

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ  
KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ



## POSOUZENÍ ODVODNĚNÍ OBCE CHOTEČ Z HLEDISKA NÁTOKU EXTRAVILÁNOVÝCH VOD

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Bc. Kateřina Škvařilová**

Vedoucí práce: doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

LEDEN 2023

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Škvařilová** Jméno: **Kateřina** Osobní číslo: **470247**  
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**  
Zadávající katedra/ústav: **Katedra vodního hospodářství obcí**  
Studijní program: **Stavební inženýrství**  
Studijní obor: **Vodní hospodářství a vodní stavby**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Posouzení odvodnění obce Choteč z hlediska nátok extravilánových vod**

Název diplomové práce anglicky:

**Assessment of Choteč drainage system with respect to rural zone water**

Pokyny pro vypracování:

Cílem práce je identifikovat příčiny záplav obce Choteč při přivalových deštích a navrhnout vhodná opatření. Práce bude obsahovat teoretickou a praktickou část. Teoretická část bude zaměřena na matematické modelování srážkoodtokových procesů v urbanizovaných územích. V rámci praktické části bude vytvořen screeningový model odtokových jevů na území obce Choteč a přilehlých povodích, z nichž dochází k nátokům srážkových vod do obce. Budou navržena opatření ke zlepšení současného stavu.

Seznam doporučené literatury:

Krejčí a kol. (2002) Odvodnění urbanizovaných území - Koncepční přístup, NOEL 2000  
Rainfall-Runoff Modelling - The Primer (2006), K. J. Beven, Wiley  
Integrated Urban Drainage Modelling Guide, WAPUG, 2009

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**doc. Ing. David Stránský, Ph.D. katedra vodního hospodářství obcí FSv**

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **21.09.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **09.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. David Stránský, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

\_\_\_\_\_  
doc. Ing. David Stránský, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Jiří Máca, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomantka bere na vědomí, že je povinna vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studentky

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že předloženou práci jsem zpracovala samostatně. Veškerou použitou literaturu jsem uvedla v seznamu a v textu řádně uvedla její použití. Zpracování potřebných dat, práci s modelem a vyhodnocení analýzy opatření jsem prováděla samostatně.

Svým podpisem stvrzuji, že text závěrečné práce v písemné podobě je shodný s textem v elektronické podobě.

V Praze dne 9. 1. 2023

Bc. Kateřina Škvařilová

## **Poděkování**

Ráda bych tímto poděkovala panu doc. Ing. Davidu Stránskému, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, nezměrnou trpělivost, ochotu a cenné rady. Děkuji také týmu z DHI, a.s. za zapůjčení programů a vedení při modelování, a to především panu Ing. Jozefu Stoklasovi, který mi vše trpělivě vysvětlil a ukázal a strávil se mnou nespočet hodin konzultacemi. Děkuji Ing. Martinu Fenclovi, Ph.D. za pomoc se srážkovými daty a paní Ing. Zuzaně Skřivanové za poskytnutí dalších podkladů. Velké díky patří také mým nejbližším, kteří pro mě byli nesmírnou oporou, především pak mému manželovi, který se mnou měl až božskou trpělivost.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá stavbou a kalibrací matematického modelu simulujícího srážko-odtokové procesy v zájmové lokalitě Choteč a jeho následnou aplikací pro návrh opatření proti záplavám způsobeným extrémními srážkovými událostmi. V teoretické části jsou popsány možné metody monitoringu a modelování. Praktická část se věnuje stavbě modelu, jeho kalibraci na základě dat získaných od očitých svědků a jeho aplikaci pro návrh opatření proti záplavám. Na závěr je vyhodnocena analýza efektivity navržených opatření.

## **Klíčová slova**

extrémní srážkové události, extravilánové vody, hospodaření s dešťovou vodou, monitoring, model, MIKE+, kalibrace, analýza efektivity

## **Abstract**

This diploma thesis deals with building and calibrating a mathematical model simulating rainfall-runoff processes at location of interest Choteč and its application for designing measures against flooding caused by extreme precipitation events. In the theoretical part, methods of monitoring and modelling are described. Practical part concerns with construction of the model, its calibration based on data obtained by eyewitness testimony and its application for the design of flood prevention measures. The results of the efficiency analysis of the proposed measures are evaluated at the end.

## **Keywords**

extreme precipitation events, extravillan water, rainwater management, monitoring, model, MIKE+, calibration, efficiency analysis

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Teoretický základ.....	11
2.1	Extrémní srážky v urbanizovaném území .....	11
2.2	Srážkoodtokové jevy ve zkratce.....	15
2.3	Udržitelné hospodaření s dešťovou vodou .....	18
2.3.1	Běžné deště.....	20
2.3.2	Silné deště .....	23
2.3.3	Extrémní deště.....	25
2.3.4	Deficit srážek .....	27
2.3.5	Ochrana proti extravilánovým vodám retencí.....	28
2.4	Nástroje pro popis srážko-odtokových jevů .....	29
2.4.1	Monitoring .....	29
2.4.2	Modelování .....	33
2.4.3	Kalibrace a verifikace modelu .....	37
2.4.4	Používané softwary .....	37
3	Cíle práce .....	40
4	Zájmové území Choteč .....	41
4.1	Charakter území .....	41
4.2	System odvádění srážkových vod .....	42
5	Metodika .....	44
5.1	Využívané programy .....	44
5.2	Potřebná data .....	44
5.3	Tvorba modelu .....	47
5.3.1	Příprava dat v programu ArcGIS Pro.....	47
5.3.2	Příprava výpočetní sítě v programu Mesh Builder .....	48

5.3.3	Tvorba modelu v programu MIKE Plus.....	48
5.4	Zatěžující deště.....	52
5.4.1	Aplikace průběhu reálného deště na denní úhrn .....	52
5.4.2	Modelové deště .....	53
5.5	Kalibrace modelu .....	57
5.6	Zhodnocení současného stavu .....	58
5.7	Návrh opatření .....	58
5.8	Funkčnost navržených opatření.....	58
5.9	Analýza efektivity opatření .....	58
5.9.1	Reálné deště .....	58
5.9.2	Modelové deště .....	59
6	Řešení a diskuse výsledků.....	60
6.1	Tvorba modelu .....	60
6.1.1	Příprava dat v programu ArcGIS Pro.....	60
6.1.2	Příprava výpočetní sítě v programu Mesh Builder .....	61
6.1.3	Tvorba modelu v programu MIKE Plus.....	61
6.2	Zatěžující deště.....	66
6.2.1	Aplikace průběhu reálného deště na denní úhrn .....	66
6.2.2	Modelové deště .....	67
6.3	Kalibrace modelu .....	69
6.4	Zhodnocení současného stavu .....	71
6.5	Návrh opatření .....	71
6.5.1	Sever.....	72
6.5.2	Jih.....	74
6.5.3	Jihozápad.....	75
6.6	Funkčnost navržených opatření.....	79

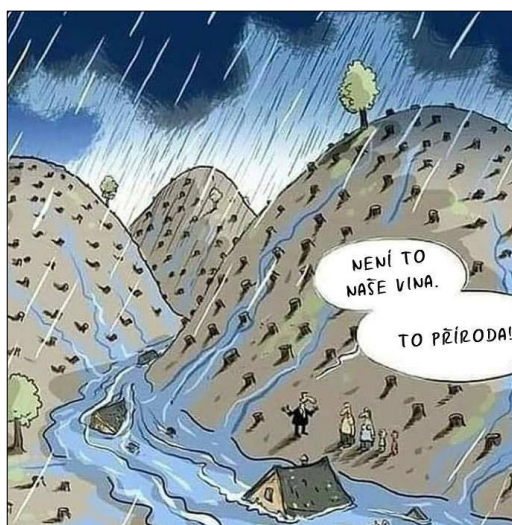
6.6.1 Sever.....	80
6.6.2 Jihozápad – malý poldr .....	82
6.6.3 Jihozápad – velký poldr .....	84
6.7 Analýza efektivity opatření .....	86
6.7.1 Reálné deště .....	86
6.7.2 Modelové deště .....	90
7 Závěr .....	94
8 Seznam použité literatury.....	96
9 Seznam obrázků .....	102
10 Seznam tabulek .....	108
11 Seznam použitých zkratk.....	110
12 Přílohy.....	111
12.1 Prvky systému odvádění srážkových vod.....	111
12.2 Tvorba modelu.....	127
12.3 Výpočet kritické doby trvání deště dle objemu .....	132
12.4 Použité modelové deště .....	133
12.4.1 Blokové deště.....	134
12.4.2 Šifaldovy deště.....	138
12.5 Výsledky simulace za současného stavu .....	143
12.6 Výsledky simulace s navrženými opatřeními .....	146
12.6.1 Déšť 12. 5. 2021 .....	148
12.6.2 Déšť 13. 5. 2021.....	152
12.6.3 Modelové deště .....	156



# 1 Úvod

Význam vody je nezpochybnitelný. Voda je základem života a nevyužíváme ji pouze na vaření nebo k osobní hygieně, ale také v zemědělské nebo průmyslové výrobě. Voda je zkrátka potřeba všude a pořád.

Česká republika je významnou pramennou oblastí, proto se někdy nazývá „střechou Evropy“. Všechny řeky však z území státu odtékají, proto jsou zásoby vody na našem území plně závislé na srážkách. [1] Nelze ovlivnit množství vody, která zde spadne, dokážeme ale ovlivnit, kolik srážkové vody na našem území zůstane a v jaké podobě. Úkolu udržení co největšího objemu srážkových vod v povodí a zpomalení srážkového odtoku se snažíme docílit pomocí principů hospodaření s dešťovou vodou (HDV) v urbanizovaném území. Výrazná urbanizace zvyšuje podíl nepropustných ploch, a tak podporuje povrchový odtok z povodí. Při stále častěji se vyskytujících extrémních dešťových událostech může docházet k tvorbě bleskových záplav, které si mimo škod na majetku a krajině a ohrožení funkce na kritické infrastruktuře mohou v důsledku vybrat svou daň i na lidských životech.



Obr. 1: Na hraně vlastní zkázy [2]

Aby bylo možné odtok z extrémních srážek co nejdéle zadržet v povodí a bezpečně ho převést, je potřeba znát odtokové charakteristiky povodí a síť odvodnění. Jelikož zájmové území není většinou vybaveno dlouhodobým monitoringem, lze tyto informace získat od očitých svědků a doplnit je matematickým modelem simulujícím srážko-odtokové procesy v krajině. Model díky popisu chování povodí a systému

odvodnění při extrémních srážkách umožňuje vytvořit optimální návrh opatření proti bleskovým záplavám.

Právě tato situace je aktuální v obci Chotěč u Prahy, kde při přivalových deštích dochází zejména k zaplavení hlavní pozemní komunikace, která obcí prochází. Jako reakce na tuto skutečnost vznikl požadavek na vytvoření 2D matematického modelu simulujícího srážko-odtokové procesy v oblasti Chotče a následnou analýzu návrhu opatření proti extrémním srážkám. Právě jeho vypracování je předmětem této diplomové práce.

## 2 Teoretický základ

### 2.1 Extrémní srážky v urbanizovaném území

V přirozeném povodí dochází k zdatelně nižšímu odtoku oproti urbanizovanému území, neboť jsou do tvorby efektivní srážky v maximální možné míře zapojeny všechny základní ztrátové procesy, ať už je řeč o vsakování, výparu nebo retenčních schopnostech povrchu. Výrazně ke snížení odtoku přispívá vegetační pokryv a propustné půdní a horninové prostředí.

V urbanizovaném území je hlavní příčinou změn v odtokovém režimu navyšování podílu nepropustných zpevněných ploch v povodí, který ve městech dosahuje i více než 70 %. [3] Dochází tak k nárůstu objemu odtékající vody, ke zrychlení srážkového odtoku a zároveň ke snižování schopnosti transformace kulminačního průtoku povodňové vlny, což může za extrémních dešťových událostí zapříčinit vznik bleskových záplav. K těm dochází nejčastěji v období jarních přívalových dešťů a letních bouřek. Dle Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) lze přívalový déšť charakterizovat jako srážku s intenzitou zpravidla větší než 30 mm/hod. Přívalový déšť způsobující bleskovou povodeň zpravidla zasahuje plochu několika km<sup>2</sup> a může trvat minuty až hodiny. [4] Kromě podílu nepropustných zpevněných ploch ovlivňuje v městském prostředí množství odváděné vody též kapacita modrozelené infrastruktury (MZI) a stokového systému. Úplná ochrana proti všem typům srážkových epizod není možná, avšak zadržováním vody v povodí a protipovodňovými opatřeními, či obecně principy HDV, lze zmírnit následky povodní a adaptovat se na důsledky klimatických změn.

Z projekcí a hydrologických modelů změny klimatu lze předpokládat, že se ve střední Evropě v budoucnu zvýší četnost výskytu extrémních srážek, a tedy i bleskových povodní. Ačkoli dlouhodobé průměrné hodnoty srážkového úhrnu zůstanou téměř neměnné, nebude zachováno jejich časové rozložení. Po menším počtu dešťových událostí s vyššími intenzitami tak přijdou častější a déletrvající bezdeštná období, na která bude nutno se připravit retencí vody v krajině. [1]

Pro případ bleskových záplav v urbanizovaném území nemusíme chodit daleko. V roce 2013 došlo ve středních Čechách v povodí Rokytky k průchodu povodňové vlny s dobou opakování větší než 100 let. Příčinou vzniku povodně byla kromě extrémní srážky snížená kapacita retenčních prostorů v povodí, vysoká míra nasycení

půdy v povodí a významné zastoupení nepropustných ploch. Intenzita extrémní srážky dosáhla 100 mm/24 hod a vyvolala na vodním toku Rokytka průtok vody na úrovni  $Q_{100}$ . Část povodňové vlny byla zachycena v suché nádrži Čihadla a byla tak maximálně využita transformační schopnost nádrže. Z manipulačního řádu vodního díla Čihadla byl kulminační průtok povodňové vlny stanoven na hodnotu  $33 \text{ m}^3/\text{s}$ . Vlivem povodně došlo k narušení zdi v zámeckém parku v Počernicích a zaplavení mnoha ulic i sklepních prostor. [5] Na Obr. 2 až Obr. 4 jsou k nahlédnutí projevy uváděné bleskové povodně.



Obr. 2: Záplava zámecké zdi v Počernicích [5]



Obr. 3: Železniční viadukt u Rokytky [5]

Kromě nutnosti přítomnosti opatření, záleží i na kvalitě jejich provedení. Na následujícím obrázku (Obr. 4) je vidět problematická lokalita na oddílné dešťové kanalizaci, kde je snížena kapacita uliční vpusti. Problémem v tomto úseku je ovšem také nevyhovující vyspádování místní komunikace.



Obr. 4: Snížená kapacita uliční vpusti do kanalizace a nevhodné vyspádování komunikace [5]

Zahraničním příkladem z dřívějších let lze označit situaci z roku 2011 v hlavním městě Dánska, Kodani. 2. července 2011 zasáhl Kodaň extrémní déšť o srážkovém úhrnu více než 135 mm za 3 hodiny. [6] Šlo o největší zaznamenaný 24hodinový srážkový úhrn za posledních 55 let. [7] Došlo k nezvratnému poškození obytných domů

a městské infrastruktury, byly zaplaveny sklepní prostory, ulice i hlavní silnice. Voda v některých místech dosahovala až jednoho metru [8] a škody se vyšplhaly v přepočtu na neuvěřitelných 26 miliard korun českých. [6] Hydraulický model znázorňuje zaplavené oblasti Kodaně (Obr. 5). Závažnost situace zároveň demonstruje Obr. 6.



Obr. 5: Hydraulický modelu záplavy v Kodani roku 2011 [8]



Obr. 6: Zaplavené ulice Kodaně po přivalových deštích roku 2011 [9]

Jednou z nedávných katastrofických událostí spjatých s přivalovým deštěm je blesková záplava italské provincie Ancona, kde v noci z 15. na 16. září 2022 napadlo za několik hodin na 420 mm srážek. [10] Vznikly izolované oblasti bez elektřiny a pitné vody, veřejná infrastruktura byla nefunkční. Událost si vyžádala 7 lidských životů. [10] Ničivé účinky povodně jsou zřejmé z Obr. 7.



Obr. 7: Ničivé účinky bleskové povodně z noci na 16. září 2022 v italské provincii Ancona [10]

Stav může zhoršovat nátok extravilánových vod, které s sebou nesou další negativní následky. Zásadním účinkem vody spadlé na extravilán je tzv. vodní eroze, což je komplexní proces zahrnující rozrušování půdního povrchu, transport a sedimentaci uvolněných půdních částic působením vody. [11] Vodní eroze ohrožuje více než polovinu orné půdy v České republice a lze ji rozdělit na normální a zrychlenou. Normální vodní eroze je z hlediska jednoho lidského života nepozorovatelná a probíhá v souladu s půdotvorným procesem. Zrychlená eroze však narušuje půdní profil v takovém rozsahu, že odnesené půdní částice nestíhají být nahrazeny přirozeným půdotvorným procesem. Ohrožení zemědělských ploch vodní erozí v tak zásadní míře je v ČR způsobeno především intenzifikací zemědělské výroby v minulosti [11], kdy docházelo ke zvětšování půdních dílů a odstraňování hydrografických a krajinných prvků, které zabraňovali zrychlené erozi.

Na vodní erozi má vliv:

- sklonitost pozemku v kombinaci s délkou pozemku po spádnicí
- vegetační pokryv
- vlastnosti půdy
- výskyt přívalových, tzv. erozně nebezpečných, srážek a období sucha [11]

Míra eroze je vždy ovlivněna kombinací výše uvedených vlivů, proto může k erozi docházet například i u ploch s nevýrazným sklonem.

Erozně nebezpečnými srážkami rozumíme srážky s úhrnem nad 12,5 mm, či intenzitou nad 6,25 mm za 15 minut. Samozřejmě však záleží na místních podmínkách. Většina těchto srážek (cca 80 %) spadá do období června až srpna [11], proto je v boji

proti vodní erozi významný vegetační pokryv ve vegetačním období. Mimo déšť je z hlediska eroze rovněž kritické intenzivní tání sněhu v době, kdy je půda ještě zmrzlá. Kromě důsledků s vlivem na zemědělství, jako je snížení úrodnosti z důvodu odplavení ornice, snižování mocnosti půdního profilu, poškození plodin, a tedy snížení hektarových výnosů, ztráty osiv, sadby, hnojiv aj., či znesnadnění pohybu strojů po pozemcích, má vodní eroze vliv rovněž na systém odvodnění intravilánu, vodní toky nebo úpravu vody.

Extravilánová voda nese množství půdních částic, na které jsou vázány látky s různým stupněm toxicity (především hnojiva). Splaveniny se mohou usazovat na terénu intravilánu, ale také ve stokové síti, kde může dojít k zásadnímu zmenšení průtočného profilu, či retenčního prostoru. Zároveň s sebou nesou znečištění, které snižuje účinnost čištění vod na čistírně odpadních vod (ČOV). Je-li odtok zaústěn do vodního toku, mohou půdní částice způsobovat dočasný zákal, a postupně může docházet ke zvyšování nivelety dna, a tedy ke zvyšování hladiny podzemní vody v okolí koryta. Obdobné změny mohou nastat rovněž u vodních nádržích, kde dochází k zrnitostní separaci a zazemňování nádrže. [11]

K technickým opatřením proti vodní erozi můžeme řadit příkopy, průlehy, hrázky, protierozní meze nebo například různé typy nádrží, které jsou zmíněny v kapitole 2.3.5.

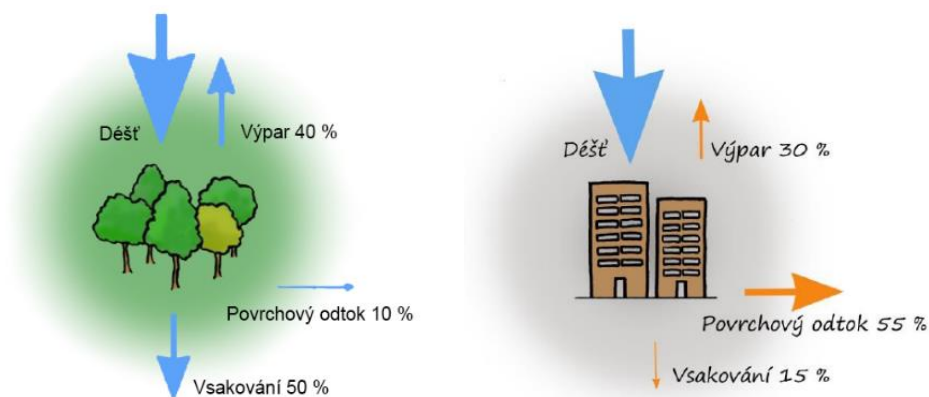
Pokud k extrémní srážkové aktivitě dochází za zvýšené hladiny vodního toku, je kapacita toku pro zadržení dešťové vody nedostatečná a může dojít k záplavám. Nejnebezpečnější situací je tak souběh extrémních srážek s povodňovou aktivitou.

## **2.2 Srážko-odtokové jevy ve zkratce**

Srážko-odtokovým procesem nazýváme odtok hydrologických srážek spadlých na dané území. Charakter odtoku srážek, tedy velikost a průběh odtoku, je ovlivněn nejen hydrologickými srážkami, ale také:

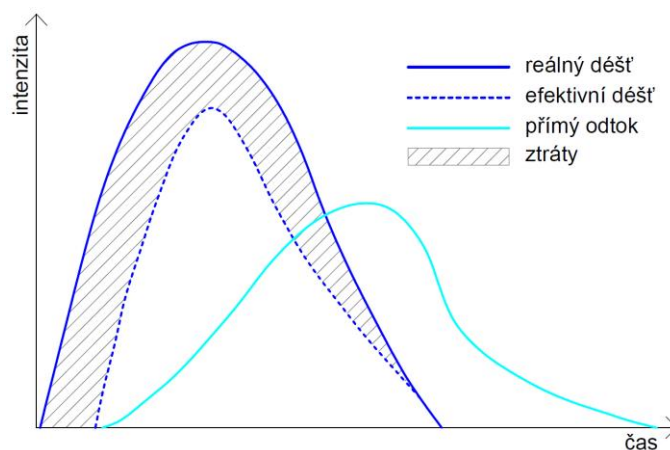
- charakterem místního prostředí – klima, roční období atd.
- povrchu – spád, vegetace atd.
- podložím – hladina podzemní vody, propustnost atd.
- parametry koryta odvádějící srážku – tvar, drsnost, spád atd. [12]

Odlišnost v rozdělení odtoku z přirozeného a urbanizovaného území je zapříčena především rozdílem v propustnosti povrchu. [3] V urbanizovaném území převládá přímý odtok, který lze také označit jako „rychlá složka odtoku hydrologických srážek“. Voda, která infiltruje, popř. je odváděna drenážemi nebo netěsnostmi kanálů, se označuje „pomalou složkou odtoku“. [12] Rozdíl v odtoku z přirozeného a urbanizovaného území znázorňuje Obr. 8.



Obr. 8: Vliv urbanizace na odtok vody z povodí [13]

Přímý dešťový odtok sestává ze tří kroků, a to z **tvorby dešťového odtoku**, **koncentrace dešťového odtoku** a **proudění ve stokové síti**. První dva kroky tvorby přímého odtoku graficky znázorňuje Obr. 9.



Obr. 9: Znázornění tvorby a koncentrace přímého dešťového odtoku; upraveno z [12]

**Tvorbou dešťového odtoku** je popisováno zachycení části reálné srážky jevy označovanými jako **ztráty**. Rozlišujeme ztrátu smáčením, povrchovou retencí, vsakem, výparem a trvalými ztrátami. Po odečtení všech ztrát od reálné srážky získáváme hodnoty **efektivního deště**.



Výsledné hodnoty efektivního deště jsou významně ovlivněny „připraveností povodí k odtoku“, kterou se zohledňuje například momentální nasycení povodí vodou. [12]

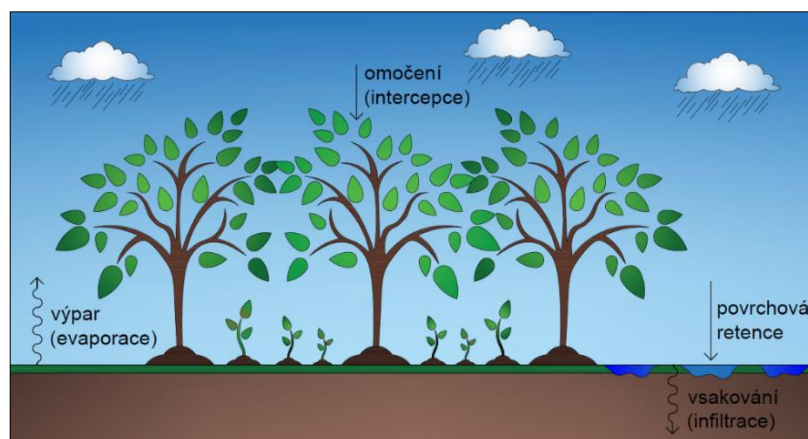
Dílčí procesy tvorby ztrát lze popisovat pomocí velmi zjednodušených modelů fungujících na principu jednoduchých matematických funkcí, jejichž parametry bývají zpravidla stanovovány empiricky. [12] Celkové ztráty vody v povodí (Obr. 10) tvoří:

**Smáčení povrchu (intercepce):** Když se část srážky zadrží na povrchu předmětů nebo vegetace, hovoříme o smáčení. Zachycená voda se může následně vypařovat zpět do atmosféry nebo steče na zemský povrch. Ztrátová výška je ovlivněna typem povrchu a jeho zastoupením v povodí, rostlinným pokryvem a jeho sezónním stavem a samozřejmě také samotnou srážkou (intenzitou, bezdeštným obdobím apod.) a mnoha dalšími faktory. [12] [14]

**Povrchová retence:** Po dosažení úplného smáčení dochází ke ztrátám povrchovou retencí neboli plněním depresí v povrchu povodí. [12]

**Vsakování (infiltrace):** Jedním z nejdůležitějších procesů tvorby dešťového odtoku je vsakování. Nejvyšších hodnot nabývá na propustných plochách, nejnižších potom na plochách zpevněných, a to například puklinami nebo cestami vzniklými stářím materiálu. Hodnoty infiltrace jsou závislé na sklonu a drsnosti povodí, půdních vlastnostech a vegetaci. Po skončení srážky dochází k regeneraci infiltračních schopností půdy. [12]

**Výpar (evaporace):** V průběhu celé dešťové události dochází k výparu. Největší význam má ztrátová výška výparem v bezdeštném období, kdy ovlivňuje připravenost povodí k odtoku. [12] Výpar je definován třemi faktory, a to tepelným zářením, rychlostí větru nad povrchem a specifickým vlhkostním gradientem. [14]



Obr. 10: Ztráty vody v přirozeném povodí

**Ostatní ztráty („trvalé“):** Jako ztráty trvalé označujeme odtok vody ze zpevněných ploch, který není dále odváděn kanalizací a zasakuje tak na propustných plochách. Trvalé ztráty mohou vznikat například rozstříkáním při průjezdu dopravních prostředků nebo unášením větrem a bývají často nejvýznamnější složkou hodnoty celkových ztrát dosahující i 15 % srážky. Tento typ ztrát nelze popsat fyzikálními postupy a tvoří hlavní důvod nutnosti kalibrace modelu. [12]

Za **koncentrací dešťového odtoku** označujeme plošný a postupně se soustřeďující odtok do odvodňovacího systému.

V urbanizovaném území je posledním krokem dešťového odtoku **proudění v kanalizaci**. Ve stokové síti dochází k proudění o volné hladině, kdy je voda uváděna do pohybu vlivem gravitace. Stoková síť je lineárního charakteru, proto bývá proudění v ní modelováno 1D. V případě záplav je však potřeba pozorovat proudění vody po povrchu terénu a průběh záplav, proto se využívá 2D modelu.

Modely popisu tvorby efektivního deště jsou uvedeny v kapitole 2.4.2.

## 2.3 Udržitelné hospodaření s dešťovou vodou

V minulosti se k problematice nakládání s dešťovými vodami přistupovalo systémem centrálního odvodnění. Ten využívá především technické odvodňovací prvky převádějící plošný odtok na soustředěný. Dochází tak k urychlení srážkového odtoku a snížení schopnosti transformace povodňové vlny. [1] Nová koncepce se řídí principy udržitelného HDV, které je zakotveno v české legislativě.

### Právní rámec HDV v ČR

Povinnost řešit veškerou novou výstavbu se zahrnutím principů HDV ukládá zákon č. 254/2001 Sb. o vodách, a to jak pro nové stavby, tak pro rekonstrukce nebo mění-li se způsob využívání stavby. Vodní zákon ukládá: „Dále je stavebník povinen zabezpečit omezení odtoku povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (dále jen „srážková voda“) akumulací a následným využitím, popřípadě vsakováním na pozemku, výparem, anebo, není-li žádný z těchto způsobů omezení odtoku srážkových vod možný nebo dostatečný, jejich zadržováním a řízeným odváděním nebo kombinací těchto způsobů.“ [15]

Priority určuje vyhláška ke stavebnímu zákonu č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území, která říká, že stavební pozemek se vymezuje tak,

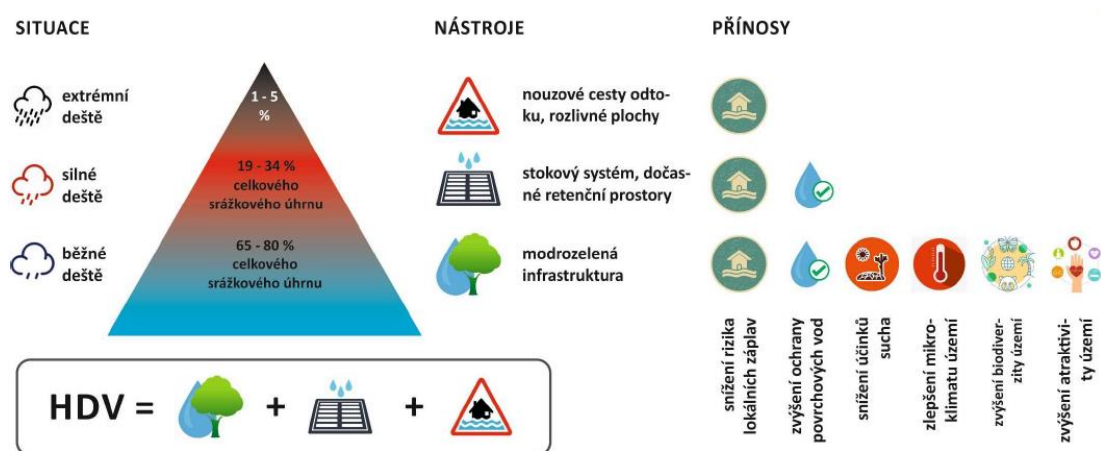


- redukce a transformace odtoku probíhá v místě dopadu deště
- dešťová voda se nemíchá se splaškovou
- množství odtoku z urbanizované oblasti je stejné jako z přirozeného povodí

V rámci HDV lze stanovit 6 strategických cílů:

- dosažení přirozené vodní bilance
- ochrana urbanizovaného území před zaplavením v důsledku přívalových srážek
- ochrana povrchových a podzemních vod
- snížení spotřeby pitné vody užíváním srážkové vody
- zlepšení mikroklimatu ve městech
- podpora využití vody pro zajištění estetických, rekreačních a dalších služeb v urbanizovaných územích [13]

Při rozhodování pro opatření HDV lze stavět na trojbodovém přístupu, kdy dělíme dešťové události do 3 základních kategorií, a to na deště běžné, silné a extrémní dle následujícího schématu (Obr. 12). [20]



Obr. 12: Trojbodový přístup HDV [21]

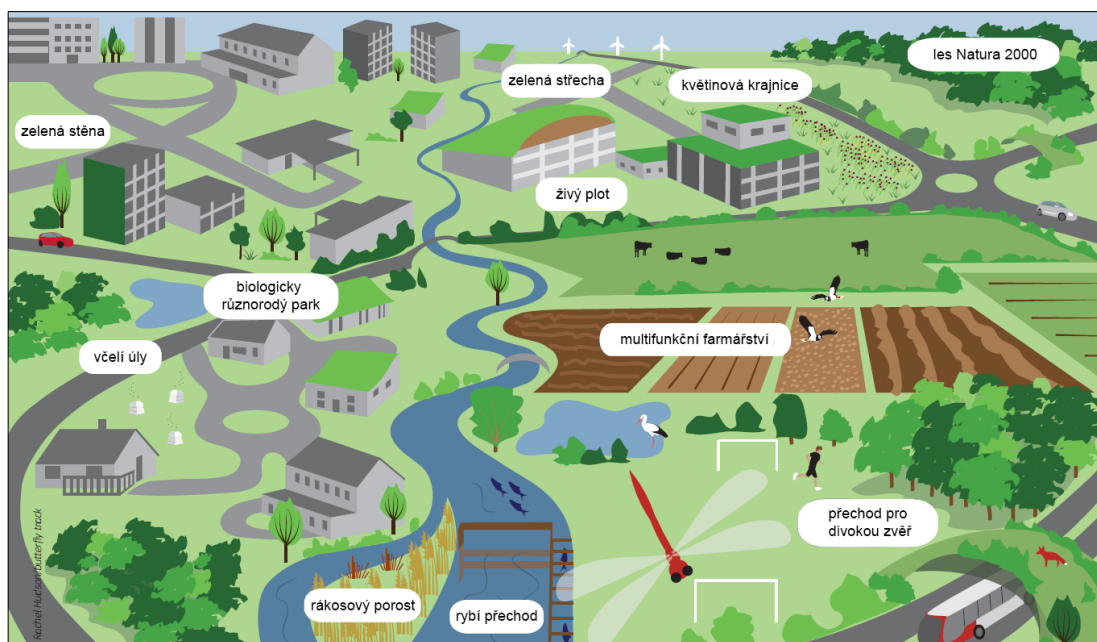
Jednotlivé kategorie jsou probrány v následujících podkapitolách.

### 2.3.1 Běžné deště

Tab. 1: Charakteristika běžných dešťů; upraveno z [22]

deště	četnost výskytu	podíl na úhrnu	cíl	prostředky
běžné	1x za 5 a méně let	65 - 80 %	napodobit přirozené odtokové podmínky	výpar, však, zálivka, MZI

Za běžné deště lze považovat deště s četností výskytu 1x za 5 a méně let, které tvoří podíl na celkovém srážkovém úhrnu 65 až 80 procenty. [22] Opatření HDV má za cíl co nejlépe napodobit přirozené odtokové podmínky, čehož dosahuje pomocí modrozelené infrastruktury. MZI představuje propojení systému hospodaření s dešťovou vodou a sídelní zelení. [23] Zásadní je využití synergických účinků vody a zeleně. Voda ze srážek slouží jako dostupný zdroj vody pro městskou vegetaci, která naopak pomáhá tuto vodu zadržovat, vsakovat a čistit. Sídelní zeleň dále ochlazuje území evapotranspirací, představuje stínění pro stavby a tvoří příznivé mikroklima. Tento přístup zároveň představuje značný společenský přínos svou estetickou, krajnotvornou, rekreační, či ozdravnou funkcí a vytvářením rozmanitého prostředí zvyšuje biodiverzitu ve městě. Systémy propojených prvků opatření MZI nalezneme na úrovni budov, ale i větších územích. [20] Vize zelené infrastruktury dle Evropské unie je k prohlédnutí na Obr. 13.



Obr. 13: Potenciální prvky (modro)zelené infrastruktury; upraveno z [24]

Principem HDV je decentralizovaný způsob odvodnění, který řeší nakládání se srážkovými vodami v místě jejich vniku a jejich návrat do lokálního koloběhu vody. [12] V nejužším slova smyslu jde o podporu výparu a vsakování, v širším slova smyslu potom i o akumulaci, retenci a využívání srážkových vod a regulaci odtoku. [22] Za použití HDV není cílem pouze zmírnit důsledky urbanizace, ale i řešení jejich příčin. Mezi základní principy, které naplňují cíle HDV, patří:

- zabývat se srážkovým odtokem v místě jeho vzniku, tj. u zdroje
- podporovat výpar/evapotranspiraci
- podporovat vsakování srážkového odtoku do půdního a horninového prostředí
- zadržovat a zpomalovat srážkový odtok
- snižovat znečištění povrchového odtoku preventivními opatřeními
- nemíchat různě znečištěné srážkové vody/oddělovat mírně znečištěné a silně znečištěné srážkové vody
- znečištěný srážkový odtok čistit, aby neohrozil povrchové vody, podzemní vody a půdu
- akumulovat a využívat srážkovou vodu jako zdroj vody [20]


Prvky systému HDV pro běžné deště jsou přehledně uvedeny v tabulce Tab. 2:

Tab. 2: Přehled prvků HDV pro běžné deště; upraveno z [20]

prvky HDV (resp. MZI)	vsakovací šachty	podzemní retenční nádrže
	• vsakovací šachty	• podzemní nádrže ss regulovaným odtokem
akumulační nádrže	střechy s retenční vrstvou	průlehy
• nadzemní/podzemní akumulační nádrž • nadzemní/podzemní akumulační nádrže s retenčním prostorem	• vegetační střechy • střechy bez vegetace • vegetační střechy/střechy bez vegetace s akumulační vrstvou	• vsakovací průlehy • vsakovací průlehy s regulovaným odtokem • průlehy s regulovaným odtokem
průlehy s podzemní rýhou/tělesem	povrchové retenční nádrže	povrchové rýhy/tělesa
• vsakovací průlehy s podzemní rýhou/tělesem • vsakovací průlehy s podzemní rýhou/tělesem a regulovaným odtokem • průlehy s podzemní rýhou/tělesem a regulovaným odtokem	• vsakovací povrchové nádrže (s regulovaným odtokem) • suché povrchové nádrže s regulovaným odtokem • povrchové nádrže se stálým nadřazením a regulovaným odtokem • umělé mokřady (s regulovaným odtokem)	• vsakovací povrchové rýhy/tělesa • vsakovací povrchové rýhy/tělesa s regulovaným odtokem • povrchové rýhy/tělesa s regulovaným odtokem
podzemní rýhy/tělesa	plochy pro vsakování	zpevněné propustné povrchy
• vsakovací podzemní rýhy/tělesa (s regulovaným odtokem) • podzemní rýhy/tělesa s regulovaným odtokem	• stávající plochy zeleně • konstruované plochy pro vsakování	• vsakovací • vsakovací s drenáží • drenážní

## 2.3.2 Silné deště

Tab. 3: Charakteristika silných dešťů; upraveno z [22]

deště	četnost výskytu	podíl na úhrnu	cíl	prostředky
 silné	1x za 5-50 let	19 - 34 %	ochrana před zaplavením, snížení vlivu na PV	stoková síť, dočasné retenční prostory

Za silné deště označujeme srážky s dobou opakování mezi 5 a 50 lety, které tvoří 19 až 34 % celkového srážkového úhrnu. [22] Srážky těchto parametrů již nelze zachytit pouze prostředky modrozelené infrastruktury a je proto potřeba využít dalších opatření. Základním prvkem systému odvádění silných dešťů je stoková síť doplněná o dešťové nádrže a další dočasné retenční prostory s regulovaným odtokem do recipientu. [22]

Dešťové nádrže (DN) můžeme rozdělovat dle následující tabulky (Tab. 4).

Tab. 4: Rozdělení dešťových nádrží

na jednotné kanalizaci		na dešťové oddílné kanalizaci
za OK	na síti	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• průtočné</li> <li>• záchytné</li> <li>• kombinované</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• retenční na síti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• retenční na síti</li> </ul>

**Průtočné dešťové nádrže** se navrhují tam, kde se nepředpokládá výrazné znečištění přívalové vlny a na povodí s dobou dotoku do 20 minut. Tento typ nádrže se běžně umísťuje za odlehčovací komoru jednotné kanalizace a osazuje se bezpečnostním přelivem s odtokem do recipientu. Průtočná nádrž plní především funkci čisticí a retenční. [25]

Dalším typem jsou **dešťové nádrže záchytné**, které jsou navrhovány na místech s dobou dotoku do 15 minut, a to v oblastech, kde se neočekává tvorba vlny s významným znečištěním. [26] Umísťují se za odlehčovací komoru na jednotné kanalizaci a osazují se bezpečnostním přelivem s odtokem do recipientu nebo přes škrťací trať na ČOV, případně se navrhují jako bezodtokové. Jsou-li navrženy v hlavním směru, je jejich prázdnění gravitační, jsou-li umístěny ve vedlejší směru, jsou přečerpávány. [25]

**Kombinované dešťové nádrže** se navrhují jako soustava pro zachycení počátečního splachu s intenzivní koncentrací znečištění (záchytná DN) a následným přítokem

srážkové vody s vyrovnanou koncentrací znečištění (průtočná DN). [25] Kombi-  
novaný systém se navrhuje do míst s dobou dotoku delší než 20 minut. [26]

**Retenční dešťová nádrž** slouží k vyrovnání odtoku. Navrhuje se tedy v případě, že je hodnota maximálního přítoku do profilu větší než požadovaný odtok. V retenčních dešťových nádržích je voda akumulována, vsakována do dna a svahů, vypařována a v případě překročení kapacity je přeléván bezpečnostní přeliv a voda je odváděna do recipientu. [25]

Dešťové nádrže můžeme rozdělit rovněž dle uspořádání na stokové síti na dešťové nádrže:

- v hlavním směru
- ve vedlejším směru

Jsou-li výškové poměry na hlavních tratích stoky dostatečné, je možné umístit dešťovou nádrž do **hlavního směru** vedení. Tyto nádrže jsou nepřetržitě protékány s odtokem na ČOV nebo do recipientu. Výtok z nádrže je vždy opatřen regulátorem odtoku, tedy škrťací tratí. [25]

Nejsou-li splněny výškové podmínky na hlavní trati kanalizace, využívá se umístění nádrže do **vedlejšího směru**. V bezdeštném období jsou nádrže prázdné a neprotékány. Za dešťové události se nádrž plní přes bezpečnostní přeliv odlehčovací komory, která je v hlavním směru na odtoku osazena škrťací tratí. [25]


Kromě nádrží lze pro retenci ve stokové síti využít **retenční stoky**, které jsou záměrně předimenzovány a navrhují se v kombinaci s odlehčovacími komorami s vysokou přelivnou hranou a se škrťací tratí na odtoku. Vyprázdnění akumuláční stoky by po skončení srážkové události nemělo trvat déle než 15 hodin. Podle umístění odlehčení lze akumuláční stoky rozdělit na stoky s odlehčením na odtoku nebo na přítoku. [25]

Mezi opatření související se silnými deště lze zařadit též retenci dešťových vod pomocí ochranných retenčních nádrží. Vzhledem k tomu, že ve většině případů jde o objemově významné objekty, byly zařazeny k opatřením proti extrémním srážkám, kde je jejich uplatnění výraznější.



## 2.3.3 Extrémní deště

Tab. 5: Charakteristika extrémních dešťů; upraveno z [22]

deště	četnost výskytu	podíl na úhrnu	cíl	prostředky
 extrémní	1x za 50 a více let	1 - 5 %	ochrana obyvatel a kritické infrastruktury	nouzové cesty odtoku, dočasné retenční prostory

Extrémní deště se vyskytují 1x za 50 a více let a tvoří tak 1 až 5 % celkového srážkového úhrnu. [22] Srážky o těchto parametrech nedokáže stoková síť s retenčními prvky pojmout ani ve spolupráci s MZI, proto vznikají prvky sloužící ve smyslu protipovodňové ochrany. Patří mezi ně dočasné retenční prostory nebo například nouzové cesty odtoku, jinak také povodňové koridory.

Dočasné retenční prostory plní kromě akumulární funkce i funkci záchytnou, neboť zachytávají smyv. [27]

**Dočasné retenční prostory** slouží ke krátkodobému zachycení povodňové vlny, která je postupně vypouštěna a jejich působením dochází ke snížení kulminačního průtoku. [27] Vzhledem k tomu, že běžně nemají prostor stálého nadržení, je jejich plocha za běžných okolností využívána například k rekreačním účelům. Sloužit tak mohou například jako park.

Dalšími dočasnými retenčními prostory se mohou stát obnovovaná nebo nově budovaná **postranní ramena vodních toků, tůň, či mokřady**, které kromě protipovodňové ochrany zvyšují kvalitu vody, druhovou rozmanitost a snižují efekt městského tepelného ostrova. Mezi úspěšné projekty tohoto typu patří například dešťové tůně v plzeňském Lochotínském parku (Obr. 14, Obr. 15). [28]



Obr. 14: Tůň v Lochotínském parku I [29]



Obr. 15: Tůň v Lochotínském parku II [29]

Velkokapacitním řešením může být flood park, tedy park, který může být v případě potřeby zaplaven vodou. Na Obr. 16 je návrh tohoto typu parku ve městě Menlo Park, který by měl být využíván ke sportovním aktivitám. Na Obr. 17 je potom k vidění flood park v Atlantě.

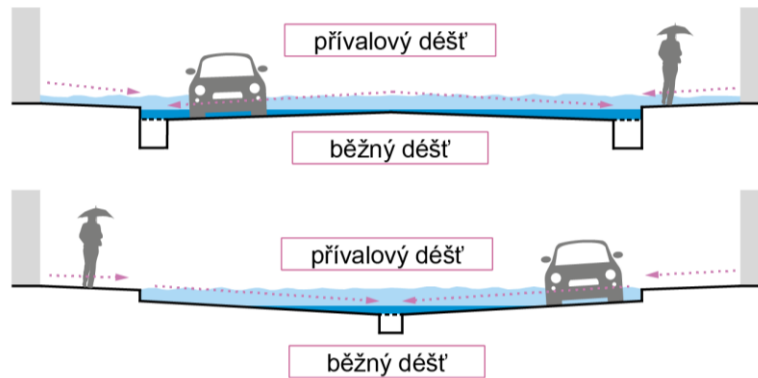


Obr. 16: Sportovní park v Menlo Park [30]



Obr. 17: Flood park v Atlantě [31]

Prvky integrovanými do městských ulic jsou **povodňové koridory**. Uliční prostory jsou koncipovány tak, aby za běžných podmínek mohla být využívána celá jejich plocha (Obr. 18). Při extrémních srážkách voda postupuje návrhovými odtokovými cestami ve vymezeném ochranném prostoru záplavy. Únikové povodňové cesty mohou plnit zároveň funkci MZI, tedy mohou podporovat vsakování a výpar a mohou plnit i funkci estetickou a volnočasovou. Nouzové odtokové cesty s MZI jsou využívány například v Kodani (Obr. 19).

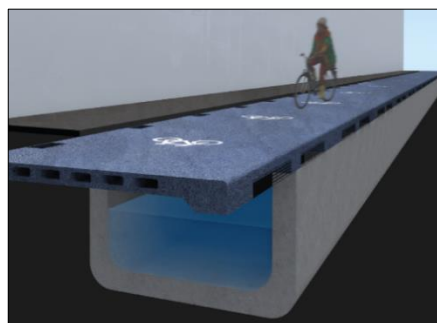


Obr. 18: Uliční profil standardní (nahore) a upravený na povodňový koridor (dole); upraveno z [22]



Obr. 19: Povodňový koridor s MZI za bezdeštného období (vlevo) a za dešťové události (vpravo) [30]


V Kodani rovněž implementují například podpovrchové povodňové koridory. Jedná se o kanály vedené pod pruhy pro cyklisty nebo pod chodníky, jak lze vidět na Obr. 20. Takto koncipovaný povodňový koridor ovšem plní pouze funkci ochrannou. [32]



Obr. 20: Podpovrchový povodňový koridor [32]

## 2.3.4 Deficit srážek

Tab. 6: Charakteristika deficitu srážek; upraveno z [22]

deště	četnost výskytu	podíl na úhrnu	cíl	prostředky
 deficit	-	-	dostatek vody, mikroklima	akumulace vody, MZI

Aby byl výčet jednotlivých stavů kompletní, je potřeba zmínit rovněž srážkový deficit. Ačkoli se dlouhodobé průměrné hodnoty srážkového úhrnu výrazně nemění, budou do budoucna vznikat delší bezdeštná období, která je nutno překlenout. Cílem adaptačních opatření ve městech je zmírnění efektu městského tepelného ostrova, čehož lze docílit právě implementací MZI, s důrazem na zadržování a využívání dešťové vody.

### 2.3.5 Ochrana proti extravilánovým vodám retencí

Důležité je zmínit rovněž retenční opatření proti vodám z extravilánu, která mohou výrazně snížit riziko ohrožení intravilánu za extrémních srážek.

Do skupiny ochranných retenčních nádrží patří:

- suché retenční nádrže
- retenční nádrže s přesně vymezeným ochranným prostorem
- protierozní nádrže
- dešťové nádrže
- infiltrační výtopové zdrže
- nárazové nádrže

**Suché retenční nádrže**, nebo také poldry, slouží stejně jako dočasné retenční prostory ke krátkodobému zachycení povodňové vlny, která je postupně vypouštěna a jejich působením dochází ke snížení kulminačního průtoku. Vzhledem k tomu, že běžně nemají prostor stálého nadržení, je jejich plocha za běžných okolností využívána k zemědělským, či lesnickým účelům. Sloužit tak mohou jako pastvina nebo jako prostor pro výsadbu rychle rostoucích dřevin.

Pro návrh **retenční nádrže s přesně vymezeným ochranným prostorem** je nutné znát kulminační povodňový průtok. Nádrž je schopna zcela nebo částečně zachytit povodňovou vlnu v ovladatelném, resp. neovladatelném, retenčním prostoru nádrže, kde ji transformuje, a po průchodu povodňové vlny se řízeně vyprazdňuje. [27]

**Protierozní nádrže** slouží k ochraně proti vodní erozi a všem jejím průvodním jevům, jako je například zachycení splavenin, jejichž množství je závislé na stupni erozního narušení povodí, na reliéfu a sklonu povodí, ale také intenzitě dešťových srážek, půdě, vegetačním krytu, použitých protierozních opatřeních apod. Vsakuje-li se část objemu vody do půdního a horninového prostředí, jde o vsakovací protierozní nádrž. [27]

Stejně jako proti silným deštům, chrání urbanizované území proti extrémním deštům **dešťové nádrže** popsané v kapitole 2.3.2, které slouží k zachycení a krátkodobé akumulaci vody. [27]

**Infiltrační výtopové zdrže** krátkodobě zadržují přebytek přitékající vody. Tuto vodu lze částečně využít k závlaze luk v údolních nivách řek a lužních lesů. [27]

K vyrovnání nárazových průtokových vln ve vzdálených profilech při řízení průtoků jsou navrhovány **nádrže nárazové**. [27]

## 2.4 Nástroje pro popis srážko-odtokových jevů

Pro pochopení charakteru srážko-odtokových jevů na daném území používáme simulační modely. Každý model je nutné kalibrovat a nejlépe i verifikovat. Ke kalibraci lze použít historická data dešťových událostí. V případě, že tato data nejsou k dispozici, je možné získat data vlastní, a to tzv. monitoringem. Může se však stát, že jediným zdrojem dat pro kalibraci jsou očití svědci, či obrazové záznamy, a to zejména v případech extrémních událostí.

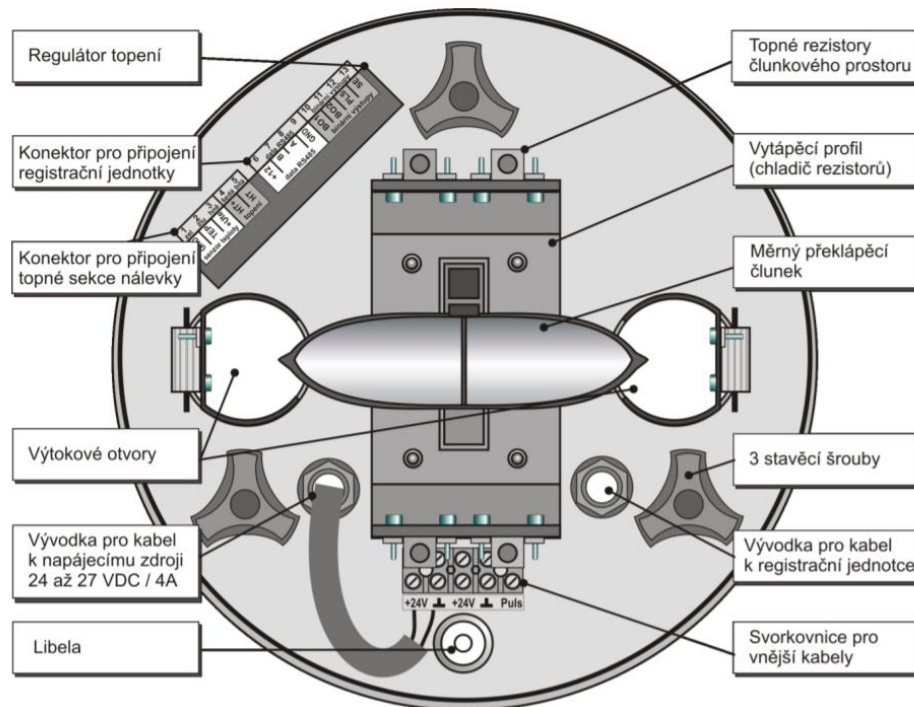
### 2.4.1 Monitoring

Sledování a vyhodnocování stavu měřené skutečnosti a jejího vývoje se nazývá monitoring. Výstupem monitoringu jsou časové řady dat, které slouží ke kalibraci simulačních modelů. Pro kalibraci modelu je důležité získat data o průběhu různých srážek, od vytrvalé slabé srážky po přívalový déšť. Pro podmínky České republiky je nejvhodnější dobou pro monitoring období dubna až října. [33] Za účelem kalibrace a verifikace modelu jsou používána data měřená při historických dešťových událostech, případně jsou informace o srážkách získávány ze svědectví očitých svědků.

Přístroje, kterými měříme srážky, nazýváme srážkoměry. [34] Přesnost popisu plošného rozdělení deště je závislá na jejich umístění a hustotě rozmístění v zájmovém území. Získaná data mají, až na data z meteorologických radarů a mikrovlnných spojů, bodový charakter.

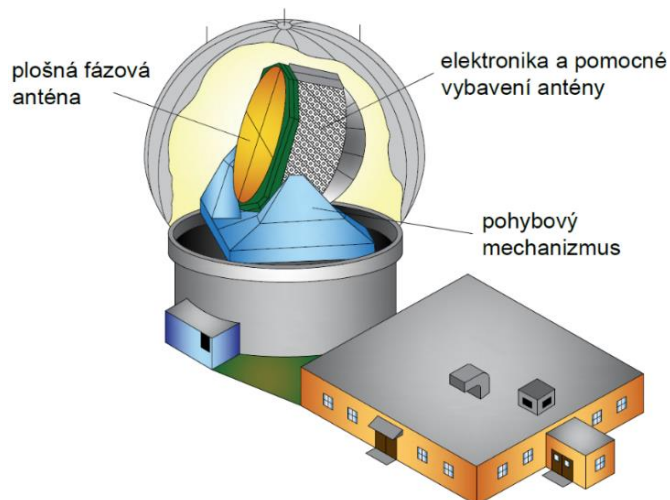
**Překlopný člunkový srážkoměr:** Překlopný člunkový srážkoměr je nejvhodnější volbou pro použití v urbanizovaném území. Přístroj sestává z válcové nádoby osazené trychtýřem o zachytné ploše 200 nebo 500 cm<sup>2</sup>, která zabezpečuje nátok do vahadla se dvěma nádobkami, tzv. překlopného člunku. Člunek se překlopí vždy po naplnění

jedné nádobky a zároveň tak dojde k jejímu vyprázdnění. Současně se začne druhá nádobka vahadla plnit. Celkový úhrn srážky je potom dán počtem překlopení při dešťové události. Intenzitu deště lze stanovit z frekvence překlápění člunku. Pokud chceme měřit pevné srážky, je potřeba mít záchytnou plochu srážkoměru opatřenou vyhříváním a teplotním čidlem. [34] [35] Při měření pevných srážek je potřeba zohlednit výpar a časový posun odtoku pevných srážek z reálném povodí. Schéma základní desky vyhřívaného typu představuje Obr. 21.



Obr. 21: Základna vytápěného srážkoměru SR03/V [36]

**Meteorologický radar:** Na schopnosti hydrometeorů odrazet radiové vlny je založeno měření srážek pomocí meteorologických radarů (schéma radaru na Obr. 22).

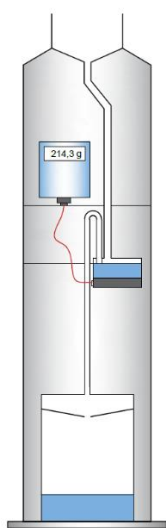


Obr. 22: Schéma meteorologického radaru; upraveno z [37]

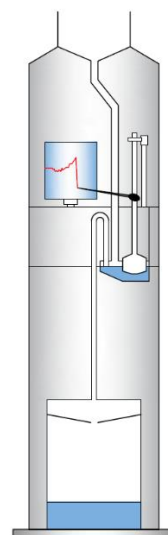
Radarem je vyslán do atmosféry úzký svazek krátkých elektromagnetických pulzů, který je srážkou odražen. Odraženou energii radar anténou přijímá a na základě jejího množství a rychlosti odrazu srážku lokalizuje a odhaduje její intenzitu. Meteorologický radar dále dokáže zjistit i rychlost a směr pohybu srážky nebo její plošné rozložení. Ačkoli jde o metodu měření srážek, která nevyžaduje tak hustou síť stanic jako ostatní metody, jde o finančně náročnější technologii s vyššími nároky na instalaci a vyhodnocování dat. Podle vlnové délky vysílaného signálu rozlišujeme pásmo C s vlnovou délkou 5 nebo 3 cm a pásmo X s kratší vlnovou délkou (do 2,5 cm). Horizontální rozlišení dvou meteorologických radarů měřících v pásmu C provozovaných ČHMÚ (Brdy a Skalka) je 2 x 2 km (po optimalizaci 1 x 1 km), a proto nejsou tyto radary pro měření v městském prostředí vhodným řešením. Pro „jemnější“ rozlišení je nutné zakoupit radar měřící v pásmu X, který je sice dostupnější, oproti bodovým srážkoměrům však výrazně dražší. [34] [38]

**Váhový srážkoměr:** Záznam změn hmotnosti vody v nádobce pomocí elektronických vah s přesností až 0,1 g využívá váhový srážkoměr. Měření tímto srážkoměrem je velmi citlivé, zároveň však investičně nákladné. Váhové srážkoměry lze těžko zbavovat nepříznivých vlivů jako je působení větru, vnikání nečistot nebo výpar. [34] Schéma váhové srážkoměru je na Obr. 23.

**Ombrograf:** Schéma ombrografu je k vidění na Obr. 24.



Obr. 23: Schéma váhového srážkoměru



Obr. 24: Schéma ombrografu; upraveno z [39]

Ombrografem rozumíme komoru s plovákem a registračním zařízením, na níž je nasazena kónická sběrná plocha, po které stéká zachycená voda do komory. V komoře

je plovák ovládající registrační pero, které zaznamenává úhrn srážek za 24 hodin na registrační papír dělený po 1 mm úhrnu. Při naplnění komory dojde k zahlcení násosky, která komoru následně poměrně rychle vyprázdní. Nevýhoda ombrografů spočívá v jejich vysoké poruchovosti (ucpání násosky, porucha plováku...) a nepřesném vyhodnocování záznamu, a proto se od jejich použití ustupuje. Novější ombrografy jsou místo plováku vybaveny ultrazvukem, který měří vzdálenost hladiny, tedy hloubku vody v komoře, a je provozně spolehlivější. [34]

**Optický srážkoměr (disdrometr):** Další metodou měření srážek je použití disdrometrů, které jsou založeny na principu laserového paprsku. Ten je schopen zaznamenávat tvar, velikost i rychlost vodních částic větších než 0,16 mm, které paprskem proletí. Díky těmto schopnostem je možné měřit nejen vydatnost, ale i typ srážky. Do měření jsou však zahrnuty chyby způsobené například průletem hmyzu nebo částeczek prachu apod. [34]

**Akustický srážkoměr:** Zajímavým způsobem měření srážek je měření akustickými srážkoměry spočívajícími na principu „bubnování“ kapek o membránu nebo vodní hladinu. Pod plochu nárazu kapek je umístěn mikrofon zaznamenávající zvuky, z jejichž intenzity lze následně vyhodnotit intenzitu a úhrn srážky. Pro městské odvodnění je tato metoda nevhodná už kvůli vysoké citlivosti na okolní hluk. [34]

**Mikrovlnné spoje mobilních sítí:** Vysoký potenciál má měření srážek pomocí komerčních mikrovlnných spojů, jako je síť spojů pro mobilní telefony, která neustále expanduje. Kapky absorbují část mikrovln a dochází k rozptylu svazku signálu, proto srážková aktivita tlumí mikrovlnný signál mezi jednotlivými stanicemi úměrně své intenzitě. Naměřená hodnota signálu je porovnávána s referenčními hodnotami naměřenými v průběhu slunečných dní. [40] Metoda využívající mikrovlnné spoje zachycuje časoprostorovou variabilitu srážek lépe než běžné srážkoměry právě díky hustotě sítě, což je výhodné u silných srážek, které jsou rozhodující pro návrh městského odvodnění. [41]

## **Umístění srážkoměrů**

Členitost zájmového území a potřeba jeho prostorového pokrytí jsou významnými faktory ovlivňujícími počet a rozmístění srážkoměrů. Do malých povodí umístíme za účelem kalibrace jeden srážkoměr, do větších potom alespoň tři. [42]

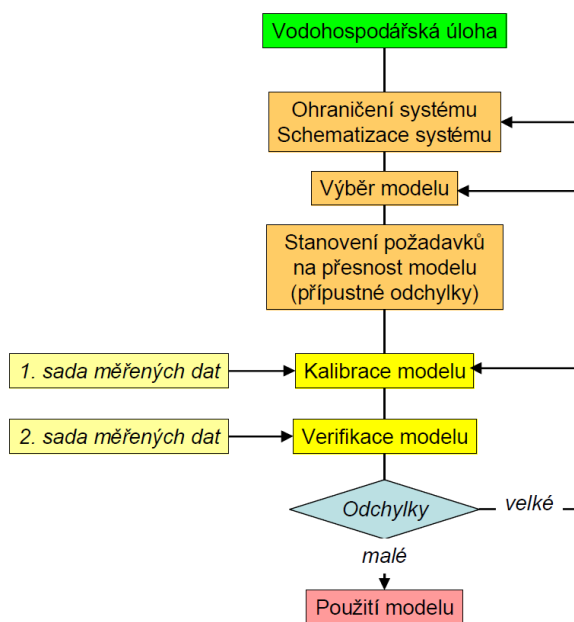


Umístění srážkoměrů má svá pravidla a doporučení. Je vhodné přístroj umístit do volné plochy, od ostatních objektů do vzdálenosti tří až pěti násobku výšky objektu nad sběrnou plochou srážkoměru. Doporučuje se srážkoměr umisťovat jeden metr nad terén, což je v urbanizovaném území těžko realizovatelné, proto se ve městech instaluje většinou na objekty do tří metrů výšky nad terénem. Při výběrů lokality je nutné dbát na dostatečnou vzdálenost od závlahových systémů nebo od ornitologicky významných koridorů. Správnou funkci srážkoměru mohou narušit i otřesy z přilehlých frekventovaných komunikací apod. Neméně podstatným kritériem je snaha minimalizovat možnost odcizení nebo poškození vandalismem. [34]

Odtokové charakteristiky, jako je průtok, rychlost a hloubka proudění, jsou důležité pro kalibraci a verifikaci. U běžných událostí dochází k monitoringu těchto charakteristik přímo na stokové síti. U extrémních srážek je tento způsob monitoringu velmi problematický, proto zde nejsou metody monitoringu na síti detailněji rozebírány. V případě extrémních událostí je časté využívat ke kalibraci obrazové záznamy a poznatky očitých svědků. Způsoby měření odtoku na stokové síti jsou popsány v mé bakalářské práci Posouzení srážko-odtokových vztahů stokového systému obce Bukovno–Líny [43].

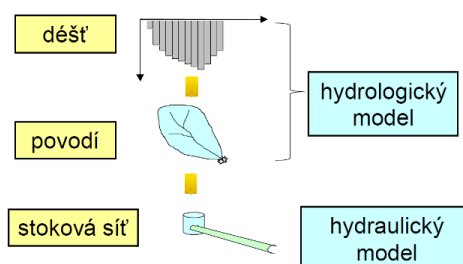
## 2.4.2 Modelování

Simulační modely jsou mocnými nástroji, a právě proto je nutné používat je kriticky. Proces tvorby simulačního modelu je znázorněn na schématu na Obr. 25.



Obr. 25: Postup při matematickém modelování [33]

Při modelování srážko-odtokových jevů rozlišujeme dvě základní modelované vrstvy, a to hydrologickou a hydraulickou, jak je ukázáno na Obr. 26. V relevantních případech lze model doplnit o modely transportu, či transformace znečištění. [33]



Obr. 26: Simulační srážko-odtokové modely [33]

## Hydrologické modely

Transformací reálného deště na efektivní, tedy tvorbou povrchového odtoku, a následnou transformací efektivního deště na odtokový hydrogram, tedy jeho koncentrací, se zabývají hydrologické modely. [33]

Tvorbu přímého odtoku simulují metody, které většinou zdůrazňují převažující proces tvorby dešťových ztrát v povodí. Mezi takové metody patří například:

**Metoda počátečních ztrát:** Nejjednodušší používanou metodou v případě významných počátečních ztrát je metoda počátečních ztrát. Metoda nepřihlíží k trvalým ztrátám a dále předpokládá, že po dosažení počátečních ztrát veškerá další dešťová voda odtéká. Další zjednodušení spočívá v povrchové retenci, kdy se předpokládá naplnění povrchových prohlubní v povodí ve stejný okamžik. Metoda počátečních ztrát se používá především pro povodí s vysokým podílem ploch s vegetačním pokryvem, kde jsou počáteční ztráty tvořeny smáčením a povrchovou retencí. [12]

**Metoda konstantních ztrát:** Oproti předchozí metodě jsou v metodě konstantních ztrát uvažovány trvalé ztráty jakožto dominantní složka celkových ztrát. Trvalé ztráty zde nejsou ovlivňovány aktuální dešťovou událostí. Metoda nejprve uvažuje počáteční ztráty smáčením a po jejich zahrnutí jsou ostatní ztráty v každém časovém intervalu definovány jako konstantní. [12]

**Metoda konstantního podílu ztrát:** Metoda konstantního podílu ztrát, jinak taky nazývaná procentová, se používá v průměrných městských podmínkách, kde je srážkový odtok závislý především na aktuální dešťové intenzitě. Jako metoda

konstantních ztrát uvažuje nejprve počáteční ztráty smáčením. K ostatním ztrátám přihlíží jako k podílu aktuální dešťové intenzity v jednotlivých časových intervalech. Tento podíl je určen tzv. redukčním faktorem  $\phi$ . Dominantními ztrátami jsou tedy rovněž ztráty trvalé. [12]

**Hraniční metoda:** Počáteční ztráty jsou v hraniční metodě uvažovány pouze smáčením. V každém časovém kroku jsou zohledňovány ztráty trvalé, které jsou vyjádřeny redukčním faktorem. Pro výpočet povrchové retence používá hraniční metoda samostatný model plnění terénních depresí. [12]

Matematickým popisem transformace efektivního deště do odtokového hydrogramu v daném místě povodí jsou modely **koncentrace přímého odtoku**. Koncentrace přímého odtoku je tvořena dvěma procesy, a to translací, tj. časovým posunem, a retencí odtoku. V oblasti městského odvodnění jsou používány simulační modely lineární a časově invariantní. Lineárním chováním rozumíme lineární výstup systému jako odezva na lineární vstup. Časová invariance potom značí, že systém reaguje na určitý vstupní signál v každém časovém okamžiku stejným způsobem. [12]

**Translace** je popisována nejčastěji translačním modelem metodou izochron stanovující doby dotoku jednotlivých vodních částic od určitého bodu povodí k jeho uzávěrovému profilu. Jako izochrony označujeme spojnice všech bodů povodí se shodnou dobou dotoku. Na základě izochron jsou stanovena elementární odtoková povodí, tzv. izochronní plochy. Voda odtéká z výše položených izochronních ploch do nižších, a to vždy za stejný časový interval. Po dopadu hydrologické srážky tak jako první přispívá odtoku nejbližší položené elementární povodí, později přispívají i výše položená povodí, až nakonec k odtoku přispěje i nejvzdálenější, tedy nejvýše položené, elementární povodí. Odtokový hydrogram je vytvořen na základě translace a superpozice tohoto jevu. Nejprve se stanoví izochronní plochy  $A_i$  mezi izochronami a následně se vykreslí křivka jejich relativního rozdělení  $A_i/A$  v čase. Jejím vynásobením pořadnicemi hyetogramu efektivního deště lze následně vytvořit diagram času a plochy, který udává informaci o tom, v jakém časovém sledu a jakým podílem přispívají jednotlivé elementární plochy povodí  $A_i$  k odtoku v uzávěrovém profilu. [12] [14]

Většina programů pro tvorbu simulačních modelů využívá lineárního popisu procesu **retence**. Pro lineární popis lze použít představu nádrže (rezervoáru), kinematické vlny nebo jednotkového hydrogramu.

**Metoda lineárního rezervoáru** využívá skutečnosti, že se odtoková křivka zapříčiněná krátkými srážkami s přibližně shodnou intenzitou velmi podobá odtokové křivce z nádrže. Charakteristikami křivky jsou strmé „plnění“ a pozvolnější exponenciální „prázdňení“. [14] Linearitou se v tomto případě rozumí, že množství odtoku je proporcionální k objemu zadržené vody. [44] Metoda lineárního rezervoáru nepřihlíží k translaci odtoku a tím pádem dochází ke sjednocení maximálních hodnot vstupního hyetogramu a výsledného hydrogramu. Zatížení takovou chybou lze eliminovat tím, že místo hyetogramu použijeme na vstupu hydrogram z diagramu času a plochy, nebo použitím metody kaskády rezervoárů. [12]

Využijeme-li představy série stejných lineárních rezervoárů, tedy **kaskády lineárních rezervoárů**, kdy výtok z jednoho rezervoáru je současně vtokem do dalšího, vznikne zpoždění odtoku, které je bližší skutečným odtokovým poměrům. [12] Vstupem do modelu je přítok do prvního rezervoáru ve formě hydrogramu efektivního deště. Výsledný odtokový hydrogram vznikne lineární superpozicí hydrogramů jednotlivých rezervoárů. [14]

Další používanou metodou je **metoda kinematické vlny**, která počítá s rovnicí kontinuity a rovnicí hybnosti. Je založena na úvaze, že na zpevněném povrchu vytvoří ustálený stav podobný průtoku otevřeným obdélníkovým korytem velké šířky a nepatrné hloubky. Zjednodušení vzhledem k velkému vlivu tření spočívá v rovnosti sklonu čáry energie a sklonu fiktivního koryta. [12] [45]

Vytváříme-li odtokovou křivku na základě jednotkového efektivního deště (netto deště) používáme **metodu jednotkového hydrogramu**. Jednotkový dešť je časově konstantní a z jeho jednotkového hydrogramu lze na základě empiricky stanovené funkce odvodit odtokové hydrogramy libovolných dešťů. [14] Tuto metodu je vhodné používat pouze pro hydrologicky homogenní povodí, proto není vhodná pro urbanizovaná území. [12]

## **Hydraulické modely**

Obecně lze říct, že 1D simulační modely se používají k modelování proudění ve stokové síti a v říčních korytách, 2D modely jsou vhodné pro modelování rozlivu vody po terénu a 3D modely jsou potom využívány k modelování objektů stokové sítě, jako jsou odlehčovací komory nebo objekty na ČOV. Dimenzionalitu modelu však vybíráme na základě několika předpokladů:

- Jsou-li radiální složky rychlosti oproti axiální složce zanedbatelné a předpokládáme-li v příčném profilu konstantní hladinu a průměrnou rychlost proudění, používají se 1D simulační modely. [46]
- Pokud jsou svislé složky rychlosti zanedbatelné oproti složkám podélným a příčným, uvažujeme-li proudění relativně mělké vody a pokud použijeme průměrné svislicové rychlosti, používáme 2D modely. [46]
- Nelze-li zanedbat žádnou ze složek rychlosti proudění a dochází-li ke stratifikaci vodního sloupce, ať už z hlediska teploty, či znečištění apod., používají se 3D modely. [46]

### 2.4.3 Kalibrace a verifikace modelu

Kalibrace a verifikace jsou nedílnou součástí tvorby každého simulačního modelu. Při kalibraci modelu jde o vědomou úpravu parametrů za účelem redukce nejistot, a to tak, aby výstupy ze simulačního modelu co nejvěrněji odpovídaly datům získaných monitorovací kampaní. Kalibraci lze provádět metodou mechanickou úpravou parametrů v rámci subjektivního odhadu nebo matematickými optimalizačními technikami dle typu simulačního modelu. Definicí verifikace modelu udává například příručka Posouzení stokových systémů urbanizovaných území: „*Verifikace modelu umožňuje přezkoušení modelu pro jiná období a zatížení systému než při kalibraci. Výpočty při verifikaci se provádějí s jinou sadou měřených vstupních dat, avšak s kalibrovanými parametry modelu a porovnává se výsledek simulace s měřenými daty. Na základě verifikace je pak posouzeno, zda daný simulační model je pro řešení stanovené úlohy dostatečně přesný a může být použit.*“ [33]

### 2.4.4 Používané softwary

V této kapitole jsou krátce popsány některé softwary pro 2D simulační modely.

#### HEC-RAS

Software HEC-RAS byl vyvinut centrem Hydrologic Engineering Center, který je divizí institutu vodních zdrojů Institute for Water Resources, U. S. Army Corps of Engineers. HEC-RAS počítá tzv. rovnice mělkých vod, které jsou založeny na zjednodušujících předpokladech:

- kapalina je nestlačitelná
- v celém objemu je tlak rozdělen hydrostaticky a hustota kapaliny je neměnná

- turbulentní pohyb kapaliny je aproximován pomocí koeficientu příčného míchání
- vektor rychlosti kapaliny se předpokládá zanedbatelný oproti vodorovným složkám rychlosti, a tedy se neuvažuje [47]

Hydraulické výpočty běží buď přes úplné Saint-Venantovy rovnice, nebo přes difuzní vlnu. Saint-Venantovy rovnice jsou časově náročné na výpočet a výpočet je poměrně nestabilní. Rovnice difuzní vlny jsou oproti tomu stabilnější a výpočet je rychlejší, lze je však využít pouze při malém podélném sklonu. Pohyb je pak řízen jen gravitačním působením a třecím odporem mezi dnem a kapalinou, vliv turbulentní kinetické viskozity je zanedbán.

## **MIKE PLUS**

MIKE PLUS je systém pro modelování v 1D a 2D (resp. i 3D) od dánské společnosti DHI. Program umožňuje výpočet proudění mělké i hluboké vody, výpočet teplotní cirkulace, znečištění, ale i pohybu sedimentu. Program umožňuje i generovat výpočetní síť, tzv. mesh, nebo vytvářet různé 2D a 3D vizualizace.

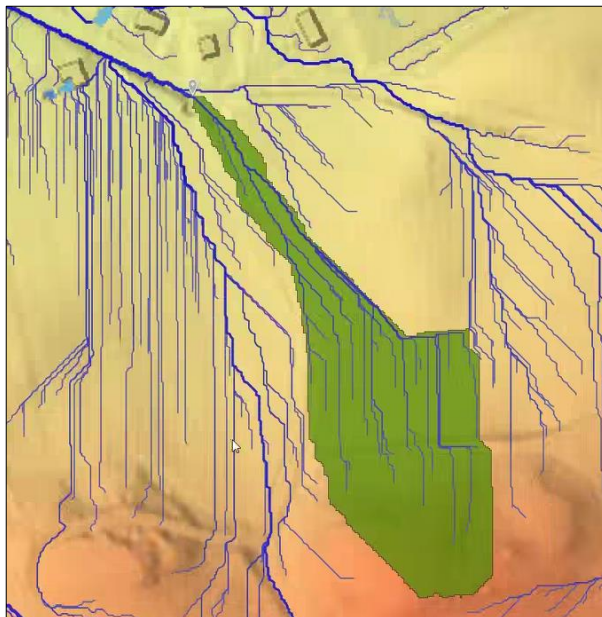
Pokud dochází ve vodním sloupci ke stratifikaci nebo cirkulaci, používá se 3D model. Jde-li o mělkou vodu, jako je například odtok dešťové vody v městském povodí a extravilánu, uvažuje se vodní sloupec homogenní (teplota, salinita apod.) a používá se 2D model.

MIKE PLUS počítá hydrauliku pomocí Navier-Stokesových rovnic v kombinaci s rovnicí kontinuity. Základními výstupy jsou hloubka a hladina vody, průtoky a rychlosti, hustota, teplota, či například salinita.

## **SCALGO Live**

Kromě výše uvedených softwarů jsou používány také programy, které neřeší hydrodynamickou část výpočtu, a to například program SCALGO Live od firmy SCALGO. Povodí lze zatížit blokovým deštěm bez uvažování vsaku, či výparu. Výsledkem výpočtu je zjištění odtokových cest v terénu, velikosti povodí k jednotlivým bodům mapového rozhraní (Obr. 27) nebo například vodní sloupec zachycený v terénních depresích. Z vodohospodářského hlediska není poskytnuta informace o průtocích, rychlostech apod. Uživatelské prostředí těchto programů bývá velmi intuitivní, a tedy i jednoduché na používání. Programy jako SCALGO mohou

být cennými pomocníky při analýze záplav území a rozvaze návrhu opatření proti záplavám nebo například při analýze důsledků plánovaných zásahů do terénu.



Obr. 27: Odtokové cesty a povodí k danému bodu vypočtené v programu SCALGO Live

### 3 Cíle práce

Hlavním cílem této závěrečné práce je vytvoření simulačního modelu srážko-odtokových poměrů za účelem návrhu opatření proti záplavám způsobeným extrémními srážkovými událostmi v obci Choteč u Prahy. Při návrhu bude co možná nejvíce využít morfologický potenciál povodí s ohledem na vztahové poměry v rámci vlastnictví pozemků.

Pro naplnění hlavního cíle je nutné dosáhnout následujících dílčích cílů:

→ orientace v území, kde bude probíhat návrh opatření, a zaměření stávajícího systému odvodnění

Cílem je vytvoření představy o morfologii povodí a prostorovém uspořádání stávajících prvků odvádějících dešťovou vodu z území.

→ stavba modelu zájmové oblasti a stávajícího systému odvodnění

Cílem je příprava modelu povodí a stávajících prvků odvodnění.

→ kalibrace modelu

Cílem je vědomě upravit vstupní parametry modelu tak, aby odtokové cesty a charakteristiky v nich co nejvíce odpovídaly skutečnosti.

→ návrh opatření proti záplavám

Cílem je navrhnout opatření proti záplavám způsobeným extrémními dešťovými událostmi a ověřit jejich funkci.

→ analýza efektivity

Cílem je posoudit zabezpečení navržených opatření.



## 4 Zájmové území Choteč

### 4.1 Charakter území

Obec Choteč se nachází ve středočeském kraji, okresu Praha-západ, a to 17 km jihozápadně od centra Prahy a 5 km severozápadně od města Černošice (Obr. 28).

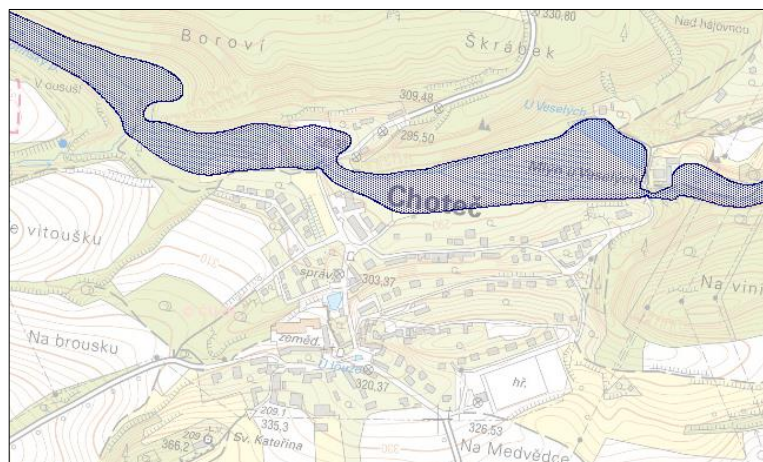


Obr. 28: Ortofotografická mapa oblasti Choteč [48]

Geograficky se oblast Chotče nalézá na území středočeské oblasti Českého masivu a patří do podsoustavy Brdská oblast. [49] Ta se rozprostírá po středozápadních Čechách na ploše 3 438 km<sup>2</sup>. Reliéf Brdské oblasti je velmi různorodý. [50] Obec leží v údolí Radotínského potoka, levobřežního přítoku Berounky, ve výrazné terénní depresi. Severně od obce se rozprostírá lesnatý porost tvořený převážně listnatými stromy. Lesní porost a stromořadí nalezneme v menší míře i v dalších místech v okolí Chotče, kde jsou však dominantní plochy využívané jako pole, či louky.

Většina zastavěného území obce se rozkládá na půdě typu rendzina. Jde o půdu bohatou na živiny, často jde ale o horizont mělký a kamenitý. [51] Kolem vodního toku nalezneme nivní půdy, které se běžně nalézají v nivách vodních toků s nivním režimem (střídavé záplavy oblasti toku). [52] Níže po toku, v oblasti mlýna U Veselých, je glejová půda, která se běžně nalézá v terénních depresích s mělkou hladinou podzemní vody. [53] V okolí obce se nachází převážně hnědozem a černozem. Tyto půdy jsou vhodné pro zemědělství, neboť mají výraznou humusovou složku bohatou na potřebné živiny.

Obec Choteč se nachází mimo poddolovaná území. [54] Při průtocích od  $Q_5$  se voda z Radotínského potoka rozlije do přilehlého území koryta, ale ani při  $Q_{100}$  záplava nedosáhne zastavěného území. [55]



Obr. 29: Zaplavené území  $Q_{100}$  [55]

Místní podnebí je velmi teplé, zároveň však mírně suché s průměrnou roční teplotou 8 až 9 °C. Průměrné roční úhrny srážek dosahují více než 560 mm. Léto je zde dlouhé, teplé a mírně suché. Přejídná období jsou krátká a mírně teplá. Zima je krátká, mírně teplá a velmi suchá, s krátkým trváním sněžové pokrývky. [56]

Obec nedisponuje veřejným vodovodem pro zásobení obyvatelstva pitnou vodou. Pitná voda je v současnosti zajišťována lokálně ze studní. Obecní vodovod zásobuje obec užitkovou vodou. Projekčně je připravena výstavba veřejného vodovodu pro pitnou vodu napájeného z vodojemu v obci Vysoký Újezd, který je zásoben ze štolového přivaděče z vodního díla Želivka. [57]

Obec Choteč rovněž nedisponuje splaškovou kanalizací ani ČOV. V současné chvíli jsou splašky akumulovány v bezodtokých jímkách u jednotlivých nemovitostí a jsou pravidelně vyváženy. Projekčně je připravena výstavba veřejné oddílné splaškové kanalizace, která bude odvádět odpadní vody na ČOV Vysoký Újezd. [57]

## 4.2 Systém odvádění srážkových vod

Odvádění srážkových vod z obce je nesouvislé a je tvořeno dílčími prvky, jako jsou zatravněné příkopy, betonové žlaby a propustky. Jednotlivé prvky odvodnění včetně jejich umístění jsou k vidění v přílohové části práce, a to v kapitole 12.1. Systém odvodnění v obci je nedostatečný a neplní plně svoji funkci, proto dochází za přívalových dešťů k místním záplavám. Nejkritičtější místem se pak dle místních

obyvatel jeví most přes Radotínský potok na hlavní dopravní trase protínající Choteč (silnice III/59).

Při dešťových událostech dochází k nátoku vod z extravilánu do intravilánu obce převážně ze tří směrů, a to ze severu a jihu po místní komunikaci a z jihozápadu (Obr. 30).



Obr. 30: Hlavní směry nátoku extravilánových vod do obce Choteč

Jak již bylo zmíněno v kapitole 4.1, Choteč leží ve výrazné terénní depresi, kterou protíná ze západu na východ koryto Radotínského potoka. Okolí Chotče zabírají ze severu listnaté lesy, z ostatních směrů pak převážně pole a louky. Ze severu na jih prochází obcí místní pozemní komunikace 3. třídy číslo 0059. Ulice ve východní části obce jsou vedeny rovnoběžně s vodním tokem, v západní části jsou pak vedeny ve směru sklonu.

## 5 Metodika

V následující kapitole jsou popsány aplikované metody a zvolené postupy, a to od přípravy potřebných dat, přes tvorbu modelu, vyhodnocení stávajícího stavu, až k návrhu a zhodnocení opatření proti záplavám způsobeným přívalovými dešti.

### 5.1 Využívané programy

K přípravě potřebných dat pro model byl využíván geografický program ArcGIS Pro od americké společnosti Esri, a to s podporou programu Microsoft Excel. Rozsah povodí byl zjištěn pomocí makra v ArcGIS Pro v kombinaci s trasami odtoku získanými z programu SCALGO Live.

Výpočetní síť byla generována v programu Mesh Builder.

Samotný model byl postavený v programu MIKE Plus. Pomocí tohoto programu byly uskutečňovány výpočty, ale i následné změny ve výškopisu (dále bathymetrie), návrh opatření apod. Pro předběžnou analýzu vhodnosti umístění navrhovaných objektů byl použit program SCALGO Live.

Výsledky byly prohlíženy a vyhodnocovány v programu Mike Zero z rodiny programů od DHI a v programu Microsoft Excel.

### 5.2 Potřebná data

Pro postavení modelu a vyřešení úlohy je potřeba mít vstupní data. Ta jsou popsána v této kapitole.

Některá potřebná data bylo nutné převést do jiného formátu.

#### Digitální model terénu

Digitální model terénu (reliéfu) obce a přilehlého území v celkové ploše 15,85 km<sup>2</sup> byl získán přes geoportál ZABAGED od ČÚZK. DMR 5G, tedy digitální model reliéfu páté generace, je digitální zobrazení zemského reliéfu ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti. Střední chyba výšek je 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Jednotlivé body jsou určeny polohovými souřadnicemi x, y, z, kde z je nadmořská výška vztažená k referenčnímu výškovému systému Balt po vyrovnání. Model vznikl z dat pořízených metodou leteckého laserového skenování výškopisu České republiky v letech 2009-2013. [58]

## Zaměření systému odvodnění

Aby bylo možné do modelu vložit stávající prvky odvodnění, muselo dojít k jejich zaměření. Návštěvy obce Choteč se uskutečnily 16. 7. 2022 a 27. 10. 2022. Měření bylo prováděno pomocí GNSS aparatury Trimble R21i. Zaměřeny byly všechny dostupné prvky odvodnění. Jejich popis s mapou umístění v území je k nahlédnutí v přílohové části práce (12.1). Kromě prvků odvodnění byly zaměřeny rovněž příčné profily mostních objektů pomocí GPS a nivelační latě. Na místě bylo zaznamenáno materiálové a tvarové provedení zatrubněných úseků a jejich dimenze.

## Budovy

Zásadní pro tvorbu modelu je rovněž vrstva obsahující stávající budovy, které ovlivňují směr a rychlost proudění. Proto byla do bathymetrie pomocí programu Mesh Builder importována vrstva budov z Open Street Map. Open Street Map je vektorová mapová databáze pro všechny fyzicky přítomné objekty trvalejšího charakteru tvořená nadšenci a data z ní jsou veřejně dostupná. [59]

## Plán využití pozemků

Každý povrch má svou drsnost, kterou ovlivňuje rychlost proudění vody. Aby nebylo potřeba zadávat jednotlivým plochám součinitel drsnosti ručně, byla obci poskytnuta polygonová vrstva s rozdělením drsnosti (Obr. 31) do skupin podle využití pozemku na základě informací z katastru nemovitostí.



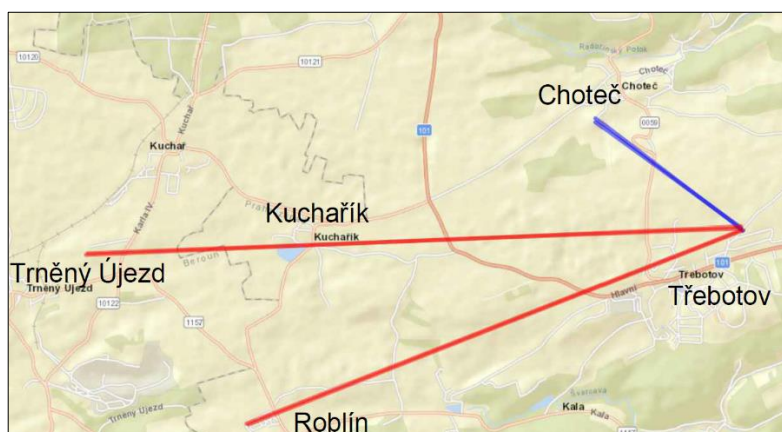
Obr. 31: Rozdělení povodí na plochy dle využití pozemků dle katastru nemovitostí

## Referenční videa, svědectví

Vzhledem k charakteru úlohy nebylo možné kalibrační data získat monitoringem, proto bylo nutné zaznamenat svědectví občanů a získat obrazové záznamy. Pro kalibraci bylo k dispozici 5 videozáznamů od místních obyvatel ze dne 20. 6. 2022 a také proběhly rozhovory s místními obyvateli.

## Srážková data

Srážková data byla poskytnuta panem Ing. Martinem Fenclem, PhD., který se podílí po celé České republice na výzkumu využití mikrovlnných spojů mobilních operátorů k monitoringu srážek. Poskytnutá data jsou z období dubna až listopadu roku 2021 a jde o záznam ze 2 linků z obce Třebotov, která leží jižně od obce Choteč. Jeden link je veden směrem na Roblín, druhý potom směrem na Kuchařík a Trněný Újezd. Z linku vedeného směrem na Choteč nebylo možné data získat. Nejbližší trasy signálu k obci Choteč jsou k nahlédnutí na Obr. 32, kde červené jsou trasy použité k získání srážkových dat.



Obr. 32: Linky mikrovlnných spojů z obce Třebotov

Tato data však nemohla být použita k zatížení modelu srážkou, neboť při vydatnějších deštích docházelo ke špatnému měření nebo dokonce k výpadku spoje.

ČHMÚ v blízkosti obce žádný dešťoměr neprovozuje, proto byl nalezen nejbližší obecní dešťoměr, a to v Zadní Kopanině. Data z něj nám však nebyla poskytnuta.

Pro zatížení modelu tak byly vytvořeny dva typy srážek. Srážky s replikací průběhu reálných dešťových událostí získaných pomocí mikrovlnných spojů mobilních operátorů a modelové blokové a Šifaldovy deště. Tvorba zatěžujících dešťů je podrobněji popsána v kapitole 5.4.

## 5.3 Tvorba modelu

Pro další práci s daty a následné zpracování návrhu opatření proti záplavám způsobeným přivalovými dešti bylo potřeba vytvořit model terénu a stávajícího systému odvodnění.

### 5.3.1 Příprava dat v programu ArcGIS Pro

DMR oblasti Chotče byl získán ve třech částech, které byly v programu ArcGIS Pro převedeny a spojeny do bodového pole. Spojené bodové pole posloužilo jako vstupní soubor k vytvoření TINu pomocí nástroje *Create TIN*. TIN je nepravidelná trojúhelníková síť (triangulated irregular network) poskytující plně definovaný a spojitý model terénu.

Vzniklý TIN bylo dále nutné upravit, aby odpovídal stávajícímu stavu, a to především z hlediska odtokových cest. Nejprve bylo upraveno koryto Radotínského potoka, které bylo v DMR zachyceno pouze břehy, tj. bez dna, a tedy by v modelu nesloužilo jako cesta odtoku s významnou kapacitou, kterou ve skutečnosti je. Ze zaměřování mostních objektů měrnou latí a DMR bylo možné dopočítat průměrný sklon dna potoka a koryto tak v síti upravovat s ohledem na tuto hodnotu. Zprůchodnění koryta proběhlo i v úseku nad a pod obcí Choteč, aby byl přítok a odtok věrohodný a dostatečný. V oblasti dvou místních mostů zobrazuje DMR mostovky. Ty byly v rámci těchto úprav proraženy a koryto bylo v tomto místě rozšířeno, aby bylo možné v modelu na tato místa umístit objekty. V TINu byly dále zohledněny všechny prvky stávajícího odvodnění obce, které jsou uvedené včetně svého umístění v příloze 12.1. Došlo tak ke snížení terénu v místech všech příkopů. Zatrubněné úseky byly v tomto kroku uvažovány jako součást otevřeného příkopu. K navýšení terénu na patřičnou úroveň došlo v oblasti usměrňovacího valu.

Průtok vody obcí velkým dílem ovlivňuje zástavba, která vytváří umělé odtokové koridory, místně může proudění zrychlovat a měnit směr proudu. Z toho důvodu byla přidána vrstva s budovami s uniformní výškou 5 m, tedy s výškou, kterou voda není schopna přelít.

Aby bylo možné zjistit rozsah povodí, byl takto upravený terén vnesen do programu SCALGO Live, který spočítal odtokové trasy při srážce 100 mm. Na základě odtokových tras byl následně v ArcGIS Pro pomocí makra, jehož schéma je k vidění

v kapitole 12.2 na Obr. 12.2.1, určen rozsah povodí zájmového úseku Radotínského potoka, který byl uložen jako polygonová vrstva.

Program ArcGIS byl dále využit na tvorbu polygonové vrstvy, která byla dále použita pro tvorbu výpočetní sítě. Polygony definovaly liniové prvky, tedy všechny odvodňovací příkopy, val, koryto Radotínského potoka, ale také silniční úseky od místních mostů na levém a pravém břehu toku.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.3.1, pro model byla do ArcGIS Pro nahrána polygonová vrstva s informacemi o využití jednotlivých ploch dle katastru nemovitostí. Podle využití pozemku byly v modelu stanoveny drsnosti povrchů. Namátkovou kontrolou nebyla nalezena žádná parcela, jejíž vepsaná kategorie by neodpovídala reálnému povrchu. Kategorie „ostatní plocha“ je však specifická tím, že se zde obecně nachází zelené pásy, ale i komunikace apod. Stejná situace nastala i v případě parcel v Chotči, proto byla vytvořena nová kategorie „silnice“, která přesně definovala drsnost tohoto povrchu, který významně ovlivňuje tok dešťové vody obcí.

### **5.3.2 Příprava výpočetní sítě v programu Mesh Builder**

Výpočetní síť byla generována v programu Mesh Builder od společnosti DHI. Do programu Mesh Builder byly vloženy vstupní soubory, a to polygonová vrstva s rozsahem povodí, s budovami a s polygony liniových prvků, která byla vytvořena v ArcGIS Pro.

Všechny budovy, které byly mimo zájmové povodí, byly odstraněny, polygon vodního toku byl rovněž zkrácen na úsek v daném rozsahu povodí. Polygon rozsahu povodí a polygony budov byly upraveny tak, aby nevznikaly ostré hrany a úzké meziprostory, které by při výpočtu byly potenciálními příčinami selhání výpočtu. Po výše uvedených úpravách mohla být vygenerována výpočetní síť.

### **5.3.3 Tvorba modelu v programu MIKE Plus**

Po ukončení příprav dat mohla započít tvorba samotného modelu v programu MIKE Plus. V nově založeném projektu v programu bylo nutné provést základní nastavení systému. V následujícím odstavci je popsán setup v jednotlivých záložkách programu.

V záložce *General settings* byl nastaven typ modelu na *Rivers, collection system and overland flows*, tedy na model, který bude počítat proudění po povrchu terénu.



Z modulů byly vybrány model srážkového odtoku a výpočet hydrodynamiky systému. Záložka *Map configuration* slouží k výběru souřadného systému a případné podkladové mapy. V případě tohoto modelu byl vybrán koordinační systém WGS 84/UTM zone 33N, se kterým bylo pracováno ve všech předešlých krocích při přípravě podkladů. Mapové prostředí bylo podloženo mapou z Open Street Map. Ve *2D overland* došlo k nastavení v několika podsložkách. V podsložce *2D domain* byla vybrána varianta flexibilní výpočetní síť z existujícího souboru, tedy výpočetní síť (bathymetrie) vytvořená v programu Mesh Builder. Ve *2D numerical setting* byla nastavena hloubka pro vysoušení elementu na 1 mm, pro zamokření elementu potom 2 mm. V modelu pracujeme s čistou vodou. Tato skutečnost byla zadána ve *2D fluid properties*. Důležitá je pro odtok z povodí drsnost jednotlivých ploch, která se zadává v záložce *2D surface roughness*. Drsnost byla nastavena jako proměnná v oblasti, a to na základě importované polygonové vrstvy s využitím pozemků dle katastru nemovitostí, která byla rozšířena o kategorii silnice. Do programu byly zadány následující převrácené hodnoty Manningova drsnostního součinitele (Tab. 7).

Tab. 7: Tabulka drsností dle využití pozemků v obci Choteč

č. kategorie	druh využití pozemku	drsnost [ $m^{1/3}/s$ ]
2	orná půda	17
5	zahrada	15
6	ovocný sad	25
7	trvalý travní porost	25
10	lesní pozemek	19
11	vodní plocha	33
13	zastavěná plocha a nádvoří	30
14	ostatní plochy	20
15	silnice	33.33
-	default	20

Hodnota turbulentní viskozity v podzáložce *2D eddy viscosity* byla stanovena na 0,002  $m^2/s$ . Každý model musí mít zadány počáteční nebo okrajové podmínky. V tomto případě byly v *2D Boundary conditions* zadány okrajové podmínky na začátku (horní okrajová podmínka = HOP) a konci (dolní okrajová podmínka = DOP) koryta Radotínského potoka. HOP byl konstantní nulový průtok, DOP potom Q-h křivka, kterou si MIKE Plus dopočítal na základě modelu terénu, a tedy příčného profilu spodního okraje koryta a sklonu dna.

Dále byly do modelu umístěny některé objekty a výpočetní prvky:

## **Hrázky**

Jelikož byl terén v některých místech liniových prvků usměrňujících proudění pozměněn a došlo tak ke změně odtokových cest, musely být do modelu na všechna tato místa umístěny hrázky (v záložce *2D dikes*), které proudění usměrňují. Všechny hrázky byly umístěny dle terénního měření v obci a jejich výšky byly zkontrolovány s bathymetrií. Dále byla všem hrázkám zvýšena hodnota určující toleranci k přelítí hrázky z jednoho na pět centimetrů.

## **Mosty**

Mosty se v modelu zadávají kombinací dvou objektů, a to krátkým propustkem (*short culvert*) a přelivem (*weir*), oba tyto objekty však musí ležet na stejných koordinátech a musí být zadávány od levého k pravému břehu. Propustky mostů byly nejprve zadány jako kruhové. Průměr propustku byl potom odvozen z obsahu kruhu a obsahu průtočného profilu mostu (most „hlavní“ 11,1 m<sup>2</sup>, most „mlýn U Veselých“ 25,1 m<sup>2</sup>). Průměry byly stanoveny na 3,76 m u mostu „hlavní“ a 5,65 m u mostu „mlýn U Veselých“. Kruhový propustek však zasahoval nad mostovku, proto byl jeho tvar změněn na obdélníkový. Vzhledem k tomu, že dle výpovědi místních obyvatel byl průtočný profil obou mostů dostatečně kapacitní i za povodní v roce 2013, nebylo dodržení skutečné geometrie profilu zásadní, a proto mohl být tvar upravován a zjednodušován. Propustkům byla dále zadána výšková kóta vtoku a výtoku a na základě osobní prohlídky jim byla přiřazena drsnost.

Přeliv byl charakterizován výškovým umístěním mostovky a definováním průtočného profilu nad mostovkou (tj. přelivem).

U obou mostů proběhla kontrola bathymetrie a umístění propustku i přelivu. Propustky byly usazeny 5 cm nad bathymetrii, aby nedocházelo k nestabilitám ve výpočtu.

## **Zatrubněné úseky**

Jelikož se ve stávajícím systému odvodnění vyskytuje několik úseků se zatrubněním a jedna větev oddílné dešťové kanalizace, byly i tyto části do modelu zaneseny, a to pomocí objektů dlouhých propustků (*long culvert*). Dlouhé propustky je nutno zadávat od vtoku k výtoku. Všechny zatrubněné úseky byly v terénu zaměřeny dvěma body, a to vtokem a odtokem, a byla zapsána jejich dimenze. Stejně jako u krátkého propustku byla v programu nastavena dimenze propustku, výšková úroveň vtoku

a odtoku, délka propustku a drsnost povrchu. Proběhla kontrola umístění propustků s bathymetrií. Pokud nebylo jejich umístění dle zaměření v souladu s bathymetrií, byla bathymetrie upravena tak, aby zůstal zohledněn sklon v zatrubněných úsecích a zároveň nedocházelo k významné změně proudění nad nebo pod propustkem.

Hrázky, propustky i přelivy se v MIKE Plus zadávají v záložce *2D Overland*. Dalšími zadávanými prvky byly kontrolní profily, ve kterých byl sledován průtok.

### **Kontrolní profily**

Kontrolní profily (KP) byly umístěny do míst, kde bylo na základě terénu předem odhadnuto umístění opatření proti nátokům dešťových vod do obce. Kontrolní profily se opět zadávají vždy z levé na pravou stranu průtoku, tedy zleva doprava, stojíme-li po směru toku, stejně jako propustky a přelivy. Pokud se tyto objekty zadají v opačném směru, ve výsledkových souborech se to projeví opačným znaménkem výsledných hodnot.

Poslední úpravou před spuštěním modelu bylo snížení bathymetrie v místě malé vodní nádrže a u šachty u paty valu (umístění dle přílohy 12.1).

### **Úprava bathymetrie**

Malá vodní nádrž v Chotči slouží jako retenční prostor pro dešťovou vodu a je počátečním prvkem místní oddílné dešťové kanalizace. Výšky byly v místě malé nádrže upraveny tak, aby nátok a odtok do a z nádrže korespondovaly se zaměřenými hodnotami při terénním měření.

Bathymetrie v místě požární nádrže nebyla snižována, jelikož dle získaných informací do nádrže dešťová voda neteče soustředěně z dešťové kanalizace. Požární nádrž má zároveň stálé nadržení, a tedy není v oblasti nátok dešťových vod zásadním retenčním prvkem.

U odtokové strany ochranného valu se nachází šachta, která je vstupním místem vody do propustku pod místní komunikací, proto i zde došlo ke snížení bathymetrie na zaměřenou úroveň.

Model byl vytvořen bezztrátový, tedy s nulovou hodnotou infiltrace a evaporace, a nejprve byl zatížen konstantní srážkou o intenzitě 30 mm/hod. Takto připravený model byl připraven ke spuštění.

Po shlednutí výsledků simulace modelu s konstantní srážkou byla opravena některá problematická místa. Například proběhla úprava bathymetrie v lokaci mostu „mlýn U Veselých“, kde terén koryta tvořil nízkou hráz, která se na daném místě ve skutečnosti nevyskytuje, a která způsobovala hromadění vody a zpomalení rychlosti proudění.

Takto připravený model byl zatížen sérií zatěžujících dešťů.

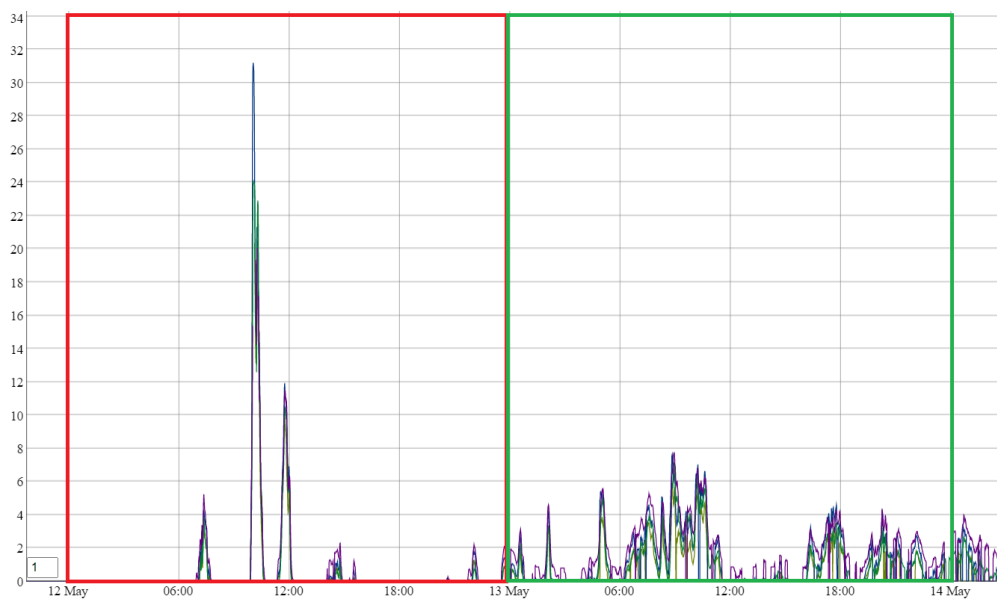
## 5.4 Zatěžující deště

Pro zatížení modelu byly vytvořeny dva typy dešťových událostí:

- Ze srážkových dat z mikrovlnných spojů byly vybrány dva dny s dešťovými událostmi a jejich průběh byl implementován na denní srážkové úhrny stejných dní získané z volně dostupných dat od ČHMÚ [60]. Denní srážkové úhrny z ČHMÚ byly uvažovány z oblasti Dobřichovic, neboť se z výběru nachází nejbližší obci Choteč.
- Na základě křivek náhradních vydatností získaných z Městských standardů vodovodů a kanalizací na území hl. m. Prahy [61] byly vytvořeny blokové a Šifaldovy modelové deště.

### 5.4.1 Aplikace průběhu reálného deště na denní úhrn

Ze srážkových dat z monitoringu pomocí mikrovlnných spojů byly vybrány dva dny s různým charakterem srážky, a to konkrétně 12. 5. 2021 a 13. 5. 2021 (Obr. 33). Událost z 12. 5. se vyznačuje kratší dobou trvání a vyšší intenzitou. Naopak dešť z 13. 5. je vytrvalejší a méně intenzivní. Dešťová událost **12. 5. 2021** byla použita jako **srážka návrhová**. Kapitoly 5.5–5.8 a k nim příslušné podkapitoly v kapitole 6 odkazují na výsledky simulace po zatížení modelu návrhovou srážkou.



Obr. 33: Srážková data 12. 5. 2021 (červený rámeček) a 13. 5. 2021 (zelený rámeček) z mikrovlnných spojů. Svislá osa grafu udává intenzitu v mm/hod.

Hodnoty naměřené intenzity z jednotlivých spojů byly zprůměrovány. Pokud byl spoj přerušen, a tedy nedocházelo k záznamu hodnot, byl tento spoj z průměrování v daném čase vyřazen z výpočtu. Vzhledem k tomu, že byla intenzita měřena v mm/hod, ale záznam byl prováděn v minutovém kroku, byla intenzita převedena na mm/min. Dále byl vypočten celkový denní úhrn  $h_{MWcelk.}$  [mm] součtem intenzit  $i_{MWmin}$  [mm/min] v každé minutě příslušného dne. Následně byl pro každý minutový krok určen procentuální podíl  $x_{dešťě}$  [%] dané intenzity na celkovém denním úhrnu (1).

$$\frac{i_{MWmin}}{h_{MWcelk.}} \cdot 100 = x_{dešťě} \quad (1)$$

Toto procento posloužilo k přenosu průběhu reálné srážky na denní úhrn  $h_{\check{C}HM\acute{U}celk.}$  z ČHMÚ dle rovnice (2). Výsledkem byl dešť s intenzitami  $i_{\check{C}HM\acute{U}min}$  v minutovém kroku trvání deště.

$$i_{\check{C}HM\acute{U}min} = \frac{h_{\check{C}HM\acute{U}celk.}}{100} \cdot x_{dešťě} \quad (2)$$

## 5.4.2 Modelové deště

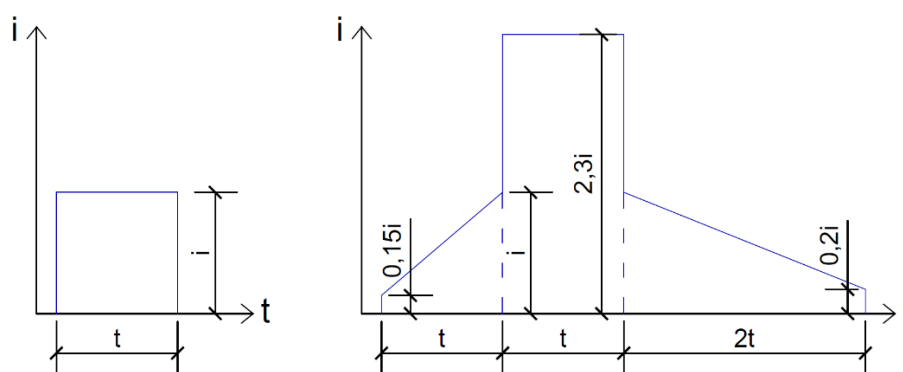
Modelové deště byly vytvořeny na základě křivek náhradních vydatností získaných z Městských standardů vodovodů a kanalizací na území hl. m. Prahy [61]. Jelikož u dešťů uvedených výše v textu bylo počítáno s intenzitou v mm/min, i zde došlo

k přepočítání vydatnosti v l/s/ha na intenzitu v mm/min. Tabulka náhradních intenzit je k nahlédnutí v Tab. 8.

Tab. 8: Tabulka náhradních dešťových intenzit; vypočteno a upraveno z [61]

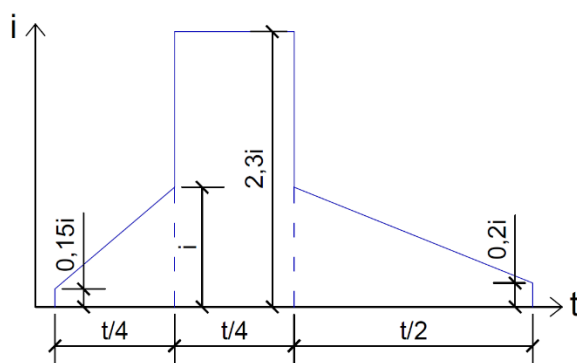
Doba trvání [min]	Periodicita zatěžujícího deště [-]						
	1	0.5	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
	Doba opakování zatěžujícího deště [roky]						
	1	2	5	10	20	50	100
10	0.960	1.230	1.578	1.848	2.112	2.640	2.970
15	0.780	1.020	1.260	1.482	1.710	2.124	2.400
20	0.642	0.840	1.038	1.224	1.416	1.782	2.022
25	0.540	0.699					
30	0.468	0.600	0.762	0.918	1.068	1.350	1.536
35	0.411	0.531					
40	0.369	0.474	0.624	0.744	0.864	1.092	1.248
45	0.336	0.429					
50	0.309	0.396	0.523	0.627	0.726	0.936	1.056
55	0.285	0.365					
60	0.264	0.332	0.455	0.547	0.640	0.798	0.912
70	0.234	0.300					
80	0.213	0.268					
90	0.192	0.242	0.331	0.392	0.479	0.577	0.660
100	0.177	0.222					

K zatížení modelu za účelem vyhodnocení úrovně bezpečnosti byl použit blokový a Šifaldův modelový dešť. Obecný průběh obou modelových dešťů je na (Obr. 34).



Obr. 34: Charakteristický průběh blokového (vlevo) a Šifaldova (vpravo) modelového deště  
( $i$  = intenzita,  $t$  = doba trvání deště; upraveno z [62])

Jak lze z grafů průběhů vyčíst, Šifaldův dešť je uvažován v čtyřnásobné délce trvání, a tedy dochází i ke zvětšení objemu srážky na čtyřnásobek. Aby bylo možné porovnávat zabezpečení podle obou modelových dešťů, blokového i Šifaldova, byl Šifaldův dešť uvažován v délce trvání  $t$  (Obr. 35).



Obr. 35: Průběh zkráceného Šifaldova modelového deště ( $i$  = intenzita,  $t$  = doba trvání deště;  
upraveno z [62])

Aby bylo možné vybrat z náhradních intenzit správný zatěžující dešť pro posouzení bezpečnosti, bylo nutné znát kritickou dobu trvání deště. Byly uvažovány dvě kritické doby trvání deště, a to z hlediska průtoku  $t_{krit.Q}$  a z hlediska objemu  $t_{krit.V}$ .

### Vyhodnocení $t_{krit.Q}$

Kritická doba  $t_{krit.Q}$  byla stanovena časovým rozdílem v kulminaci v KP u křížku a pod mostem „hlavní“ odečtením z grafů.

### Vyhodnocení $t_{krit.V}$

Děšť o době trvání  $t_{krit.V}$  je takový dešť, který vznáší na záchytné prvky největší objemový nárok. Jak je popsáno v kapitole 5.7, retenční prvek byl umístěn jen do směru nátoky z jihozápadu, kde jsou terénně vhodná dvě místa pro stavbu poldru (malý a velký poldr viz kapitola 6.5.3). Pro výpočet bylo potřeba znát plochu povodí. Ta se sice pro obě umístění lišila, ale jen nepatrně, a tedy nehrál tento rozdíl ve výpočtu roli. Plocha povodí  $A_{povodí}$  [ $m^2$ ] byla uvažována na základě výpočtu v programu SCALGO Live 710 000  $m^2$ . Součinitel odtoku byl pro převahu zatravněného území uvažován  $\psi = 0,1$ . Vzhledem k tomu, že výpočet nebyl prováděn za účelem návrhu objemu poldru, byla plocha poldru uvažována 1300  $m^2$ . Jako regulovaný odtok z poldru byl uvažován kapacitní průtok odvodňovacích prvků pod ochranným valem  $Q_{kap.prvky}$  [ $m^3/s$ ]. Odvodnění pod valem je realizováno betonovým žlabem obdélníkového průřezu 0,5 x 0,3 m ( $a \times b$ ) a příkopem tvaru kruhové úseče hloubky  $h = 0,25$  m o poloměru  $r = 0,35$  m.

## Výpočet regulovaného odtoku

Nejprve byl spočítán kapacitní průtok odvodňovacích prvků pod valem a dále byl pomocí řešitele zjištěn průměr propustků poldrů tak, aby  $Q_{kap.propustek} = Q_{kap.prvky}$ . Výpočet obou kapacitních průtoků profilu sleduje následující postup:

1. Nejprve byl na základě známé geometrie spočítán dle rovnic (3)-(8) obsah průtočného profilu  $S$  [m<sup>2</sup>] a omočený obvod  $O$  [m], hydraulický poloměr  $R$  [m] potom dle (9). Rovnice pro výpočet  $S$  a  $O$  číslo (3) a (6) platí pro obdélník, (4) a (7) pro kruhovou úseč, (5) a (8) pro kruh.

$$S = a \cdot b \quad (3)$$

$$S = \frac{\pi r^2}{360} 2 \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) - r^2 \cos\left(\arccos\left(\frac{r-h}{h}\right)\right) \sin\left(\arccos\left(\frac{r-h}{r}\right)\right) \quad (4)$$

$$S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (5)$$

$$O = 2a + b \quad (6)$$

$$O = \frac{\pi r}{180} \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) \quad (7)$$

$$O = \pi D \quad (8)$$

$$R = \frac{S}{O} \quad (9)$$

2. Z Chézyho rovnice (10) byla za předpokladu znalosti sklonu propustku  $i$  [-] a Manningova drsnostního součinitele  $n$  [s/m<sup>1/3</sup>] vypočítána rychlost proudění  $v$  [m/s].

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \sqrt{Ri} \quad (10)$$

3. Pomocí rovnice kontinuity (11) byl vypočten kapacitní průtok  $Q_{kap.prvky}$  [m<sup>3</sup>/s].

$$Q_{kap.prvky} = vS \quad (11)$$



## Výpočet potřebného retenčního objemu

Postup vyhodnocení  $t_{krit.V}$ :

1. Nejprve byla vypočítána redukovaná plocha povodí  $A_{red.}$  [ $m^2$ ] dle (12).

$$A_{red.} = \psi A_{povodí} \quad (12)$$

2. Objem přítoku  $V_{přítok}$  [ $m^3$ ] byl spočítán podle rovnice (13) pro danou dobu trvání deště  $t$  [min] a intenzitu  $i$  [mm/min] dle Tab. 8.

$$V_{přítok} = (A_{red.} + A_{poldr}) \frac{i}{1000} t \quad (13)$$

3. K výpočtu objemu odtoku  $V_{odtok}$  [ $m^3$ ] odtoku byl použit kapacitní průtok propustku  $Q_{kap.prvky}$  dle (14).

$$V_{odtok} = Q_{kap.prvky} t \cdot 60 \quad (14)$$

4. Vypočtením objemové bilance přítoku a odtoku dle rovnice (15) byl stanoven požadovaný retenční objem objektu  $V_{retence}$  [ $m^3$ ].

$$V_{retence} = V_{přítok} - V_{odtok} \quad (15)$$

5. Na základě maximálních výsledných požadovaných retenčních objemů pro jednotlivé doby opakování byla určena kritická doba trvání deště z hlediska objemu retenčního prvku.

### Zatěžující deště

Pro zatížení modelu byly vybrány deště s kritickou dobou trvání  $t_{krit.Q}$  a  $t_{krit.V}$ . o době opakování 1 a 2 roky, tj. celkem 4 blokové a 4 Šifaldovy deště.

## 5.5 Kalibrace modelu

Každý model by měl za optimálních podmínek být kalibrován a verifikován. Od místních obyvatel byly získány videozáznamy jen ze dne 20. 6. 2022 a srážková data byla k dispozici pouze za rok 2021 a tudíž nebylo pro kalibraci modelu dostatek podkladů. Hrubá kalibrace byla provedena konzultací výsledků simulace s místními obyvateli.

## **5.6 Zhodnocení současného stavu**

V programu MIKE Zero byly prohlíženy výsledky výpočtu modelu zatíženého návrhovou srážkou ze dne 12. 5. 2021. Zobrazovány pak byly průběžné i maximální hodnoty hloubky vody a rychlosti proudění. Zásadním vyhodnocovacím prvkem byly kontrolní profily. Do úvahy vyhodnocení byly vzaty rovněž výsledky z hrubého výpočtu odtokových cest v programu SCALGO Live. Vyhodnocení ukázalo kritická místa odvodňovaného povodí.

## **5.7 Návrh opatření**

Ochranná opatření proti záplavám způsobeným extrémními srážkami byla navrhována na déšť z 12. 5. 2021, který byl událostí s nejvyšší okamžitou intenzitou z dat mikrovlnných spojů a charakterem přivalového deště za rok 2021. Jednotlivé prvky opatření byly navrženy s ohledem na výsledné odtokové poměry a odtokové cesty z kapitoly 5.6 a s ohledem na terénní možnosti.

Nejprve byly návrhy opatření „od ruky“ zadány do programu SCALGO Live. Program vypočetl na konstantní srážce s intenzitou 30 mm/hod odtokové trasy a naplnění depresí (kubaturu) včetně umělých retenčních prvků. Na základě této jednoduché analýzy byla vybrána řešení pro aplikaci do modelu a jejich optimální umístění (především umístění hrází poldrů).

## **5.8 Funkčnost navržených opatření**

Do modelu byly postupně umístěny výsledkové kontrolní profily, ze kterých byl vyhodnocován průtok, kumulativní průtok a účinnost jednotlivých opatření, jak pro zhodnocení funkčnosti navržených opatření (kapitola 6.6), tak pro analýzu efektivity (kapitola 6.7).

## **5.9 Analýza efektivity opatření**

Analýza efektivity opatření byla provedena ve dvou formách, a to zatížením reálnými dešti a dešti modelovými.

### **5.9.1 Reálné deště**

Reálnými dešti jsou zde myšleny deště vzniklé aplikací průběhu reálného deště na denní úhrn dle kapitoly 5.4.1. Výpočet simulace byl spuštěn nejprve s návrhovou srážkou ze dne 12. 5. 2021 a následně se srážkou z 13. 5. 2021.

V jednotlivých kontrolních profilech byly vyhodnocovány aktuální a kulminační průtoky bez opatření a s opatřením za daných dešťových událostí. Sledovány byly také hloubky a odtokové trasy ve 2D výsledkových souborech.

### **5.9.2 Modelové deště**

Úroveň zabezpečení byla sledována pouze u retenčních prvků, tedy u malého a velkého poldru.

Prvním cílem bylo nalézt maximální modelový déšť, při němž by vyhověl velký poldr. Malý poldr z principu nemůže vyhovět, nevyhoví-li poldr velký. Podle zabezpečení velkého poldru, bylo v plánu hledat modelový déšť, při němž by nedošlo k přelévání malého poldru. Zabezpečení malého poldru však nakonec nebyla kvůli výsledku nízké zabezpečení velkého poldru vyšetřována.

U poldru byla zabezpečení určována porovnáním maximální výšky hladiny s výškou koruny hráze. Pokud byla hladina nad úrovní koruny, došlo k přelítí a poldr tak nevyhověl. Sledovány byly též rozdíly v zabezpečení podle typu použitého modelového deště.

Pro demonstraci účinnosti velkého poldru při deštích větších, než je úroveň zabezpečení, byl model zatížen navíc kritickým Šifaldovým deštěm s delší dobou opakování.

## 6 Řešení a diskuse výsledků

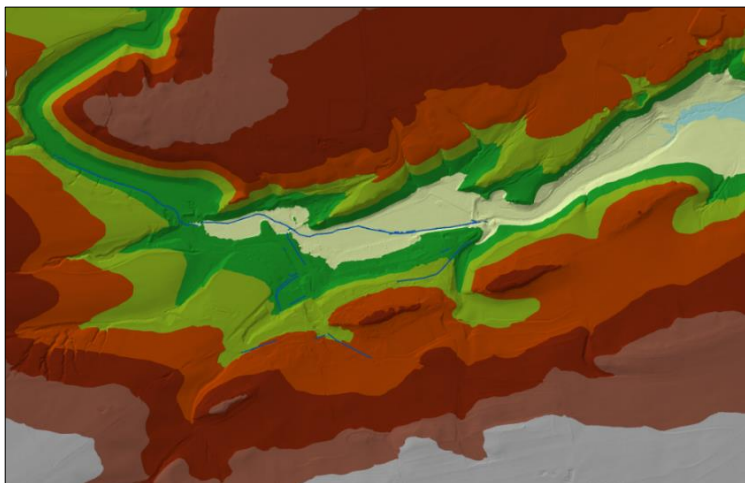
### 6.1 Tvorba modelu

Tvorba modelu vyžaduje kromě rozvahy samozřejmě vstupní data. Mnohdy ale data nejsou k dispozici v takovém formátu nebo například v takové kvalitě, či podrobnosti, v jaké je potřebujeme. Proto samotné tvorbě modelu předchází příprava vstupních dat. Právě přípravě dat a tvorbě modelu se věnuje kapitola 6.1.

Se všemi vrstvami dat bylo pracováno v souřadném systému WGS84/UTM zone 33N. Data, která byla v jiném než tomto souřadném systému (např. DMR byl poskytnut v souřadném systému S-JTSK/Krovak East North), byla konvertována.

#### 6.1.1 Příprava dat v programu ArcGIS Pro

Upravený TIN s barevnou stratifikací výšky je k vidění na následujícím obrázku (Obr. 36).



Obr. 36: Upravený TIN – obec Choteč

Celkem se na území obce v povodí zájmového úseku Radotínského potoka objevuje 9 kategorií využití pozemků dle následující tabulky (Tab. 9).

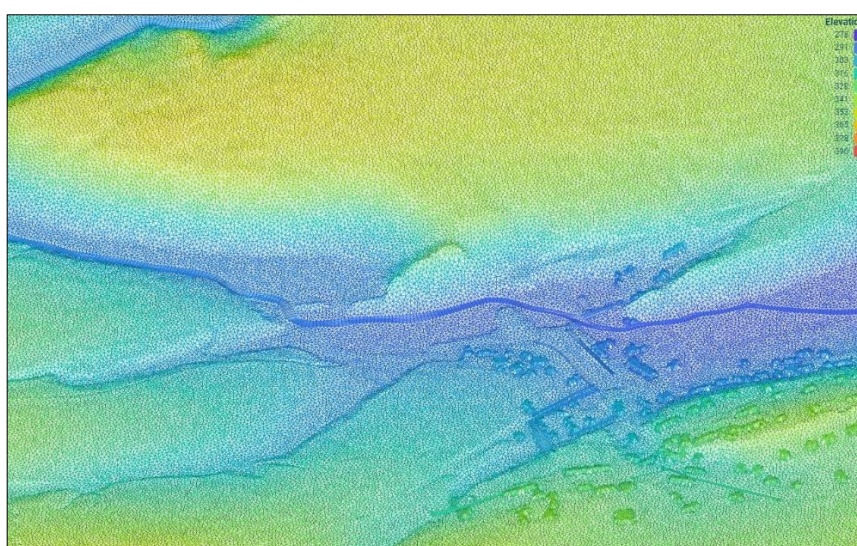
Tab. 9: Tabulka využití pozemků v obci Choteč

č. kategorie	druh využití pozemku	celková plocha v povodí [ha]
2	orná půda	183.3
5	zahrada	11.3
6	ovocný sad	1.1
7	trvalý travní porost	19.5
10	lesní pozemek	119.0
11	vodní plocha	2.4
13	zastavěná plocha a nádvoří	5.7
14	ostatní plochy	20.8
15	silnice	7.3

## 6.1.2 Příprava výpočetní sítě v programu Mesh Builder

Jak již bylo uvedeno v kapitole 5.3.2, po úpravě polygonů došlo k vygenerování trojúhelníkové a čtvercové sítě v rozsahu zájmového povodí.

Čtvercová síť byla použita pro liniové prvky. Počet elementů u liniových prvků byl různý a byl určen počtem řad a sloupců. Například v korytě toku tak vznikly elementy o velikosti 1–1,5x4–5 m. Budovy a zbytek území byly vyplněny trojúhelníkovou sítí. Velikost elementu pro budovy byla zvolena 3x3 m, ostatní elementy byly voleny o velikosti 7x7 m. Vygenerovaná výpočetní síť měla na 541 959 elementů (Obr. 37). Další obrázky z programu Mesh Builder jsou k nahlédnutí v přílohové části práce v kapitole 12.2.



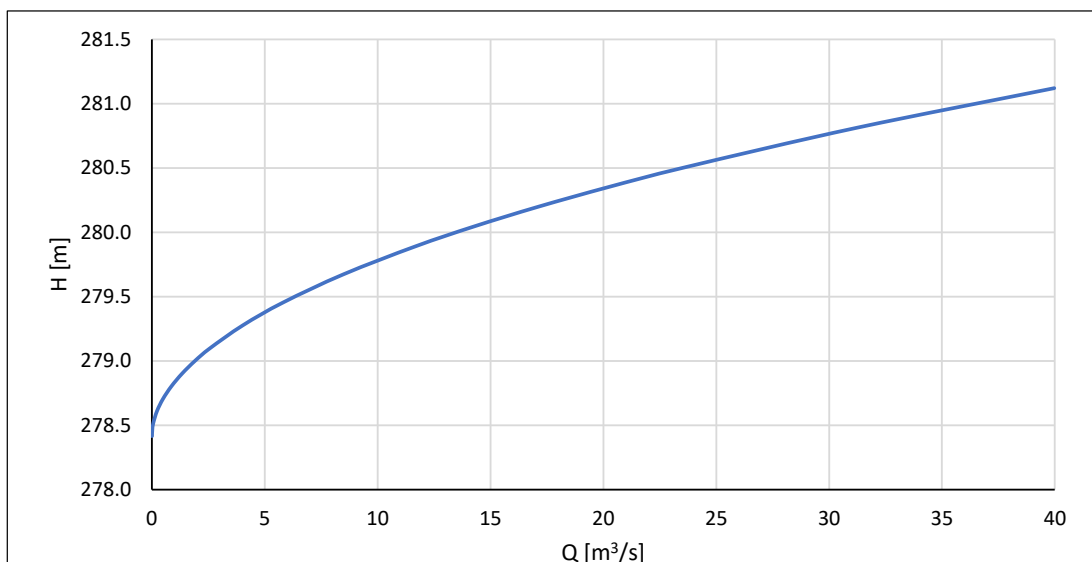
Obr. 37: Vygenerovaná výpočetní síť v programu Mesh Builder – obec Choteč

## 6.1.3 Tvorba modelu v programu MIKE Plus

Rozdělení ploch modelu podle drsnosti je k nahlédnutí v přílohové části práce v kapitole 12.2 na Obr. 12.2.4. V rámci základního nastavení programu byly zadány okrajové podmínky. Jak již bylo zmíněno v kapitole 5.3.3, HOP byl nulový průtok na začátku zájmového území Radotínského potoka, DOP v dolním profilu toku potom byla Q-h křivka. Průběh Q-h křivky v DOP je k vidění v Tab. 10 a na Obr. 38.

Tab. 10: Tabulka průběhu Q-h křivky v DOP

Q [m <sup>3</sup> /s]	0	0	0.013	0.056	0.220	0.483	0.858	1.331	1.902	2.569
H [m]	278.415	278.417	278.465	278.517	278.610	278.704	278.803	278.901	279.000	279.098
Q [m <sup>3</sup> /s]	4.022	5.808	8.473	11.673	14.255	17.107	20.230	23.625	31.239	39.974
H [m]	279.276	279.454	279.672	279.890	280.044	280.198	280.351	280.505	280.812	281.120



Obr. 38: Průběh Q-h křivky v DOP

## Hrázky

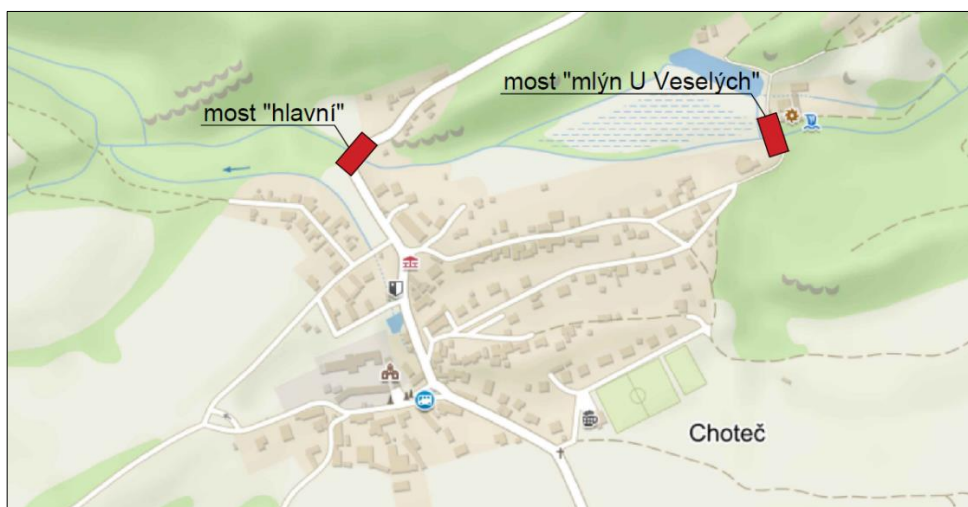
Jelikož byl terén v místech mostů snížen na úroveň koryta, došlo k odstranění překážky pro proudění, tedy vyvýšeniny pozemní komunikace. Právě proto byly do modelu umístěny hrázky, a to na silniční úseky v obou směrech od obou místních mostních objektů. Vznikly tak čtyři hrázky. Pátá hrázka byla vytyčena na ochranném valu, rovněž podle měření v terénu. Všechny umístěné hrázky jsou na Obr. 39.



Obr. 39: Umístění hrázek

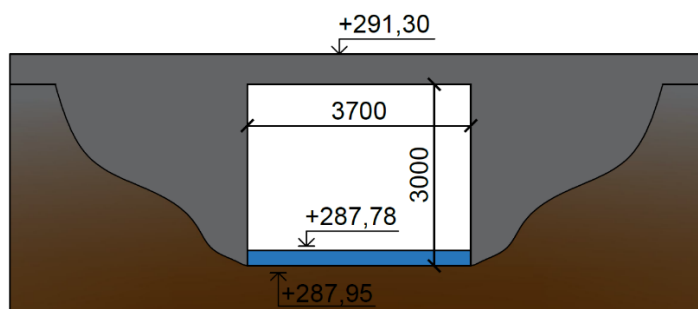
## Mosty

V rámci modelu byly umístěny dva mosty dle Obr. 40.

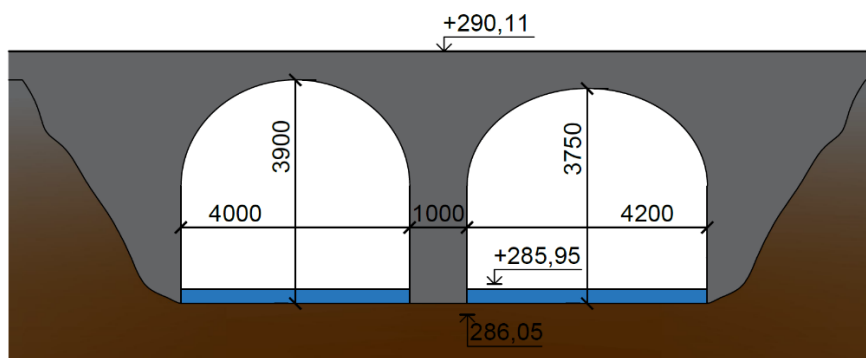


Obr. 40: Umístění mostů

Nastavení objektů proběhlo v souladu s hodnotami naměřenými v terénu. Terénní měření je zaznamenáno na Obr. 41 a Obr. 42.



Obr. 41: Schéma měření mostu „hlavní“



Obr. 42: Schéma měření mostu „mlýn U Veselých“

Charakteristiky mostních objektů jsou k vidění v tabulkách níže (Tab. 11, Tab. 12).

Tab. 11: Charakteristiky mostu „hlavní“

most "hlavní"							
propustek				přeliv			
tvar	obdélník	vtok	287.954 m	mostovka	291.3 m		
šířka	4.2 m	výtok	287.776 m	průtočný prostor nad přelivem			
výška	2.5 m	Manning M	40 m <sup>1/3</sup> /s	úroveň [m]	0	0.1	50
délka	6 m			šířka [m]	0.1	17	17

Tab. 12: Charakteristiky mostu „mlýn U Veselých“

most "mlýn U Veselých"							
propustek				přeliv			
tvar	obdélník	vtok	286.050 m	mostovka	290.11 m		
šířka	8.52 m	výtok	285.950 m	průtočný prostor nad přelivem			
výška	3 m	Manning M	32 m <sup>1/3</sup> /s	úroveň [m]	0	0.1	50
délka	3.7 m			šířka [m]	0.1	7.6	7.6

## Zatrubněné úseky

Charakteristiky zatrubněných úseků jsou k nahlédnutí v Tab. 13. Mapa umístění jednotlivých úseků je k prohlédnutí v kapitole 12.2 přílohové části práce.

Tab. 13: Charakteristiky zatrubněných úseků

úsek	tvar	DN/rozměr [m]	vtok [m]	výtok [m]	délka [m]	materiál	Manning M [m <sup>1/3</sup> /s]
A	kruhový	0.5	321.97	321.67	6.2	beton	83.3
B	kruhový	0.4	318.53	316.2	29.5	beton	83.3
C	kruhový	0.5	315.495	301.75	131.06	beton	83.3
D	kruhový	0.3	303.01	302.25	29.2	beton	83.3
E	kruhový	0.4	302.431	302.085	8.2	beton	83.3
F	kruhový	0.5	299.82	299.01	7.5	beton	83.3
G	kruhový	0.5	301.75	295.42	62.9	beton	83.3
H	kruhový	0.5	295.42	294.71	13.6	beton	83.3
I	kruhový	0.3	301.88	301.203	6.09	beton	83.3
J	kruhový	0.4	297.299	296.96	8.8	beton	83.3
K	obdélníkový	0.15x0.3	312.91	312.51	6.3	beton	83.3
L	kruhový	0.3	304.695	304.36	6.16	beton	83.3
M	kruhový	0.2	302.89	302.66	3.04	PVC	111.11
N	kruhový	0.3	300.18	299.34	7.03	beton	83.3
O	kruhový	0.1	318.716	318.42	7.5	PVC	111.11
P	kruhový	0.6	316.5	312.285	45.7	beton	83.3

Propustek E byl po shlednutí prvních výsledků zrušen a nahrazen otevřeným příkopem, neboť objekt byl nefunkční.



## Kontrolní profily

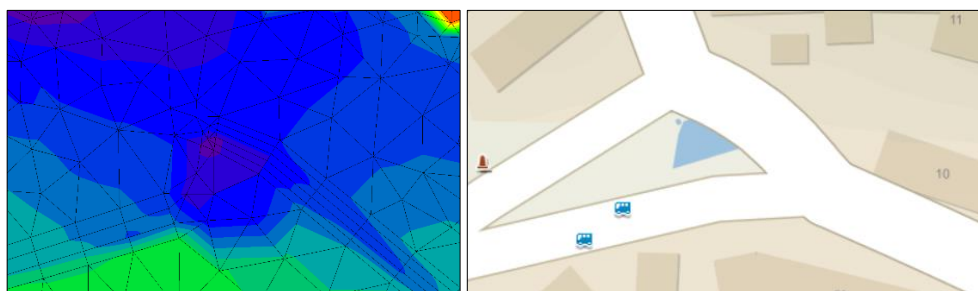
Do modelu bylo umístěno v této fázi celkem 6 kontrolních profilů, které sloužily pro zhodnocení současného stavu. Jejich umístění včetně popisku je na Obr. 43.



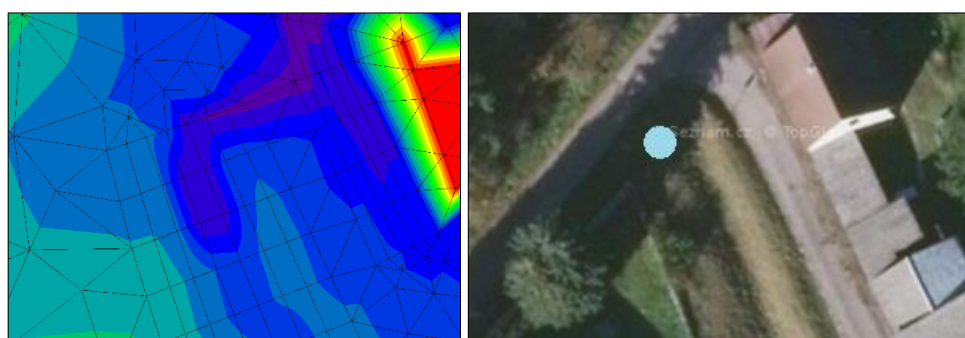
Obr. 43: Umístění kontrolních profilů v modelu

## Úprava bathymetrie

Vzhledem k charakteru prvků stávajícího odvodnění musela být na dvou místech upravena bathymetrie (viz. kapitola 5.3.3). Upravenou bathymetrii s umístěním prvků je možné si prohlédnout na Obr. 44 a Obr. 45.



Obr. 44: Upravená bathymetrie (vlevo) a umístění prvku (vpravo) – nádrž

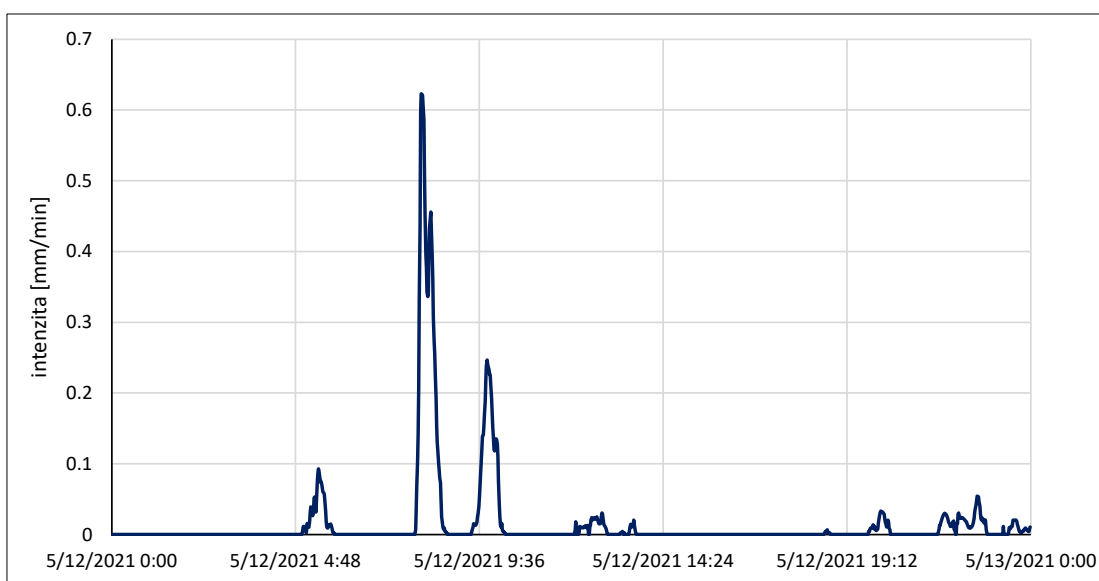


Obr. 45: Upravená bathymetrie (vlevo) a umístění prvku (vpravo) – šachta

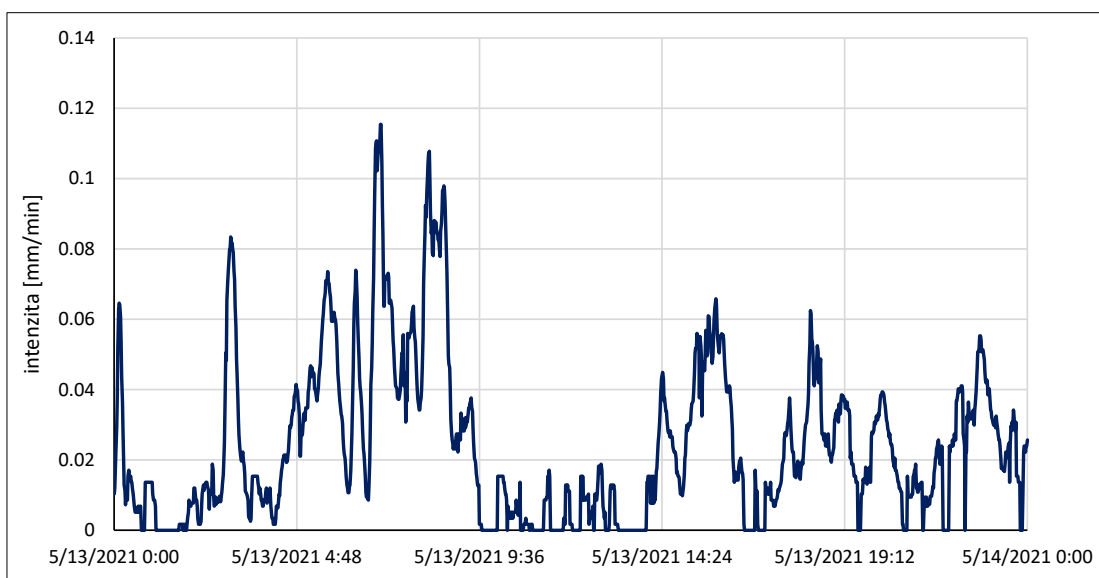
## 6.2 Zatěžující deště

### 6.2.1 Aplikace průběhu reálného deště na denní úhrn

Při přenosu průběhu reálné srážky na denní úhrny ČHMÚ byly spočteny denní úhrny srážek zachycených pomocí mikrovlnných spojů. Denní úhrn 12. 5. byl necelých 17 mm, 13. 5. potom 34,1 mm. Denní úhrn byl 12. 5. dle ČHMÚ 23 mm a 13. 5. pak 35 mm. Přepočtením denního srážkového úhrnu na intenzity v jednotlivých minutových krocích dle procentuálního rozdělení z reálného deště vznikly zatěžovací dešťové události na Obr. 46 a Obr. 47.



Obr. 46: Průběh modelového deště o denním úhrnu 23 mm vytvořeného z průběhu reálné dešťové události ze dne 12. 5. 2021



Obr. 47: Průběh modelového deště o denním úhrnu 35 mm vytvořeného z průběhu reálné dešťové události ze dne 13. 5. 2021

## 6.2.2 Modelové deště

Kritická doba dotoku z hlediska průtoku byla stanovena na základě rozdílu doby kulminačního průtoku v profilech KP u křížku a pod mostem hlavní na  $t_{krit,Q} = 20$  min (viz. Tab. 14) po zatížení modelu návrhovou srážkou.

Tab. 14: Výpočet kritické doby trvání deště z hlediska průtoku

	čas kulminace
KP most hlavní	14:15
KP silnice křížek	14:35
$t_{krit,Q}$ [min]	20

Sklon prvků odvodnění byl stanoven na základě mapových podkladů. Kapacitní průtok prvků odvodnění, které se nacházejí pod ochranným valem, byl stanoven výpočtem přes Chézyho rovnici na  $1,24 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tabulka s výpočty je k nahlédnutí níže (Tab. 15).

Tab. 15: Výpočet kapacitního průtoku odvodňovacích prvků pod ochranným valem

PRVKY ODVODNĚNÍ POD VALEM		
obsah profilů	$S_{\text{úseč}}$	$0.123 \text{ m}^2$
	$S_{\text{obdélník}}$	$0.150 \text{ m}^2$
omočený obvod profilů	$O_{\text{úseč}}$	$0.90 \text{ m}$
	$O_{\text{obdélník}}$	$1.30 \text{ m}$
sklon	$i$	$6.5 \%$
drsnostní součinitel	$n$	$0.014 \text{ s/m}^{1/3}$
plocha	$S$	$0.273 \text{ m}^2$
omočený obvod	$O$	$2.20 \text{ m}$
hydraulický poloměr	$R$	$0.12 \text{ m}$
rychlost	$v$	$4.53 \text{ m/s}$
kapacitní průtok	$Q_{\text{kap,prvky}}$	$1.24 \text{ m}^3/\text{s}$

Nejvyšší nároky na retenční prostor poldru kladou za dané doby opakování převážně deště s dobou trvání 10 minut, proto byla kritická doba s ohledem na objem uvažována  $t_{krit,V} = 10$  min. Výsledek bilance přítoku a odtoku, tedy přehled vypočtených požadovaných retenčních objemů, je k nahlédnutí v Tab. 16.

Tab. 16: Výsledné požadované retenční objemy (zvýrazněna jsou maxima pro jednotlivé N-letosti)

$V_{\text{retence}} [\text{m}^3]$							
$t_{\text{dešť}} [\text{min}]$	Doba opakování zatěžujícího deště						
	1	2	5	10	20	50	100
10	0.0	146.5	398.1	593.3	784.2	1165.9	1404.5
15	0.0	0.0	252.3	493.0	740.3	1189.3	1488.6
20	0.0	0.0	15.3	284.3	561.9	1091.1	1438.2
25	0.0	0.0					
30	0.0	0.0	0.0	0.0	88.1	699.7	1103.2
35	0.0	0.0					
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	186.9	638.0
45	0.0	0.0					
50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	103.4
55	0.0	0.0					
60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
70	0.0	0.0					
80	0.0	0.0					
90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
100	0.0	0.0					

Vstupní hodnoty a mezivýsledky výpočtu jsou k prohlédnutí v přílohové části práce v kapitole 12.3. Vstupní intenzity dešťů byly uvažovány z Tab. 8 z kapitoly 5.4.2. Grafy průběhů používaných blokových a Šifaldových dešťů jsou k vidění v kapitole 12.4.

Přehled všech použitých dešťových událostí je k vidění v Tab. 17.

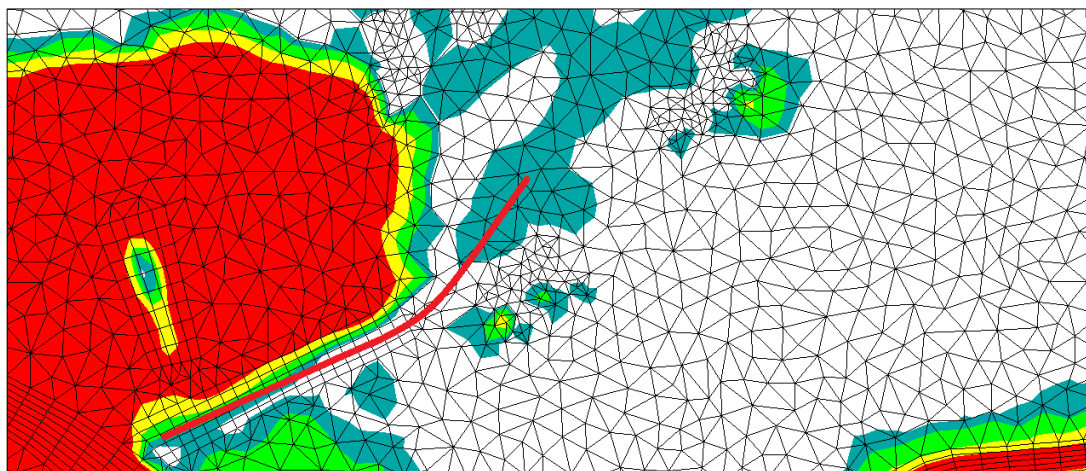
Tab. 17: Přehled použitých dešťových událostí

zatěžující dešť	typ deště	použití	$i_{\text{max}}$ [mm/min]	$h_{\text{celk.}}$ [mm]
12. 5. 2021	reálný	kalibrace	0.623	23
12. 5. 2021	reálný	zhodnocení současného stavu	0.623	23
12. 5. 2021	reálný	návrh opatření	0.115	35
13. 5. 2021	reálný	analýza efektivity	0.115	35
b1_10	modelový	analýza efektivity	0.960	9.60
b2_10	modelový	analýza efektivity	1.230	12.30
b1_20	modelový	analýza efektivity	0.642	12.84
b2_20	modelový	analýza efektivity	0.840	16.80
Š1_10	modelový	analýza efektivity	2.208	9.78
Š2_10	modelový	analýza efektivity	2.829	12.53
Š1_20	modelový	analýza efektivity	1.477	13.08
Š2_20	modelový	analýza efektivity	1.932	17.12
Š20_10	modelový	analýza efektivity	4.858	21.52
<p>pozn.: značení Š1_10 značí Šifaldův dešť s dobou opakování N = 1 rok a dobou trvání t = 10 min  značení b1_10 značí blokový dešť s dobou opakování N = 1 rok a dobou trvání t = 10 min  <math>i_{\text{max}}</math> = maximální intenzita; <math>h_{\text{celk.}}</math> = srážkový úhrn</p>				

### 6.3 Kalibrace modelu

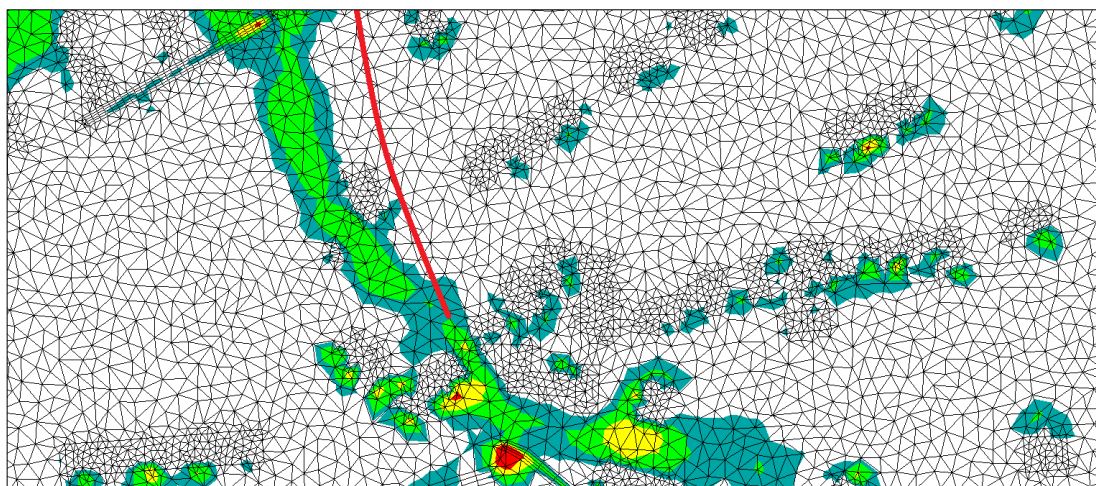
Jak bylo řečeno v kapitole 5.5, z důvodu nedostatku podkladových materiálů nebylo možné provést úplnou kalibraci. Proto byla provedena hrubá kalibrace formou konzultací výsledků simulace, především pak odtokových cest, s místními obyvateli. Tato konzultace proběhla 13. 12. 2022 na Obecním úřadě obce Choteč.

Ačkoli místní obyvatelé uvádějí nátok extravilánových vod po severní vozovce až na mostovku mostu „hlavní“, model tuto odtokovou trasu nepotvrdil. Voda byla z vozovky morfologií svedena do terénní deprese na západní straně komunikace. Z toho důvodu byla snaha proud usměrnit zvýšením bathymetrie na hraně komunikace, aby výsledek odpovídal skutečnosti, avšak dešťová voda se tak z místní komunikace odklonila do východní terénní deprese. Abychom dosáhli výsledků odpovídajících skutečnému stavu, bylo by nutné vytvořit detailní model oblasti mostu. Ten by byl ale časově velmi náročný a pro dosažení kýžených cílů není nutně nezbytný, neboť navržené opatření odklání proud vody z komunikace ve výše položených místech. Diskutovaná problematika je zachycená na Obr. 48.



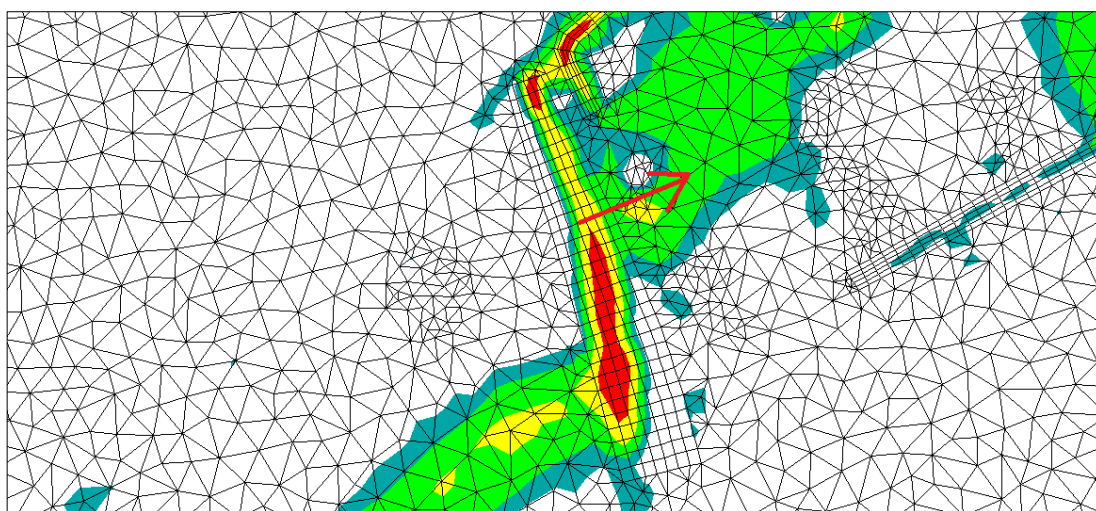
Obr. 48: Modelem nepotvrzená cesta odtoku vody v povodí (červená linie) – severní nátok

Nátok extravilánových vod z jižního směru po vozovce byl modelem potvrzen, avšak ne v rozsahu, který místní obyvatelé uvádějí. Voda se dle jejich prohlášení valí po komunikaci kolem obecního úřadu až k mostu „hlavní“. V modelu však voda stéká do dešťové kanalizace, která vodu z vozovky odkloňuje směrem k požární nádrži. Vzhledem k tomu, že v intravilánu obce není prostor pro nové významné odvodňovací prvky, byl nátok vod řešen převážně před vtokem do intravilánu, tedy na okraji zastavěného území. Proto by neměla být tato nesrovnalost v odtokových trasách pro řešení úlohy zásadní. Diskutovaná problematika je zachycená na Obr. 49.



Obr. 49: Modelem nepotvrzená cesta odtoku vody v povodí (červená linie) – jižní nátok

Poslední nesrovnalostí v odtokových trasách modelu byla oblast ochranného valu, který byl dle výsledků simulace za deště přeléván (Obr. 50), což místní obyvatelé negovali. Tato skutečnost je způsobena hydrodynamikou proudu a zřejmě též hrubostí výpočetní sítě. Voda nabrala vyšší rychlost a díky kinetické energii překonala překážku v podobě zvýšeného terénu. Tato skutečnost byla v modelu vyřešena umístěním vysoké hrázky na nejvyšší místa ochranného valu.



Obr. 50: Obyvateli nepotvrzené přelévání ochranného valu (červená šipka)

Ostatní odtokové trasy místní obyvatelé potvrdili.

## 6.4 Zhodnocení současného stavu

Nátok dešťové vody ze severu po místní komunikaci dosáhl kulminačního průtoku  $0,74 \text{ m}^3/\text{s}$  a celkový objem proteklé vody byl  $938,8 \text{ m}^3$ . Modelem se nepotvrdilo proudění vody až k silničnímu mostu „hlavní“. Voda byla morfologií před nátokem na silniční most odkloněna do terénní deprese a dále do koryta toku.

Na základě zobrazených výsledků v MIKE Zero bylo potvrzeno, že k významnému nátoku dešťové vody dochází od kostela sv. Kateřiny směrem k ochrannému valu. Jihozápadní odtokovou cestou protéklo  $14\,420 \text{ m}^3$  vody s kulminačním průtokem  $4,62 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Třetím směrem nátoků, jak již bylo zmíněno v kapitole 4.2, je směr od místního fotbalového hřiště, tedy z jihu po místní komunikaci. Dešťová voda přitéká z přilehlých polí a nese tak s sebou zásadní měrou půdní částice a další splaveniny. Ty zanáší místní systém odvodnění, větší nesené částice zůstávají po dešti usazené na místní komunikaci. Jižní trasou je po vozovce během deště provedeno  $246 \text{ m}^3$  o kulminačním průtoku  $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Informace o průtocích jsou k nahlédnutí v přílohové části práce v kapitole 12.5.

V průběhu deště dochází k vybřežení vody z koryta Radotínského potoka a k plnění nezastavěné inundace v oblasti před mostem „hlavní“ a před mostem „mlýn U Veselých“.

Koryto toku se jeví jako dostatečně kapacitní, což koresponduje i s výpověďmi místních obyvatel.

## 6.5 Návrh opatření

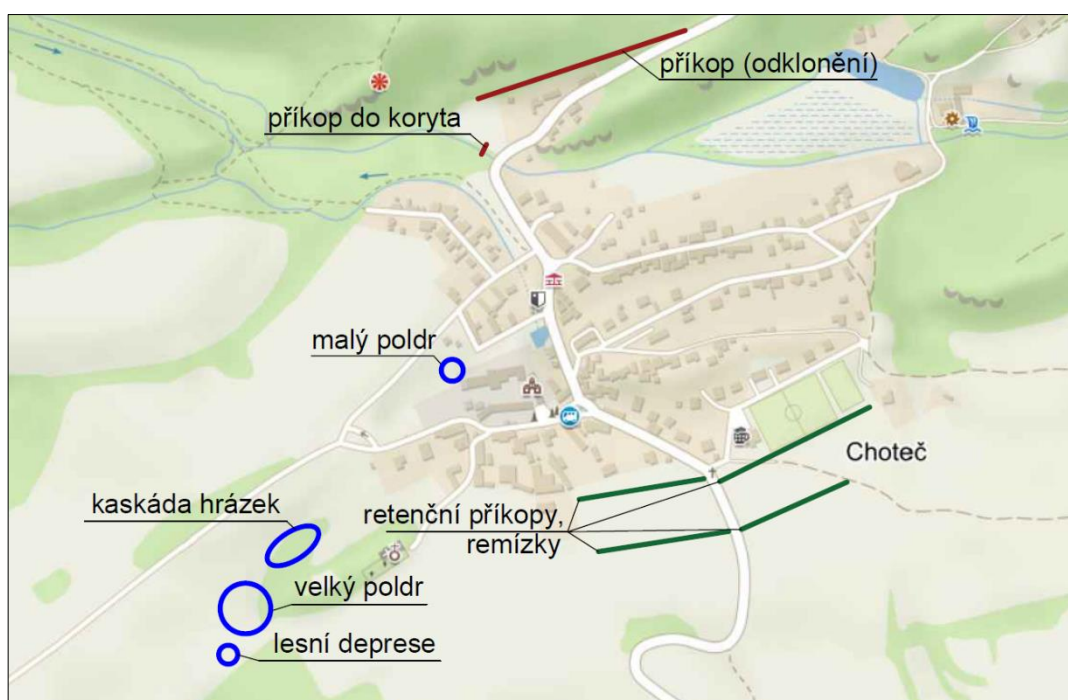
Výběr opatření probíhal na základě informací získaných na první schůzce s vedením obce, kde byla zmíněna snaha nátok extravilánových vod řešit co nejrychleji. Z toho důvodu byly voleny prvky centrální s co největším retenčním objemem.

Z hlediska zadržování vody v krajině by byly vhodným řešením menší retenční prvky rozptýlené v povodí, tedy remízky, příkopy, tůně apod. Vzhledem k množství prvků, které by bylo potřeba pro řešení přívalových dešťů, a vzhledem k tomu, že většina pozemků v obci je v soukromém vlastnictví, trvalo by dohodnutí podmínek umístění prvků značnou dobu. Zároveň jsou tyto prvky náchylnější k zanášení, a tedy náročnější na údržbu.

Uvažovanými opatřeními proti nátokům extravilánových vod do obce byly:

- odklonění proudu vody příkopem ve svahu a vytvoření odtoku ze západní deprese u mostu „hlavní“ příkopem vedeným do koryta toku
- retenční příkopy a remízky
- kaskáda hrázek v přirozené svodnici severně od kostela
- retenční v zalesněné terénní depresi jihozápadně od kostela sv. Kateřiny
- malý poldr nad ochranným valem v zástavbě nad Panským dvorem
- velký poldr na zemědělské půdě západně od kostela sv. Kateřiny

Lokace jednotlivých uvažovaných opatření je přehledně znázorněna na Obr. 51.



Obr. 51: Přehled umístění uvažovaných opatření proti nátokům extravilánových vod ze severního (červená), jižního (zelená) a jihozápadního (modrá) směru

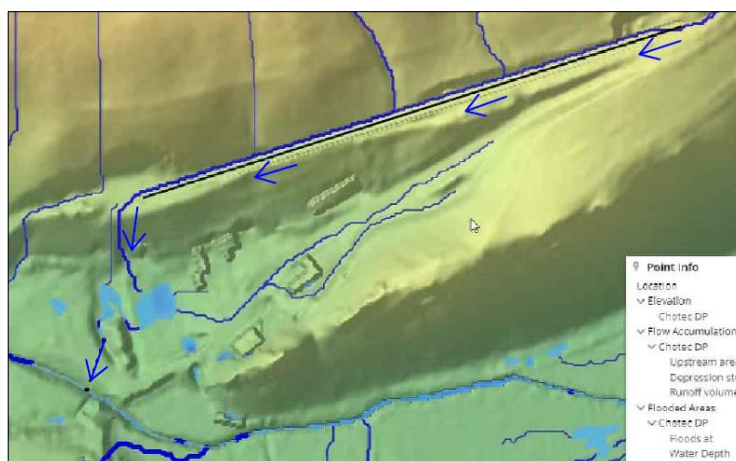
### 6.5.1 Sever

Prvním návrhem řešení nátoků ze severu bylo vedení zachytného příkopu po okrajích komunikace. Toto opatření bylo ale vzápětí zavrženo. Pokud by byl příkop travnatý, nezabránilo by se vymílání půdy, a tedy i narušování vozovky. Kdyby byl prvek realizován zpevněný z betonu, došlo by k výraznému urychlení odtoku. Vzhledem ke sklonu terénu by tak došlo k dalšímu zvýšení rychlosti proudění a možnému rozrušování materiálu. Možným řešením by bylo postavit žlab s kamennou rovnatinou, aby při průtoku docházelo k tlumení kinetické energie vody. Tato varianta



by však byla finančně velmi náročná. Zásadní překážkou k realizaci je rovněž nedostatek prostoru v zastavěné oblasti, kudy vozovka prochází. Pro výstavbu odvodňovacího prvku by bylo nutné udělat rekonstrukci a reorganizaci místní infrastruktury.

Místo svedení vody podél komunikace do potočního koryta bylo navrženo odklonění nátoky na lesní cestu, která zde byla připravena v 50. letech minulého století pro přeložku místní komunikace. Odklonění bylo provedeno na vozovce cca 310 m od silničního mostu a dosáhlo se snížení sklonu z 13,8 % na 6,1 %. Došlo tak ke zpomalení rychlosti povrchového odtoku a tím i snížení kinetické energie. Voda byla vedena mimo zastavěné území po lesní cestě ve svahu za zástavbou a dále byla zaústěna do přirozené svodnice a do přirozené terénní deprese západně od vozovky. Z terénní deprese byl veden trativod do koryta toku nad mostem. Odtokovou cestu odkloněného nátoky znázorňuje Obr. 52.



Obr. 52: Směr proudění vody po odklonění ze severní komunikace – program SCALGO Live

V modelu byl tento prvek nejprve řešen snížením bathymetrie, ale jelikož je řešení nátoky pouze změnou výšek velmi náročná, byla dále vložena hrázka přes silnici vedená dál podél lesní cesty, která vodu odklonila a dále usměřňovala.

Pro navržení dimenze příkopu je nutné nechat vypracovat samostatný projekt, který dále posoudí riziko sesuvu půdy vlivem proudění vody. Aby nedošlo k ohrožení svahu sesuvem z důvodu nátoky většího než návrhového množství vody, bylo by vhodné příkop osadit bezpečnostním přelivem, který by „přebytečnou“ vodu odváděl na původní trasu (současný stav), tedy na vozovku.

## 6.5.2 Jih

Jak ukázala analýza povodí v programu SCALGO Live, nelze v oblasti nátok z jihu vytvořit žádný soustředěný retenční prostor, který by odtok dešťové vody do obce zpomalil, neboť by bylo zachyceno pouze zlomkové množství nesoustředěného přítoku vody z extravilánu. Z toho důvodu nebylo v modelu žádné opatření umístěno. Z diskuse s vedením obce však vyplynulo, že by měla obec zájem o umístění liniových prvků snižující nátok a rychlost extravilánových vod. S ohledem na charakter ploch by bylo možné pole rozdělít kolmo na spádnice remízem, který zvyšuje drsnost plochy, zvyšuje retenční kapacitu, podporuje výpar apod., a doplnit jej o retenční příkop s bezpečnostním přelivem, který by vodu zadržoval a jehož odtok by byl zaústěn do místní jihovýchodní rokle. Možný návrh je na schématu na Obr. 53.



Obr. 53: Možný návrh opatření proti nátok extraviánových vod z jižního směru

Při pohlednutí na letecké snímky lze vidět, že pole západně od vozovky je zřejmě oráno po spádnici (Obr. 54), což nejen urychluje odtok a odnos půdních částic, ale i způsobuje vymývání zasazených semen nebo například hnojiva. Rozhodně by bylo účelné ohlídat, aby zde orba a sadba probíhala kolmo na spádnice.



Obr. 54: Orba po spádnici (vlevo), vrstevnice terénu (vpravo)

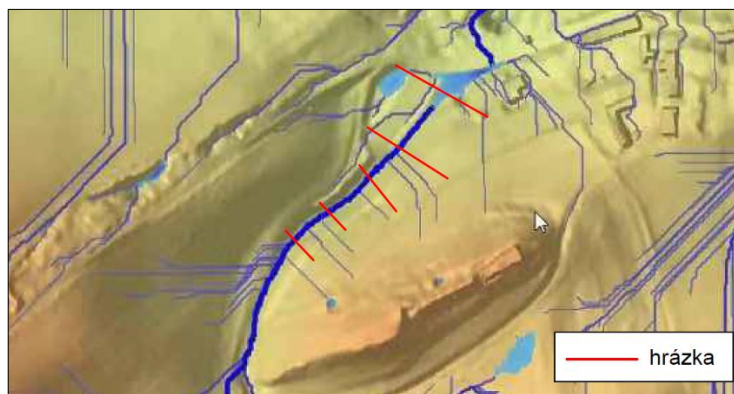
### 6.5.3 Jihozápad

Nátok dešťové vody z jihozápadu od kostela sv. Kateřiny bylo možné řešit více způsoby.

Po osobní prohlídce území byl v úvahu vzat návrh kaskády hrázek (obdobně jako na Obr. 55) do přirozené svodnice u kostela dle schématu na Obr. 56.



Obr. 55: Ilustrační fotografie kaskády hrázek v přirozené svodnici [63]



Obr. 56: Schéma návrhu řešení nátoku kaskádou hrázek v přirozené svodnici u kostela sv. Kateřiny  
Tento přirozený terénní útvar (Obr. 57) je však v příliš velkém sklonu, a tak bylo po zanesení hrázkou do SCALGO Live zjištěno, že retenční prostory nedosahují dostatečných objemů (cca 1 070 m<sup>3</sup>). Kaskáda hrázek je navíc náchylnější k zanášení, a tedy i náročnější na údržbu a s ní spojené náklady. Zároveň lze v tomto případě

předpokládat, že by výstavba kaskády hrázek byla větší finanční zátěží než vystavění jedné hráze poldru. Tento návrh tak byl zamítnut a nebyl v modelu uvažován.



Obr. 57: Fotografie přirozené terénní svodnice u kostela

Při osobní prohlídce se dále v terénu příznivě jevila terénní deprese s lesním porostem nad kostelem (Obr. 58). Po zanesení hráze do SCALGO Live však bylo zjištěno, že se sníženina nenachází na výhodném místě, neboť není v místě závěrného bodu významné části povodí přispívající k nátoku z jihozápadu do místní rokle a k ochrannému valu. Ani tento návrh tak nebyl v modelu uvažován.



Obr. 58: Umístění terénní deprese s lesním porostem nad kostelem sv. Kateřiny

Po umístění hráze ve SCALGO Live se objemově zajímavá se svými 3 210 m<sup>3</sup> jevila rokle nad ochranným valem (Obr. 59).



Obr. 59: Zkušební umístění hráze malého poldru ve SCALGO Live

Nejprve byla v programu SCALGO Live provedena analýza vhodného umístění hráze. Na základě této analýzy byla v modelu umístěna hráz, a to stejným způsobem jako byly do modelu zaneseny mostní objekty, tedy kombinací propustku a přelivu. Průměr propustku byl stanoven pomocí řešitele v programu Microsoft Excel tak, aby kapacitní průtok propustku  $Q_{kap.propustek}$  [m<sup>3</sup>/s] odpovídal kapacitnímu průtoku odvodňovacích prvků pod ochranným valem  $Q_{kap.prvky}$  spočítaným na základě rovnic (3) - (11) v kapitole 5.4.2.  $Q_{kap.prvky}$  byl stanoven na 1,24 m<sup>3</sup>/s, což po zaokrouhlení odpovídá propustku o průměru 650 mm. Výpočet kapacitního průtoku propustku je uveden v Tab. 18.

Tab. 18: Výpočet dimenze propustku malého poldru na základě výpočtu kapacitního průtoku

PROPUSTEK MALÝ POLDR		
profil	DN	665 mm
sklon	i	2 %
drsnostní součinitel	n	0.012 s/m <sup>1/3</sup>
plocha	S	0.34784 m <sup>2</sup>
omnožený obvod	O	2.09 m
hydraulický poloměr	R	0.17 m
rychlost	v	3.56 m/s
kapacitní průtok	$Q_{kap.propustek}$	1.24 m <sup>3</sup> /s

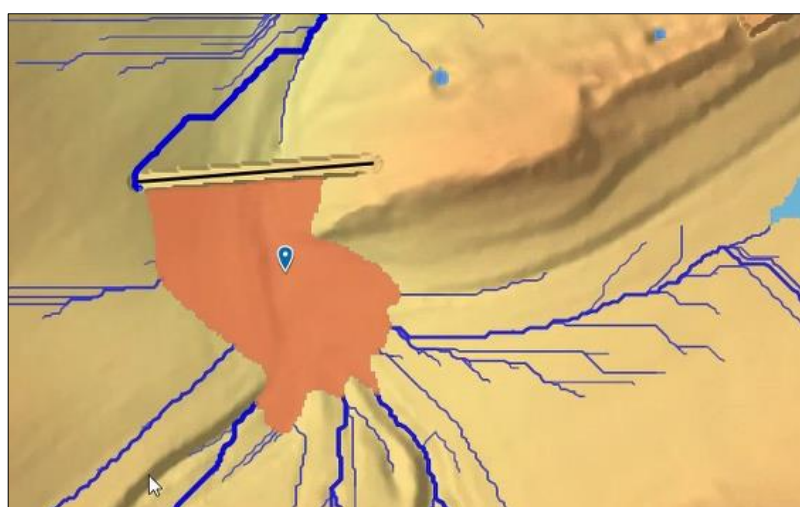
Charakteristiky objektů poldru jsou zapsány v Tab. 19.

Tab. 19: Charakteristiky objektů hráze malého poldru

malý poldr							
propustek				přeliv			
tvar	kruhový	vtok	305.330 m	mostovka	307.837 m		
průměr	0.65 m	výtok	305.270 m	průtočný prostor nad přelivem			
délka	3 m	Manning M	83.3 m <sup>1/3</sup> /s	úroveň [m]	0	0.1	50
				šířka [m]	0.1	38.55	38.55

Propustek poldru byl uvažován z betonové trouby, ačkoli se dimenze 650 mm běžně nevyrabí, a to protože šlo pouze o hrubý návrh. Pod hráz poldru byl umístěn KP malý poldr. Model byl nejprve spuštěn beze změny v bathymetrii, nicméně průtok ve výsledkovém souboru ukázal, že hráz je přelévána. Proto byl odhadem zvětšován objem snižováním bathymetrie směrem do svahu. Ani po druhém snížení bathymetrie však nebyl tento malý poldr dostatečně kapacitní.

Dle analýzy v programu SCALGO Live se jako nejúčinnější řešení jevílo umístění velkého poldru s objemem 6 800 m<sup>3</sup> na počátek přirozené svodnice u kostela sv. Kateřiny (Obr. 60).



Obr. 60: Zkušební umístění hráze velkého poldru ve SCALGO Live

Na základě této analýzy byla do modelu umístěna hráz s charakteristikami dle Tab. 20.

Tab. 20: Charakteristiky objektů hráze velkého poldru

velký poldr					
propustek			přeliv		
tvar	kruhový	vtok	330.460 m	mostovka	338 m
průměr	0.7 m	výtok	330.400 m	průtočný prostor nad přelivem	
délka	4 m	Manning M	83.3 m <sup>1/3</sup> /s	úroveň [m]	0    0.1    50
				šířka [m]	0.1    70.4    70.4

Dimenze propustku byla vypočtena na základě stejného principu jako u malého poldru. Průměr propustku byl po zaokrouhlení stanoven na 700 mm. Ačkoli se tato dimenze běžně nevyrabí, propustek poldru byl uvažován z betonové trouby, jelikož šlo pouze o hrubý návrh. Výpočet dimenze propustku je k uveden v Tab. 21.

Tab. 21: Výpočet dimenze propustku velkého poldru na základě výpočtu kapacitního průtoku

PROPUSTEK VELKÝ POLDR		
profil	DN	702 mm
sklon	i	1.5 ‰
drsnostní součinitel	n	0.012 s/m <sup>1/3</sup>
plocha	S	0.387 m <sup>2</sup>
omočený obvod	O	2.21 m
hydraulický poloměr	R	0.18 m
rychlost	v	3.20 m/s
kapacitní průtok	Q <sub>kap.propustek</sub>	1.24 m <sup>3</sup> /s

Pod takto vytvořenou hráz byl umístěn KP velký poldr. Po spuštění modelu bylo z výsledků zřejmé, že i bez zvětšování objemu poldru nedochází k přelítí hráze.

Při výstavbě velkého poldru by bylo nutné přeložení polní cesty, která vede kolem kostela a je obslužnou cestou okolních polí. Vzhledem k tomu, že je výpočetní síť poměrně hrubá, jsou návrhové hodnoty poldru jen hrubým odhadem a pro návrh poldru by bylo nutné nechat vypracovat projekt s podrobnými výpočty.

## 6.6 Funkčnost navržených opatření

Úvodem je na místě připomenout, že simulace byla počítána bez infiltrace a výparu. Návrh je tak výrazně na straně bezpečnosti.

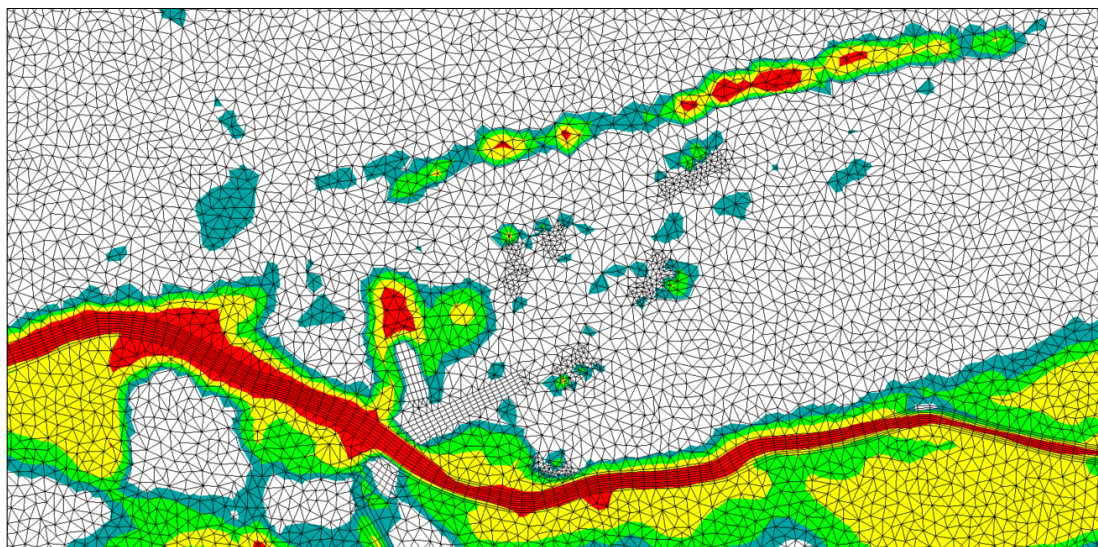
Umístění výsledkových kontrolních profilů v modelu je k nahlédnutí na Obr. 61.



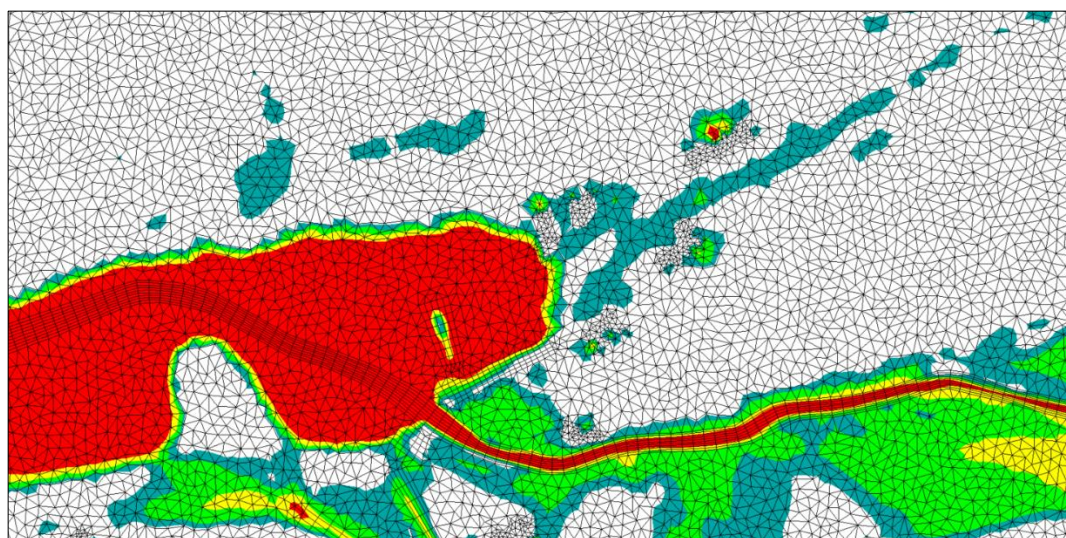
Obr. 61: Umístění výsledkových kontrolních profilů v modelu

### 6.6.1 Sever

Umístěním opatření proti severnímu nátok extravilánových vod byl proud odkloněn z místní vozovky na polní cestu, což je dobře viditelné na Obr. 62. Pro porovnání je na Obr. 63 uveden stav před umístěním opatření.



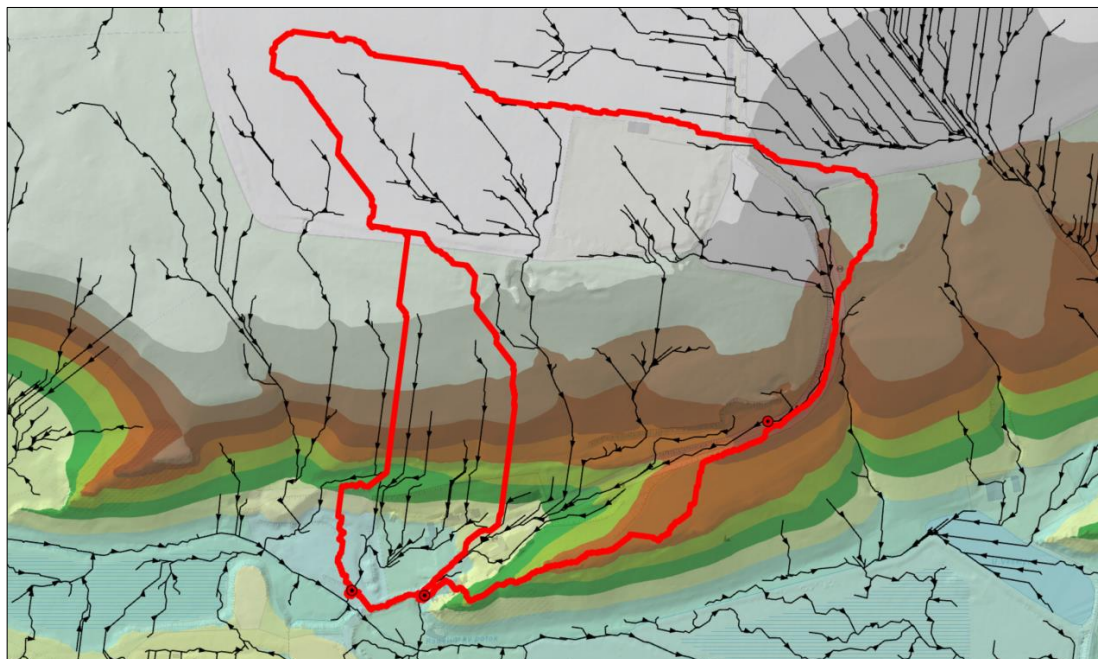
Obr. 62: Odklonění proudu na lesní cestu ve svahu a dále do terénní deprese a koryta toku



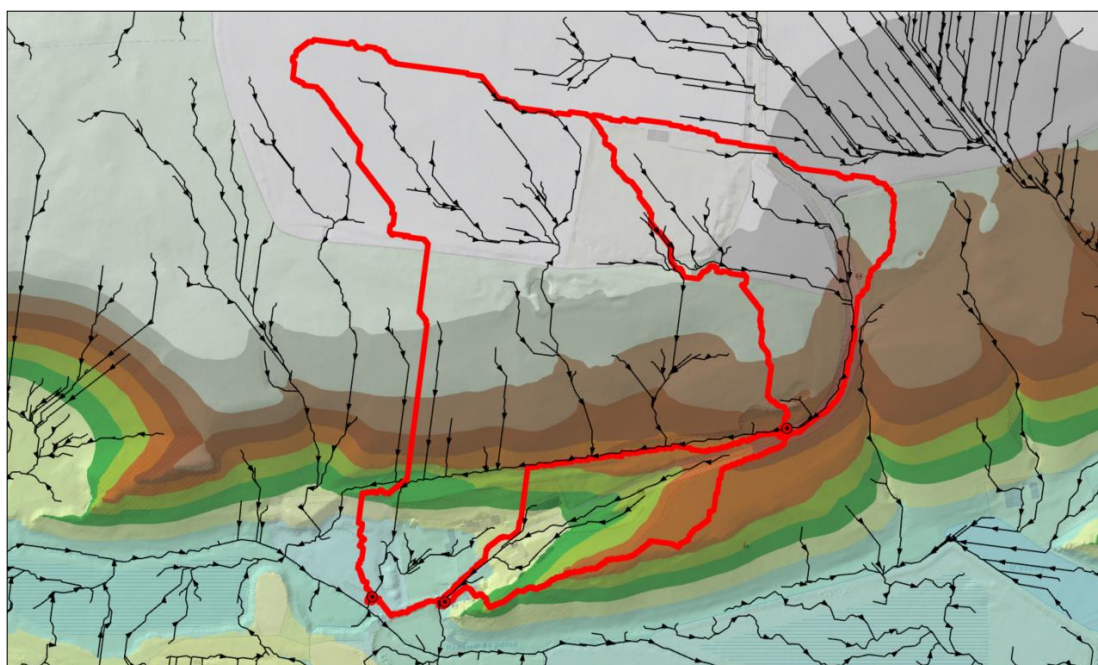
Obr. 63: Nátok extravilánových vod ze severu před odkloněním



Jak lze zjistit z porovnání Obr. 64 a Obr. 65, kromě odklonění proudu vody z vozovky došlo umístěním příkopu také k odklonění odtoku z části povodí ve svahu a jeho odvedení do terénní deprese delší odtokovou trasou.

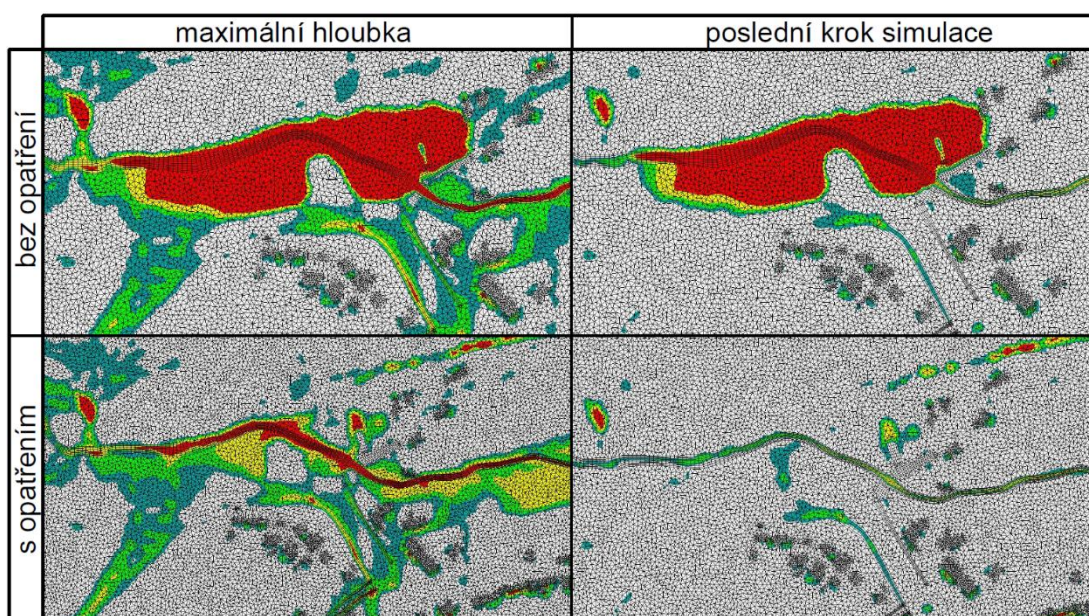


Obr. 64: Odtokové trasy a příslušná povodí za současného stavu; vpravo povodí silnice, vlevo povodí terénní deprese



Obr. 65: Odtokové trasy a příslušná povodí po umístění opatření; vpravo dole povodí silnice, vpravo nahoře a vlevo povodí terénní deprese

Z kumulativní průtokové čáry KP pod mostem hlavní (Obr. 12.6.1.2) je zřejmé, že při aplikaci opatření proteče profilem koryta pod mostem celkem o cca 17 000 m<sup>3</sup> víc než za současného stavu. V modelu bez opatření (současný stav) dochází k plnění západní terénní deprese a její zaplnění ovlivňuje další nátok vody v úseku proti proudu. Voda je zpomalována, hromadí se a následně se rozlévá do inundace, kde se drží až do posledního kroku simulace. Proto dochází v celkovém objemu odtoku k rozdílu. Aby došlo k vyprázdnění inundace, musel by být výpočet spuštěn pro delší časové období. Zaplavení inundace bylo umístěním opatření vyřešeno, neboť příkopem do koryta se terénní deprese prázdní a dochází tak k odtoku veškeré přitékající vody. Stav před a po umístění opatření je zřetelný z Obr. 66. Jednotlivé obrázky jsou potom k vidění v příloho­vé části práce v kapitole 12.6.

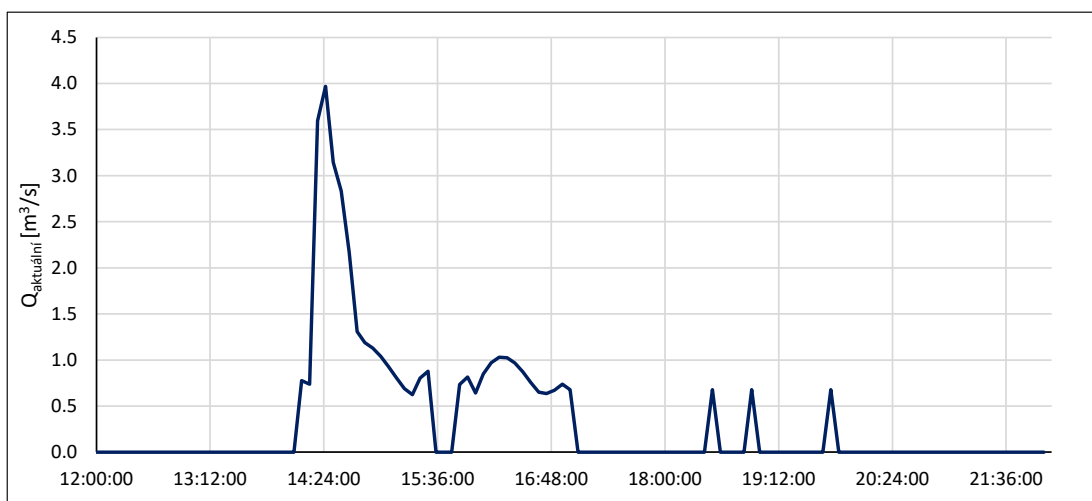


Obr. 66: Stav inundace před a po umístění opatření

### 6.6.2 Jihozápad – malý poldr

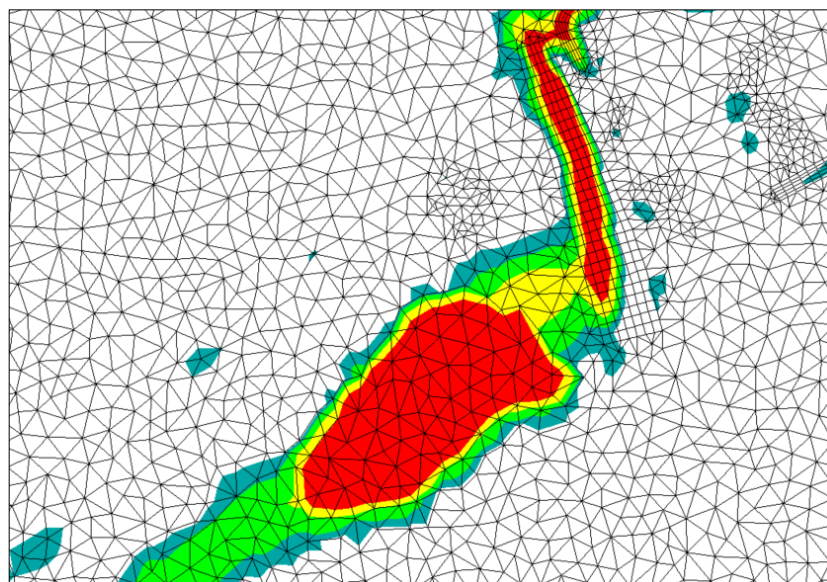
Z průtokové čáry je zřejmé, že kapacitní průtok propustku (cca 0,75 m<sup>3</sup>/s) je nižší než vypočtený (1,24 m<sup>3</sup>/s). To je způsobeno jiným přístupem k výpočtu. Návrh dimenze propustku byl proveden jednoduchým výpočtem přes Chézyho rovnici. Vzhledem k tomu, že kapacita prvků pod ochranným valem byla stanovena vyšší než 0,75 m<sup>3</sup>/s a že stejný způsob výpočtu byl uplatněn i pro výpočet kapacity odvodňovacích prvků pod valem, nebyla dimenze propustku dále upravována. Pro přesnější návrh poldru by bylo nutné nechat vypracovat podrobný projekt.

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.5.3, kapacita poldru nebyla ani po snížení bathymetrie, tedy po uvažování těžby zeminy, dostatečná. Průběh průtoků v čase na Obr. 67 prozrazuje, že dochází v čase 14:25 k přelítí hráze poldru. Tuto skutečnost dokazuje i fakt, že maximální hloubka vody v poldru je 2,4 m na místě s nadmořskou výškou terénu 305,623 m n. m. To znamená, že voda vystoupá na úroveň 308,023 m n. m., tedy necelých 20 cm nad úroveň tělesa hráze.



Obr. 67: KP malý poldr – průtok  $[m^3/s]$  v čase, detail 12–22 hod.

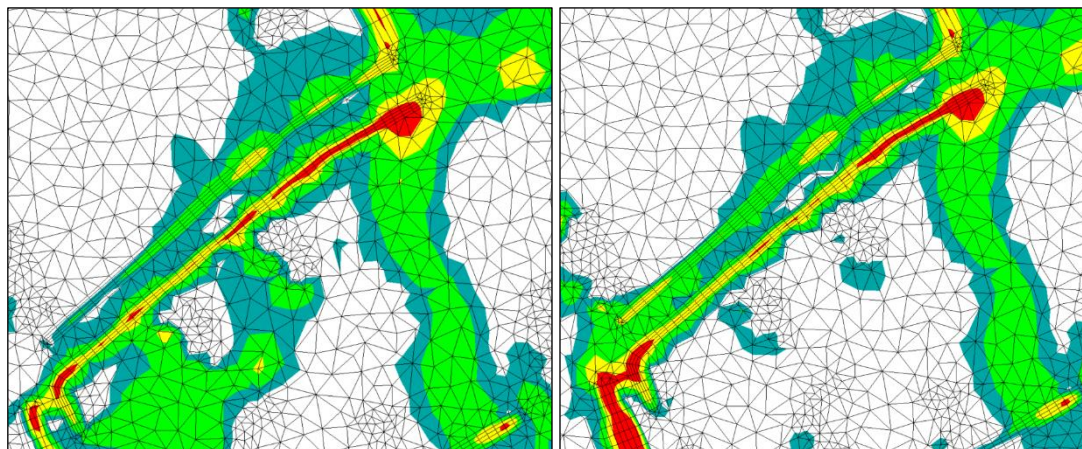
Přetékání hráze poldru je zřejmé i při zobrazení maximálních vypočtených hloubek na Obr. 68.



Obr. 68: Malý poldr – zobrazení maximálních hloubek

Nedostatečnost kapacity malého poldru lze demonstrovat i porovnáním maximálních hloubek v oblasti odvodňovacích prvků pod ochranným valem, tedy na silnici

u zástavby pod valem. Jak lze vidět na Obr. 69, i po umístění malého poldru dochází k rozlivu vody z prvků systému odvodnění a proudění vody po vozovce.

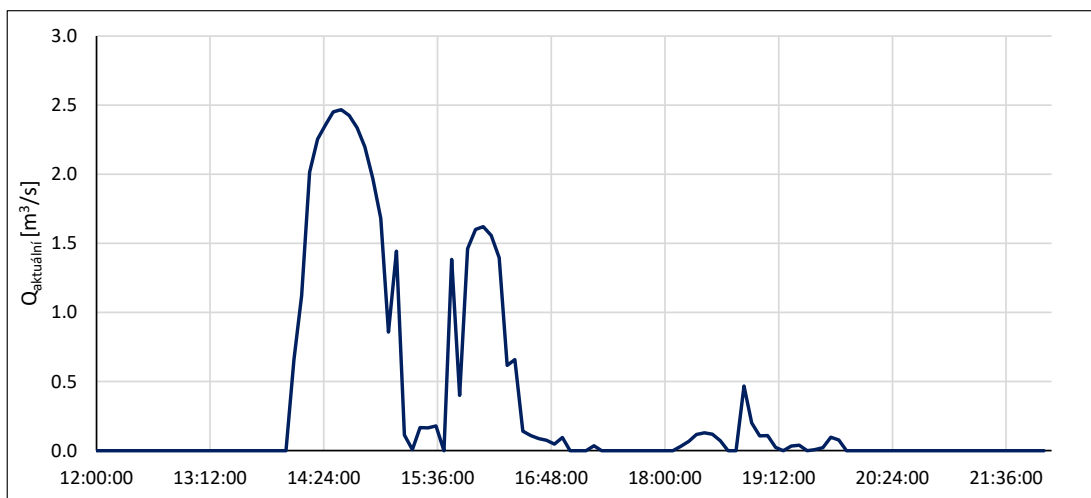


Obr. 69: Porovnání maximálních hloubek na vozovce pod ochranným valem: vlevo současný stav, vpravo s umístěním malého poldru

### 6.6.3 Jihozápad – velký poldr

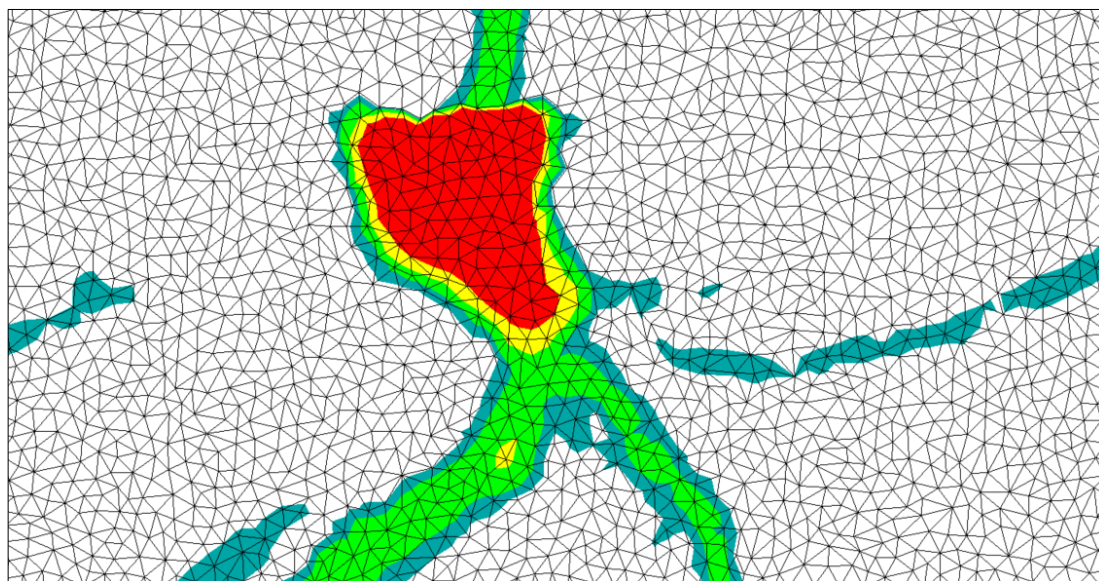
I v případě propustku velkého poldru se simulovaný kapacitní průtok liší oproti návrhovému, který je ovšem nižší. Bylo by vhodné profil propustku zmenšit, abychom se dostali na stranu bezpečnosti s ohledem na kapacitu odvodnění pod valem. Nicméně objekt byl v modelu ponechán beze změny, protože stejný způsob výpočtu jako u kapacity propustku byl uplatněn i pro výpočet kapacitního průtoku prvků odvodnění pod ochranným valem, jak již bylo uvedeno v kapitole 6.6.2.

Velký poldr dokáže transformovat návrhový dešť bez zvětšování jeho objemu těžbou zeminy (Obr. 70).



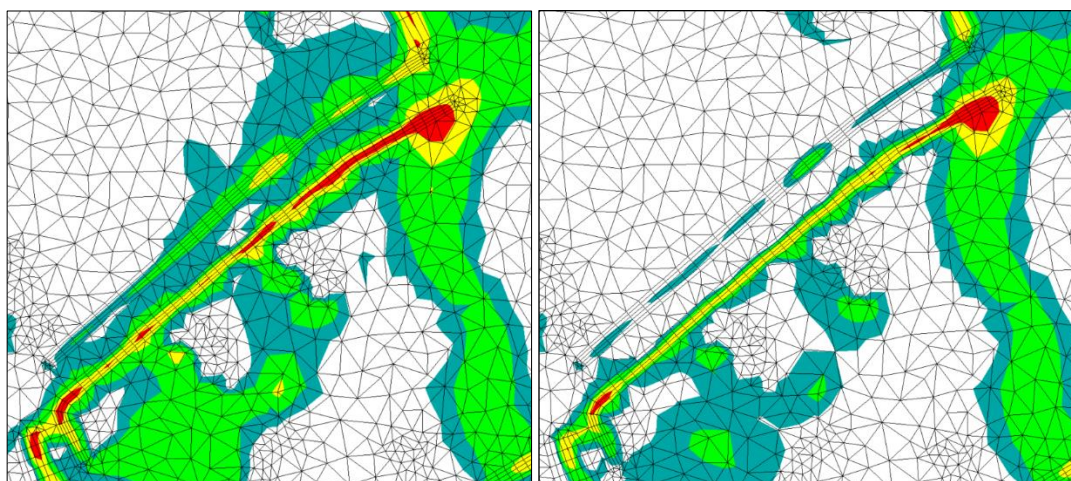
Obr. 70: KP velký poldr – průtok [m³/s] v čase, detail 12–22 hod.

Na zobrazení maximálních hloubek (Obr. 71) je pěkně viditelný nátok extravilánových vod z několika odtokových tras (což byl důvod, proč byla zamítnuta varianta řešení retencí v lesní terénní depresi). Zároveň je zřejmé, že poldr je funkční a nepřeléváný.



Obr. 71: Velký poldr – zobrazení maximálních hloubek

Podíváme-li se opět na maximální hloubky pod ochranným valem, je na první pohled dobře rozlišitelné, že po umístění velkého poldru nedochází k rozlivu vody z odvodňovacích prvků a k proudění vody po vozovce. Porovnání maximálních hloubek je na Obr. 72.



Obr. 72: Porovnání maximálních hloubek na vozovce pod ochranným valem: vlevo současný stav, vpravo s umístěním velkého poldru

Že nebude hráz přelévána bylo zajištěno také její vysoko umístěnou korunou, a to na úrovni 338 m n. m. Maximální hloubky 4,2 m dosahuje voda v místě s nadmožskou

výškou terénu 330,986 m n. m. Koruna tělesa hráze by tak mohla být umístěna na úroveň 335,2 m n. m. a nedošlo by k jejímu přelití. Pro analýzu efektivity bude koruna hráze uvažována ve výšce 335,5 m n. m.

Pro návrh poldru by bylo nutné nechat vypracovat samostatný projekt. Reálně je povodí schopno infiltrace a výparu, průtok extravilánových vod je tak nižší. Proto by bylo možné kubaturu poldru uvažovat nižší, nebo profil propustku menší. Zároveň by bylo nutné získat zeminu na výstavbu tělesa hráze, což by bylo řešeno těžbou v zádržném prostoru poldru, a tedy by došlo ke zvětšení retenční kapacity a minimalizaci přesunu materiálu. Vedení obce zmínilo, že by uvažovali nad takovým poldrem, který by měl hráz maximálně tři metry vysokou. Zvětšením kapacity poldru zemními pracemi by byla i tato skutečnost vyřešena.

V projektech pro realizaci by oba poldry měly disponovat bezpečnostním přelivem, ačkoli jsou v modelu zadávány bez toho objektu!

## 6.7 Analýza efektivity opatření

### 6.7.1 Reálné deště

Přehled spouštěných výpočtů pro analýzu efektivity s modelem zatíženým reálnými dešti je k vidění v Tab. 22.

Tab. 22: Přehled spouštěných variant simulací s reálnými dešti

model (resp. opatření)	směr nátoků	zatěžující dešť
bez opatření	-	12. 5. 2021
bez opatření	-	13. 5. 2021
malý poldr	jihozápad	12. 5. 2021
malý poldr	jihozápad	13. 5. 2021
velký poldr	jihozápad	12. 5. 2021
velký poldr	jihozápad	13. 5. 2021
rigol	sever	12. 5. 2021
rigol	sever	13. 5. 2021

Aktuální a kumulativní průtoky z výsledkových kontrolních profilů ze zatížení srážkou ze dne 12. 5. 2021 jsou k nahlédnutí na Obr. 12.6.1.1–Obr. 12.6.1.8. v kapitole 12.6.

#### 12. 5. 2021 – sever

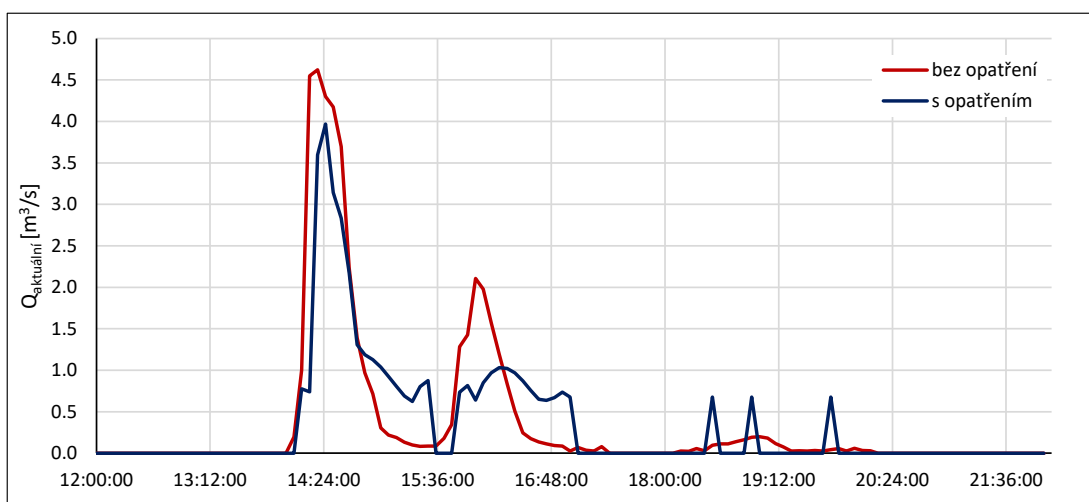
Aplikace opatření proti severnímu nátoků extravilánových vod způsobila odklon proudu vody z místní komunikace a z části povodí ve svahu. Před umístěním opatření na vozovku nateklo celkem 938,8 m<sup>3</sup> (Obr. 12.6.1.3). Dle kumulativní čáry průtoků

z KP na začátku rigolu se příkopem na lesní cestě ve svahu podařilo odklonit dvě třetiny (66,4 %) nátoku na vozovku, dle kumulativní čáry průtoku (Obr. 12.6.1.4) celkem 623,3 m<sup>3</sup>. Rozdíl těchto objemů, tedy 315,5 m<sup>3</sup>, představuje vodu, která byla příkopem odkloněna až za umístěním výsledkové průtokové čáry.

V KP pod mostem dochází v první vlně ke zvýšení kulminačního průtoku z 6,74 m<sup>3</sup>/s na 12,08 m<sup>3</sup>/s (tedy téměř na dvojnásobek), což je způsobeno tím, že se první vlna deště nedrží v přirozené terénní depresi, ale odtéká do koryta Radotínského potoka. U druhé vlny pak dochází k mírnému snížení kulminačního průtoku z 6,18 m<sup>3</sup>/s na 5,83 m<sup>3</sup>/s. Za stavu před opatřením byla druhá vlna částečně dotována z přetoku první vlny z terénní deprese. Největší rozdíl v kumulativním průtoku v čase simulace je 17 475,4 m<sup>3</sup>.

## 12. 5. 2021 – jihozápad – malý poldr

Z průběhu průtoků na Obr. 73 je zřejmé, že malý poldr není schopen transformovat povodňovou vlnu vyvolanou silným začátkem deště. Sice dochází ke snížení kulminačního průtoku první vlny z 4,62 m<sup>3</sup>/s na 3,97 m<sup>3</sup>/s, nikoli však k zásadnímu prodloužení času odtoku. Jak lze v grafu vidět, druhý peak již poldr transformovat dokáže. Dochází ke snížení kulminačního průtoku o 1,07 m<sup>3</sup>/s (z 2,1 m<sup>3</sup>/s na 1,03 m<sup>3</sup>/s), jeho zpoždění o 10 minut a rozložení odtoku vlny v čase. Ostré peaky po 18. hodině jsou vyvolané plněním a prázdněním elementů výpočetní sítě.



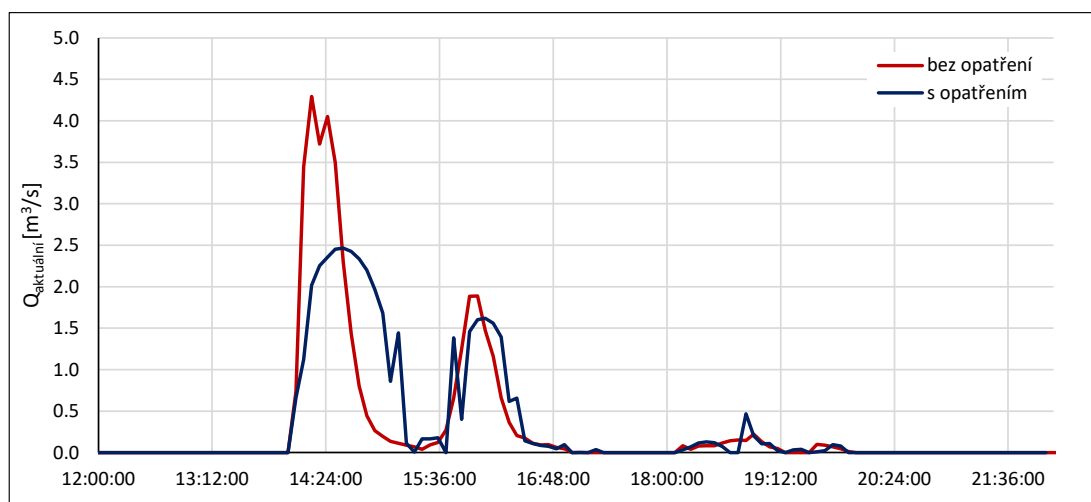
Obr. 73: Malý poldr: porovnání průtoku pod poldrem bez opatření a s opatřením – detail 12–22 hod.

Při umístění poldru nedochází k odklonění proudu vody a celkový objem odtoku tak zůstává 14 400 m<sup>3</sup> (Obr. 12.6.1.6). Maximální rozdíl v kumulativním průtoku v čase

dosahuje objemu 1 591,67 m<sup>3</sup>. Jak již bylo uvedeno v kapitole 6.6.2, při návrhové srážce malý poldr požadavkům nevyhovuje.

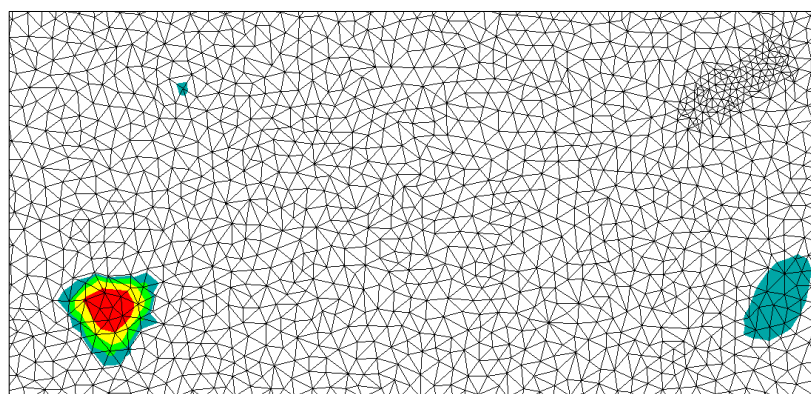
### 12. 5. 2021 – jihozápad – velký poldr

Jak lze vidět na Obr. 74, velký poldr dokáže transformovat obě přívalové vlny deště. Kulminační průtok první vlny byl snížen z 4,29 m<sup>3</sup>/s na 2,47 m<sup>3</sup>/s, tedy o 1,8 m<sup>3</sup>/s, a opožděn o 20 minut. U druhé vlny došlo ke snížení kulminačního průtoku o 0,3 m<sup>3</sup>/s (z 1,89 m<sup>3</sup>/s na 1,62 m<sup>3</sup>/s) a jeho zpoždění o 10 minut.



Obr. 74: Velký poldr: porovnání průtoku pod poldrem bez opatření a s opatřením – detail 12–22 hod.

Po umístění poldru dochází ke snížení celkového objemu odtoku asi o 150 m<sup>3</sup> (Obr. 12.6.1.8). Tento objem zůstává v posledním kroku simulace v retenčním prostoru poldru (Obr. 75).



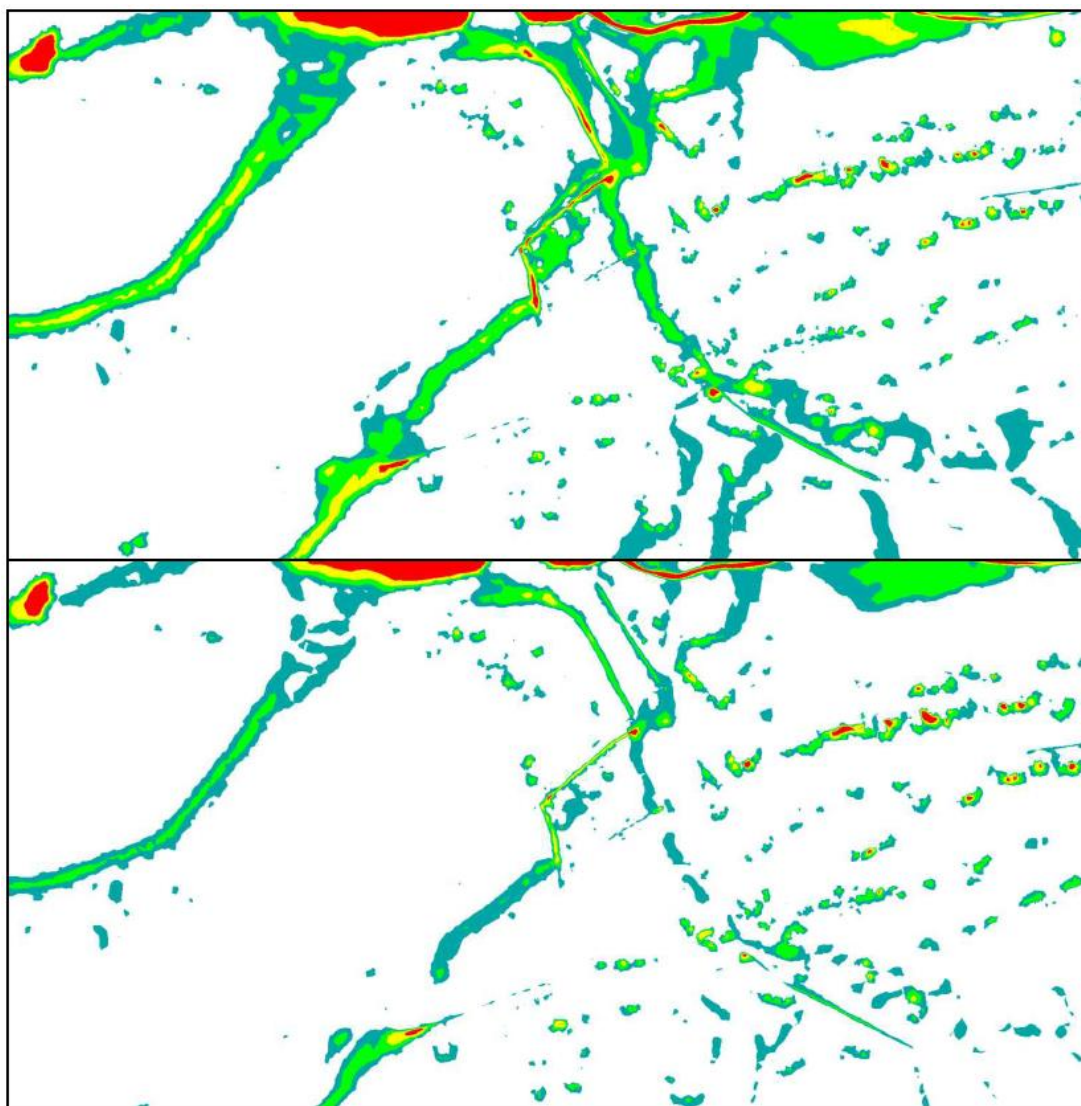
Obr. 75: Zůstatkový zadržovaný objem ve velkém poldru

Maximální rozdíl kumulativního průtoku v čase je 2 644,21 m<sup>3</sup>.



### 13. 5. 2021

Se srážkou z 13. 5. 2021 byl nejprve spuštěn model bez opatření. Již po zobrazení maximálních hloubek bylo zřejmé, že charakter zatěžující srážky nezpůsobuje v systému odvodnění potíže. Výrazný rozdíl v odezvě systému na srážku 12. a 13. 5. 2021 je dobře viditelný na Obr. 76. V případě návrhového deště dochází k rozlivu vody ze systému prvků odvodnění, zatímco v případě srážky z následujícího dne je voda dobře vedena systémem odvodnění do koryta toku.



Obr. 76: Porovnání maximálních hloubek v modelu (intravilán obce) bez opatření po zatížení srážkou ze dne 12. 5. 2021 (nahore) a 13. 5. 2021 (dole)

Nejkritičtější směr nátoku, tedy jihozápadním směrem, dosáhl kulminační průtok hodnoty  $1,44 \text{ m}^3/\text{s}$ , což je asi 16% nárůst oproti vypočtenému kapacitnímu průtoku prvků odvodnění pod ochranným valem. S ohledem na nižší přesnost výpočtu

a na výsledné maximální hloubky a odtokové trasy bylo umístění jednotlivých opatření v terénu vyhodnoceno jako nadbytečné, neboť jejich umístěním nebude docházet k transformaci odtoku.

Pro ověření byl model se srážkou 13. 5. 2021 spuštěn i s opatřeními a výsledné čáry průtoků jsou k prohlédnutí v kapitole 12.6 na Obr. 12.6.2.1–Obr. 12.6.2.8. Jak již bylo uvedeno dříve, ostré peaky jsou způsobeny plněním a prázdněním elementů výpočetní sítě.

## 6.7.2 Modelové deště

Pro analýzu úrovně zabezpečení byly použity modelové deště viz Tab. 23.

Tab. 23: Zatěžující modelové deště

zatěžující deště	
blokov deště	Šifaldovy deště
b1_10	Š1_10
b2_10	Š2_10
b1_20	Š1_20
b2_20	Š2_20
<p><b>pozn.:</b> značení Š1_10 značí Šifaldův dešť s dobou opakování N = rok a dobou trvání t = 10 minut  značení b1_10 značí blokový dešť s dobou opakování N = 1 rok a dobou trvání t = 10 minut</p>	

Jak bylo zmíněno v kapitole 6.6.3, úroveň koruny hráze velkého poldru byla pro analýzu efektivity uvažována ve výšce 335,5 m n. m. Vzhledem k velikosti elementů výpočetní sítě byla hráz v modelu uměle navýšena o 20 cm na výšku 335,7 m n. m., aby bylo možné zabezpečení na základě maximálních hloubek správně vyhodnotit. Vyhodnocování výsledných průtokových čar potom proběhlo z výsledků modelu bez navýšené koruny hráze, tedy s korunou ve výšce 335,5 m n. m.

Maximální hloubka vody se ve velkém poldru nacházela na místě s výškou terénu 331 m n. m. Aby nedocházelo k přelítí hráze, musel být vodní sloupec v tomto místě maximálně 4,49 m.

Jako první byl model zatížen blokovými dešti. Zabezpečení velkého poldru s modelovými dešti odpovídala jednoletému desetiminutovému dešti, kdy maximální hladina vystoupala 28 cm pod korunu hráze, tedy na úroveň 335,22 m n. m. Poldr byl při zatížení modelu ostatními blokovými dešti přeléván. Vyhodnocení zabezpečení velkého poldru při zatížení modelu blokovými dešti na základě hloubek je uvedeno v Tab. 24.

Tab. 24: Vyhodnocení zabezpečení velkého poldru při zatížení modelu blokovými dešti

	b1_10	b2_10	b1_20	b2_20
terén [m n. m.]	331	331	331	331
koruna hráze [m n. m.]	335.50	335.50	335.50	335.50
max. hloubka [m]	4.22	4.70	4.61	4.73
hladina [m n. m.]	335.22	335.70	335.61	335.73
vyhovuje:	ANO	NE	NE	NE

Při zatížení modelu modelovými dešti podle Šifaldy vyšla zabezpečení velkého poldru rovněž na jednoletý desetiminutový déšť. Hladina však tentokrát vystoupala do výšky 335,48 m n. m., tedy jen 2 cm pod korunu hráze. Vyhodnocení zabezpečení velkého poldru při zatížení modelu Šifaldovými dešti na základě hloubek je uvedeno v Tab. 25.

Tab. 25: Vyhodnocení zabezpečení velkého poldru při zatížení modelu Šifaldovými dešti

	Š1_10	Š2_10	Š1_20	Š2_20
terén [m n. m.]	331	331	331	331
koruna hráze [m n. m.]	335.50	335.50	335.50	335.50
max. hloubka [m]	4.48	4.73	4.69	4.73
hladina [m n. m.]	335.48	335.73	335.69	335.73
vyhovuje:	ANO	NE	NE	NE

Z maximálních hloubek je zřejmé, že při zatížení modelu Šifaldovými dešti vystoupá voda výš než při zatížení blokovými dešti. Šifaldův déšť bere v úvahu dynamiku deště a v intervalu  $\frac{1}{4}$  doby trvání deště dochází k navýšení intenzity na 2,3násobek intenzity blokového deště. Obecně je tak retenční prvek na Šifaldův déšť náchylnější.

Při porovnání kumulativních průtoků blokového a Šifaldova deště se stejnou dobou opakování a dobou trvání zjistíme, že si koncové objemy odtoku neodpovídají. Rozdíl v množství proteklého objemu vody přes poldr může také přispívat k rozdílu v maximálních hloubkách mezi blokovými a Šifaldovými dešti.

Rozdíl proteklých objemů má svůj původ v hydrodynamice. Při vyšších intenzitách může docházet k posunutí rozvodnice (zvětšování plochy povodí), jinak řečeno k nátoku (přetoku) vody do jiného povodí. Jelikož má část Šifaldova deště definovanou intenzitu více než dvojnásobnou oproti blokovému dešti, je objem odtoku u Šifaldových dešťů větší a rozdíl se projevuje i na kulminačních průtocích. Vyčíslení rozdílu celkových objemů odtoku je zřehledněno v Tab. 26. Navýšení udává, o jakou část je objem odtoku za Šifaldova deště navýšen oproti dešti blokovému. Rozdíly v kulminačních průtocích jsou uvedeny v Tab. 27.

Tab. 26: Porovnání objemů odtoku u blokových a Šifaldových modelových dešťů

děšť	Q <sub>kum.</sub> [m <sup>3</sup> ]	děšť	Q <sub>kum.</sub> [m <sup>3</sup> ]	děšť	Q <sub>kum.</sub> [m <sup>3</sup> ]	děšť	Q <sub>kum.</sub> [m <sup>3</sup> ]
b1_10	4956.12	b2_10	6714.19	b1_20	6859.91	b2_20	9377.17
Š1_10	5637.98	Š2_10	7655.37	Š1_20	7054.05	Š2_20	9618.69
dQ <sub>kum.</sub> [m <sup>3</sup> ]	681.86	dQ <sub>kum.</sub> [m <sup>3</sup> ]	941.18	dQ <sub>kum.</sub> [m <sup>3</sup> ]	194.14	dQ <sub>kum.</sub> [m <sup>3</sup> ]	241.52
navýšení [%]	13.8	navýšení [%]	14.0	navýšení [%]	2.8	navýšení [%]	2.6

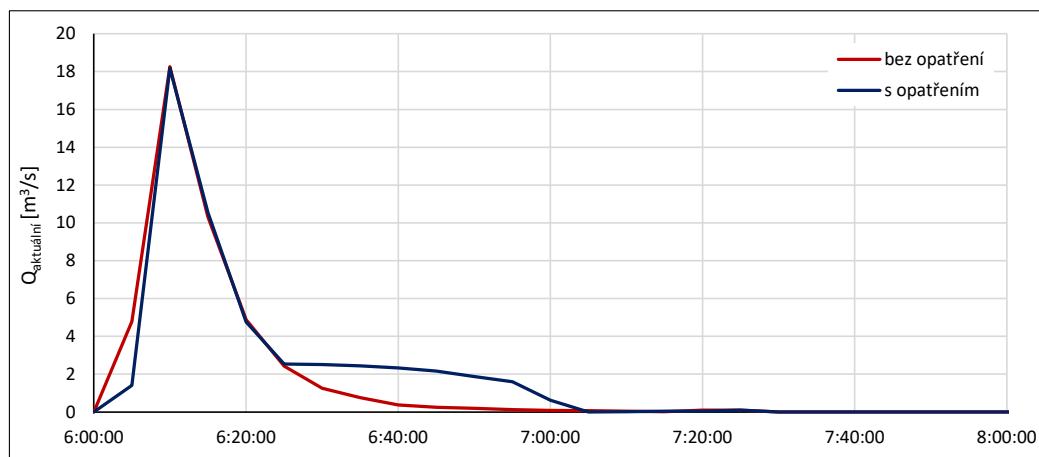
Tab. 27: Porovnání kulminačních průtoků odtoku u blokových a Šifaldových modelových dešťů

děšť	b1_10	b2_10	b1_20	b2_20
Q <sub>kulm.</sub> [m <sup>3</sup> /s]	2.40	6.73	3.81	7.70
děšť	Š1_10	Š2_10	Š1_20	Š2_20
Q <sub>kulm.</sub> [m <sup>3</sup> /s]	2.48	6.19	6.19	9.92

Průběhy průtoků při zatížení modelu jednotlivými modelovými dešti jsou k prohlédnutí v kapitole 12.6 na Obr. 12.6.3.1–Obr. 12.6.3.16.

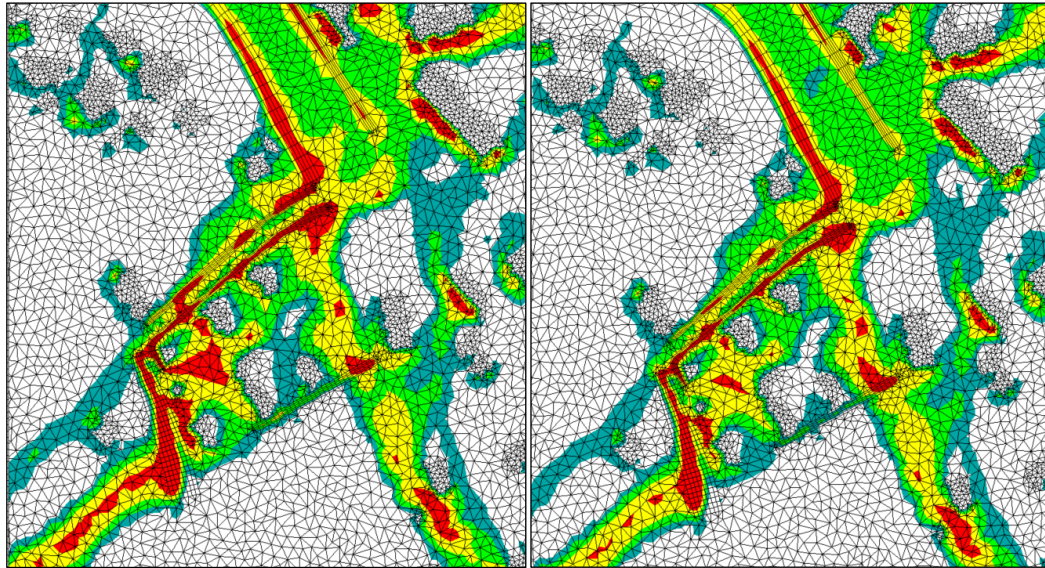
Případným navýšením hráze o 25 cm by se zabezpečenosť poldru navýšila na dvouletý dešť. Nutno podotknout, že umístěný poldr je uvažován bez zvětšování kapacity retenčního prostoru poldru zemními pracemi, ke kterému by při výstavbě kvůli snížení přesunu materiálu stejně došlo. Zvětšením kapacity poldru by došlo k navýšení jeho zabezpečenosťi.

Přesto, že navržený velký poldr má úroveň zabezpečenosťi na úrovni jednoletého deště, částečně ochrání území i při větších deštích. Poldr sice není schopen zachytit celý objem srážky a transformovat odtok z povodí, i tak jsou ale jeho účinky znatelné. Příklad částečné transformace větší dešťové události je uveden na Obr. 77, kde došlo k zatížení modelu desetiminutovým Šifaldovým deštěm o době opakování 20 let (Obr. 12.4.2.5 v přílohové části práce), který na povodí činí objem 14 000 m<sup>3</sup>.



Obr. 77: Velký poldr: porovnání průtoků pod poldrem bez opatření a s opatřením – Š20\_10

Bližším prozkoumáním oblasti pod ochranným valem (Obr. 78) zjistíme, že přítomnost velkého poldru měla za důsledek snížení maximálních hloubek (obecně jde cca o 10 cm).



Obr. 78: Porovnání maximálních hloubek v oblasti pod ochranným valem: vlevo současný stav, vpravo s umístěním malého poldru – Š20\_10

## 7 Závěr

Ačkoli se zpracování zadání neobešlo bez neočekávaných překážek, podařilo se je překonat a byly naplněny všechny dílčí cíle. Tím bylo dosaženo i splnění hlavního cíle, tedy zjištění srážko-odtokových poměrů v obci Choteč a vytvoření srážko-odtokového matematického modelu za účelem návrhu opatření proti extrémním srážkám.

Závěrečné shrnutí a zhodnocení dílčích cílů je popsáno níže:

- orientace v území, kde bude probíhat návrh opatření, a zaměření stávajícího systému odvodnění  
Při terénní prohlídce byly nalezeny lokace s potenciálem k umístění prvků opatření proti nátoků extravilánových vod při extrémních srážkách. Dále proběhlo zaměření stávajícího systému pomocí GPS. Aby bylo zaměření stávajícího systému dostatečné, musely proběhnout dvě terénní měření. Podařilo se zaměřit všechny prvky odvodnění i oba mostní objekty.
- stavba modelu zájmové oblasti a stávajícího systému odvodnění  
Příprava dat pro tvorbu modelu proběhla v programu ArcGIS Pro. 2D matematický model byl postaven v programu MIKE Plus, a to jako model pro odtok vody po povrchu terénu bez uvažování infiltrace a evaporace.
- kalibrace modelu  
Z důvodu nedostatku podkladových materiálů, nebylo možné provést úplnou kalibraci. Proto byla provedena hrubá kalibrace formou konzultací výsledků simulace, především pak odtokových cest, s místními obyvateli. Model nepotvrdil nátok na most „hlavní“ a z jižního směru potom nátok před obecní úřad. Vzhledem k charakteru navrhovaných opatření však nebylo nutné do modelu zasahovat. Přelévání ochranného valu, které místní obyvatelé nepotvrdili bylo vyřešeno umístěním fiktivní vysoké hrázky. Model byl poté schopný s dostatečnou přesností reprezentovat odezvu povodí na srážku.
- návrh opatření proti záplavám  
Pro severní směr nátoků extravilánových vod bylo navrženo odklonění proudu vody z místní komunikace do příkopu na lesní cestě ve svahu. Příkop byl veden tak, aby voda dále natékala do terénní deprese ležící západně od vozovky. Odtok vody z terénní deprese do koryta toku před mostem „hlavní“ byl zabezpečen umístěním příkopu.

Největší přítok byl zjištěn z jihozápadního směru. Do rokle nad ochranným valem byl umístěn poldr (malý poldr), který však svou kapacitou nebyl dostačující a návrhovou srážku nebyl schopen transformovat. Proto byl navržen poldr (velký poldr) v blízkosti kostela sv. Kateřiny, který dokázal návrhový déšť transformovat i bez zvětšování kapacity retenčního prostoru. Proti nátoků extravilánových vod z jihu nebylo do modelu umístěno žádné návrhové opatření. Bylo však doporučeno rozdělit orné plochy remízem a na hranici se zastavěnou oblastí vybudovat retenční příkop.

→ analýza efektivity

Model byl zatížen dvěma reálnými srážkami (12. a 13. 5. 2021) a modelovými dešti dvojího typu (blokované a Šifaldovy deště).

Vzhledem k tomu, že déšť z 12. 5. 2021 byl deštěm návrhovým, opatření (kromě malého poldru) vyhověla. Po analýze výsledků simulace z modelu zatíženého srážkou 13. 5. 2021 bylo vyhodnoceno, že srážka tohoto charakteru nezpůsobuje v systému potíže a není tak nutné opatření aplikovat.

Ze zatížení modelu modelovými dešti vyšlo najevo, že úroveň zabezpečení velkého poldru je na úrovni jednoletého desetiminutového deště. Navýšením hráze velkého poldru o 25 cm by se úroveň zabezpečení zvýšila na dvouletý déšť. Při výstavbě poldru by v rámci snížení nutných přesunů materiálu došlo k výkopu zeminy, čímž by se zvětšila kapacita retenčního prostoru poldru, a tím by došlo i ke zvýšení úrovně zabezpečení velkého poldru.

Vzhledem k výsledku analýzy efektivity velkého poldru nebyla zabezpečení malého poldru vyšetřována.

Obec Choteč je z historických důvodů umístěna ve výrazné terénní depresi, což má za následek značný nátok extravilánových vod do intravilánu. Do povodí byla navržena opatření a byla provedena analýza jejich funkčnosti. Ačkoli zabezpečení velkého poldru dosahuje pouze úrovně jednoletého deště, částečně chrání území i při větších dešťových událostech, kdy transformuje část povodňové vlny.

Pokud se obec rozhodne pro realizaci navrhovaných opatření, je nutné nechat vypracovat podrobnou projektovou dokumentaci.

## 8 Seznam použité literatury

- [1] DOSTÁL, Tomáš. *Opatření v krajině k podpoře retence vody* [online]. Praha, České vysoké učení technické v Praze [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: [https://s-ic.cz/wp-content/uploads/2019/10/Dostal\\_retence-krajiny\\_X\\_2019.pdf](https://s-ic.cz/wp-content/uploads/2019/10/Dostal_retence-krajiny_X_2019.pdf)
- [2] *Záplavy, sucho, horko, změna klimatu, přibývající extrémny. Je viník příroda? Ne.* [online]. Greenpeace Česká republika, 2022 [cit. 2022-09-20]. Dostupné z: <https://www.facebook.com/greenpeace.cz/photos/a.69683964776/10160089403929777/?type=3>
- [3] STRÁNSKÝ, David. *Přírodně blízké hospodaření se srážkovými vodami na stavebním pozemku a jeho důsledky pro územní plánování* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2013 [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: [http://cvut.mapovyportal.cz/OPPA\\_Stransky.pdf](http://cvut.mapovyportal.cz/OPPA_Stransky.pdf)
- [4] *Přítalové povodně a možnosti jejich predikce* [online]. ČHMÚ [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/pruvodce\\_vodohospodari\\_ffg.html](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/pruvodce_vodohospodari_ffg.html)
- [5] *Zpráva o povodni 1. 6. – 2. 6. 2013 na vodním toku Rokytka* [online]. Praha: Magistrát hl. m. Prahy, 2013 [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/priloha/52a0572fac0f8/popov-zprava-rokytka.pdf>
- [6] KILHOF, Sandra. *Copenhagen weather change prompts audacious flood plan* [online]. Theneweconomy.com, 2014 [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://www.theneweconomy.com/technology/copenhagens-climate-change-flooding-response>
- [7] ANDERSEN, Mai Maskell. *Forventet skybrud men uventet styrke (Očekávaný liják, nečekaná intenzita)* [online]. Dmi.dk [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: [https://web.archive.org/web/20120906050420/http://www.dmi.dk/dmi/index/nyheder/nyheder-2011/forventet\\_skybrud\\_men\\_uventet\\_styrke.htm](https://web.archive.org/web/20120906050420/http://www.dmi.dk/dmi/index/nyheder/nyheder-2011/forventet_skybrud_men_uventet_styrke.htm)
- [8] *Cloudbursts: What can we learn from Copenhagen?* [online]. Ramboll.com [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://ramboll.com/media/articles/water/cloud-bursts-what-can-we-learn-from-copenhagen>
- [9] ALNES, Kristina, et al. *Flood risk for investors: are you prepared?* [online]. Oslo: CICERO Climate Finance, 2018 [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://pub.cicero.oslo.no/cicero-xmlui/bitstream/handle/11250/2497350/Flood%20risk%20for%20investors-final-rev-080518.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



- [10] *Italy – 7 Dead, 3 Missing After Severe Flooding in Marche Region* [online]. Floodlist.com, 2022 [cit. 2022-10-17]. Dostupné z: <https://floodlist.com/europe/italy-floods-marche-september-2022>
- [11] NOVOTNÝ, Ivan, et al. *Příručka ochrany proti erozi zemědělské půdy: aktualizované znění – březen 2017*. 3. aktualizované vydání. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2017. ISBN MZE 978-80-7434-362-9, ISBN VÚMOP 978-80-87361-67-2.
- [12] KREJČÍ, Vladimír. *Odvodnění urbanizovaných území – koncepční přístup*. Brno: Noel 2000, [2003?]. ISBN 80-86020-39-8.
- [13] STRÁNSKÝ, David, et al. *Studie hospodaření se srážkovými vodami v urbanizovaných územích* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2019 [cit. 2022-10-08]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/koncepcni\\_dokumenty/\\$FILE/OOV-studie\\_HDV-20191220.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/koncepcni_dokumenty/$FILE/OOV-studie_HDV-20191220.pdf)
- [14] HALOUN, Radovan. *Modelování odtoku z intravilánu*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 1993. ISBN 80-01-00974-2.
- [15] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: *Sbírka zákonů*. 28. 6. 2001. ISSN 1211-1244.
- [16] Vyhláška č. 501/2006 Sb., o obecných požadavcích na využívání území. In: *Sbírka zákonů*. 10. 11. 2006. ISSN 1211-1244.
- [17] NOVOTNÁ, Jitka, Miroslav LUBAS, Ivana KABELKOVÁ. *Možnosti řešení vsaku dešťových vod v urbanizovaných územích v ČR* [online]. Brno: Ministerstvo životního prostředí, 2015 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: [http://www.povis.cz/mzp/132/vsak\\_destovych\\_vod.pdf](http://www.povis.cz/mzp/132/vsak_destovych_vod.pdf)
- [18] STRÁNSKÝ, David, et al. *Metodický postup uvedení Standardů hospodaření se srážkovými vodami na území hlavního města Prahy do praxe*. Praha: Fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, 27. 6. 2021.
- [19] VÍTEK, Jiří, et al. *Hospodaření s dešťovou vodou v ČR*. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 2015. ISBN 978-80-260-7815-9.
- [20] STRÁNSKÝ, David, et al. *Standardy hospodaření se srážkovými vodami na území hlavního města Prahy*. Praha: Magistrát hlavního města Prahy, 2021.
- [21] STRÁNSKÝ, David, Vojtěch BAREŠ. *Zásady hospodaření s dešťovou vodou a legislativa* [přednáška]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2022

- [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: [20https://www.pocitamesvodou.cz/wp-content/uploads/2021/10/Zasady-HDV\\_Praha\\_2021\\_Stransky.pdf](https://www.pocitamesvodou.cz/wp-content/uploads/2021/10/Zasady-HDV_Praha_2021_Stransky.pdf)
- [22] STRÁNSKÝ, David. *Nové nároky na vodohospodářskou infrastrukturu měst v oblasti dešťových vod: Zlepšení vodohospodářské infrastruktury* [přednáška]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2019 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: [https://s-ic.cz/wp-content/uploads/2019/11/prezentace\\_DS\\_Sic.pdf](https://s-ic.cz/wp-content/uploads/2019/11/prezentace_DS_Sic.pdf)
- [23] SUCHÁNEK, Milan. *Udržitelné hospodaření s dešťovou vodou ve mstech za využití modro-zelených řešení: zamyšlení nad problematikou dešťových vod ve městech* [přednáška]. Praha: DHI, a.s., 2021 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://www.zelena-mesta.cz/wp-content/uploads/2021/07/Suchanek-DHI-210615.pdf>
- [24] European Commission. *Building a Green Infrastructure for Europe*. Lucembursko: Publication Office of the European Union, 2013. ISBN 978-92-79-33428-3.
- [25] ČSN 75 6261 *Dešťové nádrže*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [26] URČIKÁN, Pavel a Dušan RUSNÁK. *Stokovanie a čistenie odpadových vôd: Stokovanie II Navrhovanie stokových sietí*. Bratislava, 2011. ISBN 978-80-227-2854-6.
- [27] MIFKOVÁ, Tatiana. *Retence dešťových vod I*. [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/likvidace-odpadnich-vod/6053-retence-destovych-vod-i>
- [28] *Informační list: extrémní srážky a vlny horka* [online]. Praha: CzechGlobe – Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v. v. i., 2019 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: [https://www.life-local-adapt.eu/downloads/products/fact\\_sheets\\_cz.pdf](https://www.life-local-adapt.eu/downloads/products/fact_sheets_cz.pdf)
- [29] *Dešťové tůň v Lochotínském parku* [online]. Envic-sdruzeni.cz [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: [http://www.envic-sdruzeni.cz/krajina-verejny-prostor/hospodareni-se-srazkovymi-vodami/galerie-prikladu/destove-tune-v-lochotinskem-parku.htm#pphoto\[f1\\_444\]/5/](http://www.envic-sdruzeni.cz/krajina-verejny-prostor/hospodareni-se-srazkovymi-vodami/galerie-prikladu/destove-tune-v-lochotinskem-parku.htm#pphoto[f1_444]/5/)
- [30] *The Latest on Flood Park and Our Thoughts on the Matter* [online]. Supportparks.org, 2019 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://supportparks.org/the-latest-on-flood-park-and-our-thoughts-on-the-matter/>

- [31] *This 16-acre Atlanta park was built to flood* [online]. Fastcompany.com, 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://www.fastcompany.com/90716670/this-16-acre-atlanta-park-was-built-to-flood>
- [32] COLVILLE, Anderson. *The Copenhagenize Current - Stormwater Management and Cycle Tracks* [online]. Copenhagenize.com, 2015 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <http://www.copenhagenize.com/2015/03/the-copenhagenize-current-stormwater.html>
- [33] STRÁNSKÝ, David, et al. *Metodická příručka: Posouzení stokových systémů urbanizovaných povodí* [online]. Praha: Státní fond životního prostředí, 2009 [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <http://www.forumochranyprirody.cz/sites/default/files/35.pdf>
- [34] SUCHÁNEK, Milan, Petr SÝKORA a David STRÁNSKÝ. *Monitoring v městském odvodnění*. Líbeznice: Medim pro SOVAK ČR, 2012. ISBN 978-80-87140-25-3.
- [35] *Srážkoměr SR03 500 cm<sup>2</sup>* [online]. FIEDLER AMS s.r.o. [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://www.fiedler.companycs/produkty/snimace-meteorolog-velicin/destove-srazky/srazkomer-sr03>
- [36] *Člunkové srážkoměry 500 cm<sup>2</sup>: Návod k obsluze – verze 1.4* [online]. FIEDLER AMS s.r.o., 2015 [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://www.fiedler-magr.cz/sites/default/files/dokumenty/sr03-v1.pdf>
- [37] *Radary a družice* [online]. ČHMÚ – Meteorologický kroužek [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <http://metmladez.wz.cz/metdeti/i17.htm>
- [38] *Radarová síť CZRAD* [online]. ČHMÚ [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: [https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info\\_czrad/](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/rad/info_czrad/)
- [39] *Ombrograf* [online]. Leporelo.cz [cit. 2022-10-09]. Dostupné z: <https://leporelo.info/ombrograf>
- [40] KULHÁNEK, Petr. Využití mobilních sítí k mapování srážek. *Aldebaran Bulletin* [online]. 2013, **11**(6) [cit. 2022-10-09]. ISSN 1214-1674. Dostupné z: [https://www.aldebaran.cz/bulletin/2013\\_06\\_bts.php](https://www.aldebaran.cz/bulletin/2013_06_bts.php)
- [41] FENCL, Martin, et al. Commercial microwave links instead of rain gauges: Fiction or reality? *Water Science & Technology* [online]. 2015, **71**(1), 31–37 [cit. 2022-10-09]. ISSN 0273-1223. Dostupné z: <https://iwaponline.com/wst/article/71/1/31/18694/Commercial-microwave-links-instead-of-rain-gauges>

- [42] SUCHÁNEK, Milan, Karel PRYL, Ivana KABELKOVÁ. *Základní přístupy k monitoringu v městském odvodnění*. Vodní hospodářství [online]. 2013, **63**(7), 216–220 [cit. 2022-10-09]. ISSN 1211-0760. Dostupné z: <https://www.vodnihospodarstvi.cz/ArchivPDF/vh2013/vh07-2013.pdf>
- [43] PATKOVÁ, Kateřina. *Posouzení srážko-odtokových vztahů stokového systému obce Bukovno–Líny*. Praha, 2021 [cit. 2022-10-09]. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce David Stránský. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/96013>
- [44] PEDERSEN, John T., John C. PETERS, Otto J. HELWEG. *Hydrographs by Single Linear Reservoir Model* [online]. Davis: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 1980 [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/publications/TechnicalPapers/TP-74.pdf>
- [45] ROSSMAN, Lewis A. *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1* [online]. Washington, D.C.: Environmental Protection Agency, Water Quality Office, 20015 [cit. 2022-10-20]. Dostupné z: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-02/documents/epaswmm5\\_1\\_manual\\_master\\_8-2-15.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-02/documents/epaswmm5_1_manual_master_8-2-15.pdf)
- [46] HAVLÍK, Aleš. *Matematické modelování proudění vody s volnou hladinou* [přednáška]. Praha, České vysoké učení technické v Praze. 2021
- [47] BRUNNER, Gary W. *HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Version 6.0 Beta* [online]. U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS – HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER, 2020 [cit. 2022-11-15]. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest>
- [48] *Mapy.cz* [online]. Seznam.cz, 2021 [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [49] *Geomorfologické členění Česka* [online]. Czwiki.cz [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: [https://czwiki.cz/Lexikon/Geomorfologick%3%a9\\_%c4%8dlen%4%9bn%3%ad\\_%c4%8ceska](https://czwiki.cz/Lexikon/Geomorfologick%3%a9_%c4%8dlen%4%9bn%3%ad_%c4%8ceska)
- [50] *Brdská oblast* [online]. Czwiki.cz [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: [https://czwiki.cz/Lexikon/Brdsk%C3%A1\\_oblast](https://czwiki.cz/Lexikon/Brdsk%C3%A1_oblast)
- [51] *Rendzina* [online]. Odmaturuj.cz [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: <https://www.odmaturuj.cz/zemepis/rendzina/>

- [52] *Nivní půda* [online]. Kppwiki.vumop.cz [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: [https://kppwiki.vumop.cz/index.php/Nivn%C3%AD\\_p%C5%AFda](https://kppwiki.vumop.cz/index.php/Nivn%C3%AD_p%C5%AFda)
- [53] *Glejová půda* [online]. Kppwiki.vumop.cz [cit. 2022-10-21]. Dostupné z: [https://kppwiki.vumop.cz/index.php/Glejov%C3%A1\\_p%C5%AFda](https://kppwiki.vumop.cz/index.php/Glejov%C3%A1_p%C5%AFda)
- [54] *Důlní díla a poddolování* [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2022-10-20]. Dostupné z: [https://mapy.geology.cz/dulni\\_dila\\_poddolovani/](https://mapy.geology.cz/dulni_dila_poddolovani/)
- [55] *Záplavová území* [online]. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský Tomáše G. Masaryka [cit. 2022-10-20]. Dostupné z: [https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=isvs\\_zapluz&lon=14.2827092&lat=49.9892853&scale=7560](https://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=isvs_zapluz&lon=14.2827092&lat=49.9892853&scale=7560)
- [56] Sweco Hydroprojekt a.s. *Studie odtokových poměrů včetně návrhů možných protipovodňových opatření v povodí vodního toku Berounky: Subpovodí dolní Berounka*. Praha: Středočeský kraj, 2019.
- [57] MARYŠKA, Milič. *Územní plán obce Choteč*. Choteč: Obec Choteč, 2022.
- [58] ZABAGED® - *Výškopis - DMR 5G: digitální model reliéfu České republiky 5. generace* [online]. Data.europa.eu [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <https://data.europa.eu/data/datasets/cz-cuzk-dmr5g-v?locale=cs>
- [59] *Využití pro turistiku/cestování* [online]. Openstreetmap.cz [cit. 2022-11-05]. Dostupné z: <https://openstreetmap.cz/vyuziti>
- [60] *Denní data dle zákona 123/1998 Sb.: Denní úhrn srážek* [online]. ČHMÚ [cit. 2022-11-14]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>
- [61] *Městské standardy vodovodů a kanalizací na území hl. m. Prahy: kanalizační část, 7. aktualizace – květen 2021* [online]. Praha: Pražská vodohospodářská společnost a.s., 2021 [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: [https://www.pvs.cz/files/pvs/MS%20-%20kanalizacni%20cast%20A.text\\_7\\_aktual\\_2021.pdf](https://www.pvs.cz/files/pvs/MS%20-%20kanalizacni%20cast%20A.text_7_aktual_2021.pdf)
- [62] STRÁNSKÝ, David. *Návrh jednotné a dešťové oddílné soustavy* [přednáška]. Praha, České vysoké učení technické v Praze. 2020
- [63] *Natural Flood Management* [online]. Riverroeburn.weebly.com [cit. 2022-11-25]. Dostupné z: <https://riverroeburn.weebly.com/natural-flood-management.html>

## 9 Seznam obrázků

- Obr. 1 Na hraně vlastní zkázy [2]
- Obr. 2 Záplava zámecké zdi v Počernicích [5]
- Obr. 3 Železniční viadukt u Rokytky [5]
- Obr. 4 Snížená kapacita uliční vpusti do kanalizace a nevhodné vyspádování komunikace [5]
- Obr. 5 Hydraulický modelu záplavy v Kodani roku 2011 [8]
- Obr. 6 Zaplavené ulice Kodaně po přívalových deštích roku 2011 [9]
- Obr. 7 Ničivé účinky bleskové povodně z noci na 16. září 2022 v italské provincii Ancona [10]
- Obr. 8 Vliv urbanizace na odtok vody z povodí [13]
- Obr. 9 Znázornění tvorby a koncentrace přímého dešťového odtoku; upraveno z [12]
- Obr. 10 Ztráty vody v přirozeném povodí
- Obr. 11 Rozhodovací schéma řešení HDV; upraveno z [13]
- Obr. 12 Trojbodový přístup HDV [20]
- Obr. 13 Potenciální prvky (modro)zelené infrastruktury; upraveno z [24]
- Obr. 14 Tůň v Lochotínském parku I [29]
- Obr. 15 Tůň v Lochotínském parku II [29]
- Obr. 16 Sportovní park v Menlo Park [30]
- Obr. 17 Flood park v Atlantě [31]
- Obr. 18 Uliční profil standardní (nahore) a upravený na povodňový koridor (dole); upraveno z [22]
- Obr. 19 Povodňový koridor s MZI za bezdeštného období (vlevo) a za dešťové události (vpravo) [30]
- Obr. 20 Podzemní povodňový koridor [32]
- Obr. 21 Základna vytápěného srážkoměru SR03/V [34]
- Obr. 22 Schéma meteorologického radaru; upraveno z [37]
- Obr. 23 Schéma váhového srážkoměru
- Obr. 24 Schéma ombrografu; upraveno z [39]
- Obr. 25 Postup při matematickém modelování [33]
- Obr. 26 Simulační srážko-odtokové modely [33]

- Obr. 27 Odtokové cesty a povodí k danému bodu vypočtené v programu SCALGO Live
- Obr. 28 Ortofotografická mapa oblasti Choteč [48]
- Obr. 29 Zaplavené území  $Q_{100}$  [55]
- Obr. 30 Hlavní směry nátok extravilánových vod do obce Choteč
- Obr. 31 Rozdělení povodí na plochy dle využití pozemků dle katastru nemovitostí
- Obr. 32 Linky mikrovlnných spojů z obce Třebotov
- Obr. 33 Srážková data 12. 5. 2021 (červený rámeček) a 13. 5. 2021 (zelený rámeček) z mikrovlnných spojů. Svislá osa grafu udává intenzitu v mm/hod.
- Obr. 34 Charakteristický průběh blokového (vlevo) a Šifaldova (vpravo) modelového deště ( $i$  = intenzita,  $t$  = doba trvání deště); upraveno z [62]
- Obr. 35 Průběh zkráceného Šifaldova modelového deště ( $i$  = intenzita,  $t$  = doba trvání deště); upraveno z [61]
- Obr. 36 Upravený TIN – obec Choteč
- Obr. 37 Vygenerovaná výpočetní síť v programu Mesh Builder – obec Choteč
- Obr. 38 Průběh Q-h křivky v DOP
- Obr. 39 Umístění hrázek
- Obr. 40 Umístění mostů
- Obr. 41 Schéma měření mostu „hlavní“
- Obr. 42 Schéma měření mostu „mlýn U Veselých“
- Obr. 43 Umístění kontrolních profilů v modelu
- Obr. 44 Upravená bathymetrie (vlevo) a umístění prvku (vpravo) – nádrž
- Obr. 45 Upravená bathymetrie (vlevo) a umístění prvku (vpravo) – šachta
- Obr. 46 Průběh modelového deště o denním úhrnu 23 mm vytvořeného z průběhu reálné dešťové události ze dne 12. 5. 2021
- Obr. 47 Průběh modelového deště o denním úhrnu 35 mm vytvořeného z průběhu reálné dešťové události ze dne 13. 5. 2021
- Obr. 48 Modelem nepotvrzená cesta odtoku vody v povodí (červená linie) – severní nátok
- Obr. 49 Modelem nepotvrzená cesta odtoku vody v povodí (červená linie) – jižní nátok
- Obr. 50 Obyvateli nepotvrzené přelévání ochranného valu (červená šipka)

- Obr. 51 Přehled umístění uvažovaných opatření proti nátok extravilánových vod ze severního (červená), jižního (zelená) a jihozápadního (modrá) směru
- Obr. 52 Směr proudění vody po odklonění ze severní komunikace – program SCALGO Live
- Obr. 53 Možný návrh opatření proti nátok extravilánových vod z jižního směru
- Obr. 54 Orba po spádnici (vlevo), vrstevnice terénu (vpravo)
- Obr. 55 Ilustrační fotografie kaskády hrázek v přirozené svodnici
- Obr. 56 Schéma návrhu řešení nátok kaskádou hrázek v přirozené svodnici u kostela sv. Kateřiny
- Obr. 57 Fotografie přirozené terénní svodnice u kostela
- Obr. 58 Umístění terénní deprese s lesním porostem nad kostelem sv. Kateřiny
- Obr. 59 Zkušební umístění hráze malého poldru ve SCALGO Live
- Obr. 60 Zkušební umístění hráze velkého poldru ve SCALGO Live
- Obr. 61 Umístění výsledkových kontrolních profilů v modelu
- Obr. 62 Odklonění proudu na lesní cestu ve svahu a dále do terénní deprese a koryta toku
- Obr. 63 Nátok extravilánových vod ze severu před odkloněním
- Obr. 64 Odtokové trasy a příslušná povodí za současného stavu; vpravo povodí silnice, vlevo povodí terénní deprese
- Obr. 65 Odtokové trasy a příslušná povodí po umístění opatření; vpravo dole povodí silnice, vpravo nahoře a vlevo povodí terénní deprese
- Obr. 66 Stav inundace před a po umístění opatření
- Obr. 67 KP malý poldr – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, detail 12–22 hod.
- Obr. 68 Malý poldr – zobrazení maximálních hloubek
- Obr. 69 Porovnání maximálních hloubek na vozovce pod ochranným valem: vlevo současný stav, vpravo s umístěním malého poldru
- Obr. 70 KP velký poldr – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, detail 12–22 hod.
- Obr. 71 Velký poldr – zobrazení maximálních hloubek
- Obr. 72 Porovnání maximálních hloubek na vozovce pod ochranným valem: vlevo současný stav, vpravo s umístěním velkého poldru
- Obr. 73 Malý poldr: porovnání průtoku pod poldrem bez opatření a s opatřením – detail 12–22 hod.



- Obr. 74 Velký poldr: porovnání průtoku pod poldrem bez opatření a s opatřením – detail 12–22 hod.
- Obr. 75 Zůstatkový zadržovaný objem ve velkém poldru
- Obr. 76 Porovnání maximálních hloubek v modelu (intravilán obce) bez opatření po zatížení srážkou ze dne 12. 5. 2021 (nahore) a 13. 5. 2021 (dole)
- Obr. 77 Velký poldr: porovnání průtoku pod poldrem bez opatření a s opatřením – Š20\_10
- Obr. 78 Porovnání maximálních hloubek v oblasti pod ochranným valem: vlevo současný stav, vpravo s umístěním malého poldru – Š20\_10
- Obr. 12.1.1 Schéma umístění prvků odvodnění
- Obr. 12.1.2 Prvky systému odvodnění – prvek 1
- Obr. 12.1.3 Prvky systému odvodnění – prvek 2
- Obr. 12.1.4 Prvky systému odvodnění – prvek 3
- Obr. 12.1.5 Prvky systému odvodnění – prvek 4
- Obr. 12.1.6 Prvky systému odvodnění – prvek 5
- Obr. 12.1.7 Prvky systému odvodnění – prvek 6
- Obr. 12.1.8 Prvky systému odvodnění – prvek 7
- Obr. 12.1.9 Prvky systému odvodnění – prvek 8
- Obr. 12.1.10 Prvky systému odvodnění – prvek 9
- Obr. 12.1.11 Prvky systému odvodnění – prvek 10
- Obr. 12.1.12 Prvky systému odvodnění – prvek 11
- Obr. 12.1.13 Prvky systému odvodnění – prvek 12
- Obr. 12.1.14 Prvky systému odvodnění – prvek 13
- Obr. 12.1.15 Prvky systému odvodnění – prvek 14
- Obr. 12.1.16 Prvky systému odvodnění – prvek 15
- Obr. 12.2.1 Schéma makra použitého k určení rozsahu povodí
- Obr. 12.2.2 Povrch terénu dle vygenerované výpočetní sítě v programu Mesh Builder – obec Choteč
- Obr. 12.2.3 Detail vygenerované výpočetní sítě v programu Mesh Builder – obec Choteč
- Obr. 12.2.4 Rozdělení drsností v modelu
- Obr. 12.2.5 Schéma umístění zatrubněných úseků
- Obr. 12.4.1.1 Graf průběhu deště b1\_10

- Obr. 12.4.1.2 Graf průběhu deště b2\_10
- Obr. 12.4.1.3 Graf průběhu deště b1\_20
- Obr. 12.4.1.4 Graf průběhu deště b2\_20
- Obr. 12.4.2.1 Graf průběhu deště Š1\_10
- Obr. 12.4.2.2 Graf průběhu deště Š2\_10
- Obr. 12.4.2.3 Graf průběhu deště Š1\_20
- Obr. 12.4.2.4 Graf průběhu deště Š2\_20
- Obr. 12.4.2.5 Graf průběhu deště Š20\_10
- Obr. 12.5.1 KP silnice most hlavní – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.5.2 KP silnice most hlavní – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.5.3 KP nad valem – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.5.4 KP nad valem – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.5.5 KP křížek – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.5.6 KP křížek – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.6.1 Stav inundace nad mostem hlavní bez opatření – zobrazení maximálních hloubek
- Obr. 12.6.2 Stav inundace nad mostem hlavní po opatření – zobrazení maximálních hloubek
- Obr. 12.6.3 Stav inundace nad mostem hlavní před opatřením – zobrazení hloubek v posledním kroku simulace
- Obr. 12.6.4 Stav inundace nad mostem hlavní po opatření – zobrazení hloubek v posledním kroku simulace
- Obr. 12.6.1.1 KP pod mostem hlavní – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.6.1.2 KP pod mostem hlavní – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.6.1.3 KP silnice – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] bez opatření v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.6.1.4 KP začátek příkopu – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] s opatřením v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.6.1.5 KP malý poldr – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.6.1.6 KP malý poldr – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.6.1.7 KP velký poldr – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.6.1.8 KP velký poldr – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase, 12. 5. 2021
- Obr. 12.6.2.1 KP pod mostem hlavní – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, 13. 5. 2021
- Obr. 12.6.2.2 KP pod mostem hlavní – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase, 13. 5. 2021

- Obr. 12.6.2.3 KP silnice – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] bez opatření v čase, 13. 5. 2021
- Obr. 12.6.2.4 KP začátek příkopu – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] s opatřením v čase, 13. 5. 2021
- Obr. 12.6.2.5 KP malý poldr – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, 13. 5. 2021
- Obr. 12.6.2.6 KP malý poldr – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase, 13. 5. 2021
- Obr. 12.6.2.7 KP velký poldr – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase, 13. 5. 2021
- Obr. 12.6.2.8 KP velký poldr – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase, 13. 5. 2021
- Obr. 12.6.3.1 b1\_10 – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.2 Š1\_10 – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.3 b1\_10 – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.4 Š1\_10 – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.5 b2\_10 – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.6 Š2\_10 – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.7 b2\_10 – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.8 Š2\_10 – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.9 b1\_20 – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.10 Š1\_20 – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.11 b1\_20 – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.12 Š1\_20 – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.13 b2\_20 – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.14 Š2\_20 – průtok [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.15 b2\_20 – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase v KP velký poldr
- Obr. 12.6.3.16 Š2\_20 – kumulativní průtok [ $\text{m}^3$ ] v čase v KP velký poldr

## 10 Seznam tabulek

- Tab. 1 Charakteristika běžných dešťů; upraveno z [22]
- Tab. 2 Přehled prvků HDV pro běžné deště; upraveno z [20]
- Tab. 3 Charakteristika silných dešťů; upraveno z [22]
- Tab. 4 Rozdělení dešťových nádrží
- Tab. 5 Charakteristika extrémních dešťů; upraveno z [22]
- Tab. 6 Charakteristika deficitu srážek; upraveno z [22]
- Tab. 7 Tabulka drsností dle využití pozemků v obci Choteč
- Tab. 8 Tabulka náhradních dešťových intenzit; upraveno z [61]
- Tab. 9 Tabulka využití pozemků v obci Choteč
- Tab. 10 Tabulka průběhu Q-h křivky v DOP
- Tab. 11 Charakteristiky mostu „hlavní“
- Tab. 12 Charakteristiky mostu „mlýn U Veselých“
- Tab. 13 Charakteristiky zatrubněných úseků
- Tab. 14 Výpočet kritické doby trvání deště z hlediska průtoku
- Tab. 15 Výpočet kapacitního průtoku odvodňovacích prvků pod ochranným valem
- Tab. 16 Výsledné požadované retenční objemy (zvýrazněna jsou maxima pro jednotlivé N-letosti)
- Tab. 17 Přehled použitých dešťových událostí
- Tab. 18 Výpočet dimenze propustku malého poldru na základě výpočtu kapacitního průtoku
- Tab. 19 Charakteristiky objektů hráze malého poldru
- Tab. 20 Charakteristiky objektů hráze velkého poldru
- Tab. 21 Výpočet dimenze propustku velkého poldru na základě výpočtu kapacitního průtoku
- Tab. 22 Přehled spouštěných variant simulací s reálnými dešti
- Tab. 23 Zatěžující modelové deště
- Tab. 24 Vyhodnocení zabezpečení velkého poldru při zatížení modelu blokovými dešti
- Tab. 25 Vyhodnocení zabezpečení velkého poldru při zatížení modelu Šifaldovými dešti
- Tab. 26 Porovnání objemů odtoku u blokových a Šifaldových modelových dešťů

Tab. 27 Porovnání kulminačních průtoků odtoku u blokových a Šifaldových modelových dešťů

Tab. 12.3.1 Vstupy pro výpočet kritické doby trvání deště z hlediska objemu (A = plocha,  $\psi$  = součinitel odtoku, Q = průtok)

Tab. 12.3.2 Vypočtené hodnoty jednotlivých členů bilance (V = objem)

Tab. 12.4.1 Přehled použitých náhradních intenzit pro modelové deště (zvýrazněno) v Tab. 8

Tab. 12.4.1.1 Vstupní hodnoty grafu b1\_10

Tab. 12.4.1.2 Vstupní hodnoty grafu b2\_10

Tab. 12.4.1.3 Vstupní hodnoty grafu b1\_20

Tab. 12.4.1.4 Vstupní hodnoty grafu b2\_20

Tab. 12.4.2.1 Vstupní hodnoty grafu Š1\_10

Tab. 12.4.2.2 Vstupní hodnoty grafu Š2\_10

Tab. 12.4.2.3 Vstupní hodnoty grafu Š1\_20

Tab. 12.4.2.4 Vstupní hodnoty grafu Š2\_20

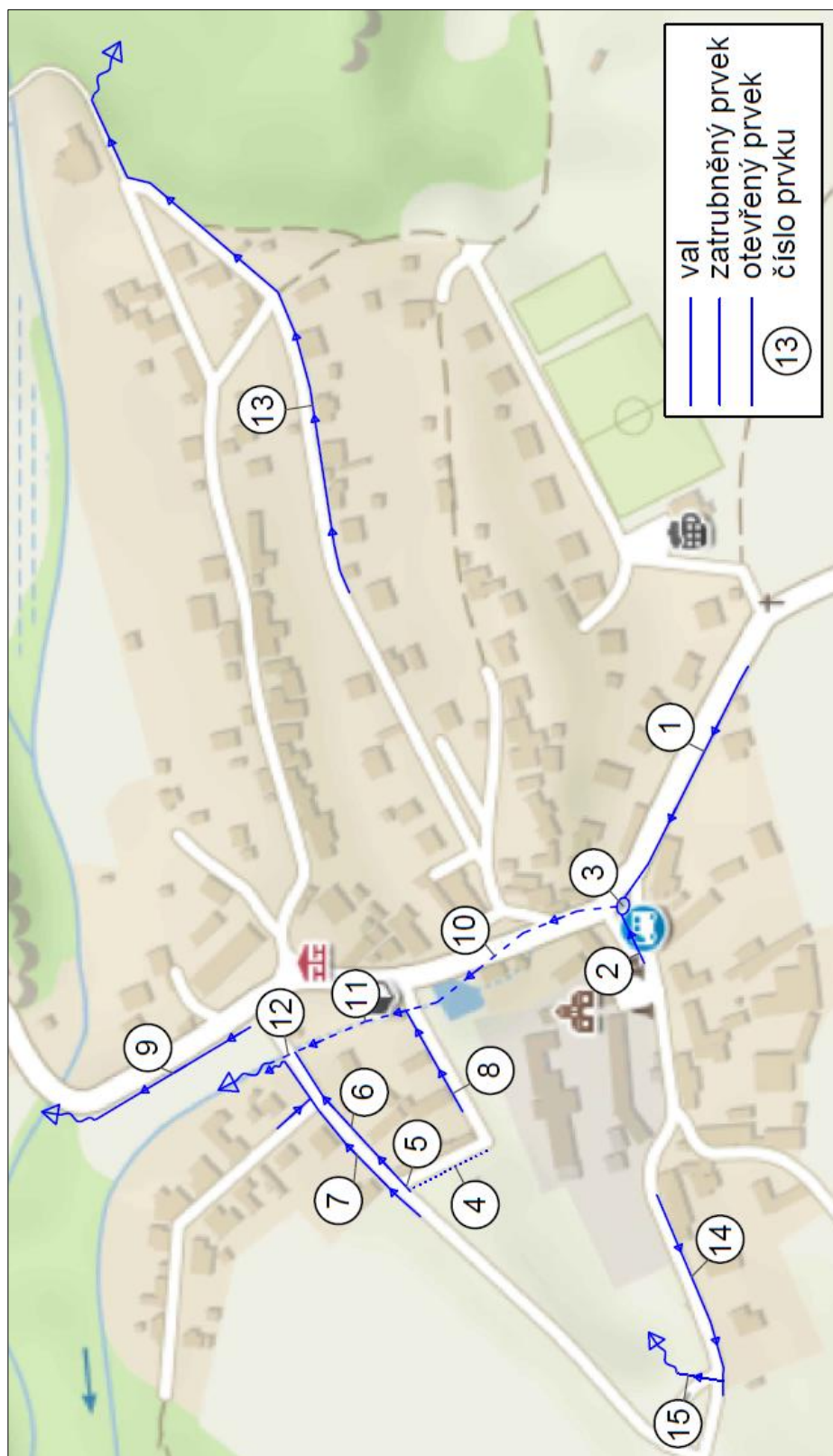
Tab. 12.4.2.5 Vstupní hodnoty grafu Š20\_10

## 11 Seznam použitých zkratek

<b>HDV</b>	Hospodaření s dešťovou vodou
<b>ČHMÚ</b>	Český hydrometeorologický ústav
<b>MZI</b>	modrozelená infrastruktura
<b>ČOV</b>	čistírna odpadních vod
<b>ČSN</b>	česká technická norma
<b>PV</b>	přivalová vlna
<b>DN</b>	dešťová nádrž
<b>ZABAGED</b>	Základní báze geografických dat
<b>ČÚZK</b>	Český úřad zeměměřičský a katastrální
<b>DMR</b>	digitální model terénu
<b>GNSS</b>	Global navigation satellite system = glob. družicový polohový systém
<b>GPS</b>	Global positioning system = glob. radionavigační systém
<b>TIN</b>	triangulated irregular network
<b>GIS</b>	Geografický informační systém
<b>HOP</b>	horní okrajová podmínka
<b>DOP</b>	dolní okrajová podmínka
<b>SOVAK</b>	Sdružení oboru vodovodů a kanalizací ČR

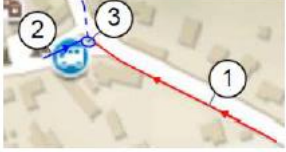




## 12 Přílohy

### 12.1 Prvky systému odvádění srážkových vod






Obr. 12.1.1: Schéma umístění prvků odvodnění

Obr. 12.1.2: Prvky systému odvodnění – prvek 1

č.	prvek	umístění
1	zatravněný příkop	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 147.9 m, odtok do č. 3</li> <li>• zatravněný příkop u silnice, udržovaný</li> <li>• zatrubněný úsek A: délka 6.2 m, DN400, beton</li> <li>• zatrubněný úsek B: délka 29.5 m, DN500, beton</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zatravněný příkop</li> </ul>  </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zatrubněný úsek A</li> </ul>  </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vtok do úseku B</li> </ul>  </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• odtok z úseku B do malé vodní nádrže</li> </ul>  </div> </div>		






Obr. 12.1.3: Prvky systému odvodnění – prvek 2

č.	prvek	umístění
2	betonový žlab	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>délka 33.3 m, beton, odtok do č. 3</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="327 633 646 667"> <ul style="list-style-type: none"> <li>pohled na žlab proti proudu</li> </ul>  </div> <div data-bbox="869 633 1005 667"> <ul style="list-style-type: none"> <li>vtok do č. 3</li> </ul>  </div> </div>		

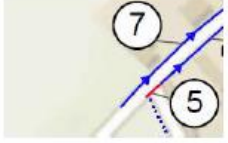



Obr. 12.1.4: Prvky systému odvodnění – prvek 3

č.	prvek	umístění
3	malá nádrž	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• nátok z č. 1 a 2, odtok č. 10</li> <li>• osazen bezpečnostním přelivem</li> <li>• výrazně zanesen splaveninami</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vtok do nádrže z č. 2</li> </ul>  </div> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• malá vodní nádrž</li> </ul>  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• odtok z nádrže - bezpečnostní přeliv</li> </ul>  </div> </div>		





Obr. 12.1.5: Prvky systému odvodnění – prvek 4

4	ochranný val	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"><li>• délka 55.2 m, zatravněný, udržovaný</li><li>• svádí vodu do č. 5</li></ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<ul style="list-style-type: none"><li>• ochranný val zatravněný</li><li>• šachta v popředí</li></ul> <div data-bbox="336 680 837 1310"></div> <div data-bbox="871 680 1366 1310"></div>		

Obr. 12.1.6: Prvky systému odvodnění – prvek 5

č.	prvek	umístění
5	propustek E	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 8.2 m, DN400, beton</li> <li>• vtok ze šachty, odtok do č. 6</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• šachta</li> </ul>  </div> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vtok ze šachty do propustku</li> </ul>  </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• odtok z propustku</li> </ul>  </div>		

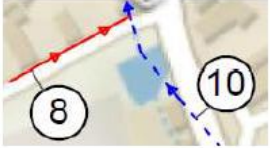



Obr. 12.1.7: Prvky systému odvodnění – prvek 6

č.	prvek	umístění
6	betonový kanál	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 85.5 m, obdélníkový průřez, beton</li> <li>• vtok z č. 5, odtok do č. 12</li> <li>• zatrubněný úsek F: délka 7.5 m, DN500, beton</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zatrubněný úsek F</li> </ul>  </div> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• betonový žlab</li> </ul>  </div> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vtok ze žlabu do úseku č. 12</li> </ul> 		



Obr. 12.1.8: Prvky systému odvodnění – prvek 7

č.	prvek	umístění
7	příkop	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 99.5 m, dolní úsek zatravněný a neudržovaný, horní úsek zpevněný betonový</li> <li>• větvení příkopu do vedlejší ulice - délka 12.4 m, zatravněný a neudržovaný</li> <li>• odtok do volna</li> <li>• zatrubněný úsek I: délka 6.09 m, DN300, beton</li> <li>• zatrubněný úsek - propustek J: délka 8.8 m, DN400, beton</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zatravněný příkop</li> </ul>  </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• boční zatravněný příkop</li> </ul>  </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vtok do propustku J</li> </ul>  </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zatravněný žlab</li> </ul>  </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zatruběný úsek I</li> </ul>  </div> </div>		

Obr. 12.1.9: Prvky systému odvodnění – prvek 8




č.	prvek	umístění
8	strouha	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 66.8 m, horní úsek zatravněný a udržovaný, dolní úsek zpevněný betonový</li> <li>• odtok do č. 11</li> <li>• zatrubněný úsek D: délka 29.2 m, DN300, beton</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• "studna"</li> </ul>  </div> <div style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• vtok ze "studny" do propustku</li> </ul>  </div> </div> <div style="margin-top: 10px;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• odtok z propustku</li> </ul>  </div>		

Obr. 12.1.10: Prvky systému odvodnění – prvek 9


č.	prvek	umístění
9	podélný průleh	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 101.6 m, zatravněný, udržovaný</li> <li>• ke konci v protisklonu</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="325 703 549 734"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zatravněný průleh</li> </ul>  </div> <div data-bbox="852 703 1059 734"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zatravněný průleh</li> </ul>  </div> </div>		





Obr. 12.1.11: Prvky systému odvodnění – prvek 10

č.	prvek	umístění
10	dešťová kanalizace - úsek C	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 131.06 m, DN500, beton</li> <li>• vtok z č. 3, odtok do č. 11</li> <li>• přes požární nádrž vede zatrubněně bez vtoku do nádrže</li> <li>• po trase 1 revizní šachta hl. 96 cm a 1 uliční dešťová vpusť (zanesena)</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="336 734 507 763" style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• odtok do č. 11</li> </ul>  </div> <div data-bbox="855 734 1139 763" style="width: 45%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• šachta dešťové kanalizace</li> </ul>  </div> </div>		




Obr. 12.1.12: Prvky systému odvodnění – prvek 11

č.	prvek	umístění
11	dešťová kanalizace - úsek G	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 62.9 m, DN500, beton</li> <li>• vtok z č. 10, odtok do č. 12</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="336 667 775 1261"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• odtok do z č. 10 do č. 11</li> </ul>  </div> <div data-bbox="852 667 1299 1261"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• odtok z č. 11 (vpravo) do č. 12 (vlevo)</li> </ul>  </div> </div>		

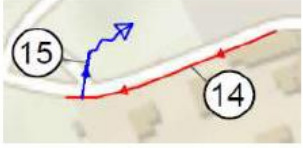


Obr. 12.1.13: Prvky systému odvodnění – prvek 12

č.	prvek	umístění
12	dešťová kanalizace - úsek H	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 13.6 m, DN500, beton</li> <li>• vtok z č. 11, odtok do volna</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="341 667 743 696"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• odtok z č. 11 (vpravo) do č. 12 (vlevo)</li> </ul>  </div> <div data-bbox="852 667 1094 696"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• odtok z č. 12 do volna</li> </ul>  </div> </div>		

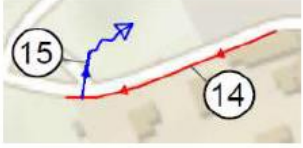

Obr. 12.1.14: Prvky systému odvodnění – prvek 13

č.	prvek	umístění
13	příkop	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 227.7 m, horní část zpevněná betonová, dolní část zatravněná a místně udržovaná</li> <li>• zatrubněný úsek K: délka 6.3 m, 150x300 mm, beton</li> <li>• zatrubněný úsek L: délka 6.16 m, DN300, beton</li> <li>• zatrubněný úsek M: délka 3.04 m, DN200, plast</li> <li>• zatrubněný úsek N: délka 7.03 m, DN300, beton</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• betonový žlab se zatrubněním K</li> </ul>  </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zatravněný příkop</li> </ul>  </div> <div style="width: 50%;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zatrubněný úsek M</li> </ul>  </div> </div>		

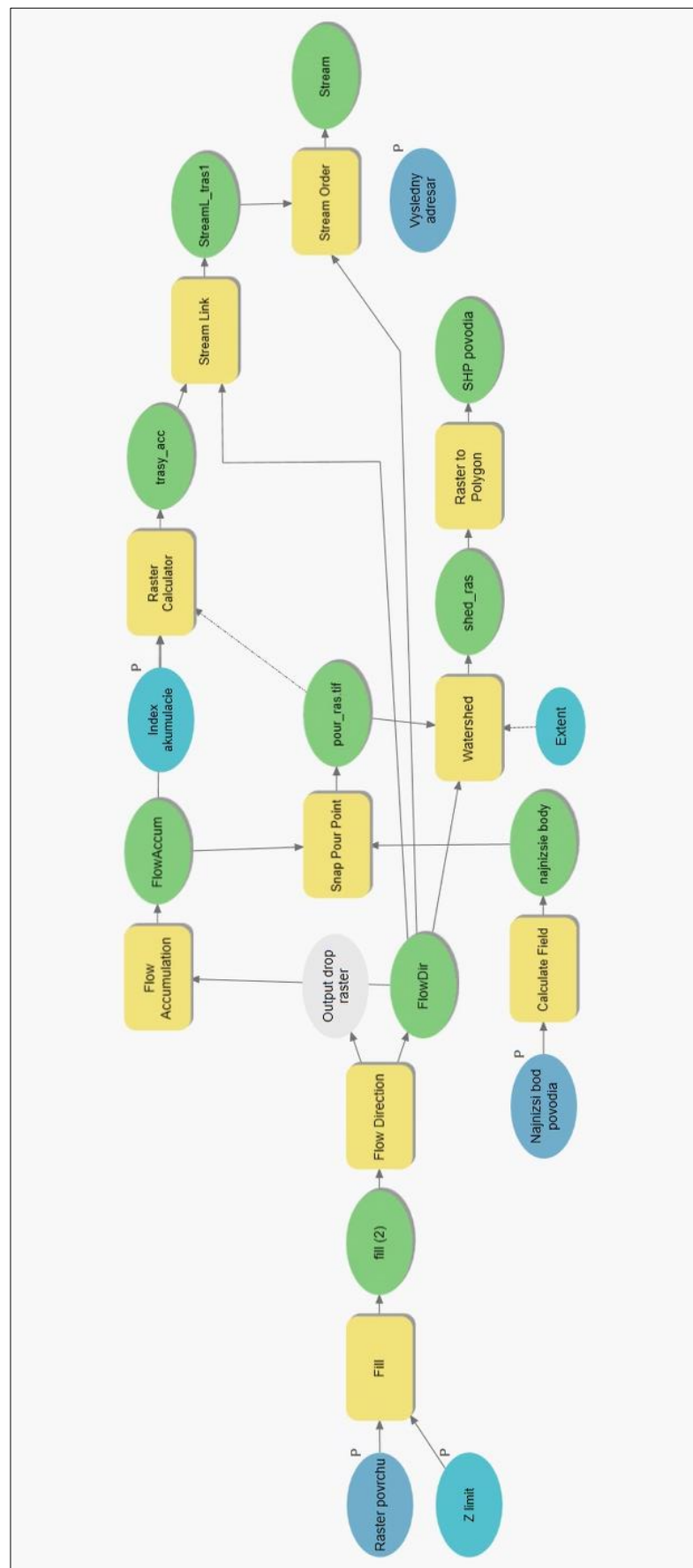
Obr. 12.1.15: Prvky systému odvodnění – prvek 14

č.	prvek	umístění
14	betonový žlab	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka 123.8 m, beton, odtok do č. 15</li> <li>• zatrubněný úsek O: délka 7.5 m, DN100, plast</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• betonový žlab - pohled proti spádu                              </li> <li>• betonový žlab - nátok do propustku P (č. 15)                              </li> </ul>		

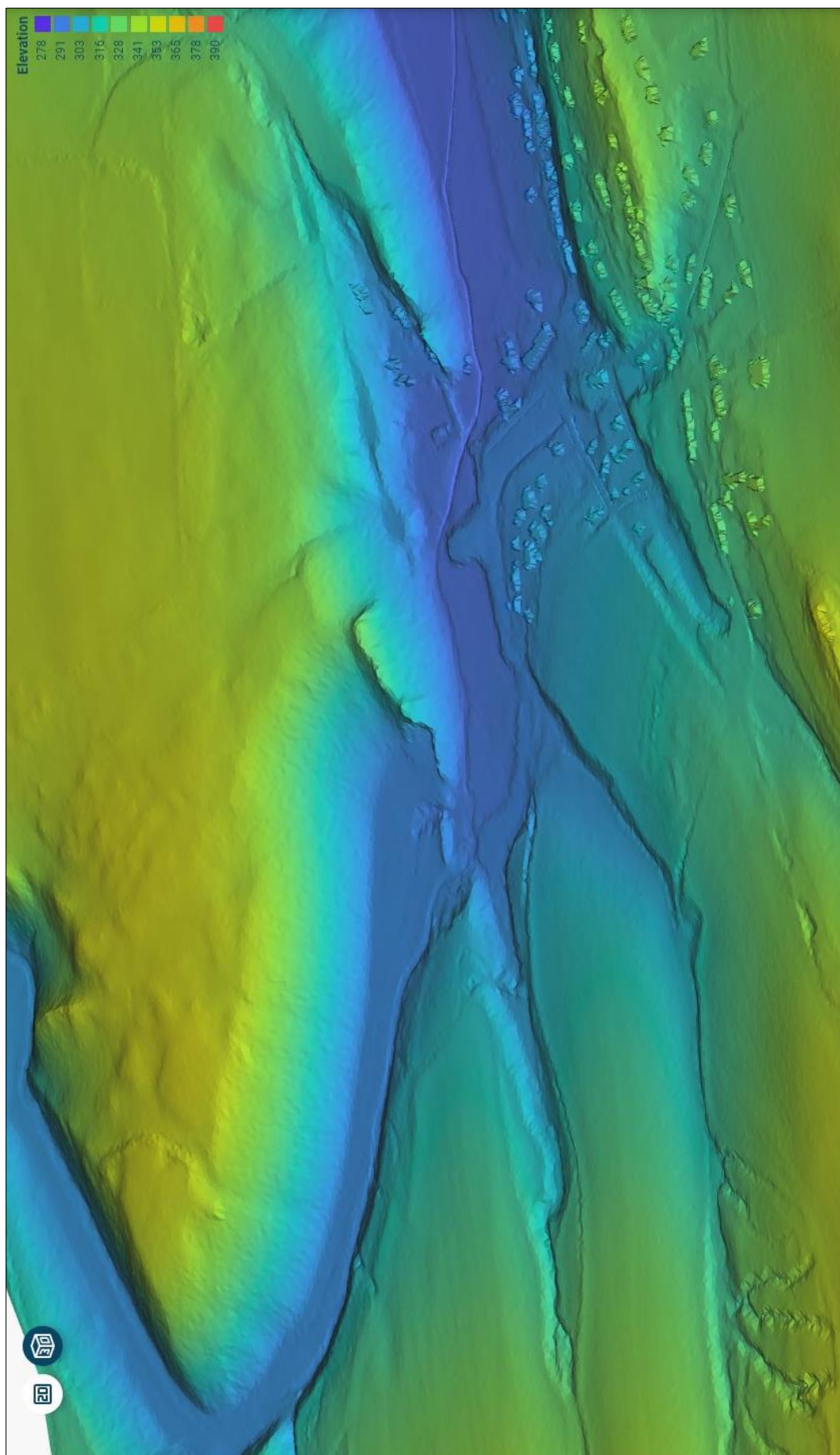
Obr. 12.1.16: Prvky systému odvodnění – prvek 15

č.	prvek	umístění
15	propustek P	
<b>poznámky</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• délka asi 45.7 m, DN600, beton, vtok z č. 14</li> <li>• neznámá poloha výtoku z důvodu neprostupnosti vegetace (odhadnuto)</li> </ul>		
<b>fotodokumentace</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• vtok do propustku z č. 14</li> </ul> 		

## 12.2 Tvorba modelu

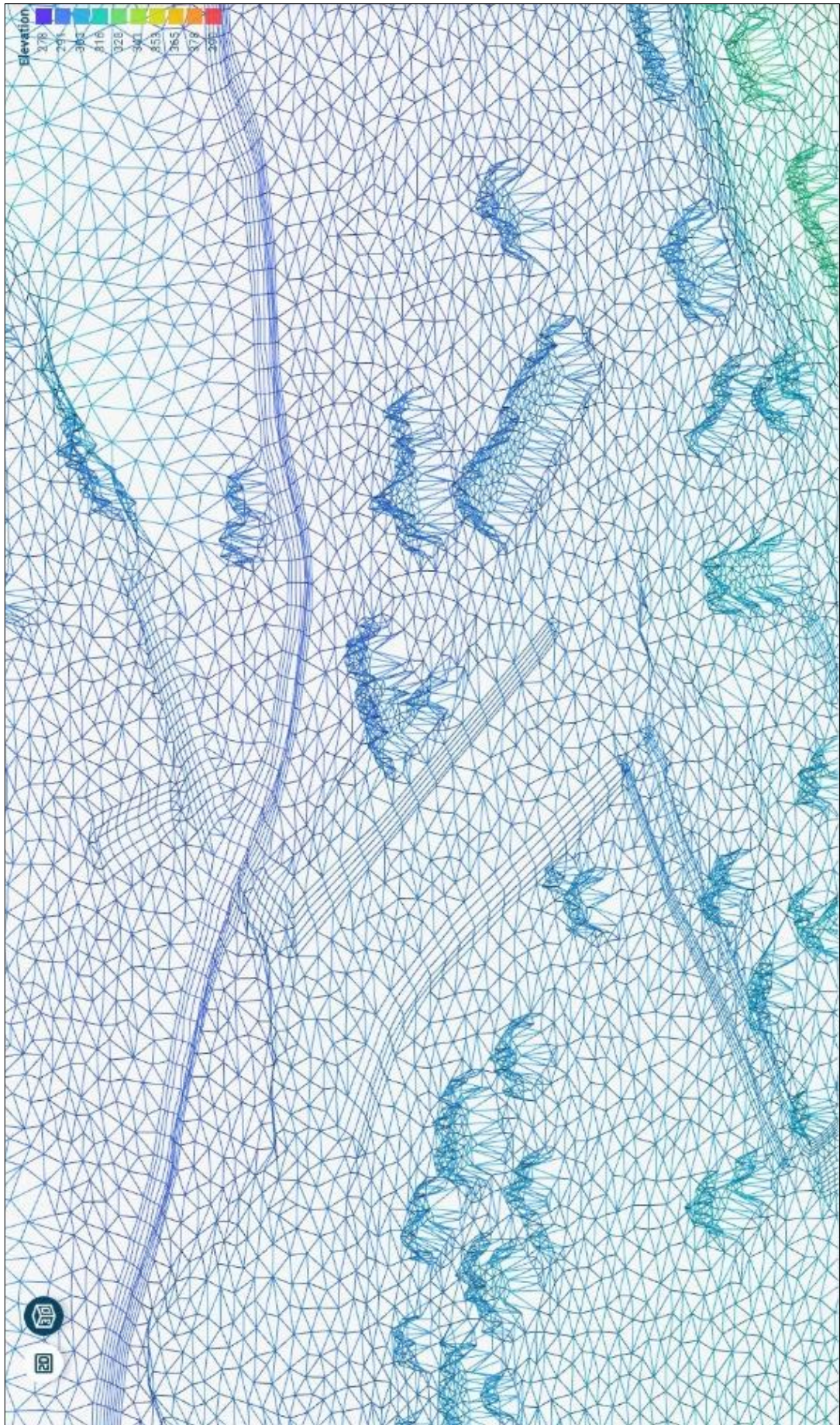


Obr. 12.2.1 : Schéma makra použitého k určeni rozsahu povodi

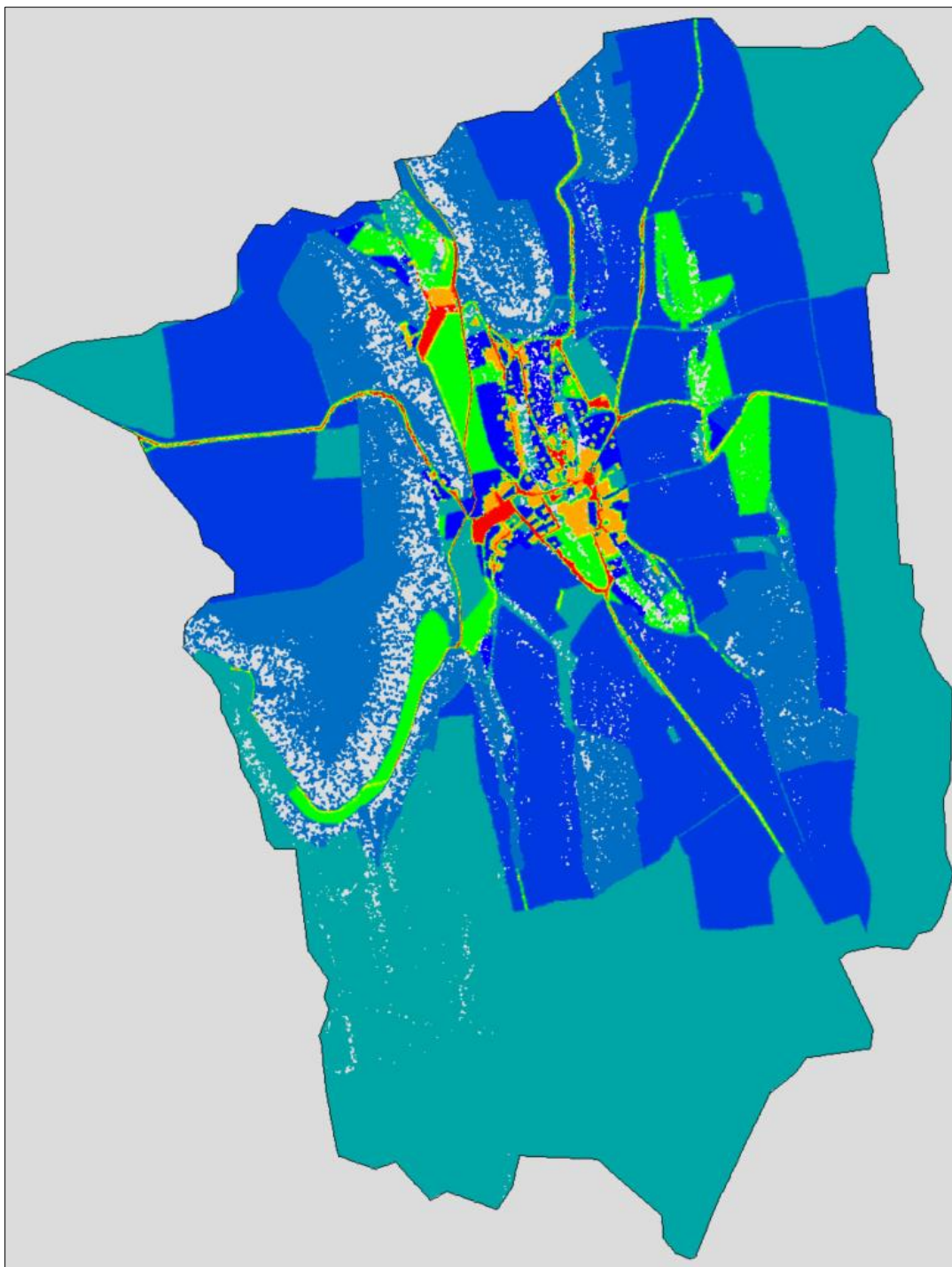


Obr. 12.2.2: Povrch terénu dle vygenerované výpočetní sítě v programu Mesh Builder

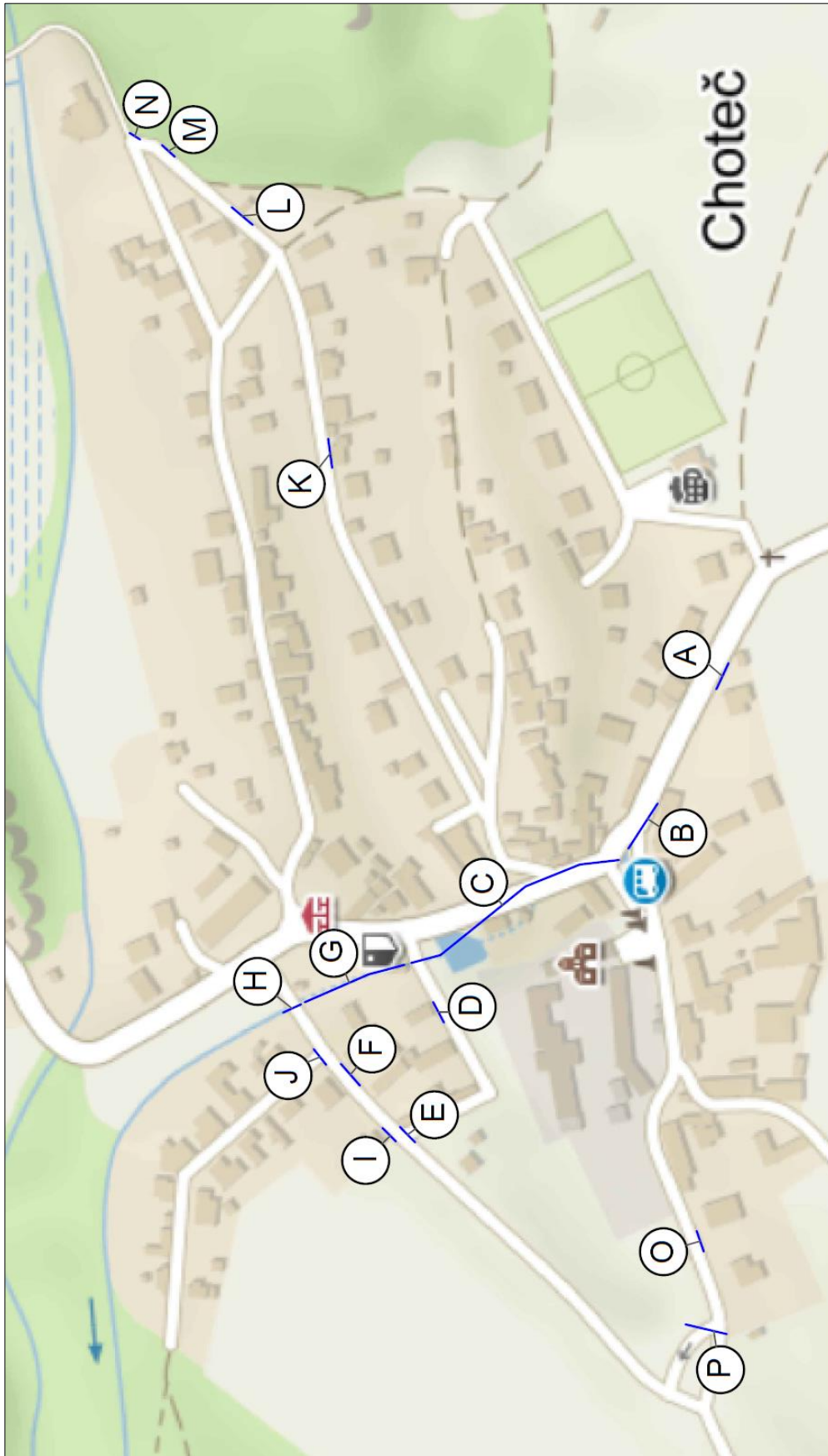




Obr. 12.2.3: Detail vygenerované výpočetní sítě v programu Mesh Builder – obec



Obr. 12.2.4: Rozdělení drsností v modelu



Obr. 12.2.5: Schéma umístění zatrubněných úseků

## 12.3 Výpočet kritické doby trvání deště dle objemu

Tab. 12.3.1: Vstupy pro výpočet kritické doby trvání deště z hlediska objemu (A = plocha,

$\psi$  = součinitel odtoku, Q = průtok)

$A_{\text{povodí}}$	710000 m <sup>2</sup>
$A_{\text{poldr}}$	1300 m <sup>2</sup>
$\psi$	0.1 -
$A_{\text{red}}$	71000 m <sup>2</sup>
$Q_{\text{c_přikopy}}$	1.24 m <sup>3</sup> /s

Tab. 12.3.2: Vypočtené hodnoty jednotlivých členů bilance (V = objem)

$t_{\text{dešť}}$ [min]	$V_{\text{přítok}} \text{ [m}^3\text{]}$							$V_{\text{odtok}}$ [m <sup>3</sup> ]
	Doba opakování zatěžujícího deště							
	1	2	5	10	20	50	100	
10	694.1	889.3	1140.9	1336.1	1526.9	1908.7	2147.3	742.8
15	845.9	1106.2	1366.4	1607.2	1854.5	2303.4	2602.7	1114.2
20	928.3	1214.6	1500.9	1769.9	2047.5	2576.7	2923.8	1485.6
25	976.0	1263.4						1857.0
30	1015.1	1301.4	1652.7	1991.1	2316.4	2928.1	3331.5	2228.4
35	1040.0	1343.7						2599.8
40	1067.1	1370.8	1804.6	2151.6	2498.6	3158.0	3609.1	2971.1
45	1093.2	1395.7						3342.5
50	1117.0	1431.5	1891.3	2266.6	2624.4	3383.6	3817.4	3713.9
55	1133.3	1450.6						4085.3
60	1145.2	1441.9	1975.5	2371.1	2777.1	3461.7	3956.2	4456.7
70	1184.3	1518.3						5199.5
80	1232.0	1551.2						5942.3
90	1249.3	1577.3	2155.1	2553.3	3115.5	3755.8	4294.5	6685.1
100	1279.7	1605.0						7427.9

## 12.4 Použité modelové deště

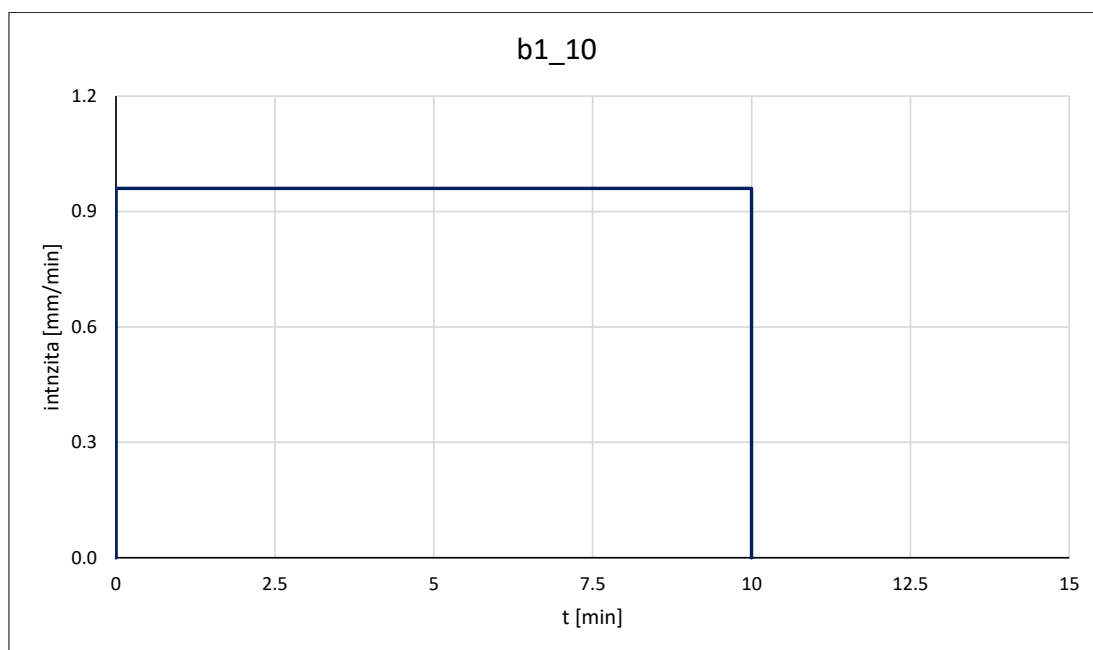
Tab. 12.4.1: Přehled použitých náhradních intenzit pro modelové deště (zvýrazněno) v Tab. 8

$t_{\text{dešť}}$ [min]	Doba opakování zatěžujícího deště						
	1	2	5	10	20	50	100
10	<b>0.960</b>	<b>1.230</b>	1.578	1.848	2.112	2.640	2.970
15	0.780	1.020	1.260	1.482	1.710	2.124	2.400
20	<b>0.642</b>	<b>0.840</b>	1.038	1.224	1.416	1.782	2.022
25	0.540	0.699					
30	0.468	0.600	0.762	0.918	1.068	1.350	1.536
35	0.411	0.531					
40	0.369	0.474	0.624	0.744	0.864	1.092	1.248
45	0.336	0.429					
50	0.309	0.396	0.523	0.627	0.726	0.936	1.056
55	0.285	0.365					
60	0.264	0.332	0.455	0.547	0.640	0.798	0.912
70	0.234	0.300					
80	0.213	0.268					
90	0.192	0.242	0.331	0.392	0.479	0.577	0.660
100	0.177	0.222					
intenzita [mm/min]							

## 12.4.1 Blokové deště

Tab. 12.4.1.1: Vstupní hodnoty grafu b1\_10

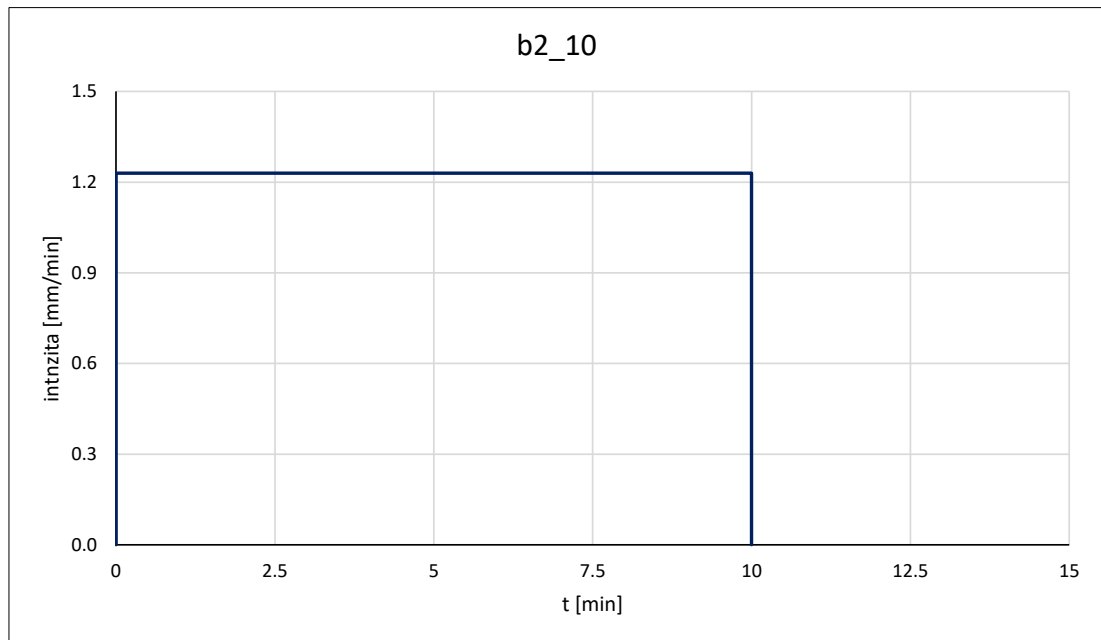
i	0.960 mm/min		
t	10 min		
0	0 min	0	0 mm/min
0	0 min	i	0.960 mm/min
t	10 min	i	0.960 mm/min
t	10 min	0	0.000 mm/min



Obr. 12.4.1.1: Graf průběhu deště b1\_10

Tab. 12.4.1.2: Vstupní hodnoty grafu b2\_10

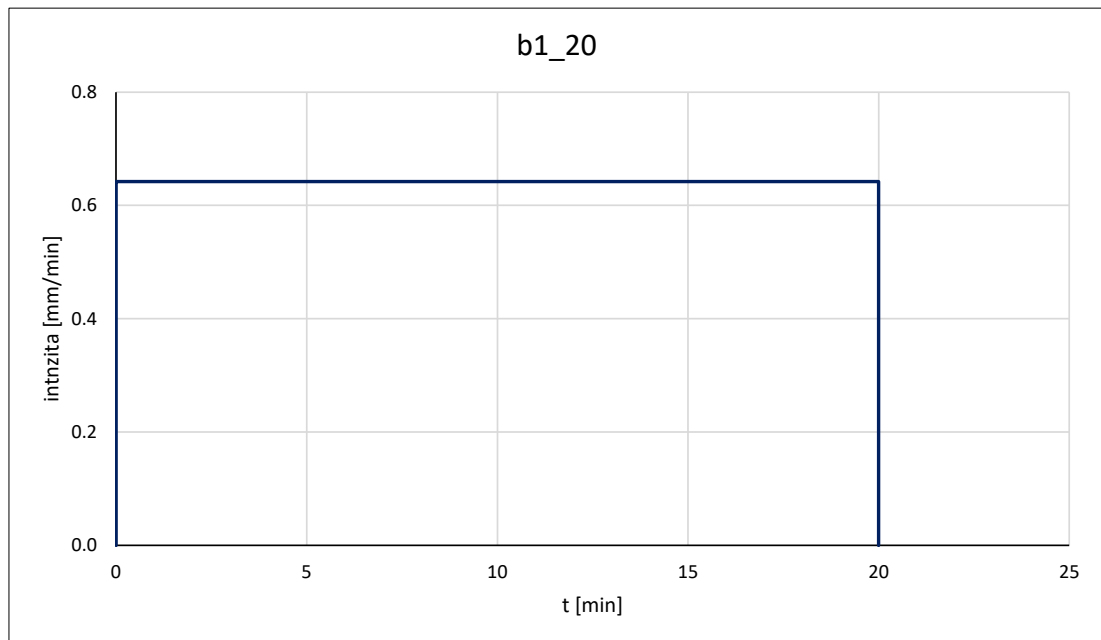
i	1.230 mm/min		
t	10 min		
0	0 min	0	0 mm/min
0	0 min	i	1.230 mm/min
t	10 min	i	1.230 mm/min
t	10 min	0	0.000 mm/min



Obr. 12.4.1.2: Graf průběhu deště b2\_10

Tab. 12.4.1.3: Vstupní hodnoty grafu b1\_20

i	0.642 mm/min		
t	20 min		
0	0 min	0	0 mm/min
0	0 min	i	0.642 mm/min
t	20 min	i	0.642 mm/min
t	20 min	0	0.000 mm/min

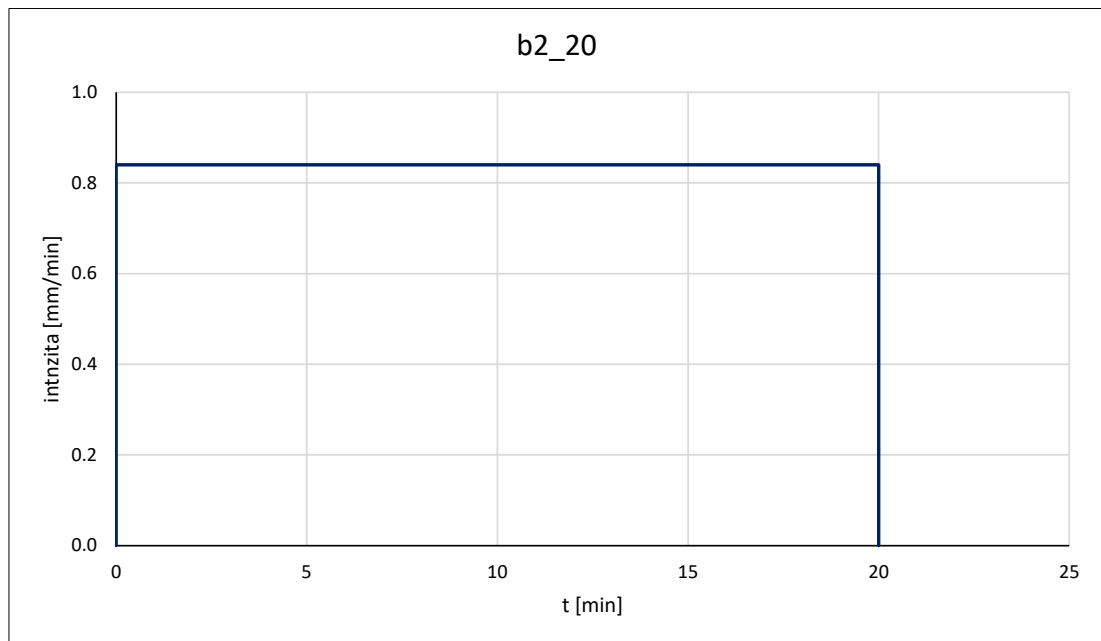


Obr. 12.4.1.3: Graf průběhu deště b1\_20



Tab. 12.4.1.4: Vstupní hodnoty grafu b2\_20

i	0.840 mm/min		
t	20 min		
0	0 min	0	0 mm/min
0	0 min	i	0.840 mm/min
t	20 min	i	0.840 mm/min
t	20 min	0	0.000 mm/min

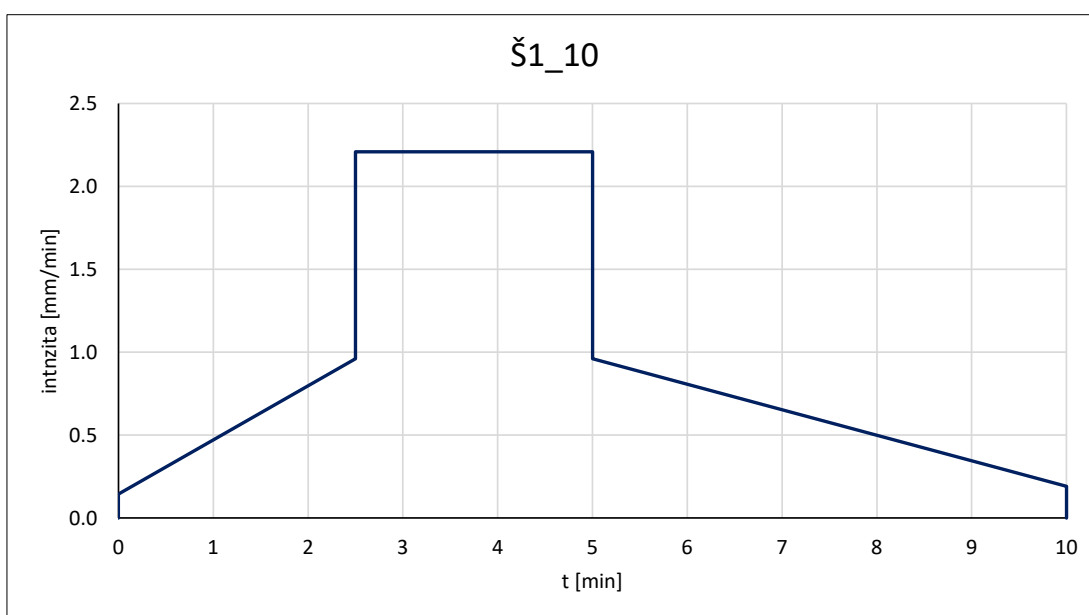


Obr. 12.4.1.4: Graf průběhu deště b2\_20

## 12.4.2 Šifaldovy deště

Tab. 12.4.2.1: Vstupní hodnoty grafu Š1\_10

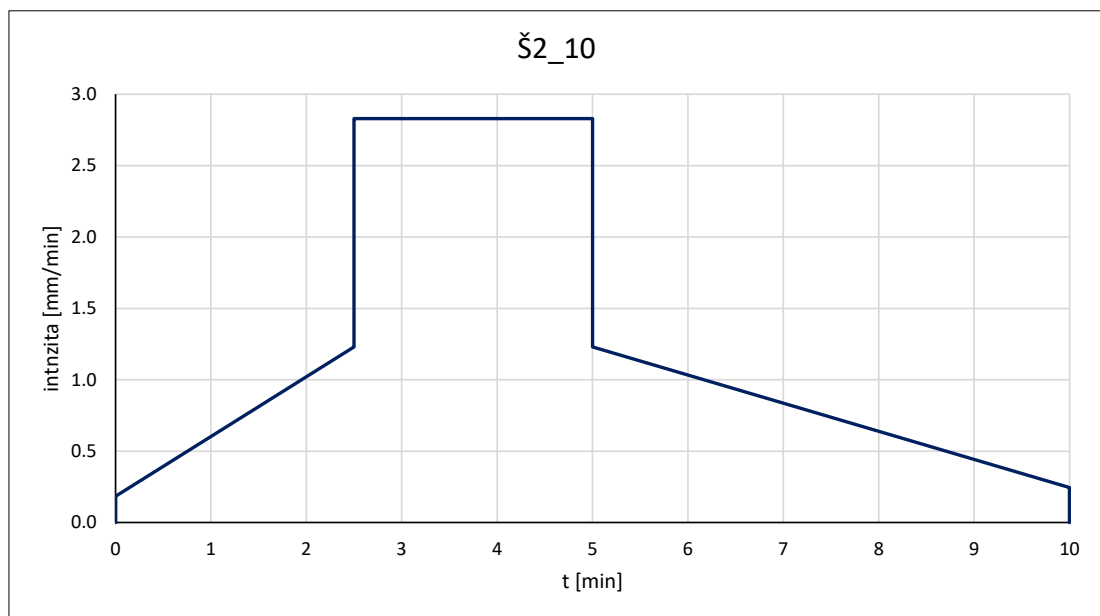
<b>i</b>	0.960 mm/min		
<b>t</b>	10 min		
<b>0</b>	0 min	<b>0</b>	0 mm/min
<b>0</b>	0 min	<b>0.15i</b>	0.144 mm/min
<b>t/4</b>	2.5 min	<b>i</b>	0.960 mm/min
<b>t/4</b>	2.5 min	<b>2.3i</b>	2.208 mm/min
<b>t/2</b>	5 min	<b>2.3i</b>	2.208 mm/min
<b>t/2</b>	5 min	<b>i</b>	0.960 mm/min
<b>t</b>	10 min	<b>0.2i</b>	0.192 mm/min
<b>t</b>	10 min	<b>0</b>	0 mm/min



Obr. 12.4.2.1: Graf průběhu deště Š1\_10

Tab. 12.4.2.2: Vstupní hodnoty grafu Š2\_10

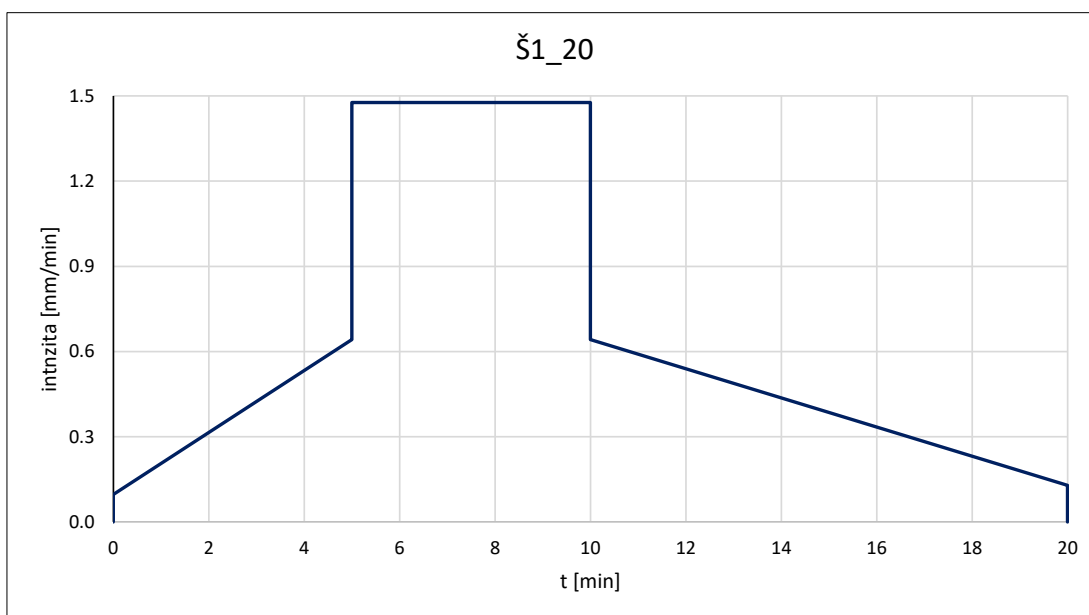
i	1.230 mm/min		
t	10 min		
0	0 min	0	0 mm/min
0	0 min	0.15i	0.185 mm/min
t/4	2.5 min	i	1.230 mm/min
t/4	2.5 min	2.3i	2.829 mm/min
t/2	5 min	2.3i	2.829 mm/min
t/2	5 min	i	1.230 mm/min
t	10 min	0.2i	0.246 mm/min
t	10 min	0	0 mm/min



Obr. 12.4.2.2: Graf průběhu deště Š2\_10

Tab. 12.4.2.3: Vstupní hodnoty grafu Š1\_20

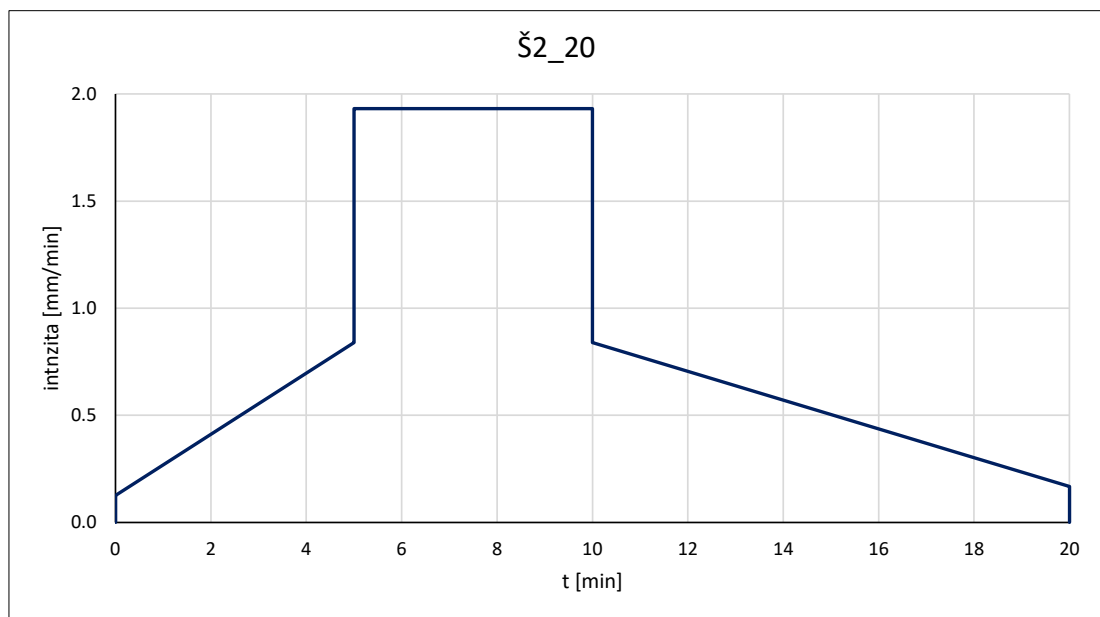
<b>i</b>	0.642 mm/min		
<b>t</b>	20 min		
<b>0</b>	0 min	<b>0</b>	0 mm/min
<b>0</b>	0 min	<b>0.15i</b>	0.096 mm/min
<b>t/4</b>	5 min	<b>i</b>	0.642 mm/min
<b>t/4</b>	5 min	<b>2.3i</b>	1.477 mm/min
<b>t/2</b>	10 min	<b>2.3i</b>	1.477 mm/min
<b>t/2</b>	10 min	<b>i</b>	0.642 mm/min
<b>t</b>	20 min	<b>0.2i</b>	0.128 mm/min
<b>t</b>	20 min	<b>0</b>	0 mm/min



Obr. 12.4.2.3: Graf průběhu deště Š1\_20

Tab. 12.4.2.4: Vstupní hodnoty grafu Š2\_20

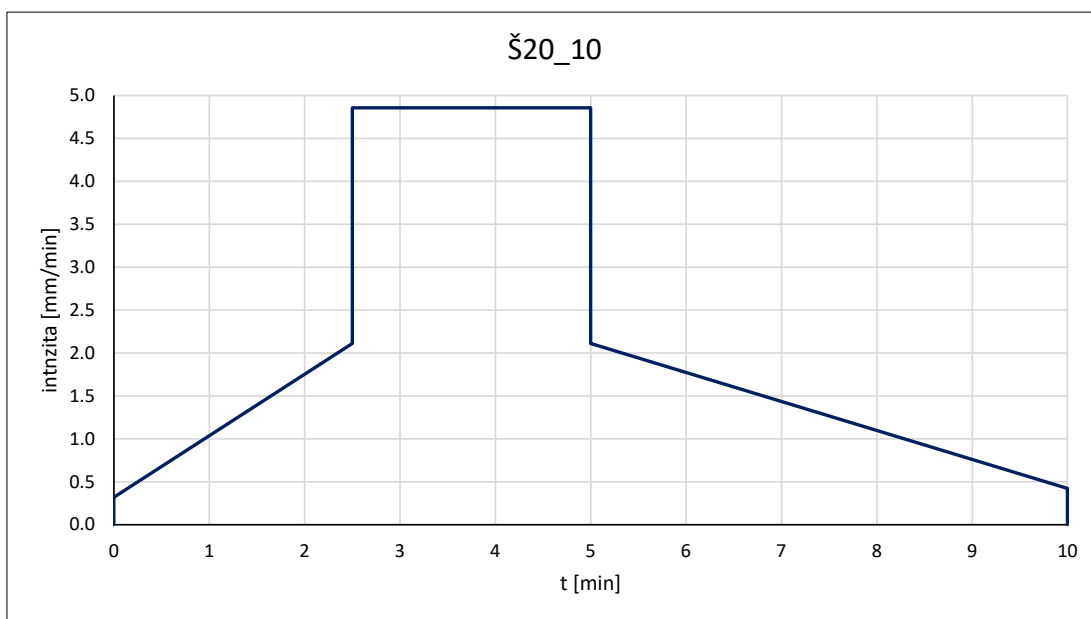
<b>i</b>	0.840 mm/min		
<b>t</b>	20 min		
<b>0</b>	0 min	<b>0</b>	0 mm/min
<b>0</b>	0 min	<b>0.15i</b>	0.126 mm/min
<b>t/4</b>	5 min	<b>i</b>	0.840 mm/min
<b>t/4</b>	5 min	<b>2.3i</b>	1.932 mm/min
<b>t/2</b>	10 min	<b>2.3i</b>	1.932 mm/min
<b>t/2</b>	10 min	<b>i</b>	0.840 mm/min
<b>t</b>	20 min	<b>0.2i</b>	0.168 mm/min
<b>t</b>	20 min	<b>0</b>	0 mm/min



Obr. 12.4.2.4: Graf průběhu deště Š2\_20

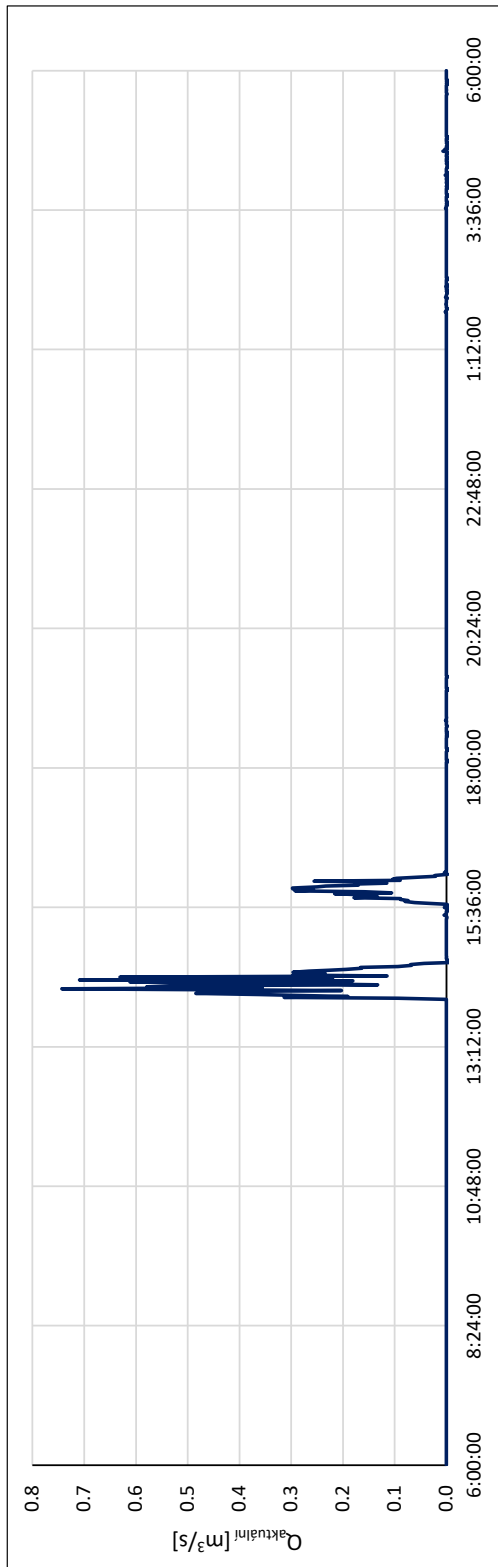
Tab. 12.4.2.5: Vstupní hodnoty grafu Š20\_10

<b>i</b>	2.112 mm/min		
<b>t</b>	10 min		
<b>0</b>	0 min	<b>0</b>	0 mm/min
<b>0</b>	0 min	<b>0.15i</b>	0.317 mm/min
<b>t/4</b>	2.5 min	<b>i</b>	2.112 mm/min
<b>t/4</b>	2.5 min	<b>2.3i</b>	4.858 mm/min
<b>t/2</b>	5 min	<b>2.3i</b>	4.858 mm/min
<b>t/2</b>	5 min	<b>i</b>	2.112 mm/min
<b>t</b>	10 min	<b>0.2i</b>	0.422 mm/min
<b>t</b>	10 min	<b>0</b>	0 mm/min

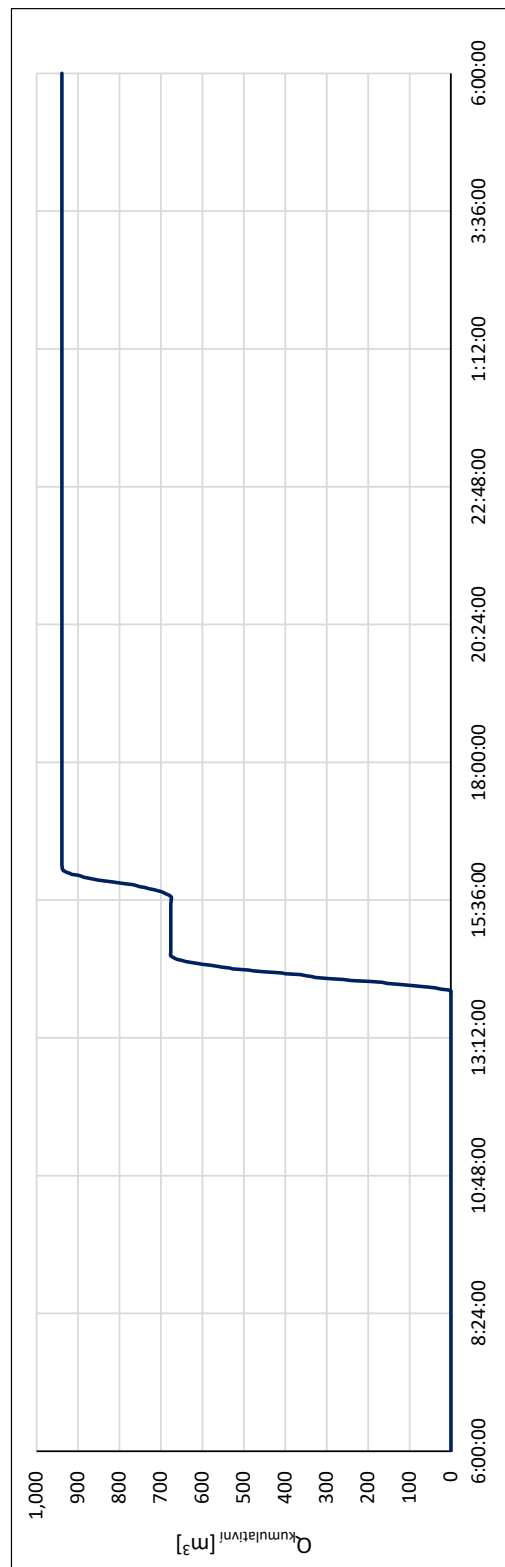


Obr. 12.4.2.5: Graf průběhu deště Š20\_10

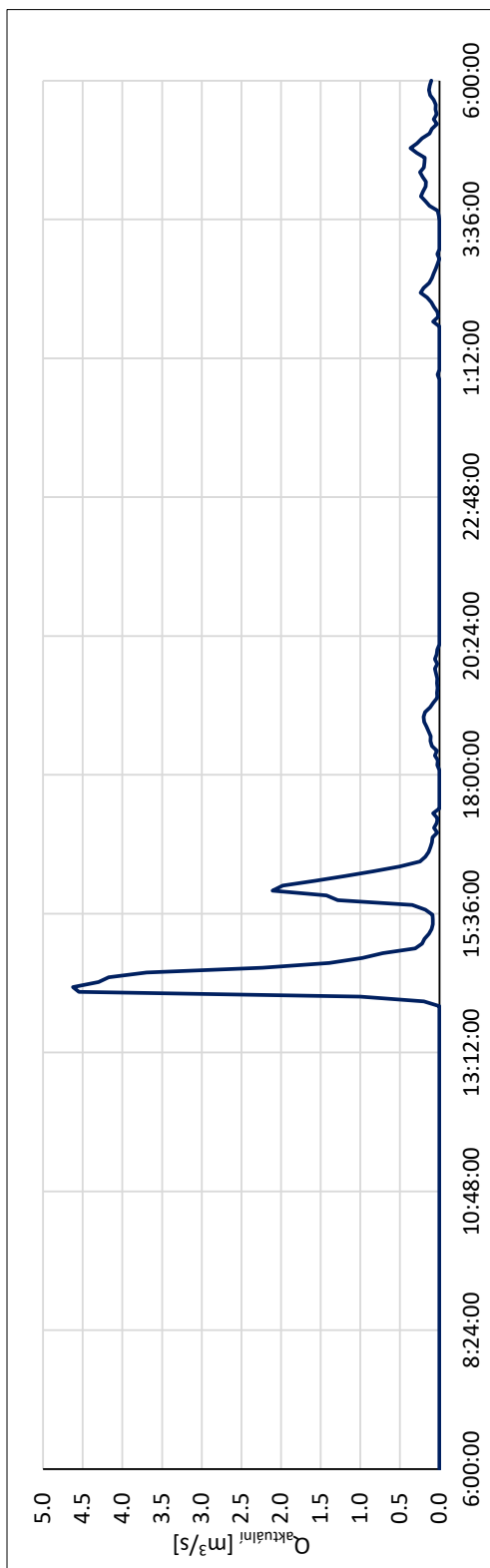
## 12.5 Výsledky simulace za současného stavu



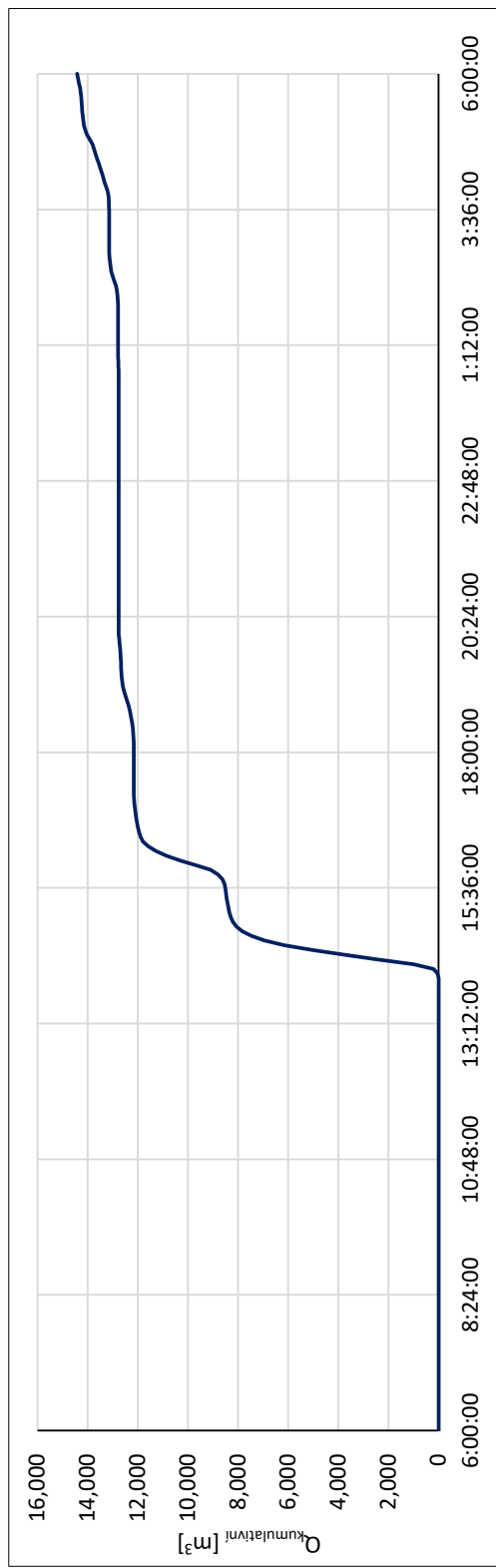
Obr. 12.5.1: KP silnice most hlavní – průtok  $[\text{m}^3/\text{s}]$  v čase, 12. 5. 2021



Obr. 12.5.2: KP silnice most hlavní – kumulativní průtok  $[\text{m}^3]$  v čase, 12. 5. 2021

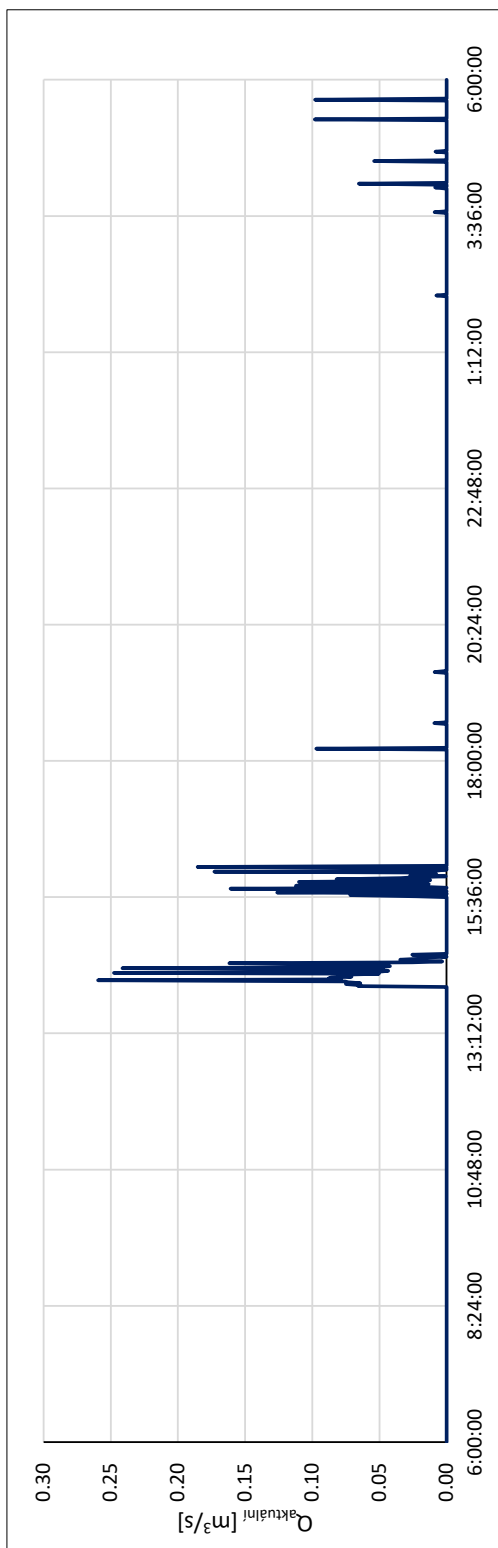


Obr. 12.5.3: KP nad valem – průtok [ $m^3/s$ ] v čase, 12. 5. 2021

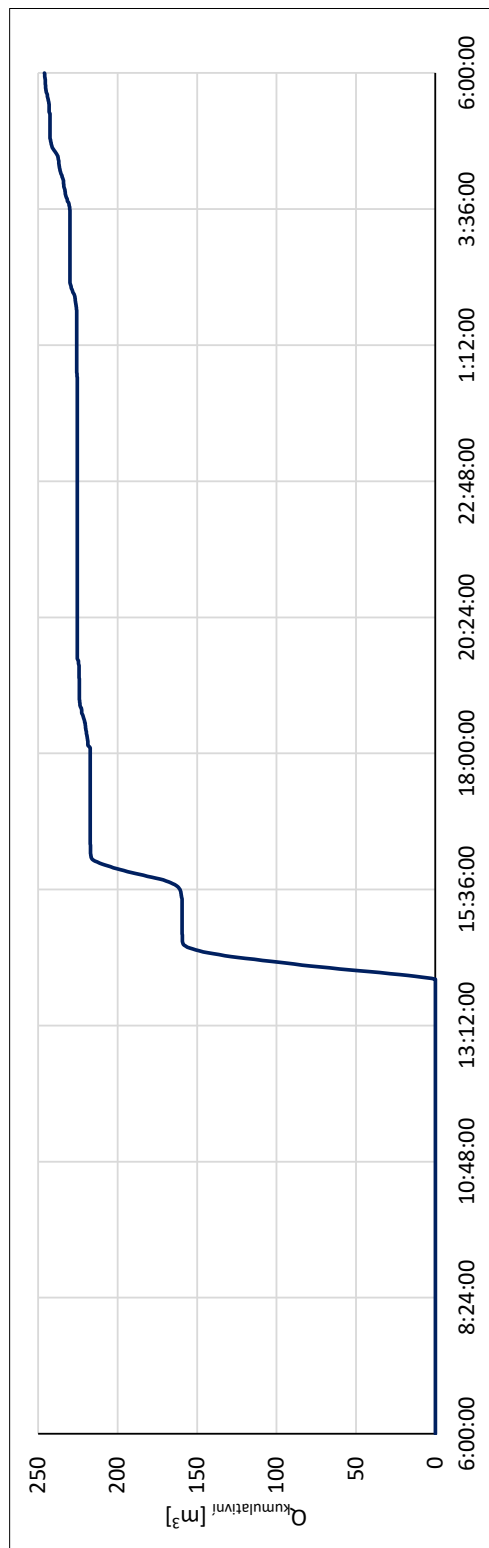


Obr. 12.5.4: KP nad valem – kumulativní průtok [ $m^3$ ] v čase, 12. 5. 2021



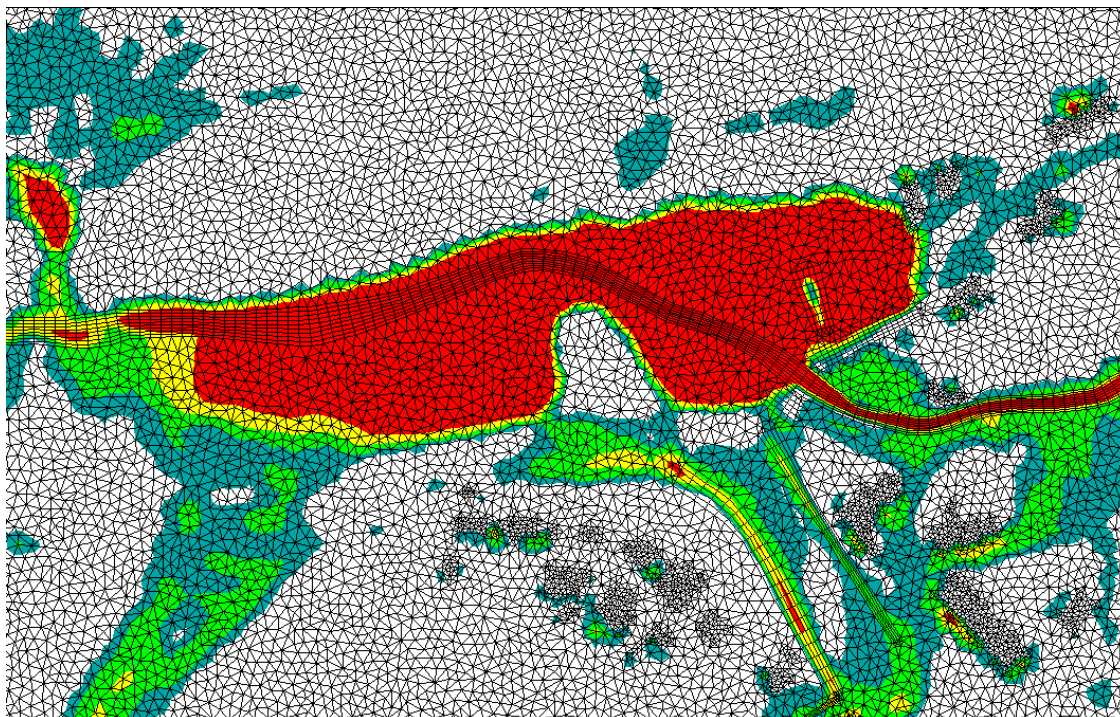


Obr. 12.5.5: KP křížek – průtok [ $m^3/s$ ] v čase, 12. 5. 2021

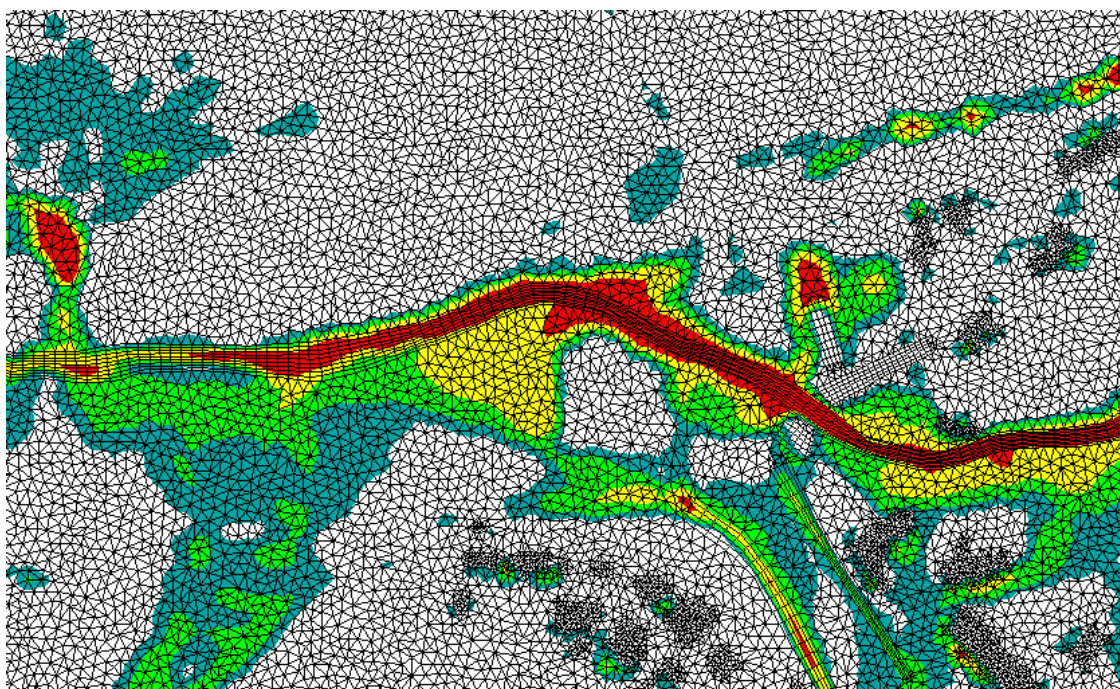


Obr. 12.5.6: KP křížek – kumulativní průtok [ $m^3$ ] v čase, 12. 5. 2021

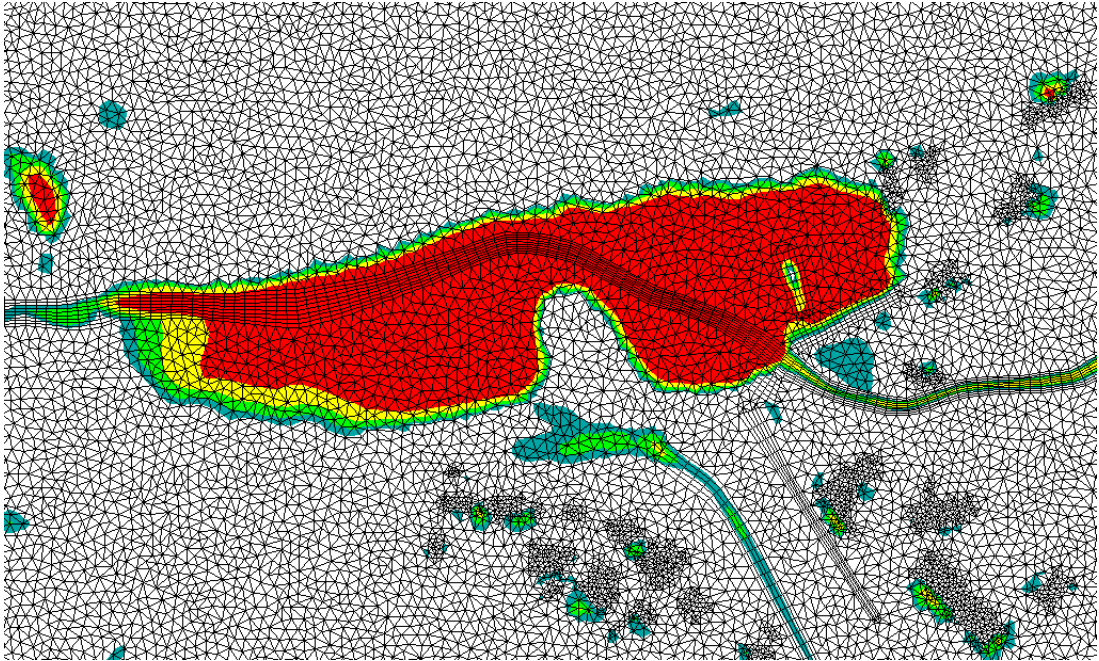
## 12.6 Výsledky simulace s navrženými opatřeními



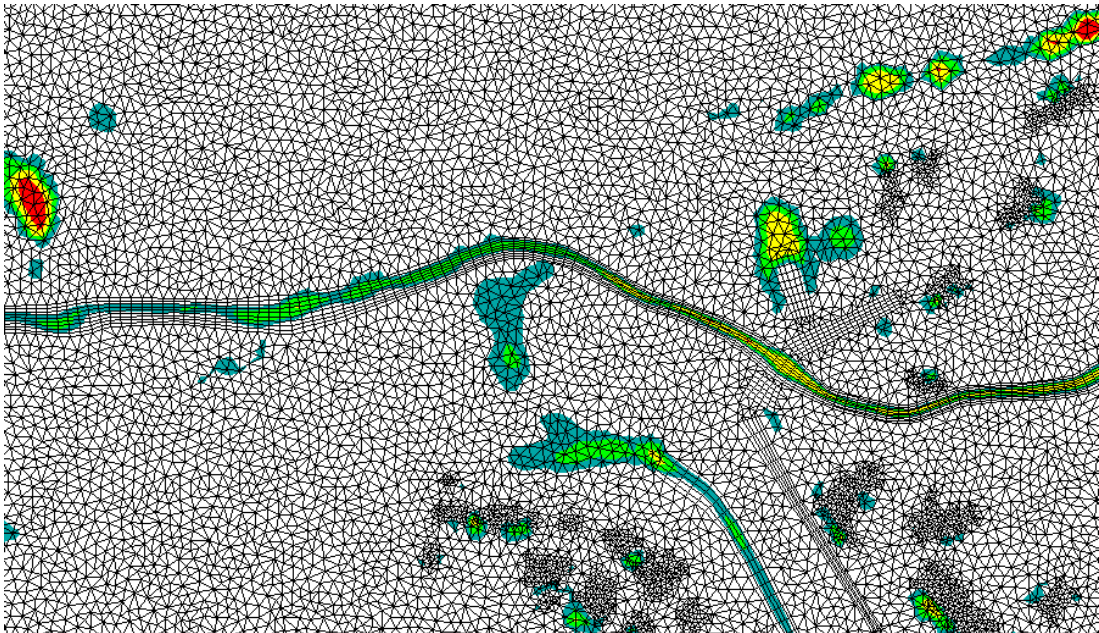
Obr. 12.6.1: Stav inundace nad mostem hlavní bez opatření – zobrazení maximálních hloubek



Obr. 12.6.2: Stav inundace nad mostem hlavní po opatření – zobrazení maximálních hloubek

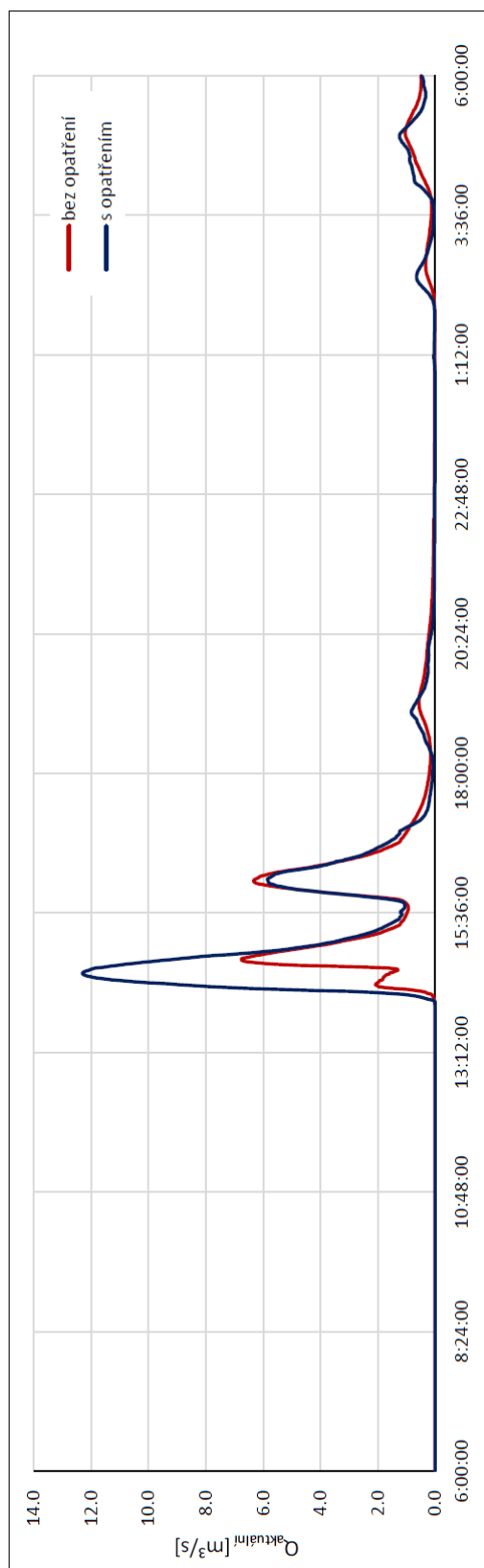


Obr. 12.6.3: Stav inundace nad mostem hlavní před opatřením – zobrazení hloubek v posledním kroku simulace

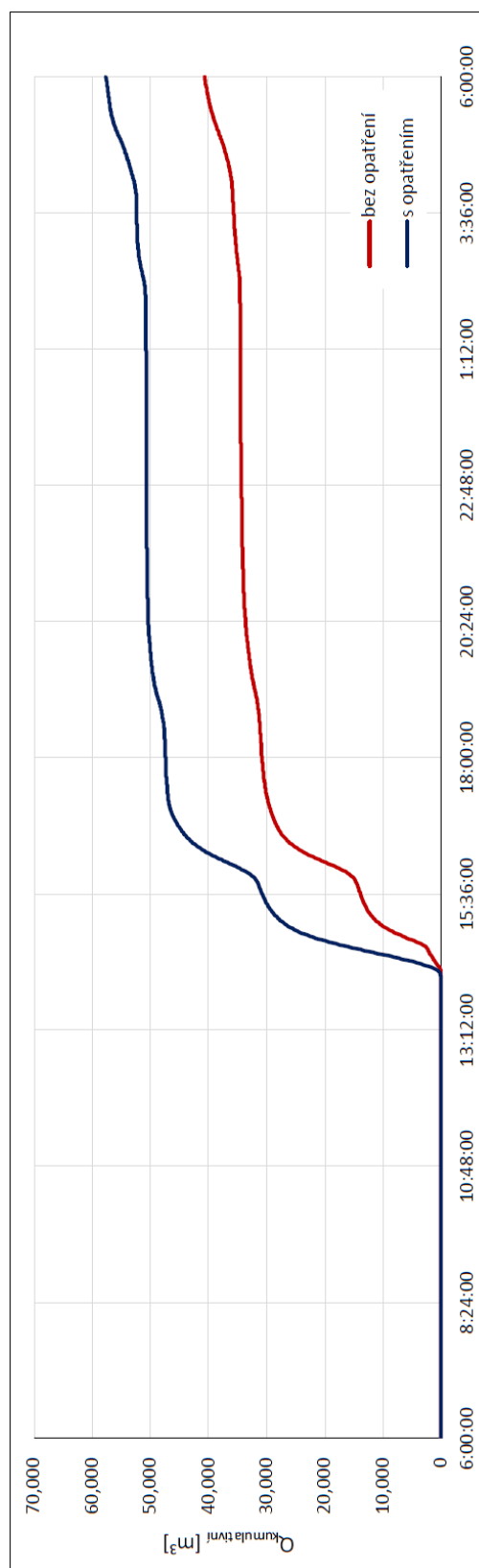


Obr. 12.6.4: Stav inundace nad mostem hlavní po opatření – zobrazení hloubek v posledním kroku simulace

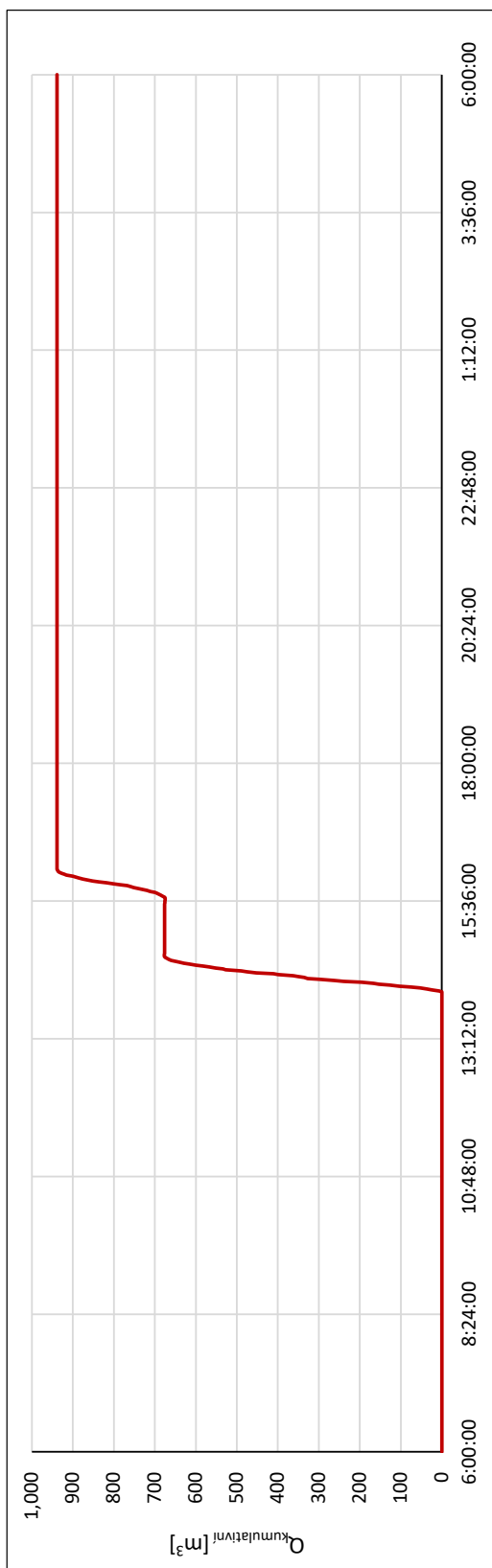
## 12.6.1 Déšť 12. 5. 2021



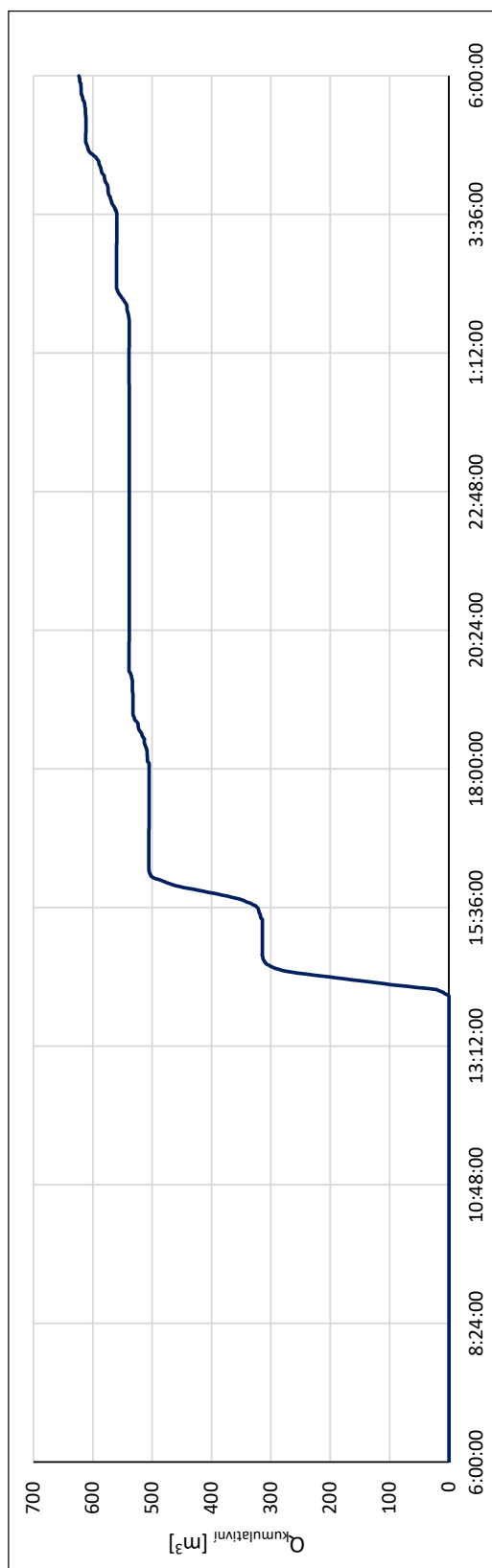
Obr. 12.6.1.1: KP pod mostem hlavní – průtok [ $m^3/s$ ] v čase, 12. 5. 2021



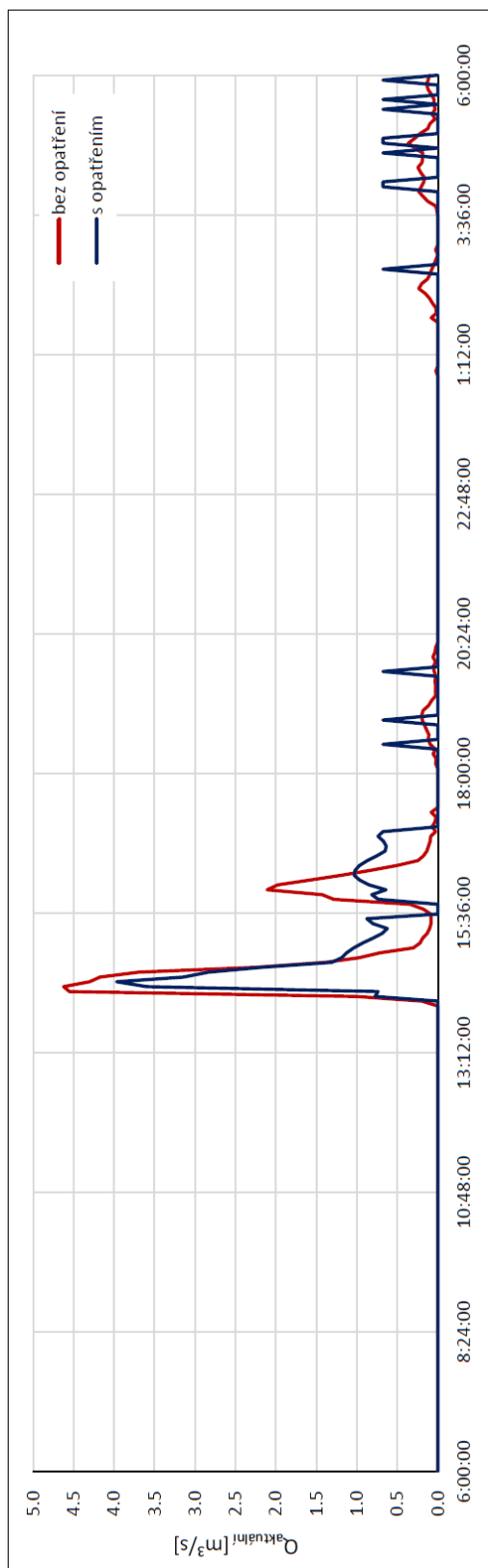
Obr. 12.6.1.2: KP pod mostem hlavní – kumulativní průtok [ $m^3$ ] v čase, 12. 5. 2021



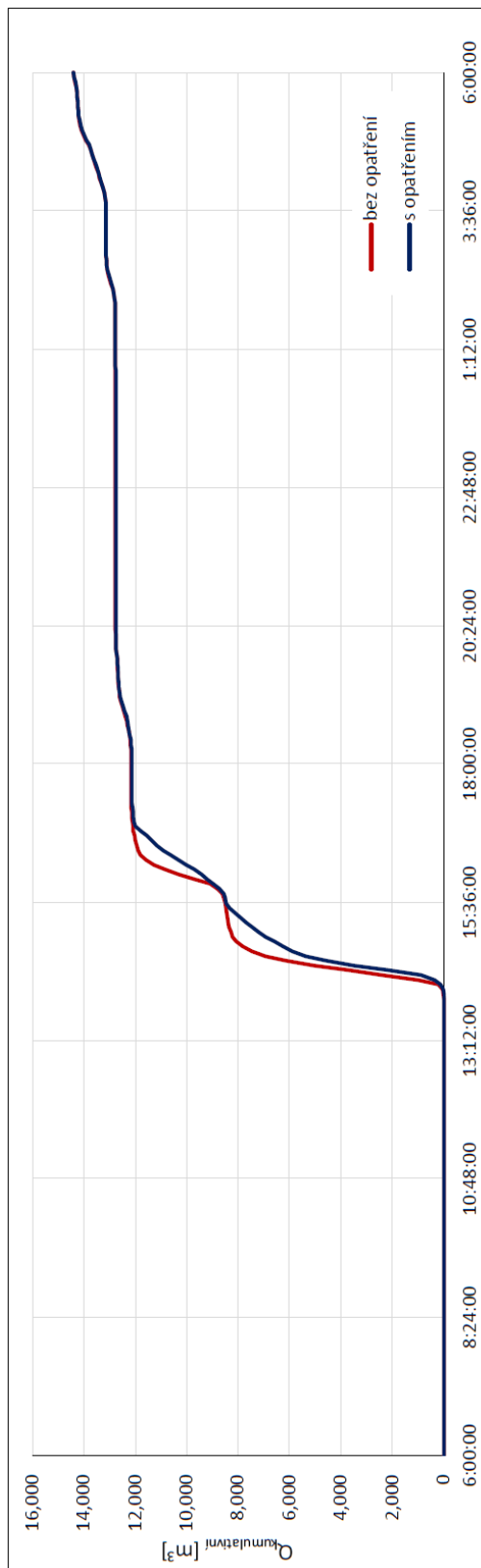
Obr. 12.6.1.3: KP silnice – kumulativní průtok [m³] bez opatření v čase, 12. 5. 2021



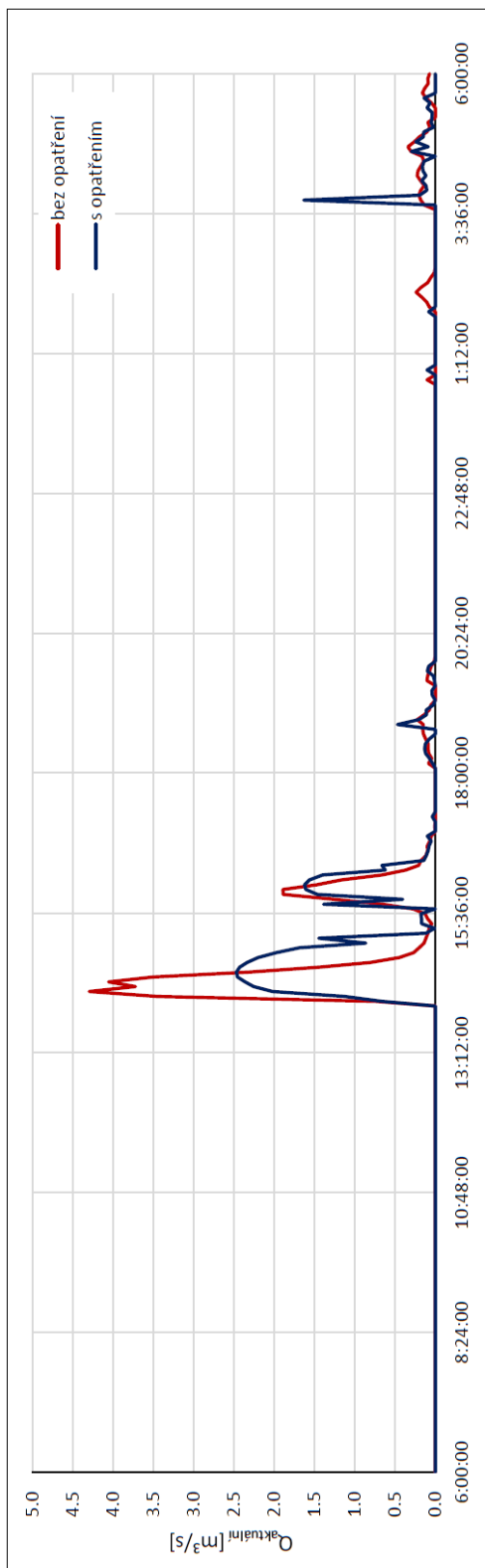
Obr. 12.6.1.4: KP začátek příkopu – kumulativní průtok [m³] s opatřením v čase, 12. 5. 2021



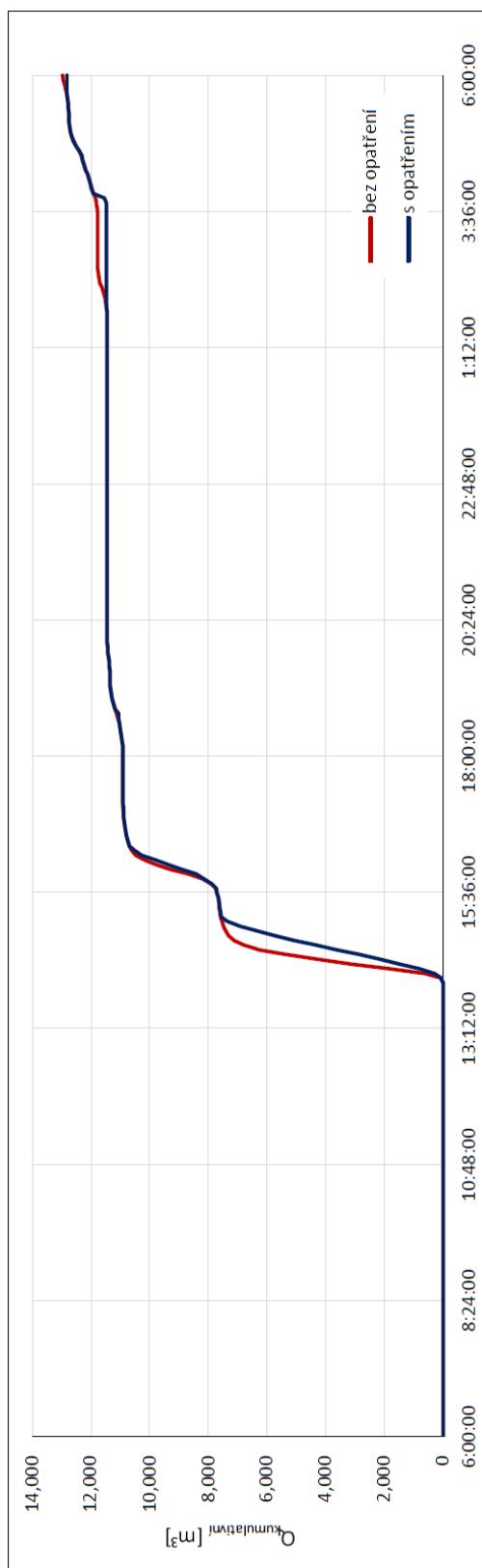
Obr. 12.6.1.5: KP malý poldr – průtok [ $m^3/s$ ] v čase, 12. 5. 2021



Obr. 12.6.1.6: KP malý poldr – kumulativní průtok [ $m^3$ ] v čase, 12. 5. 2021

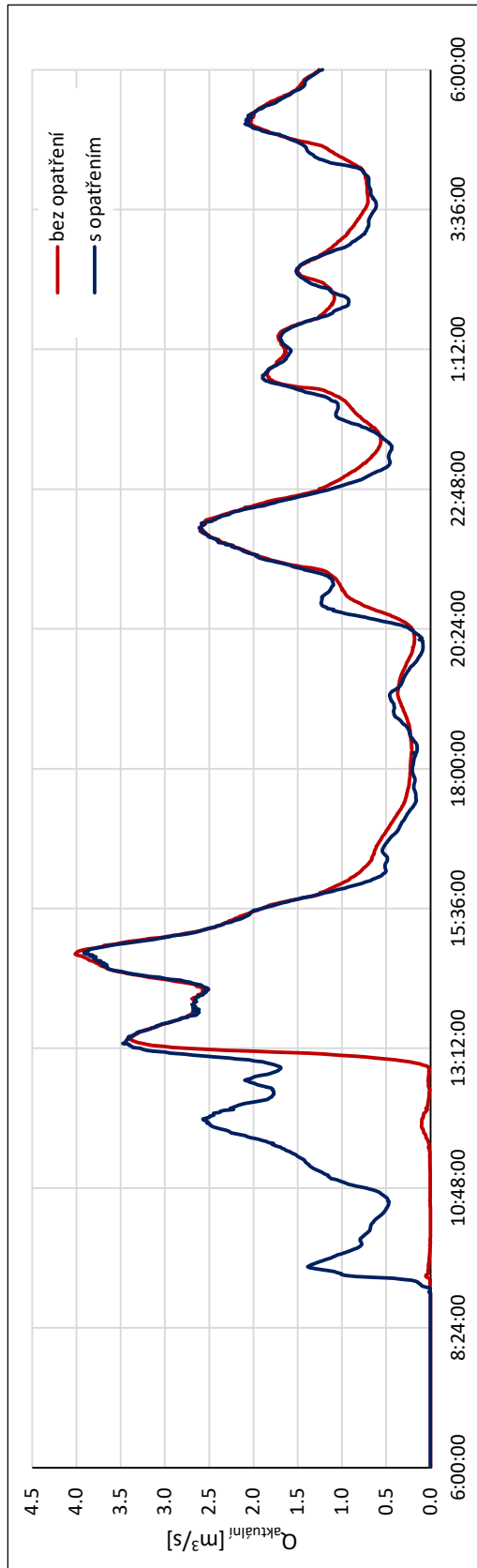


Obr. 12.6.1.7: KP velký poldr – průtok [m<sup>3</sup>/s] v čase, 12. 5. 2021

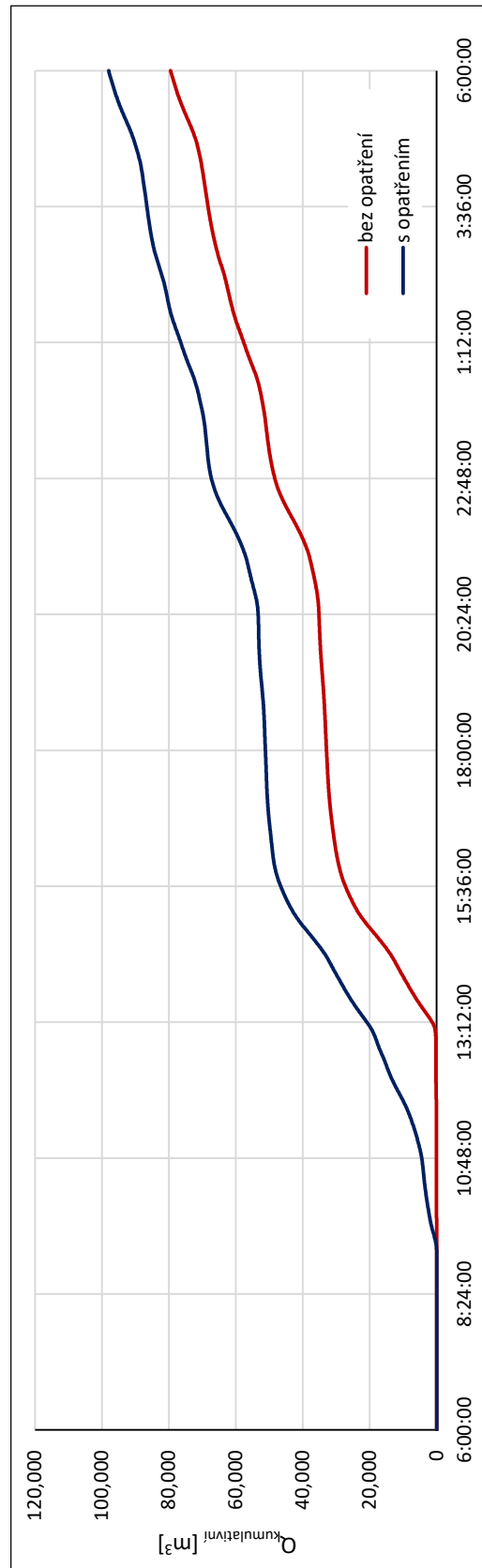


Obr. 12.6.1.8: KP velký poldr – kumulativní průtok [m<sup>3</sup>] v čase, 12. 5. 2021

## 12.6.2 Déšť 13. 5. 2021



Obr. 12.6.2.1: KP pod mostem hlavní – průtok [ $m^3/s$ ] v čase, 13. 5. 2021

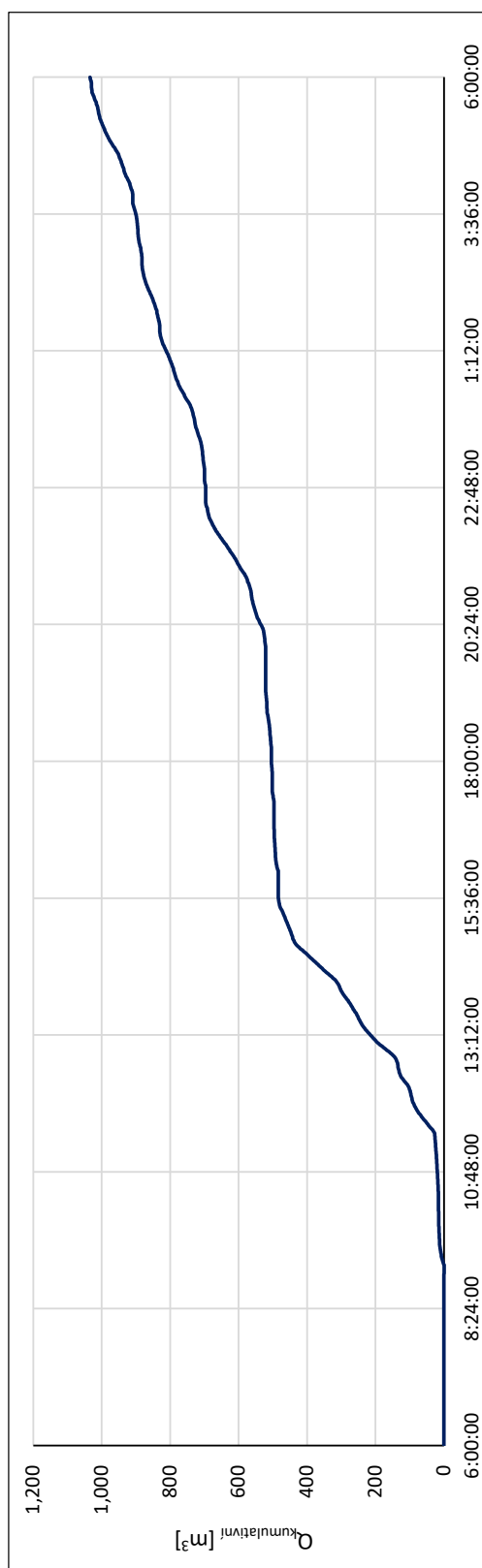


Obr. 12.6.2.2: KP pod mostem hlavní – kumulativní průtok [ $m^3$ ] v čase, 13. 5. 2021

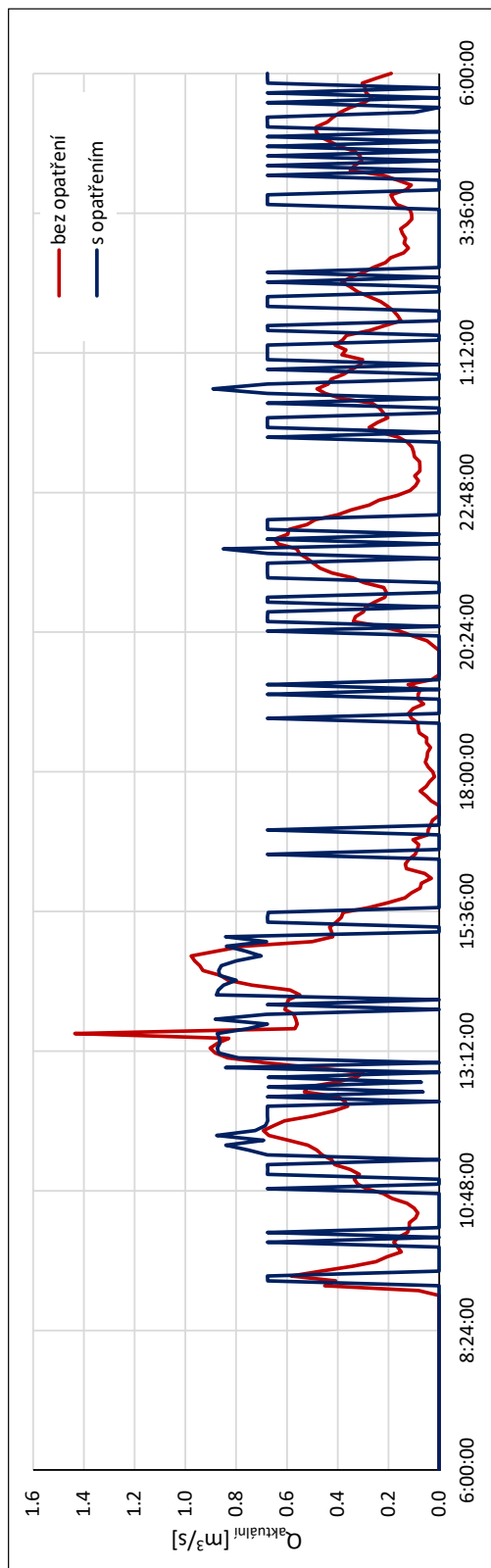




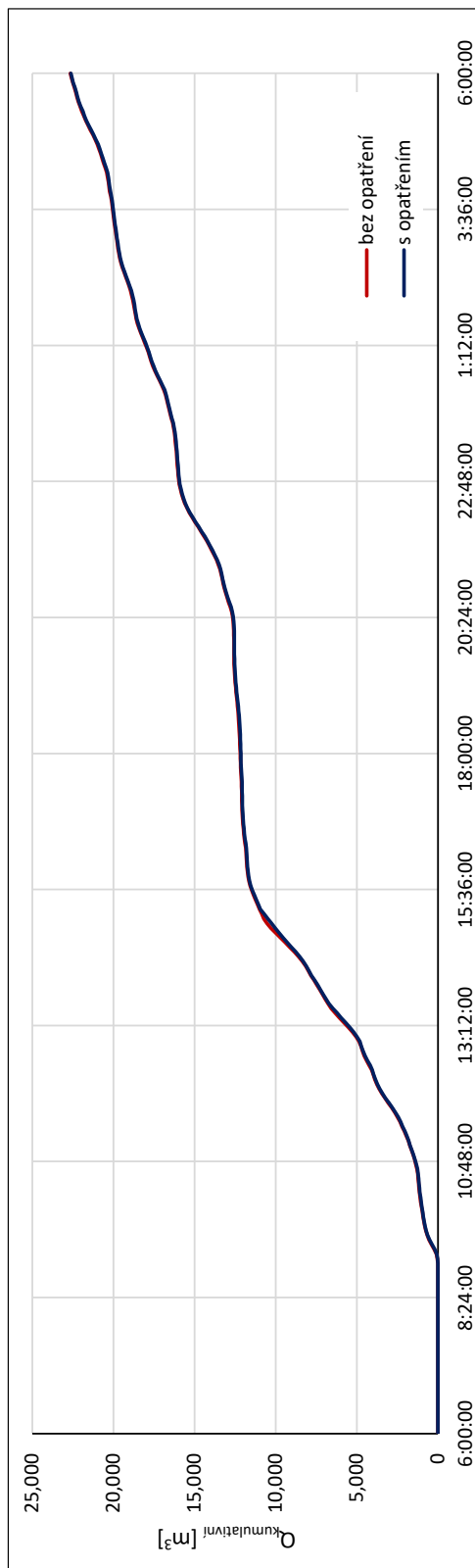
Obr. 12.6.2.3: KP silnice – kumulativní průtok [m<sup>3</sup>] bez opatření v čase, 13. 5. 2021



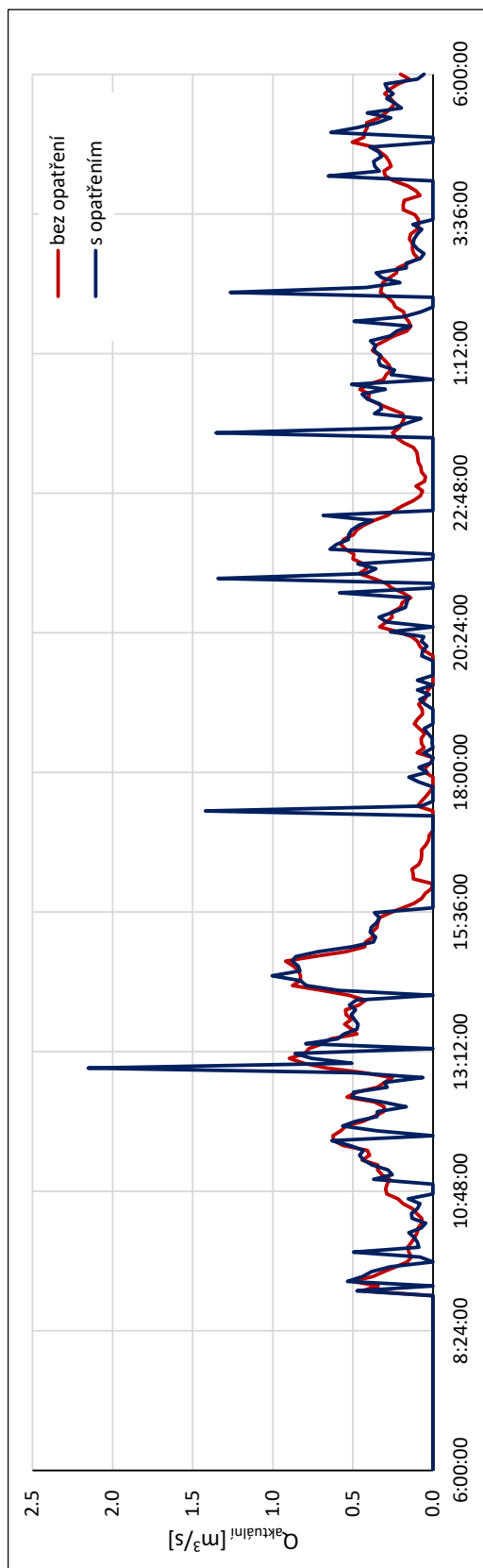
Obr. 12.6.2.4: KP začátek příkopu – kumulativní průtok [m<sup>3</sup>] s opatřením v čase, 13. 5.



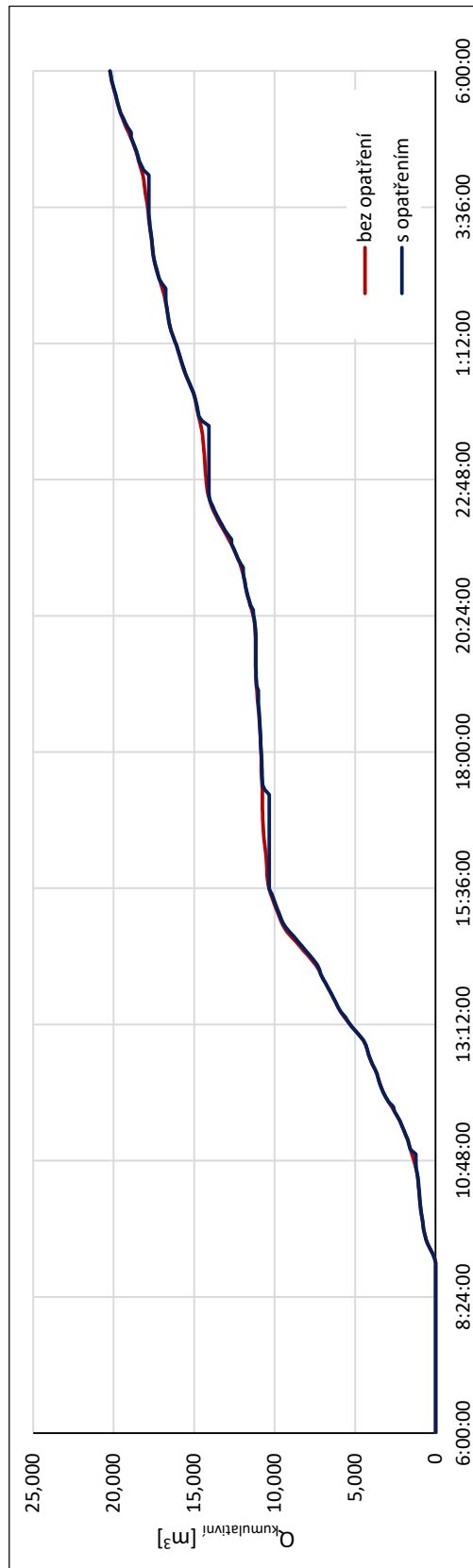
Obr. 12.6.2.5: KP malý poldr – průtok [m<sup>3</sup>/s] v čase, 13. 5. 2021



Obr. 12.6.2.6: KP malý poldr – kumulativní průtok [m<sup>3</sup>] v čase, 13. 5. 2021

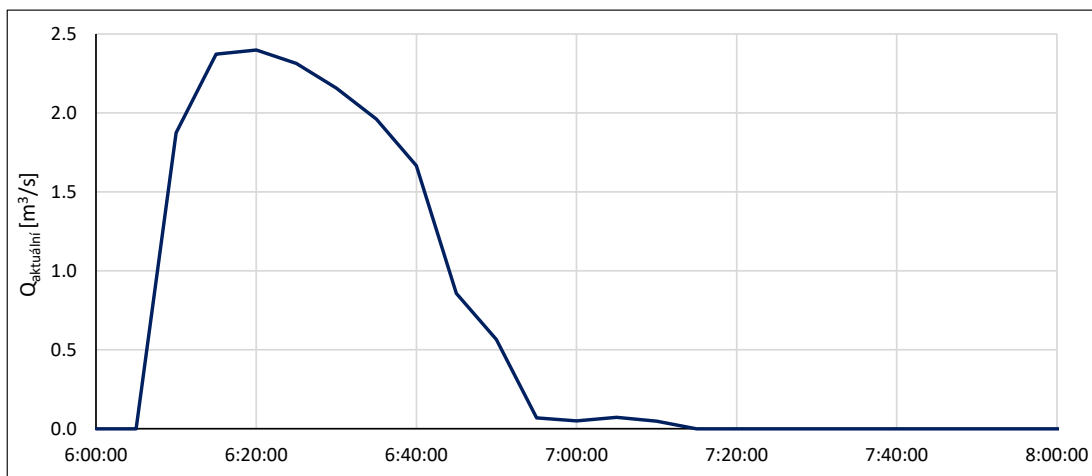


Obr. 12.6.2.7: KP velký poldr – průtok [ $m^3/s$ ] v čase, 13. 5. 2021

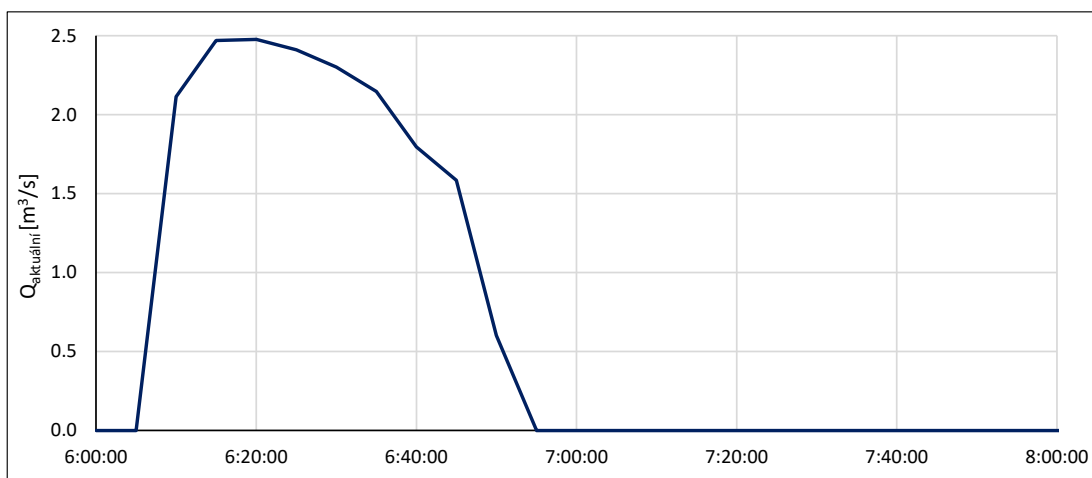


Obr. 12.6.2.8: KP velký poldr – kumulativní průtok [ $m^3$ ] v čase, 13. 5. 2021

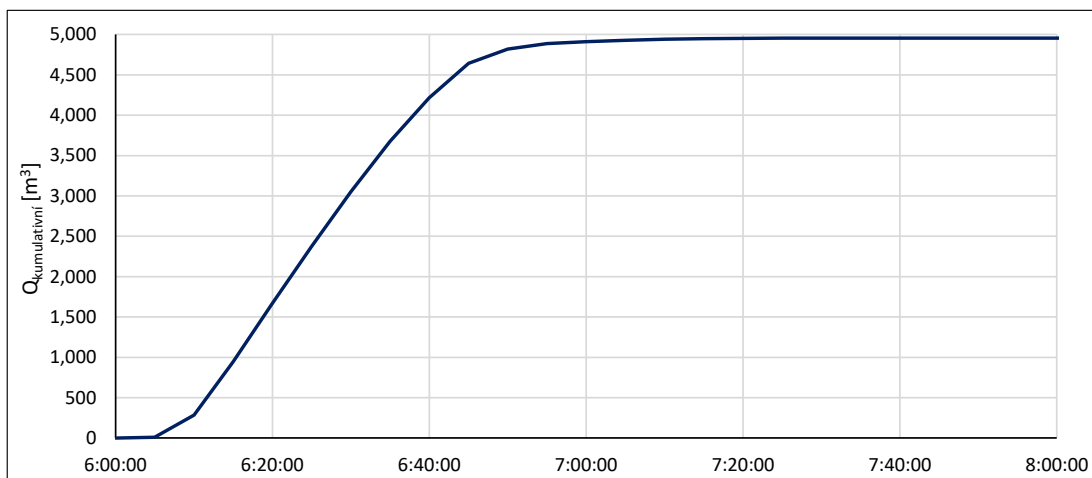
### 12.6.3 Modelové deště



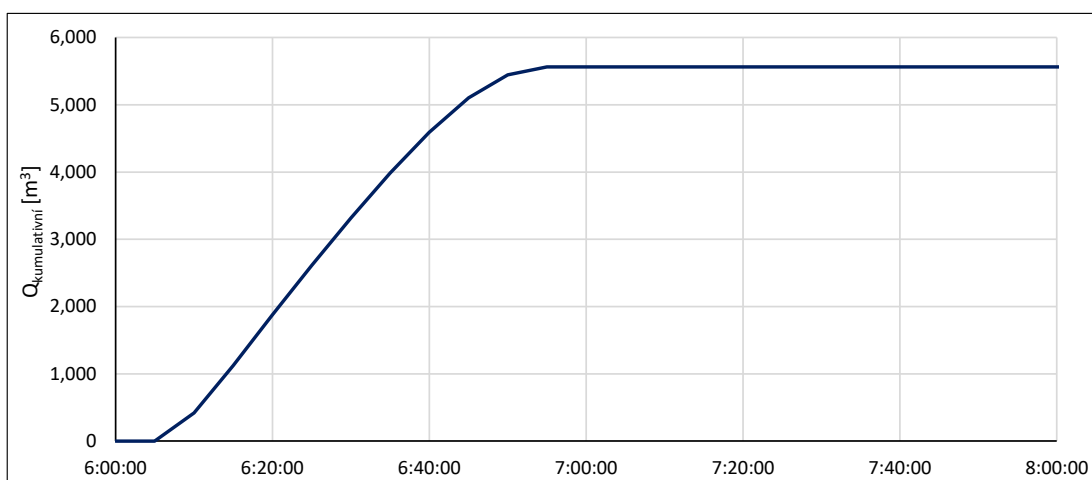
Obr. 12.6.3.1: b1\_10 – průtok [ $m^3/s$ ] v čase v KP velký poldr



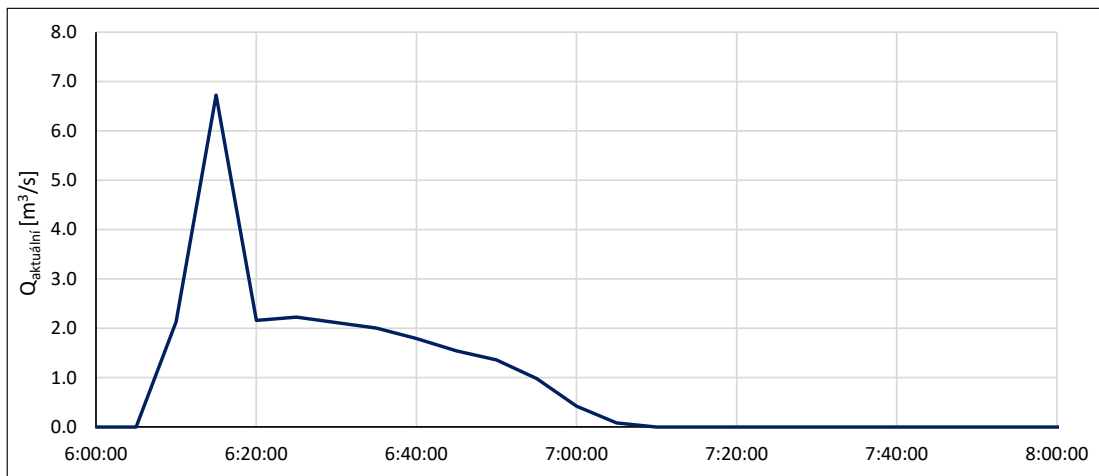
Obr. 12.6.3.2: Š1\_10 – průtok [ $m^3/s$ ] v čase v KP velký poldr



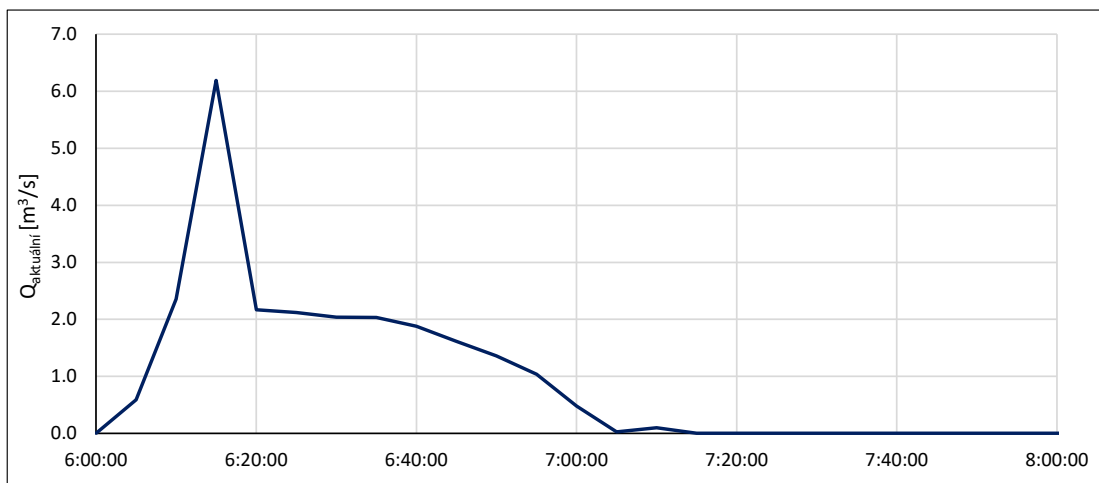
Obr. 12.6.3.3: b1\_10 – kumulativní průtok [m<sup>3</sup>] v čase v KP velký poldr



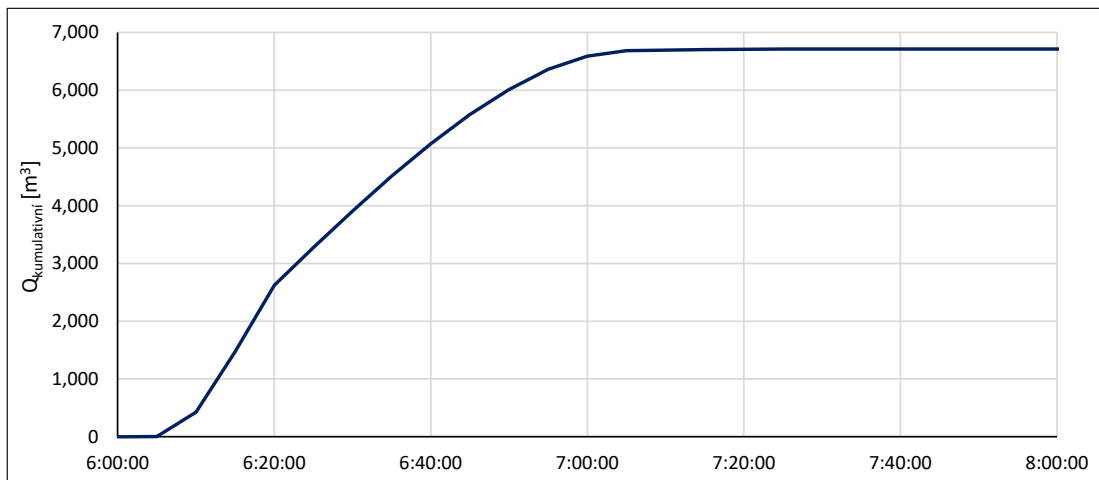
Obr. 12.6.3.4: Š1\_10 – kumulativní průtok [m<sup>3</sup>] v čase v KP velký poldr



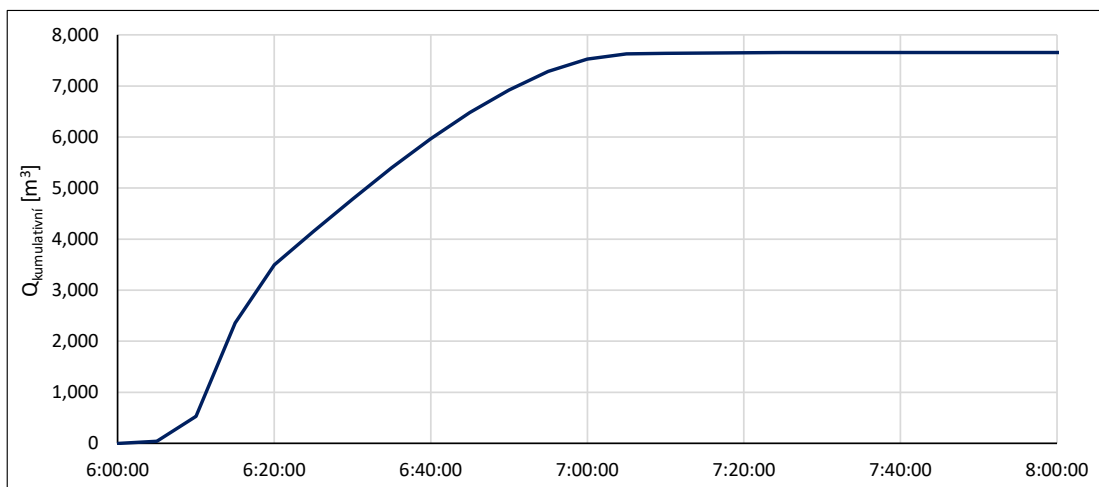
Obr. 12.6.3.5: b2\_10 – průtok [m³/s] v čase v KP velký poldr



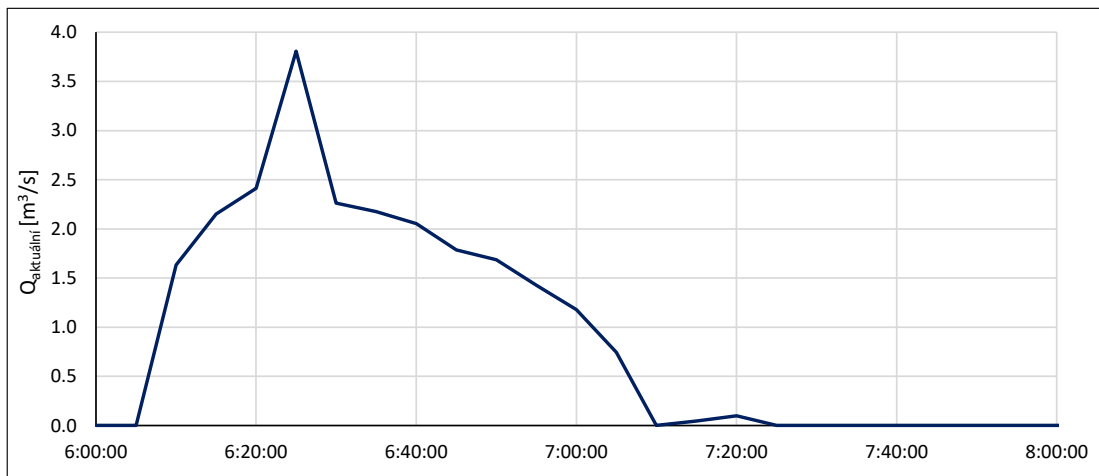
Obr. 12.6.3.6: Š2\_10 – průtok [m³/s] v čase v KP velký poldr



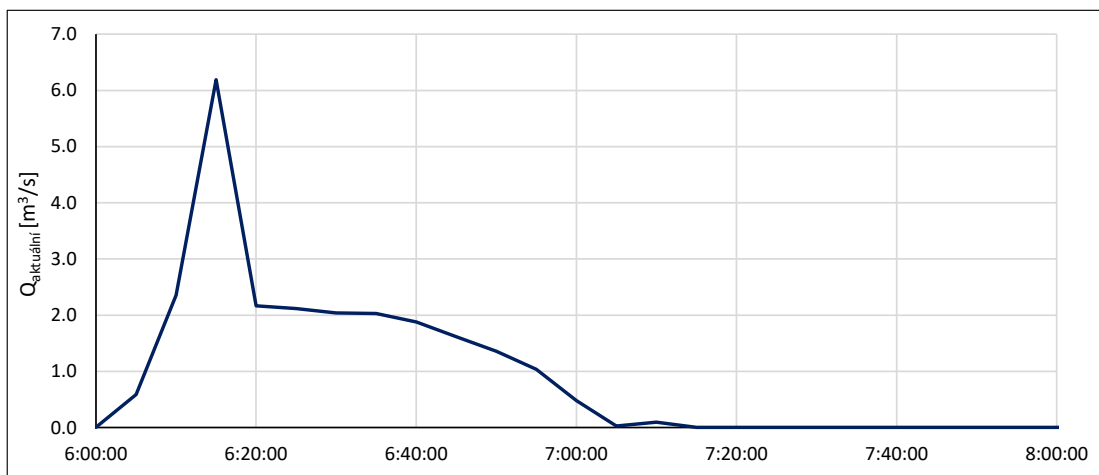
Obr. 12.6.3.7: b2\_10 – kumulativní průtok  $[\text{m}^3]$  v čase v KP velký poldr



Obr. 12.6.3.8: Š2\_10 – kumulativní průtok  $[\text{m}^3]$  v čase v KP velký poldr

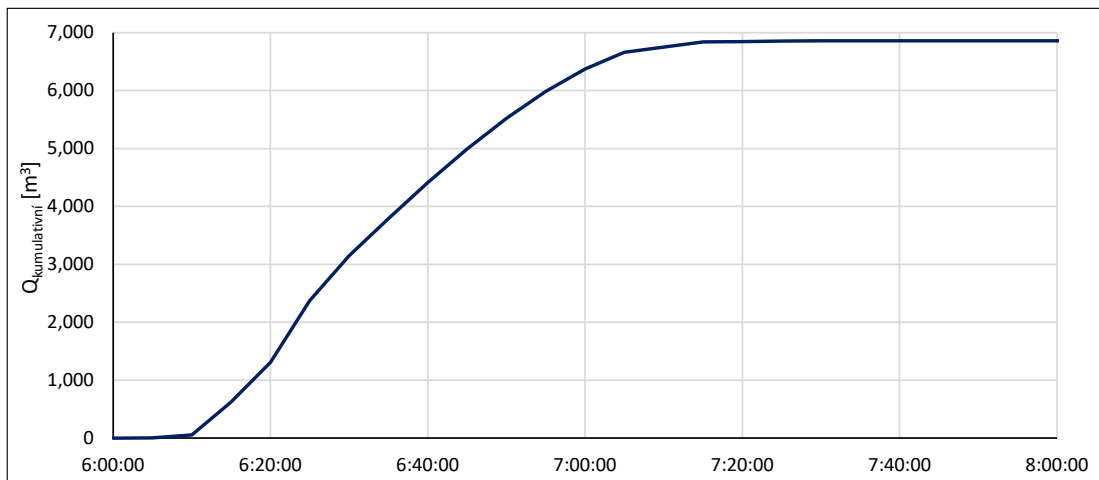


Obr. 12.6.3.9: b1\_20 – průtok [ $m^3/s$ ] v čase v KP velký poldr

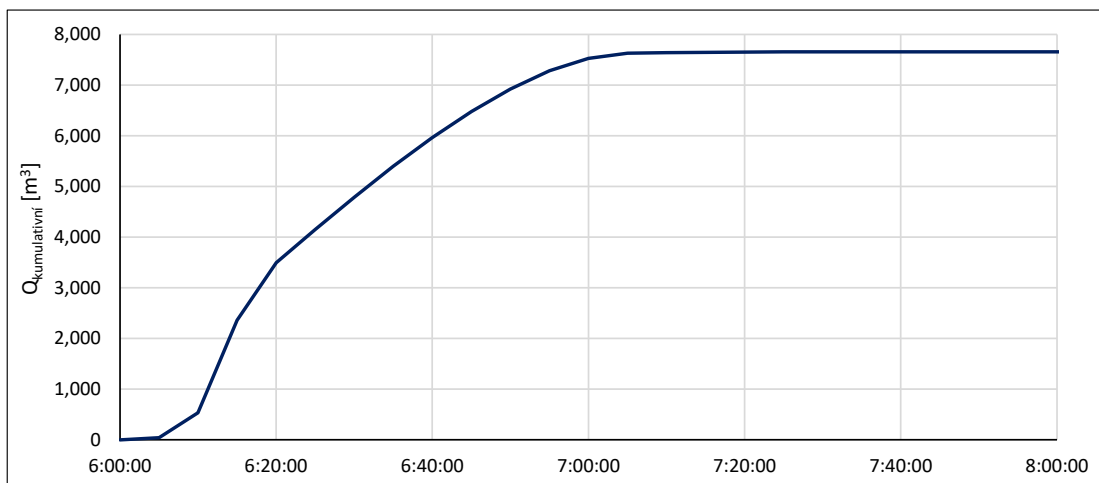


Obr. 12.6.3.10: Š1\_20 – průtok [ $m^3/s$ ] v čase v KP velký poldr

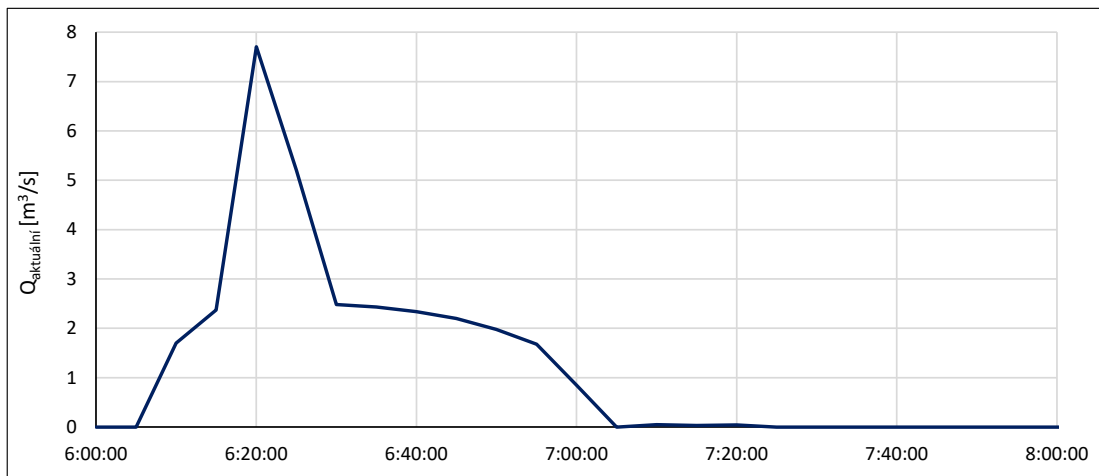




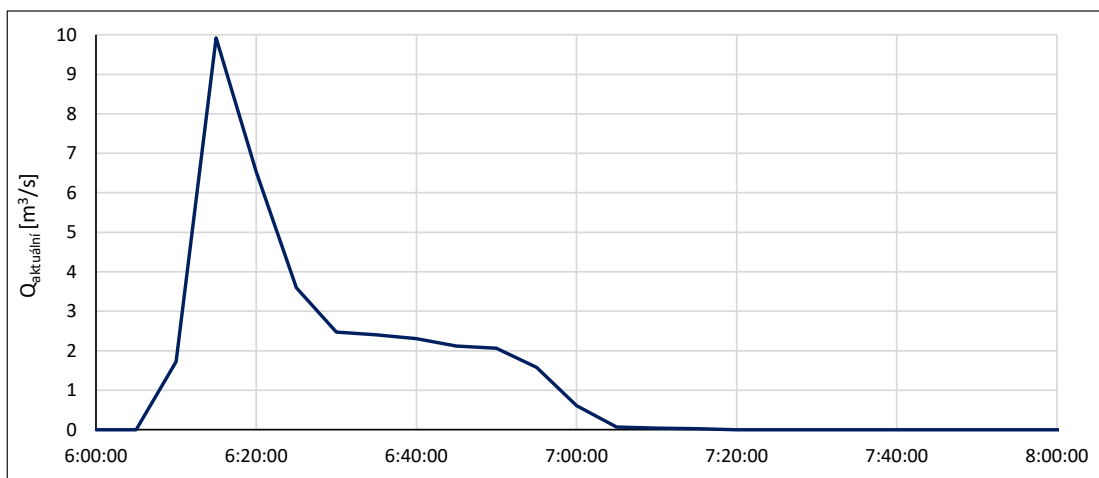
Obr. 12.6.3.11: b1\_20 – kumulativní průtok [m³] v čase v KP velký poldr



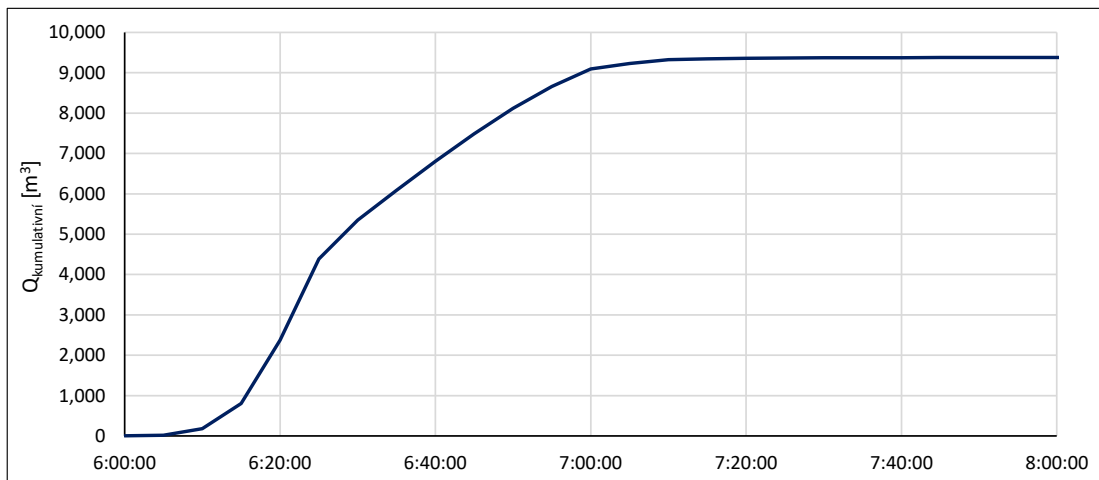
Obr. 12.6.3.12: Š1\_20 – kumulativní průtok [m³] v čase v KP velký poldr



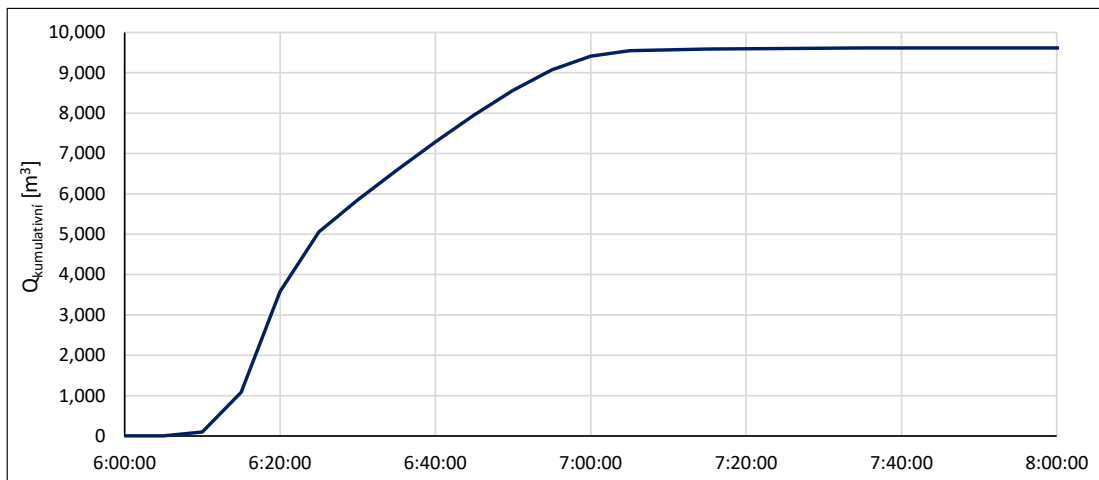
Obr. 12.6.3.13: b2\_20 – průtok [ $m^3/s$ ] v čase v KP velký poldr



Obr. 12.6.3.14: Š2\_20 – průtok [ $m^3/s$ ] v čase v KP velký poldr



Obr. 12.6.3.15: b2\_20 – kumulativní průtok [m³] v čase v KP velký poldr



Obr. 12.6.3.16: Š2\_20 – kumulativní průtok [m³] v čase v KP velký poldr