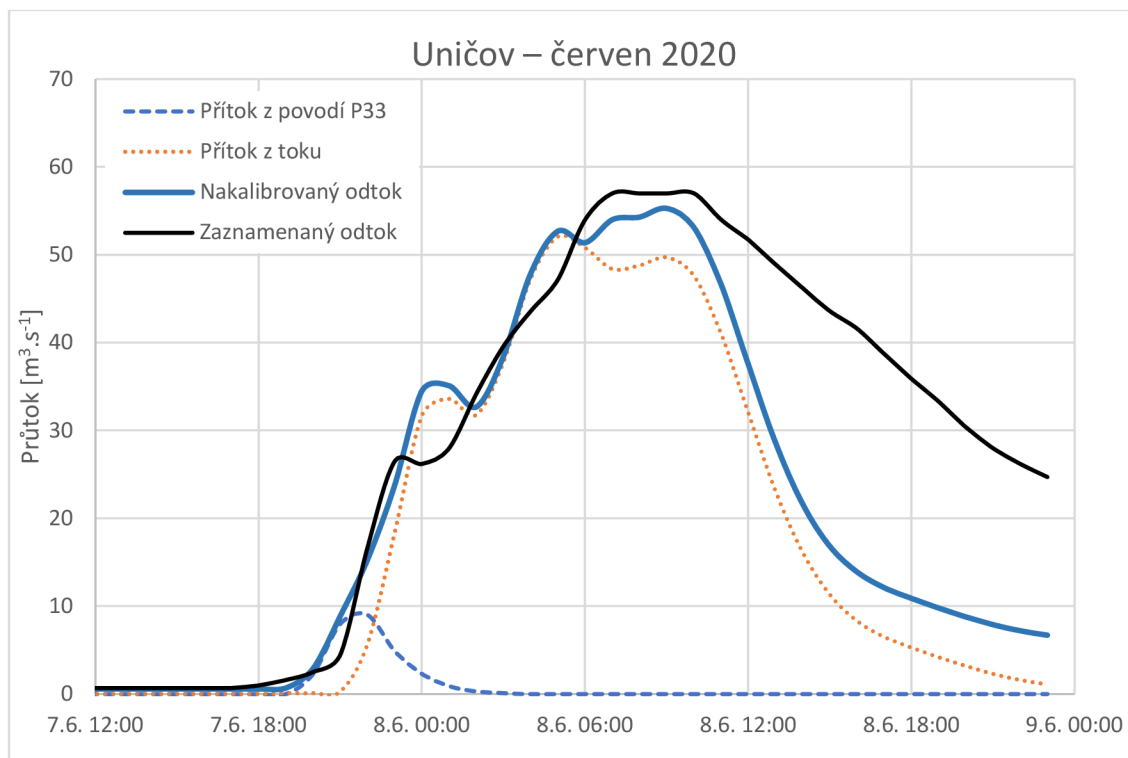
## Epizoda červen 2020

Pro epizodu v červnu 2020 byla k dispozici průtoková řada i z měrného profilu Dlouhá Loučka.



Obrázek 26: Kulminační průtok epizody 2020 – měrný profil Dlouhá Loučka.

Vzestupnou větev i kulminační průtok se podařilo nakalibrovat dostatečně. Kulminačního průtoku bylo dosaženo 8. června v 00:00, jeho objem byl  $27.2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Zaznamenaného kulminačního průtoku bylo dosaženo ve stejný čas a jeho objem byl  $28.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .



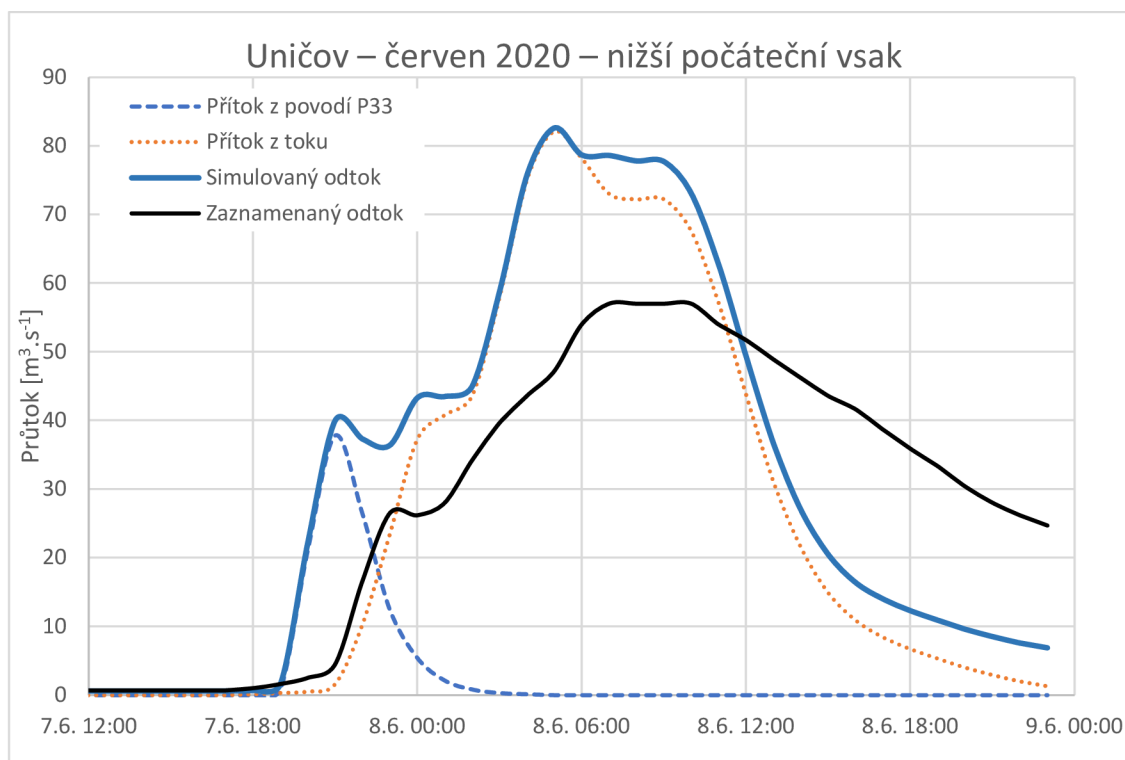
Obrázek 27: Kulminační průtok – epizoda 2020.

Vzestupnou větev i kulminační průtok se podařilo s odchylkami podchytit. Objem se podchytit nepodařilo. Kulminačního průtoku bylo dosaženo 8. června 2020 v 9:00 a jeho objem je  $55.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Zaznamenaného kulminačního průtoku bylo dosaženo 8. června 2020 v 7:00 a jeho objem byl  $57.0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

### 4.4.3 Varianty vybraných epizod

#### Nižší počáteční vsak v epizodě 2020

V této variantě byly do modelu pro epizodu 2020 využito hodnot počátečního vsaku pro epizodu 2019. Původní hodnoty se převážně pohybovaly v rozmezí 10 až 30 mm. Nově užití hodnoty se pohybovaly kolem 2 až 15 mm. Hodnoty vsaku byly z epizody 2019 vybrány z důvodu nejbližší podobnosti parametrů obou modelů.

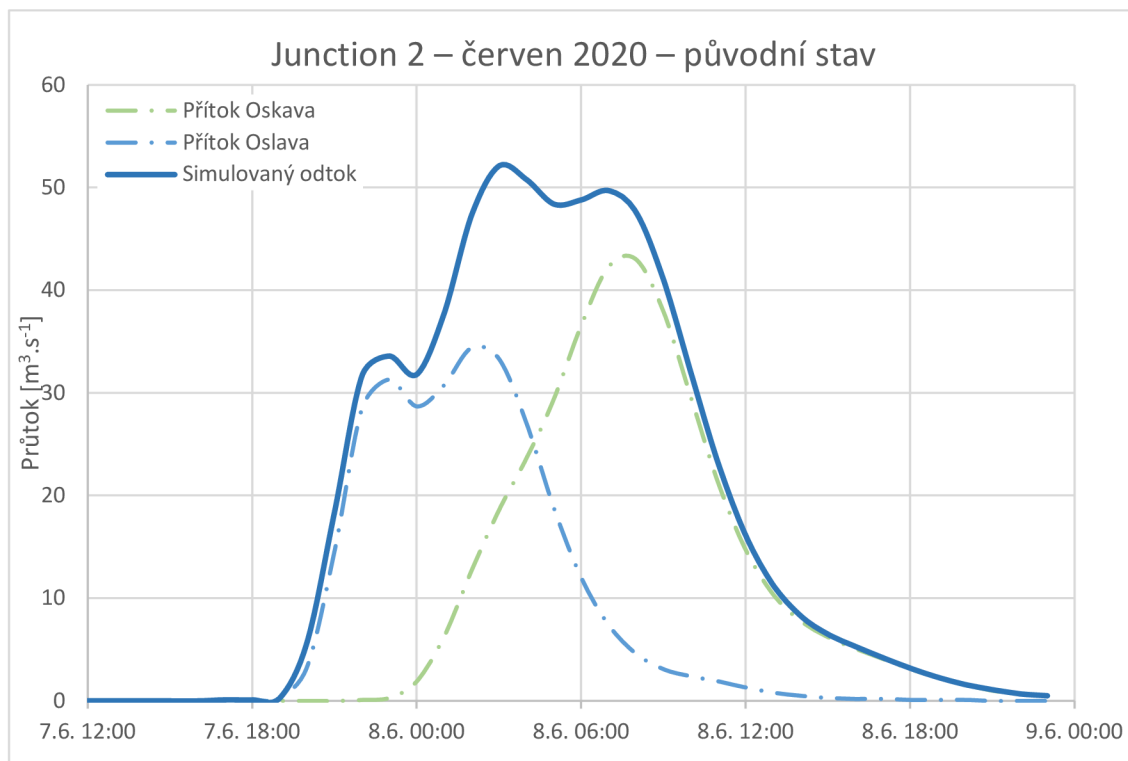


Obrázek 28: Kulminační průtok při nižším počátečním vsaku.

Z grafu vyplývá, že pokud by povodí bylo v době přívalového deště již nasycené předchozí srážkou, mohly být následky horší. Oproti původní kulminaci, kdy bylo zaznamenáno  $57.0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  dosahuje tento kulminační průtok hodnoty  $82.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Tím by byl kulminační průtok navýšen o  $25.6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a o  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  přesažena hranice stoleté vody pro daný měrný profil.

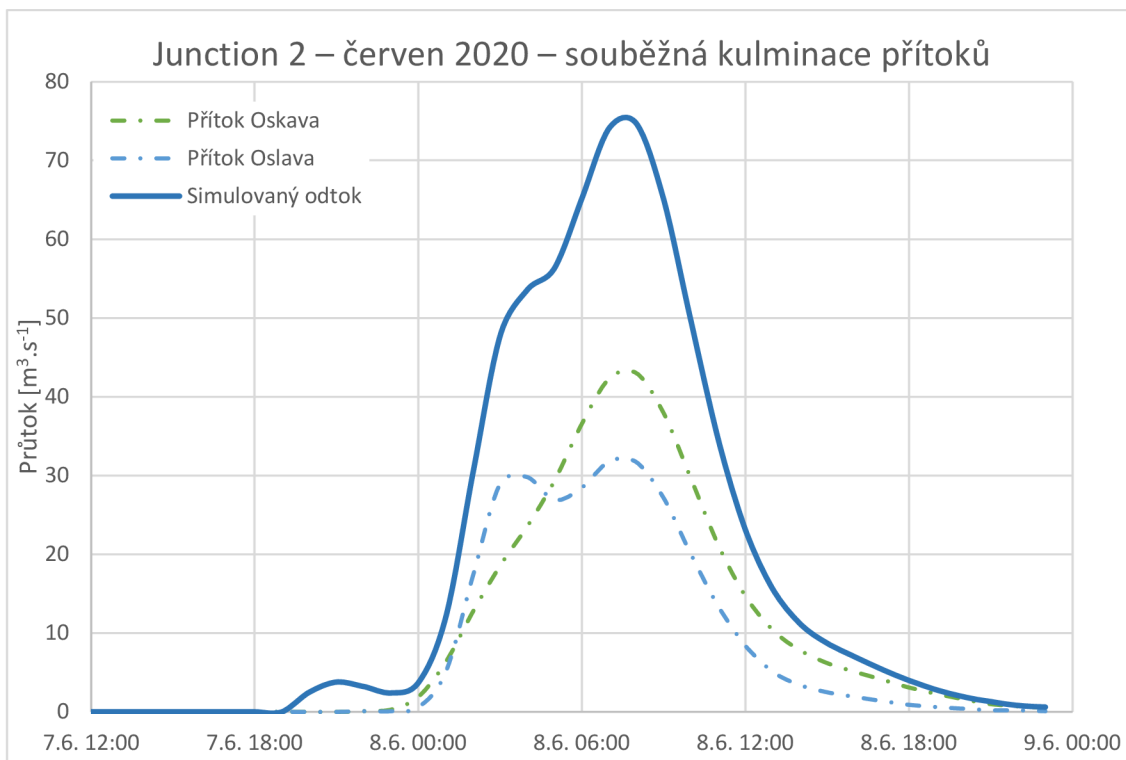
## Souběžná kulminace toků Oslavy a Oskavy v epizodě 2020

Dle simulace skutečného průběhu přívalové povodně v červnu 2020 došlo v místě soutoku řeky Oslavy a Oskavy (Junction 2) k přítoku obou kulminačních průtoků v rozdílném čase.

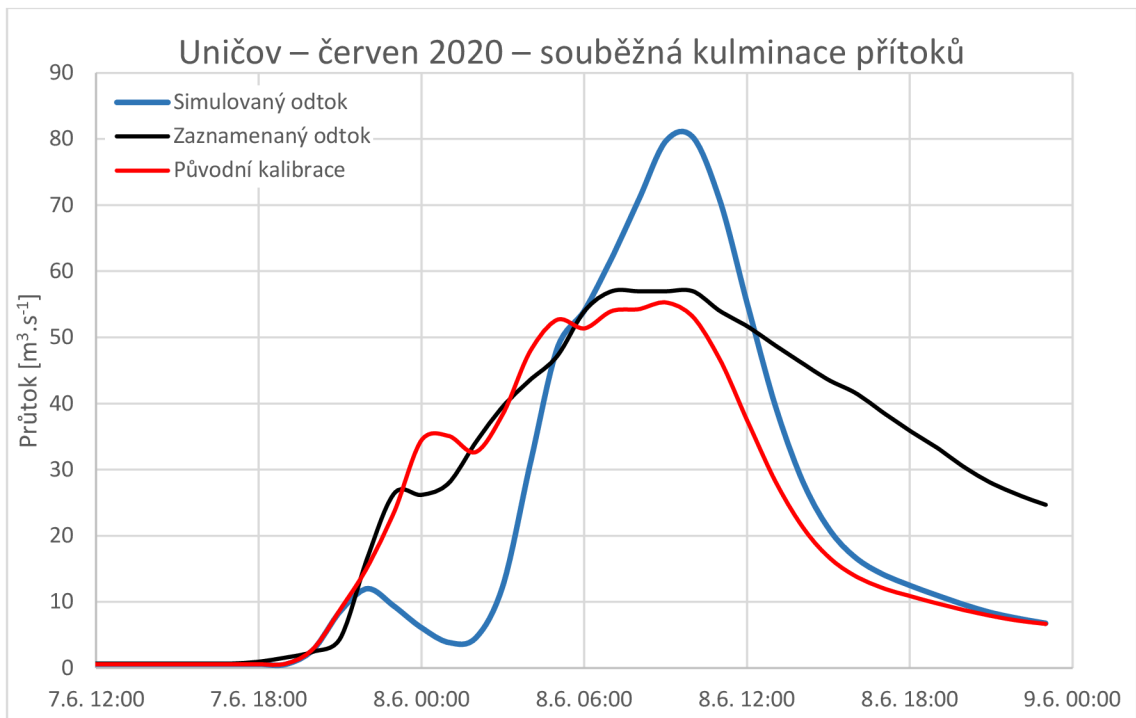


Obrázek 29: Skutečný průběh povodňové vlny na soutoku Oslavy a Oskavy – Junction 2.

Znázorněna je simulace situace, při které by došlo v Junctionu 2 k souběžnému přítoku vrcholových průtoků z Oskavy a Oslavy.



Obrázek 30: Varianta souběžné kulminace Oslavy a Oskavy – Junction 2.



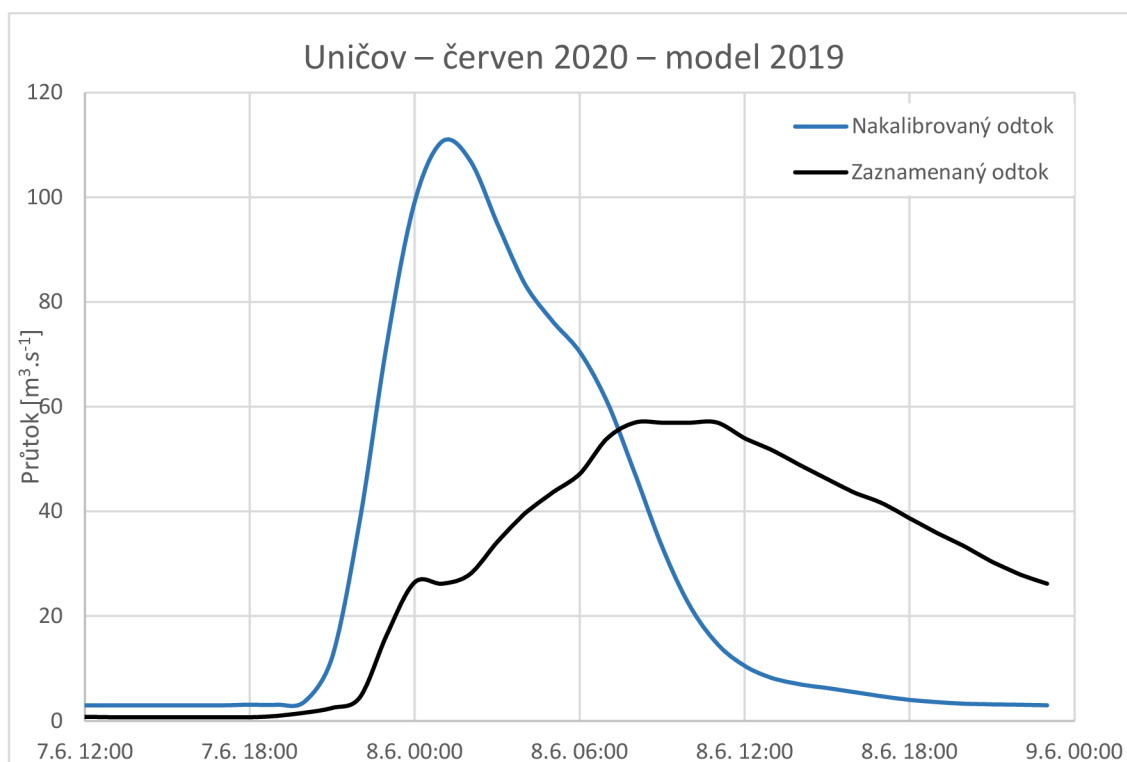
Obrázek 31: Povodňová vlna v měrném profilu při variantě současné kulminace – Junction 1.

Ze simulace plyne, že by mohlo dojít k navýšení kulminačního průtoku přibližně o  $23 \text{ m}^3/\text{s}$ . Oproti původní hodnotě, která je blízko k dosažení padesátileté vody by v tomto případě došlo k překročení stoleté vody o  $3.7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .



## Úhrn srážek z epizody 2020 působící na model z epizody 2019

Pro simulaci epizody proběhlé v červnu 2020 bylo využito modelu nakalibrovaného pro epizodu z března 2019. Z důvodu většího rozdílu počátečních vsaků bylo pro simulaci užito vsaku z epizody června 2020. Hodnoty vsaku z epizody 2019 se pohybují v rozmezí 2 až 15 mm. Hodnoty z epizody 2020 se pohybují v rozmezí 10 až 35 mm.



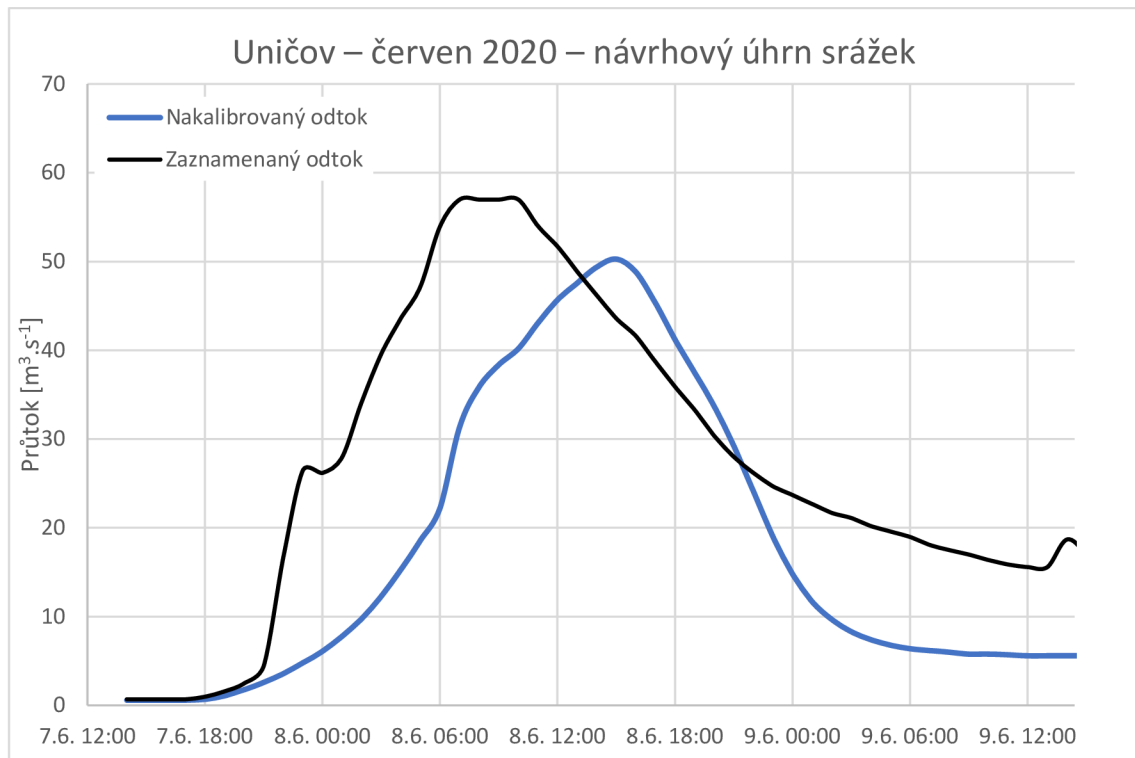
Obrázek 32: Kulminační průtok způsobený úhrnem srážek z epizody 2020 působícím na model z epizody 2019

Z grafu plyne, že simulace by na modelech kalibrovaných pro menší průtoky neobstála. Výsledek se odchyluje vůči skutečnému průběhu vzestupnou větví, objemem i časem kulminačního průtoku.

## Návrhový úhrn srážek z aplikace Rain působící na model 2020

Simulace proběhla pro úhrn srážek získaný z (Webová testovací aplikace Rain, 2022). Hodnota byla určena pro dobu opakování 50 let a dobu srážky 12 hodin. Hodnota srážky byla zvolena na základě času, který uplynul mezi počátkem deště a prvním výskytem kulminačního průtoku. Bod byl zadán pro měrný profil v Uničově. Návrhová srážka měla hodnotu  $4.03 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Pro simulaci byl využit model z epizody 2020 u kterého byly sníženy hodnoty počátečního vsaku na 0.01 mm.



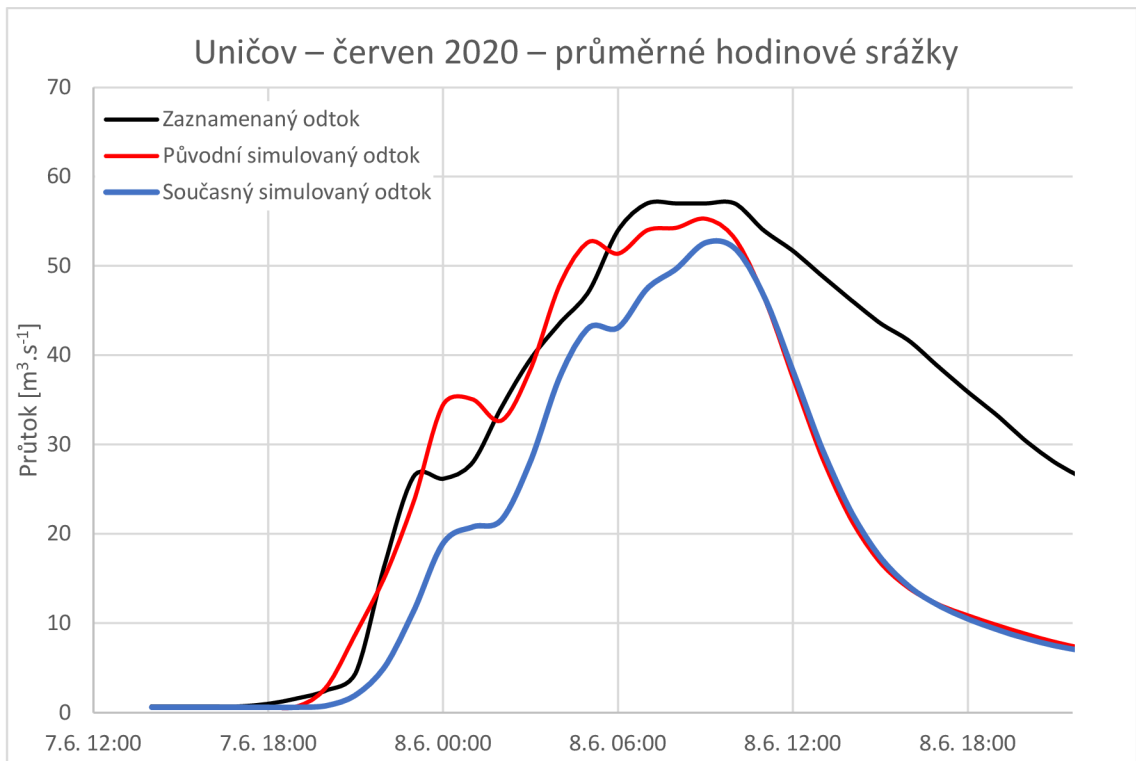
Obrázek 33: Kulminační průtok způsobený návrhovým úhrnem srážek z aplikace Rain pro padesátiletou vodu

Simulace dosáhla kulminačního průtoku  $50.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  v čase 15:00. Oproti tomu dle zaznamenaného odtoku bylo dosaženo kulminace vlny už v 7:00. Tedy o 8 hodin dříve.

### **Průměrné hodinové srážky pro celé povodí**

Data týkající se srážkových úhrnů byla k dispozici v podobě již zmíněného gridu a pocházela z kombinace radarových měření a srážkoměrných stanic. Proto obsahovala odlišné hodnoty pro každé dílčí povodí. Vytvořená varianta představuje možnou simulaci, ke které by došlo, kdyby byla k dispozici pouze průměrná srážka na celé povodí. Pro tento účel byla

z hodnot úhrnu srážek pro jednotlivá povodí vypočítána metodou váženého průměru vždy jedna hodnota pro celé povodí pro určitou hodinu.



Obrázek 34: Kulminační průtok pro průměrné hodinové srážky

Vzestupná větev má přibližně podobný průběh i čas dosažení kulminačního průtoku jako u původního simulovaného odtoku. Nejvíce se současný simulovaný průtok liší oproti původnímu v rámci svého objemu.

## 5 ZÁVĚR

V rámci bakalářské práce bylo dosaženo sestavení srážkoodtokového modelu a provedení simulací vybraných epizod. Pro jejich sestavení bylo potřebné získat data. Průtoková řada byla získána pro měrný profil řeky Oskavy nacházející se v Uničově. Z této řady byly vybrány dohromady čtyři epizody. Epizody byly vybrány tak, aby měly co nejvyšší průtok a současně nebyly způsobeny táním sněhu. Dále bylo třeba získat data týkající se úhrnu srážek. Ta byla poskytnuta pro vybrané epizody v podobě gridu s rozlišením 1×1 km a pro plochu větší než zájmové území. V prostředí programu Matlab byla provedena selekce. Buňky gridu, které nezapadaly do zájmového území byly vyřazeny. Buňky spadající do zájmového území byly přiřazeny k dílčímu povodí, ke kterému spadaly. Výsledné hodnoty srážek byly získány aritmetickým průměrem buněk vždy pro dané dílčí povodí.

Po získání dat bylo možné sestavení modelu v programu HEC-HMS. Nejdříve byla provedena schematizace. U prvků znázorňujících dílčí povodí (Subbasin) bylo třeba určit číslo CN, počáteční vsak a dobu transformace. U prvku znázorňujícího tok (Reach) bylo třeba určit také dobu transformace. Počáteční hodnoty byly určeny z prostředí ArcGis. Zájmové území bylo podloženo ortofotomapou, ze které byl určen typ vegetace a dále odvozena CN křivka. Pro dobu transformace byla zjištěna délka údolnice či toku. Pro údolnici se uvažovala rychlost 1 m.s<sup>-1</sup> a pro tok 2 m.s<sup>-1</sup>. Pro počáteční vsak byla určena hodnota 10 mm.

Po vložení srážkových a průtokových dat bylo možné provést optimalizaci. Pro tu byla zvolena simplexová metoda. Optimalizace byla zpočátku prováděna automaticky, nebylo však dosaženo žádoucích výsledků. Pomocí automatické optimalizace bylo možné dosažení hodnoty a času kulminačního průtoku. Podobného průběhu vzestupné větve se však již dosáhnout nepodařilo. Dalším negativem bylo, že optimalizované hodnoty, pomocí kterých mělo být dosaženo optimalizace byly nereálné. Důvodem neúspěchu byl pravděpodobně špatný odhad výchozích hodnot povodí spolu s nízkým počtem měřených průtokových dat pro velikost řešeného povodí. Proto byla optimalizace následně provedena manuálně.

Z hodnot vzniklých optimalizací lze vyhodnotit, jak se epizody oproti sobě lišily v rámci počátečního vsaku. Nejvýraznější je v tomto ohledu rok 2017, který má hodnoty oproti ostatním rokům nízké. To lze odůvodnit nasyceností povodí z předešlého deště. Výrazný je i rok 2016, který má naopak hodnoty vysoké. To lze odůvodnit suchem, které v daném roce převládalo. V rámci hodnot CN jsou poměrně vysoké hodnoty pro povodí P1 a P2 vzhledem k vyskytující se vegetaci, kterou je les. To lze opodstatnit druhem a stavem lesa. Jedná se o les hospodářský, ve kterém se vyskytují mýtiny z důvodu prokácení. V současnosti již došlo k postupnému nárůstu kleče a bylin, což by mohlo odůvodnit zlepšení CN v roce 2020. I ve zbytku povodí epizody 2020 jsou hodnoty CN přívětivější oproti epizodám předchozím, což je pravděpodobně způsobeno vzrůstem vegetace v dané části ročního období. V epizodě z roku 2020 již došlo k průtoku, při kterém došlo k vyběžení vody z koryta. Proto byly jeho hodnoty dotoku poměrně vysoké.

V rámci simulovaných epizod byly s menšími odchylkami úspěšně podchyceny vzestupné větve i doby a objemy kulminačních průtoků. Celkového objemu povodňové vlny ani přesného průběhu u vybraných epizod dosaženo nebylo. To však ani nebylo cílem. Jak již bylo zmíněno v úvodu, charakteristickým rysem přívalových povodní je jejich rychlý nástup. Z hlediska ochrany obyvatelstva je proto podstatné včasné varování.

Hlavními příčinami, díky kterým nebylo dosaženo přesného podchycení epizod je malé množství užitých transformačních procesů, kdy byl uvažován pouze počáteční vsak, který dále nebyl transformován do odtoku. Rovněž nebylo uvažováno vysychání povodí. Dále použité metody nepracovaly z transformačními účinky v údolních nivách a v korytech toků. Konkrétně u epizody z března 2019 je výrazné vychýlení od objemu pravděpodobně způsobeno vypouštěním rybníku.

Mimo vybraných epizod byly simulované i jejich variace. Jednou z nich byla simulace povodňové vlny, ke které by došlo, pokud by byla nasycenost v území větší. Zjištěno byla, že nasycenost území má na její průběh

významný vliv. Pokud by tedy došlo k úhrnu srážek ze dnů 6. a 8. června a území by již bylo nasycené, mohly být následky závažnější.

Další variací byla situace, která by v červnu 2020 nastala při souběžném přítoku kulminačních průtoků řek Oskavy a Oslavy v Junctionu 2. Samotné zvýšení kulminačního průtoku o hodnotu  $23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  je značné. A jeho hodnota by mohla způsobit navýšení majetkových škod. Z tohoto důvodu je doporučeno zvýšené opatrnosti, pokud by mělo dojít v rámci řešených povodí k opatřením, která by měla za následek zpomalení odtoku z povodí.

Dále byla provedena simulace, kdy bylo do modelu pro epizodu 2020 využito hodnot počátečního vsaku z epizody 2019 a do modelu z března 2019 využito srážkových dat z epizody 2020. Z výsledků vyplývá že modely kalibrované na vybrané srážky z událostí v letech 2016, 2019 a 2017 by nebyly schopny provést simulaci situace z roku 2020 korektně. Důvodem je příliš velký rozdíl v úhrnu srážek.

Dále proběhla simulace pro návrhový déšť zjištěný z aplikace Rain. Model byl využit z červnové epizody 2020. Protože webová aplikace počáteční vsak neuvažuje, byla jeho hodnota v modelu snížena na 0.01 mm. Kulminačního průtoku bylo oproti záznamu dosaženo až o 8 h později. Proto z výsledku vyplývá, že pokud by simulace probíhala dle návrhové hodnoty z aplikace, nemuselo by dojít k včasnému varování obyvatelstva.

Simulována byla také situace, při které by byla k dispozici data srážkových úhrnů pouze z jedné srážkoměrné stanice (průměrná srážka na povodí). Nová situace se oproti původní lišila nejvíce v objemu. Lze tedy říci, že z hlediska ochrany obyvatelstva, kdy je podstatný čas a hodnota kulminačního průtoku by byla méně podrobná data dostatečná.

V rámci bakalářské práce bylo využito nejjednodušších dostupných metod v programu HEC-HMS. Bylo zjištěno, že metody jsou dostačující pro přibližné dosažení hodnoty a času kulminačního průtoku a vzestupné větve. Proto lze metodu doporučit pro simulaci přívalových povodní, pokud je k dispozici menší množství charakteristik povodí. Naopak výsledky pro určení objemu povodňové vlny byly nedostatečné. Proto metodu nelze doporučit pro situace, kdy je potřeba znát přesný objem.

## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

BECKER, A. a P. SERBAN, 1990. *Hydrological models for water-resources system design and operation: Operational hydrology report No. 34*. Geneva: Secretariat of the world meteorological organization.

ČÚZK, 2021. In: ČÚZK [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(w1mag5n2n2zfmc5olnaljn2l\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod&head\\_tab=sekce-03-gp&menu=311](https://geoportal.cuzk.cz/(S(w1mag5n2n2zfmc5olnaljn2l))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.verejne&text=WMS.verejne.uvod&head_tab=sekce-03-gp&menu=311)

ČÚZK. In: ČÚZK: *Geoportál* [online]. ČÚZK [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(pneagqzxeuyruelbiak3vetyd\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.INSPIRE&text=WMS.INSPIRE&head\\_tab=sekce-03-gp&menu=313](https://geoportal.cuzk.cz/(S(pneagqzxeuyruelbiak3vetyd))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=wms.INSPIRE&text=WMS.INSPIRE&head_tab=sekce-03-gp&menu=313)

DAŇHELKA, Jan, 2007. *Operativní hydrologie: hydrologické modely a nejistota předpovědí*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav. Sborník prací Českého hydrometeorologického ústavu. ISBN 978-80-86690-48-3. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:958aa6a0-5ce8-11e8-983f-005056827e51>

DAŇHELKA, Jan a Jan KUBÁT, ed., 2009. *Přívalové povodně na území České republiky v červnu a červenci 2009*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-86690-75-9.

Evidenční list hlásného profilu č.315. In: *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hpps/evlist.php?seq=307343>

Evidenční list operativního profilu. In: *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://hydro.chmi.cz/hpps/evlist.php?seq=45599398>

GEOČR50. In: *Česká geologická služba* [online]. Resort životního prostředí [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online/wms>

*Charakteristika povodní*, 2017. Dresden. Dostupné také z: [https://www.strima.sachsen.de/download/Charakteristika\\_povodni\\_final.pdf](https://www.strima.sachsen.de/download/Charakteristika_povodni_final.pdf)

KANTOR, Petr, 2003. *Lesy a povodně: souhrnná studie*. Praha: Ministerstvo životního prostředí. ISBN 80-7212-255-X. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:4ee8c620-c6be-11e2-8b87-005056827e51>

KULHAVÝ, Zbyněk a Pavel KOVÁŘ, 2000. *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*. Praha-Zbraslav: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy.

LANGHAMMER, Jakub, ed., 2007. *Změny v krajině a povodňové riziko: sborník příspěvků ze semináře Povodně a změny v krajině : PŘF UK, Praha, 5.6.2007*. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta. ISBN 978-80-86561-87-5. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:d70170a0-6341-11e8-8637-005056827e51>

Odtokový proces: Tvorba odtoku ze srážek. In: *Český hydrometeorologický ústav* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff\\_cz/navmenu.php\\_tab\\_1\\_page\\_1.1.0.1.htm](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/runoff_cz/navmenu.php_tab_1_page_1.1.0.1.htm)

*Povodeň na Uničovsku 7. a 8. června 2020: Předběžné vyhodnocení extrémní hydrometeorologické situace* [online], 2020. Petr Šercl [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://storymaps.arcgis.com/stories/878800fbefee43fb850c89ac587cb263>

Povodeň, 8. června 2020. In: *Uničov: oficiální stránky města* [online]. Uničov [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://unicov.cz/cast-unicova-byla-podvodou/d-21824>

RUDA, Aleš, 2014. Hydrografie vodních toků. In: *Klimatologie a hydrografie pro učitele* [online]. Brno: Masarykova univerzita [cit. 2022-03-08]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz\\_geogr/web/pages/08-hydrografie.html](https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/08-hydrografie.html)

STARÝ, Miloš, 2005. *Hydrologie: Modul 01*. Brno: FAST VUT.

STARÝ, Miloš, 2005. *Hydrologie m2: Modul 02*. Brno: FAST VUT.



ŠERCL, Petr, Petr JANÁL a Jan DAŇHELKA, 2015. *Možnosti predikce přívalových povodní v podmínkách České republiky*. 1. vydání. Praha: Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-87577-27-1.

*Taxonomický klasifikační systém půd ČR: Půdní typy, subtypy, variety* [online]. Brandýs nad Labem: Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, 12 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: [http://www.uhul.cz/images/typologie/taxonomicky\\_klasifikacni\\_system\\_pud\\_v\\_cr.pdf](http://www.uhul.cz/images/typologie/taxonomicky_klasifikacni_system_pud_v_cr.pdf)

The drainage basin hydrological system, 2018. In: *A Level Geography* [online]. [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.alevelgeography.com/drainage-basin-hydrological-system/>

Uničov: Povodňový plán města, 2022. In: *Hydrologické údaje* [online]. Ministerstvo životního prostředí [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.edpp.cz/povodnovy-plan/unicov/>

*Webová testovací aplikace Rain* [online], 2022. Praha: ČVUT FSv [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://rain1.fsv.cvut.cz/webapp/d-rain-point/>

## 7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CN	Curve number
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
GIS	Geografický informační systém
$Q_a$	Průměrný roční průtok
$Q_1$	jednoletá voda
$Q_5$	pětiletá voda
$Q_{10}$	desetiletá voda
$Q_{50}$	padesátiletá voda
$Q_{100}$	stoletá voda
SPA	stupeň povodňové aktivity

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Vliv podélného toku (vlevo) a tvaru povodí (vpravo) na tvar průtokové vlny (Charakteristika povodní, 2017).....	5
Obrázek 2: Srážkoodtokový cyklus povodí (The drainage basin hydrological system, 2018). .....	7
Obrázek 3: Poloha zájmového území v ČR (ČÚZK, 2021).....	25
Obrázek 4: Zájmové území (ČÚZK, 2021). .....	26
Obrázek 5: Mapa nadmořské výšky území. ....	28
Obrázek 6: Mapa sklonitosti území.....	28
Obrázek 7: Půdní mapa zájmového území (GEOČR50).....	30
Obrázek 8: Mapa využití území (ČÚZK).....	32
Obrázek 9: Tok Oskavy P14. ....	32
Obrázek 10: Zemědělské území P09.....	33
Obrázek 11: Les P1/P2. ....	33
Obrázek 12: Mýtina P1/P2. ....	34
Obrázek 13: Mapa vodních toků (ČÚZK, 2021). ....	35
Obrázek 14: Vodočetná lať Uničov.....	36
Obrázek 15: Měrná stanice Uničov. ....	36
Obrázek 16: Vyhodnocení spadlých srážek ze dnů 7. a 8. června 2020 (Povodeň na Uničovsku 7. a 8. června 2020, 2020). ....	38
Obrázek 17: Oskava dne 08. 06. 2020 – měrný profil Uničov (Povodeň, 8. června 2020).....	39
Obrázek 18: Oskava 07. 05. 2022 – měrný profil Uničov. ....	39
Obrázek 19: Průtoková řada Oskava. ....	40
Obrázek 20: Úhrn srážek z radaru 06.06.2020 – 07.06.2020 pro Českou republiku. ....	41

Obrázek 21: Úhrn srážek z radaru 06.06.2020 – 07.06.2020 pro oblast zájmového území.....	41
Obrázek 22: Struktura srážkoodtokového modelu v prostředí HEC-HMS....	43
Obrázek 23: Kulminační průtok – epizoda 2016.....	49
Obrázek 24: Kulminační průtok – epizoda 2017.....	50
Obrázek 25: Kulminační průtok epizoda 2019.....	51
Obrázek 26: Kulminační průtok epizody 2020 – měrný profil Dlouhá Loučka. ....	52
Obrázek 27: Kulminační průtok – epizoda 2020.....	53
Obrázek 28: Kulminační průtok při nižším počátečním vsaku.....	54
Obrázek 29: Skutečný průběh povodňové vlny na soutoku Oslavy a Oskavy – Junction 2.....	55
Obrázek 30: Varianta souběžné kulminace Oslavy a Oskavy – Junction 2....	56
Obrázek 31: Povodňová vlna v měrném profilu při variantě současné kulminace – Junction 1. ....	57
Obrázek 32: Kulminační průtok způsobený úhrnem srážek z epizody 2020 působícím na model z epizody 2019 .....	58
Obrázek 33: Kulminační průtok způsobený návrhovým úhrnem srážek z aplikace Rain pro padesátiletou vodu .....	59
Obrázek 34: Kulminační průtok pro průměrné hodinové srážky .....	60

## 9 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Příčiny povodní a problémy spojené s povodněmi v důsledku lidských zásahů do krajiny .....	10
Tabulka 2: Nedostatek zásahů do sítě vodních toků jako příčina povodní...	11
Tabulka 3: Charakteristika klimatické oblasti. ....	27
Tabulka 4: Zařazení do geomorfologického systému. ....	29
Tabulka 5: Základní údaje. ....	37
Tabulka 6: Hodnoty optimalizace počátečního vsaku.....	46
Tabulka 7: Hodnoty optimalizace CN.....	47
Tabulka 8: Hodnoty optimalizace doby dotoku povodí. ....	48
Tabulka 9: Hodnoty optimalizace doby dotoku otevřeného koryta. ....	49