

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ



ZHODNOCENÍ BALASTNÍCH VOD V ODDÍLNÉ SPLAŠKOVÉ
KANALIZACI OBCE TRNOVÁ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MARCELA ČERNÁ

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

Leden 2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Čemá Jméno: Marcela Osobní číslo: 424328

Zadávací katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Zhodnocení balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci obce Tmová

Název diplomové práce anglicky: Assessment of Infiltration/inflow in Tmova separate sewage system

Pokyny pro vypracování:

Práce bude obsahovat teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zaměří na zdroje balastních vod pro různé typy stokových systémů a způsoby jejich vyhodnocení. V praktické části bude vyhodnocena situace balastních vod v oddílném splaškovém stokovém systému obce Tmová, a to zejména s ohledem na nátok dešťových vod. Praktická část bude obsahovat popis experimentální lokality, metodický postup práce a vyhodnocení výsledků.

Seznam doporučené literatury:

Krejčí, V. (2002). odvodňování urbanizovaných území, NOEL 2000

Butler, D., Davies, W. (2009), Urban Drainage, Spon Press

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 26.9.2019

Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použitých literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

26.9.2019

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvadla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne 5.1. 2020

.....

Bc. Marcela Černá

Mé poděkování patří vedoucímu pracovníkovi mé diplomové práce Doc. Ing. Davidu Stránskému, Ph.D za odborné vedení, připomínky a cenné rady v průběhu zpracování. Díky všem těmto aspektům mi pomohl zkvalitnit a dokončit mou diplomovou práci.

ANOTACE:

Cílem této diplomové práce je řešení problematiky výskytu balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci obce Trnová. Práce obsahuje teoretickou a praktickou část. Teoretická část se zabývá problematikou stokových sítí a balastních vod. V praktické části jsou zpracovány naměřené průtoky za účelem zjištění množství balastních vod. Přítok srážkových vod do stokového systému je dále posouzen také pomocí kalibrovaného a verifikovaného hydrologického modelu.

KLÍČOVÁ SLOVA: stokový systém, monitoring odpadních vod, balastní vody

ANNOTATION:

A goal of this diploma thesis is to solve the problem of occurrence of infiltration/inflow in the sanitary sewer system of the village Trnová. The thesis will consist of a theoretical and practical part. The theoretical part deals with the sewer system and infiltration/inflow. In the practical part, the measured flow rates are processed in order to determine the amount of infiltration/inflow. Further, storm water inflow into the sewer system is modeled by calibrated and verified hydrological model.

KEYWORDS: sanitary sewer, wastewater monitoring, ballast water

ZÁKLADNÍ POJMY

Hladina podzemní vody

Zvodnělé horninové prostředí je označováno jako zvodeň, přičemž její horní povrch je tvořen hladinou podzemní vody. Jedná se tedy o rozhraní mezi saturovanou a nesaturovanou zónou v horninovém prostředí. [1]

Kalibrace modelu

Proces hledání hodnot parametrů, které vedou k co nejlepší shodě výsledků modelu s měřenými daty. [2]

Množství atmosférických srážek

Vyjadřováno jako výška vrstvy vody, kterou vytvoří srážková voda při dopadu na nepřípustné vodorovné ploše bez odtoku a výparu. [3]

Podzemní voda

Voda vyskytující se v horninovém prostředí v zemských dutinách a zvodnělých zemských vrstvách, pokud není vázána kapilárními silami. [4]

Povrchová voda

Všechny vody přirozeně vyskytující se na zemském povrchu. [4]

Recipient

Vodní tok, resp. povrchová voda, do níž mají být vyčištěné odpadní vody vypouštěny. Ekologické poměry jsou charakterizovány údaji o průtocích a jakosti vody v toku. [5]

Redukovaná plocha

Odvodňovaná plocha povodí přenásobená součinitelem odtoku dle druhu odvodňované plochy. [6]

Simulace

Zobrazení chování systému pomocí matematického modelu. [2]

Simulační program

Počítačový program, který řeší matematické rovnice definovaného modelu a stanovuje formu vstupních a výstupních dat. [2]

Specifický odtok

Nejvyšší dovolený průtok srážkových vod odváděných do vodního toku, svodnice, jednotné kanalizace, nebo dešťové kanalizace vztažený na jednotku plochy pozemku (zpravidla 1 ha). [6]

Urbanizované povodí

Povodí, kde vlivem stavební činnosti byly změněny přirozené odtokové podmínky. [7]

Verifikace modelu

Přezkoušení modelu pro jiná období a zatížení systému než při kalibraci. [2]

OBSAH

ZÁKLADNÍ POJMY	6
OBSAH.....	9
1. ÚVOD.....	10
2. STOKOVÉ SÍTĚ.....	11
2.1 STOKOVÉ SOUSTAVY	11
2.2 ODPADNÍ VODY	14
3. BALASTNÍ VODY	16
3.1 DEFINICE BALASTNÍCH VOD.....	16
3.2 ZDROJE BALASTNÍCH VOD.....	17
3.3 ODVÁDĚNÍ BALASTNÍCH VOD	19
3.4 ZPŮSOB STANOVENÍ BALASTNÍCH VOD	20
3.4.1 <i>Metoda minimálních nočních průtoků</i>	20
3.4.2 <i>Metoda časové změny hmotnostního toku specifických polutantů</i>	20
3.4.3 <i>Metoda dlouhodobých bilancí</i>	22
3.4.4 <i>Monitoring odtoku během dešťového období</i>	23
4. MONITORING SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO PROCESU.....	25
4.1 MONITORING ODPADNÍCH VOD.....	25
4.1.1 <i>Průtoky ve stokové síti</i>	25
4.1.2 <i>Měření průtoku vod</i>	26
4.2 MONITORING DEŠŤOVÝCH DAT.....	28
4.2.1 <i>Dešťová data</i>	28
4.2.2 <i>Přístroje pro měření srážek</i>	29
5. MODELOVÁNÍ SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO PROCESU	30
6. ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OBCE TRNOVÁ	35
6.1 OBECNÉ INFORMACE O OBCI	35
6.2 HISTORIE OBCE	35
6.3 KLIMATICKÉ PODMÍNKY	36
6.4 GEOLOGICKÉ A PEDOLOGICKÉ POMĚRY.....	38
6.5 HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY	39
6.6 POPIS STÁVAJÍCÍHO KANALIZAČNÍHO SYSTÉMU.....	40
6.7 ČOV	41
7. CÍL PRÁCE	44
8. METODIKA A VSTUPNÍ DATA	45
8.1 IDENTIFIKACE POVODÍ	45
8.2 MONITORING DEŠŤOVÝCH DAT.....	50

8.2.1	<i>Přístroje pro měření srážek</i>	52
8.2.2	<i>Intenzita deště</i>	53
8.3	IDENTIFIKACE BALASTNÍCH VOD POMOCÍ MONITORINGU PRŮTOKU ODPADNÍCH VOD	54
8.3.1	<i>Přístroje pro měření průtoku odpadních vod</i>	54
8.3.2	<i>Hydraulika stokové sítě</i>	57
8.4	IDENTIFIKACE BALASTNÍCH VOD POMOCÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU SWMM	60
9.	VÝSLEDKOVÁ ČÁST	64
9.1	IDENTIFIKACE POVODÍ	64
9.1.1	<i>Profil Bulvár</i>	65
9.1.2	<i>Profil Okružní</i>	66
9.1.3	<i>Profil Kostel</i>	67
9.1.4	<i>Profil Louka</i>	68
9.1.5	<i>Profil ČOV</i>	69
9.2	DEŠŤOVÁ DATA A JEJICH SELEKCE	70
9.3	IDENTIFIKACE BALASTNÍCH VOD POMOCÍ MONITORINGU PRŮTOKU ODPADNÍCH VOD	72
9.3.1	<i>Vyhodnocení množství balastních vod</i>	72
9.3.2	<i>Základní objemová bilance</i>	79
9.4	IDENTIFIKACE BALASTNÍCH VOD POMOCÍ SIMULAČNÍHO PROGRAMU SWMM	83
9.4.1	<i>Kalibrace parametrů jednotkového hydrogramu</i>	83
9.4.2	<i>Základní objemová bilance</i>	88
9.4.3	<i>Vyhodnocení množství balastních vod</i>	89
10.	DISKUZE A ZÁVĚR	93
11.	LITERATURA	95
12.	SEZNAM OBRÁZKŮ	103
13.	SEZNAM TABULEK	105
14.	SEZNAM GRAFŮ	108
15.	SEZNAM POUŽITÝCH VZORCŮ	110
16.	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	111
17.	SEZNAM PŘÍLOH	111
17.1	A1: VYHODNOCENÍ HYDROLOGICKÝCH PROCESŮ BĚHEM SRÁŽKOVÉ UDÁLOSTI	112

1. ÚVOD

Přítomnost balastních vod v systémech městského odvodnění je z hlediska ekonomického a provozního nežádoucí. Hlavními negativními dopady jsou snížení hydraulické kapacity potrubí, vyšší hydraulické zatížení ČOV a ředění a ochlazování odpadní vody, což má za následek snížení účinnosti čištění. Proto správná identifikace zdrojů balastních vod a určení jejich množství může vést k získání informací o stavu stokové sítě a k efektivnímu směřování rekonstrukcí.

Základním problémem v obci Trnová spočívá především v tom, že v průběhu větších dešťových událostí dochází k výraznému zvýšení průtoků ve stávající oddílné splaškové kanalizaci a hydraulickým kapacitním problémům na ČOV.

V teoretické části bude obecně popsána stoková síť a balastní vody. Součástí práce bude i základní charakteristika zájmového území, tedy obce Trnová a jejího kanalizačního systému včetně centrální ČOV.

V praktické části budou zpracovány za využití monitoringu naměřené průtoky, za účelem zjištění množství balastních vod. Ke spočítanému množství balastních vod jsou přiloženy příslušné grafy a tabulky znázorňující o jak velké množství se jedná. Dále bude pomocí simulačního programu posouzen celý srážko-odtokový proces způsobený reálnou srážkou s proměnlivou intenzitou jako proces proměnný v čase a v prostoru. Důležitou součástí bude sestavení a následná kalibrace a verifikace simulačního modelu, který vystihne a ověří tak reálné chování stávajícího kanalizačního systému. Výhodou modelu je možnost velmi snadného a finančně levného ověření bez jakýchkoliv dalších zásahů do sítě.

2. STOKOVÉ SÍŤ

Stokové sítě jsou určeny k odvádění vod splaškových, průmyslových, dešťových a vod z čištění ulic z určité oblasti. Jedná se tedy o soustavu účelně spojených dílčích stok. [8] Každá stoková síť v řešeném území má jako výsledný návrh svůj systém stok s ohledem na dispozici recipientu, konfiguraci terénu, způsoby zástavby, počet trvale a přechodně zdržujících se obyvatel a jejich hustotu, stávající úroveň odkanalizování a dalších podmínek. [5]

U klasické koncepce je hlavním cílem odvodnění úplné napojení, a co nejrychlejší odvedení odpadních vod gravitační trubní sítí ze zájmového území. Velkou úlohu zde ale hrají i podmínky pro budoucí rozvoj obce a její ekonomické možnosti. [5]

2.1 Stokové soustavy

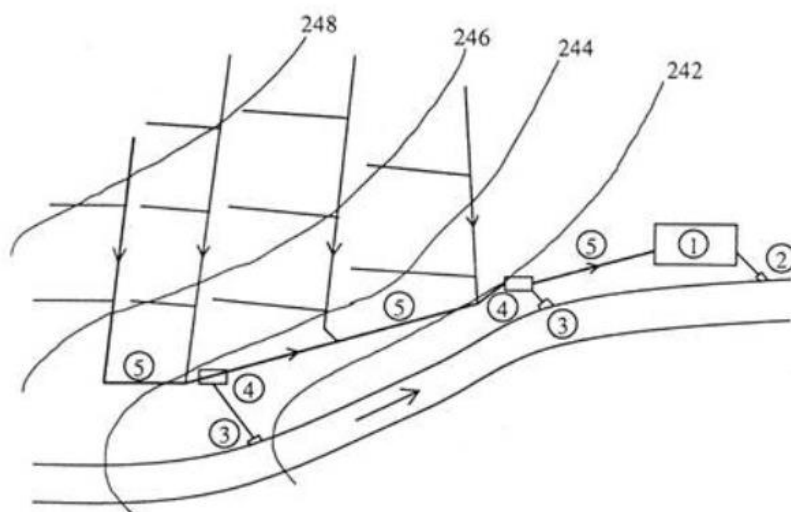
Podle způsobu odvádění odpadních vod jsou stokové soustavy rozděleny na dva typy, a to jednotnou a oddílnou kanalizaci. A mají tedy svůj specifický charakter, kterým se vyznačují.

Jednotná soustava směřuje všechny druhy odpadních vod a dopravují se společně v jedné stokové síti směrem na čistírnu odpadních vod (ČOV), proto je z hlediska hygienického nutné zatrubnění stok. [9]

Jsou na nich vybudovány odlehčovací komory (OK) za účelem odlehčení zředěných odpadních vod, které mají bezprostřední vztah mezi recipientem a stokovou sítí, což může být nevýhoda z hlediska hygienického. Pro snížení negativních kvalitativních důsledků je možné za těmito objekty vybudovat dešťové nádrže záchytné nebo průtočné. [8] Za deště je tedy nejefektivnější na stokové síti proti úniku znečištění využít přirozeně či uměle vytvořené akumulace odpadních vod s následným postupným vypouštěním na ČOV. [5]

Síť by měla být navržena na průtok, jehož velikost odpovídá součtu všech druhů odpadních vod. Z hlediska průtoku mají splašky minimální výkyvy a stálý průtok, a naopak dešťové vody mají větší nerovnoměrnost. I přestože

celkové roční množství splašků převyšuje dešťové, je výpočtový průtok dešťových vod tak velký, že ostatní druhy odpadních vod jsou téměř zanedbatelné. [8] Množství splašků je nutné znát pouze pro návrh některých zvláštních objektů navržených na jednotné soustavě. [10] Schéma jednotné stokové soustavy je znázorněno níže na Obrázek 1.

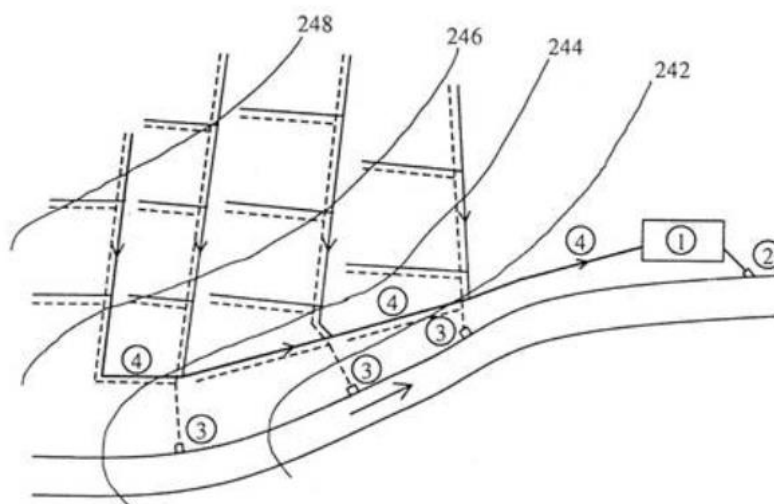


Obrázek 1: Schéma jednotné stokové soustavy; 1 – ČOV, 2 – Výpusť vyčištěné odpadní vody, 3 – Výpusť odlehčovací stoky, 4 – Odlehčovací komora, 5 – Kmenová stoka [9]

Oddílná soustava se nejčastěji skládá ze dvou samostatných systémů, kdy jeden systém odvádí odděleně srážkové vody a druhý odvádí vody splaškové, které jsou přímo zaústěny na ČOV. Různé druhy odpadních vod se tedy navzájem nesměšují a seskupují se dle toho, jak je potřeba tyto vody čistit, ať už mechanicky, biologicky popřípadě chemicky. [8]

Ideální řešení je takové, kdy se do recipientu nedostanou žádné znečištěné vody. Ale v současnosti se nedá ani dešťová voda ve vztahu k recipientu považovat za neznečištěnou. Koncentrace znečištění těchto vod závisí zejména na době trvání, intenzitě a na délce časového rozestupu mezi jednotlivými dešti. Z tohoto důvodu i malá srážka může způsobit podstatné znečištění recipientu koncentrovanými splachy minerálního i organického charakteru, úkapů pohonných hmot, ale není vyloučené ani fekální znečištění a jiných látek. [8]

Na rozdíl od dešťové oddílné soustavy, kdy stoky mohou být zatrubněny nebo navrženy jako povrchové gravitační rigoly, musí být stoky splaškové oddílné soustavy zatrubněny. [9] Schéma oddílné stokové soustavy je znázorněno níže na Obrázek 2.



Obrázek 2: Schéma oddílné stokové soustavy; 1 – ČOV, 2 – výúst vyčištěné odpadní vody, 3 – výúst dešťových odpadních vod, 4 – kmenová stoka (— stoky městských odpadních vod, - - - - stoky dešťové) [9]

Z hlediska odvádění dešťových vod je možné volit mezi dvěma způsoby návrhu. Navrhuje se decentrální nebo centrální systém odvodnění a v Tabulka 1 jsou vypsány jejich hlavní rozdíly. [11]

Decentrální systém odvodnění (DSO) dešťových vod zajišťuje hospodaření se srážkovými vodami přímo na pozemku odvodňované stavby. Jedná se nejen o zařízení a objekty HDV (hospodaření s dešťovou vodou), ale také o opatření a přístupy, které se podílí na přirozeném koloběhu vody a možnosti dalšího využití. Nahrazují obvyklé odvodnění zprostředkováním kanalizace, která odvádí užitečnou vodu velkou rychlostí pryč.

Centrální systém odvodnění (CSO) dešťových vod nakládá s vodami hromadně pro více staveb umístující se na konec řetězce odvodnění. Při samotném použití nelze řadit tento systém jako opatření HDV. [12] [11]

Tabulka 1: Rozdíl mezi DSO a CSO [11]

Centrální způsob odvodnění	Decentrální způsob odvodnění
přesouvá problém mimo místo svého vzniku (do nižších povodí) a na někoho jiného	řeší problém v místě svého vzniku za prostředky majitele nemovitosti
omezuje výpar a vsakování	podporuje výpar a vsakování
zvyšuje rychlost odtoku vody z povodí	zpomaluje odtok vody z povodí
značně finančně zatěžuje majitele kanalizace (většinou obce)	finanční zátěž se přesouvá na majitele odvodňovaných nemovitostí
nedostatečná ochrana nemovitostí před lokálními záplavami	zvyšuje ochranu nemovitostí před lokálními záplavami
popírá zásady udržitelného rozvoje	splňuje zásady udržitelného rozvoje

2.2 Odpadní vody

Dle původu a způsobu znečištění se odpadní vody dělí na splaškové odpadní vody, dešťové odpadní vody, průmyslové odpadní vody, infekční vody, oplachové vody a ostatní odpadní vody. Všechny tyto druhy jsou odváděny do stokové sítě.

Mezi **splaškové odpadní vody** spadají vody z kuchyní, koupelen, prádelen, WC, technické občanské vybavenosti, z hygienických závodů, ze závodních kuchyní a jídelen apod. Z velké části mají spíše organickou povahu. Mezi **dešťové odpadní vody** řadíme vody ze všech druhů atmosférických srážek. Pokud odtékají ze znečištěných povrchů, silničních komunikací, zemědělských a průmyslových areálů, považujeme je za znečištěné. Jestliže odtékají z komunikací s nízkou hustotou provozu, střech, zahrad, pěších zón, parků apod., řadíme je mezi neznečištěné. Jejich znečištění je díky oplachu terénu spíše organické a anorganické. **Průmyslové odpadní vody** byly použity při výrobním procesu v průmyslových závodech. Patří sem i vody ze zemědělských závodů a objektů. Mohou být vypouštěny do veřejné kanalizace nebo musí být při překročení limitních hodnot před jejich vypouštěním do veřejné kanalizace v závodě předčištěny v závislosti na druhu znečištění a povaze znečišťujících látek. **Infekční vody** obsahují choroboplodné nebo škodlivé zárodky. Jsou to vody z infekčních oddělení nemocnic,

mikrobiologických laboratořích, TBC sanatoriích, výroben očkovacích látek atd. Je potřeba tyto vody před vypouštěním hygienicky zabezpečit, anebo je zlikvidovat samostatně v místě vzniku. **Oplachové vody** byly použity k čištění chodníků, komunikací, parkovišť a ostatních zpevněných ploch. Znečištění je stejné jako dešťové odpadní vody.

Neznečištěné vody, které nejsou odváděny do stokové sítě, nepovažujeme za odpadní vody a je snaha tyto vody samostatně odvádět do recipientu nebo vsakovat. Jestliže se ale do stok dostanou a zatíží tak stokovou síť a ČOV, jedná se o balastní vody. [8] [10]

3. BALASTNÍ VODY

3.1 Definice balastních vod

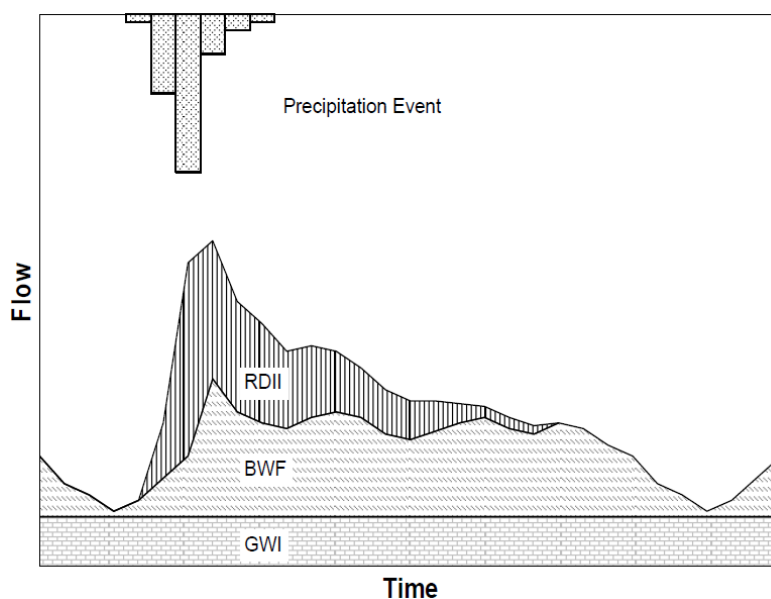
Dle ČSN 75 0161 jsou balastní vody definovány jako „*nežádoucí přítok vody do stokového systému a přípojek (převážně přítok podzemní vody netěsnostmi systému)*“. [13] Z počátku jsou tyto vody neznečištěné a až po vniknutí do stokového systému se stávají vodami odpadními.

Dle normy ČSN 75 6401 je hodnota balastních vod při návrhu ČOV uváděna jako 15 % z denního průměrného bezdeštného přítoku, kdy přítok těchto vod na ČOV by měl být co nejmenší. [14] Zpravidla balastní vody splaškovou odpadní vodu naředí a sníží tak její teplotu. Což má za následek zvýšení nákladů na provoz ČOV, protože nižší teplota negativně ovlivňuje účinnost biologického čištění (např. náklady na elektrickou energii) popř. ovlivňují objemy a provoz dešťových nádrží. [8]

V České republice jsou balastní vody vnímány jako nežádoucí, kdy snižují hydraulickou kapacitu potrubí a bezdůvodně zatěžují systém odvodnění a OK. S větším množstvím jsou výrazně a nepříznivě ovlivněny i ekonomické dopady pro provozovatele a vlastníky stokové sítě. Ale jedna z výhod existence balastních vod ve stokové síti je možnost proplachování při nízkém průtoku odpadních vod. [15]

Jak u jednotné, tak i u splaškové kanalizace je celkový průtok odpadních vod v době srážkové události rozdělen do tří hlavních složek. Jedna složka (BWF) je průtok odpadních vod, které jsou do kanalizace odváděny za účelem jejich čištění. Řadí se mezi ně vody odpadní splaškové, průmyslové a ostatní odpadní vody. Druhá složka (GWI) je průtok infiltrované podzemní vody, jejichž velikost je závislá na výšce hladiny podzemní vody, která se do sítě dostává netěsnostmi v trubní síti. V průběhu celého roku se velikost tohoto průtoku mění. Hodnota hladiny podzemní vody a vlhkost půdy bývá v období pozdní zimy i jara vyšší, a naopak nižší je na konci léta nebo po prodlouženém období sucha. Obě tyto složky proudí v kanalizaci neustále a nezávisle na srážkové události. Třetí složka průtoku se značí zkratkou RDII (rainfall-derived infiltration and inflow) a do kanalizace se přidává v době srážky a dokonce i

nějakou dobu po ní. Průtok srážkové vody (I) je obvykle hlavní součástí maximálního toku RDII a do kanalizace se dostává nelegálním připojením nebo vtoky přes otvory poklopů a rámu šachet. Infiltrace odvozená od srážek (RDI) se označuje odtok srážek, který se vsakuje do půdy a vniká do kanalizace přes poškozené části potrubí, netěsnostmi v síti nebo špatným připojením šachty. [16] [17] Vykreslení těchto tří složek během dešťové události je vykreslen na Obrázek 3.



Obrázek 3: Tři složky toku odpadní vody během srážkové události [17]

Pokud se tedy zohlední definice stokových soustav výše, tak jednotná a oddílná dešťová soustava je určena a navržena k odvádění srážkové vody. Jestliže se ale druhá a třetí složka odpadní vody dostane do stok oddílné splaškové soustavy, je nežádoucí a považují se za balastní vody.

3.2 Zdroje balastních vod

Problém většího množství balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci bývá komplexní záležitostí. Jedná se o kombinaci přímého vtoku dešťové vody a infiltrace podzemní vody, takže balastní vody nejsou pouze z jednoho zdroje. [8]

Tabulka 2: Rozdělení zdrojů balastních vod [8]

	Bodové	Plošné
Nárazové	Havárie hydrantu Havárie vodovodu Přepad přes hranu OK	Srážka
Kontinuální	Drenáž Kondenzátory Chladicí vody	Infiltrace podzemních vod

Z hlediska místního se zdroje balastní vody odváděných stokovou sítí dělí na bodové a průběžné a z hlediska časového rozlišení na nárazové a kontinuální v závislosti na zatížení systému. V Tabulka 2 jsou pro přehled tyto zdroje rozděleny

- Nárazové zatížení

Z důvodu havárie hydrantů či vodovodů jsou do systému nárazově odváděny vody *pitné a užitkové*. Mohou tak zvodnit okolní prostředí stok, dostat se do horizontu podzemní vody a netěsností nekontrolovaně vnikat do stokové sítě jako podzemní vody. *Podzemní vody* se do kanalizace mohou dostat i při stavbě inženýrských nebo podzemních staveb zakládáných pod hladinou podzemní vody.

- Kontinuální zatížení

Voda pitná a užitková může do kanalizační sítě proniknout netěsností na vodovodní síti nebo domovních přípojkách. Stejným způsobem se do systému dostává i *podzemní voda*, ta dokonce i netěsností rybníků, ze zrušených nebo zatrubněných potoků. Další možností vniku je z vybudovaných drenáží za účelem trvalého snížení podzemní vody. Netěsnosti mohou vzniknout v místech spojů trub, ale i napojením stok na objekty nebo samotnou konstrukcí objektu. Jedná se o nejpodstatnější zdroj

balastních vod v systému kanalizace. Mezi tyto zdroje dále řadit i kondenzátory a neznečištěné chladicí vody. [8]

3.3 Odvádění balastních vod

Z důvodu negativního působení na kanalizační systém nesmějí být tyto vody odváděny stokami splaškové soustavy. A pokud ano, tak pouze v souladu s kanalizačním řádem. Pro přehled jsou v Tabulka 3 vypsány návrhové hodnoty množství balastních vod v některých státech jako např. ČR, Německo a USA. [8]

Množství podzemních vod se dá stanovit z hodnot l/s.ha plochy povodí, ať už jde o plochu redukovanou nebo odvodňovanou, a nebo vychází z hodnot l/s.km stokové sítě s či bez ohledu na profil a materiál stok. [8]

Tabulka 3: Návrhové hodnoty množství balastních vod ve stokových sítích [8]

Země	Množství balastních vod [l/s.km]		
	Oddílná splašková soustava	Jednotná soustava a oddílná dešťová soustava	
ČR		15 % Q ₂₄ 0,1 – 1,0	
Německo		17 – 50 % Q ₂₄ 0,17 – 0,50	
USA	5 – 40 % Q ₂₄ min. 0,058	20 – 75 % Q ₂₄ 0,230	30 – 85 % Q ₂₄ max. 0,581

3.4 Způsob stanovení balastních vod

Existuje několik metod pro identifikaci a kvantifikaci zdrojů balastních vod ve stokových systémech. Lze je stanovit pomocí metody minimálních nočních průtoků, metody časové změny hmotnostního toku specifických polutantů, metody dlouhodobých bilancí a pomocí monitoringu odtoku během dešťového období.

3.4.1 Metoda minimálních nočních průtoků

Nejpoužívanější metoda pro stanovení celkového množství zdrojů balastních vod ve stokové síti je metoda minimálních nočních průtoků. Metodu je možné vyjádřit pomocí vzorce:

$$Q_{OV,min} \approx Q_{BAL} \quad (1)$$

Kde,

$Q_{OV,min}$ je minimální přítok vody na uzávěrný profil nebo přítok na ČOV

Q_{BAL} jsou balastní vody

Tato metoda je založena na předpokladu, že v ranních hodinách mezi 2–4 hodinou neprotéká žádná splašková voda a všechna proteklá voda stokovou sítí je balastní. Nevýhodou je, že výsledné hodnoty nemusí odpovídat skutečnosti, protože měření mohlo být ovlivněno produkcí odpadní vody i v nočních hodinách z nočních provozů firem převážně ve větších povodích a výsledky tak mohou být zkreslené. [15] Tato metoda není použitelná, protože je potřeba stanovit celkové množství balastních vod, a to i v denních hodinách, kdy je větší produkce odpadních vod.

3.4.2 Metoda časové změny hmotnostního toku specifických polutantů

Metoda je založena na pozorování kvalitativních parametrů jako je sledování koncentrace odpadní vody nebo kvantitativních parametrů, tudíž množství odpadní vody.

Nejvhodnější přirozený parametr pro sledování fyzikálně-chemických vlastností a časových změn průtoku látkového znečištění odpadní vody je CHSK a NL (nerozpuštěné látky), ale je možné využít i vodivost, teplotu nebo $N-NH_4^+$. Nejpoužívanějším ukazatelem je kvůli zvýšeným koncentracím u balastních vod právě CHSK nebo Ca^+ u vod podzemních.

Pro průtok odpadní vody ve sledovaném profilu platí bilanční rovnice zapsaná ve tvaru:

$$Q_{OV} = Q_{SPL} + Q_{BAL} \quad (2)$$

V porovnání s celkovým hmotnostním průtokem v závěrném profilu je vliv vznášeného znečištění přítokem ze zaústěných vodotečí zanedbatelný. Proto je uvažováno pouze s infiltrovanou podzemní vodou a celkový průtok balastních vod se vyjádří jako:

$$Q_{BAL} = Q_{POV} + Q_{INF} \quad (3)$$

Kde,

Q_{OV} celkový průtok odpadní vody

Q_{SPL} průtok splaškové vody z domácností a průmyslu

Q_{BAL} celkový průtok balastních vod

Q_{POV} přítok do systému ze zaústěných vodotečí

Q_{INF} množství infiltrované podzemní vody

Ve sledovaném profilu dále platí směšovací rovnice zapsaná jako:

$$c_{OV} = \frac{(c_{SPL} \cdot (Q_{OV} - Q_{BAL}) + c_{BAL} \cdot Q_{BAL})}{Q_{OV}} \quad (4)$$

Kde,

c_{OV} koncentrace daného parametru kvality odpadní vody

c_{SPL} koncentrace pozorovaného parametru ve splaškové vodě

c_{BAL} koncentrace pozorovaného parametru v balastní vodě

Při splnění předpokladů je možné určit neznámé parametry. Koncentrace pozorovaných ukazatelů znečištění v balastní nebo splaškové vodě je konstantní nebo nulová a uvažujeme buď $c_{BAL} = 0$ a $c_{SPL} = konst$ nebo $c_{BAL} = konst.$ a $c_{SPL} = 0$. Dále je nutné vyloučit průtoky v době dešťových událostí. Při splnění těchto předpokladů vypadá upravená rovnice takto:

$$Q_{OV} = \frac{Q_{BAL} \cdot c_{SPL}}{c_{SPL} - c_{OV}} \quad (5)$$

Tato metoda slouží pouze k určení okamžitých hodnot. A i když jsou výsledky velice přesné, nelze pomocí ní určit průměrné množství balastních vod. [15] Pokud jsou brány v potaz všechny tyto předpoklady a podmínky pro výpočet celkového množství balastních vod, tak ani tato metoda není vhodná.

3.4.3 Metoda dlouhodobých bilancí

Tato metoda je založená na dlouhodobém monitoringu přítoku vody v kanalizačním systému do uzávěrného profilu stoky anebo přítoku na ČOV. Podstata této metodiky spočívá v porovnání s naměřenými objemy odpadní vody s referenčníma hodnotama objemů splaškové vody v daném území. Lze ji vyjádřit pomocí vzorce, za předpokladu, že se do kanalizace dostane všechna fakturovaná voda:

$$Q_{BAL} = \frac{(\int_t^{t+T} Q_{OV} dt - \int_t^{t+T} Q_{FAKT} dt)}{T} \quad (6)$$

Kde,

Q_{BAL} jsou balastní vody

Q_{FAKT} je fakturovaná voda

T je celková doba pozorování

Před výpočtem je potřeba změřit data na přivaděči pitné vody do zájmového území a zároveň počítat pouze s bezdeštnými dny. Výsledkem je průměrná časová informace a nelze jí popsat vliv hydrologických podmínek

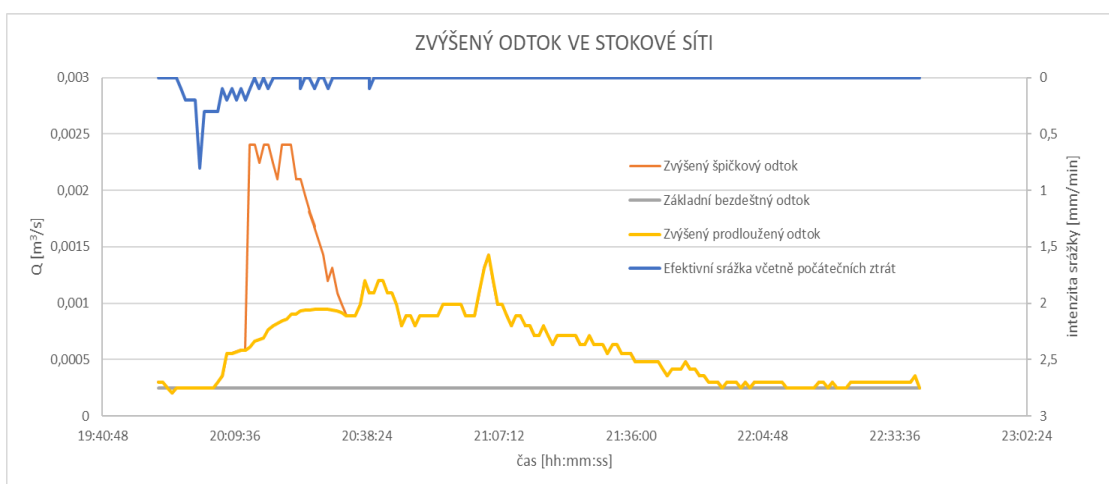
v povodí na časovou změnu. Není vhodné tuto metodu používat na menší povodí z důvodu malé dostupnosti dat.

Tato metoda je relativně nákladná a nevýhodou je, že se do kanalizace nedostane všechna fakturovaná voda jako například voda použitá na vaření, mytí aut nebo zalévání zahrad. [15] Protože nejsou dostupná data ohledně fakturované vody v řešeném povodí, tak ani tato metoda není použitelná.

3.4.4 Monitoring odtoku během dešťového období

Monitoring veličin představuje sledování množství vody, které zahrnuje měření srážek, měření průtoků v kanalizaci a měření průběhu hladin na ČOV.

Celkový odtok je kontinuálně monitorován jak za bezdeštného období, tak i v průběhu dešťové události. Pokud během srážky dojde ve splaškové oddílné kanalizaci ke zvýšení odtoku, tak kromě základního bezdeštného odtoku vnikly do stokového systému i vody balastní. Celkový zvýšený odtok se skládá ze zvýšeného prodlouženého odtoku a ze zvýšeného špičkového odtoku. Grafické znázornění a význam zvýšeného odtoku ve stokové síti je patrný z Graf 1.



Graf 1: Zvýšený odtok ve stokové síti za dešťové události [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Ve sledovaném profilu platí tedy pro výpočet zvýšeného objemu tato rovnice:

$$V_{ZVY} = \int_{t_0}^T Q_{ZVY}(t) = \int_{t_0}^T [Q_{CELK}(t) - Q_{BEZ}(t)] = \int_{t_0}^T [Q_{ZVY,SPI}(t) + Q_{ZVY,PROD}(t)] \quad (7)$$

Kde,

V_{zvy} je zvýšený objem ve stokové síti, tedy objem balastních vod [m³]

$Q_{ZVY}(t)$ je zvýšený odtok během dešťového období [m³/s]

$Q_{zvy,SPI}(t)$ je zvýšený špičkový odtok [m³/s]

$Q_{zvy,PROD}(t)$ je zvýšený prodloužený odtok [m³/s]

$Q_{CELK}(t)$ je celkový odtok ve stokové síti [m³/s]

$Q_{BEZ}(t)$ je bezdeštný odtok ve stokové síti [m³/s]

Zpočátku je nezbytné kvantifikovat zdroje balastních vod a následně je lokalizovat. Použití kamerového systému je velice nákladné, proto je vhodné zvolit správnou metodu pro kontrolu a měření odpadních vod. [18]

4. MONITORING SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO PROCESU

Kvůli specifickému chování oddílné splaškové stokové soustavy v řešeném území je pro měření za účelem vyhodnocení množství balastních vod zvolen monitoring, jehož výstupem bude časová řada dat, která bude sloužit dále jako podklad pro simulační modelování. Tato data jsou ze své podstaty neopakovatelná a jedinečná, proto je potřeba věnovat provádění náležitou pozornost. Bude se jednat o střednědobou monitorovací kampaň v rámci měsíců, které bude probíhat na více místech současně. [55]

4.1 Monitoring odpadních vod

Množství splaškových odpadních vod ve stokové síti se stanovuje přímým měřením, kvůli zjištění reálných informací o chování stokové sítě v konkrétních místech daného povodí.

4.1.1 Průtoky ve stokové síti

Obecně platí, že mezi nejobtížnější inženýrské úlohy patří popis proudění odpadní vody v městských odvodňovacích systémech. Základním kritériem, které ovlivňuje charakter proudění je vnitřní tření v kapalině vyjádřené dynamickou vizkozitou. A dle této hodnoty se dopravovaná kapalina člení na *newtonské* a *neneutronské*. Kapalina je dále dělena podle kinematiky na dva základní druhy pohybu z hlediska časoprostorových změn proudění:

- *ustálený pohyb*, kde jsou základní veličiny funkcí času a polohy.
- *neustálený pohyb*, který závisí pouze na poloze částice a všechny charakteristiky proudu jsou neproměnné. Tento pohyb je možné dále členit na rovnoměrný a nerovnoměrný v závislosti na měnícím se průtočném průřezu ve směru pohybu proudu. [9]

V gravitačních kanalizacích je měření ztíženo plovoucím znečištěním a zhoršeným klimatickým prostředím. Proto je správná volba přístroje pro měření průtoku odpadních vod na stokových sítích a ČOV závislá na kvalitě a

rozsahu průtoku, finanční rozvaze, spolehlivosti měření, energetické ztrátě, požadavcích na instalaci atd. [19]

4.1.2 Měření průtoku vod

Protože se průtok nedá změřit přímo, je potřeba tuto veličinu měřit pomocí zástupné veličiny, ze kterého se průtok následně vypočítá. Jako pomocnou veličinu lze použít výšku hladiny, rychlost, objem nebo koncentraci látky v čase.

- Měření výšky hladiny

Ke zjištění rychlosti proudění v kanalizaci se měří výška hladiny, která je přepočítaná za použití Manningovy rovnice a následně se dopočítá průtok. Funkční závislost průtoku na hloubce je možné stanovit pomocí konzumní křivky $Q=fce(h)$. Běžně se používají měrné žlaby a přelivy nebo ultrazvukové sondy.

Měrný žlab se využívá především při dlouhodobějším měření průtoků. Vestavený žlab v kanalizaci zužuje průtočný profil tak, aby proudění přecházelo z říčního proudění na bystřinné. Měří se výška vodního sloupce za a před zúžením. A následně z rozdílu těchto hladin je možné dopočítat průtok. Výhodou je přesnost měření a velká odolnost proti zanášení. Mezi nejpoužívanější typy patří Parshallův či Venturiho měrný žlab. [19]

Parshallův žlab patří mezi žlaby s dlouhým hrdlem. Při správném vyhodnocování se řadí mezi velmi přesné průtokoměry a lze ho použít pro větší rozsahy průtoků. Tento žlab je hydraulicky stabilní a je možné jej dodatečně vložit do kanalizačních šachet. Nejistota měření tohoto měrného žlabu je +/- 4%. [19]

Venturiho žlab se řadí mezi žlaby bez hrdla. Ve srovnání s Parshallovým žlabem jsou méně přesné a z hlediska umístění vyžadují delší přechodové i uklidňovací délky. Nejistota měření tohoto žlabu je +/- 7%. [19]

Měrný přeliv je vhodný k dlouhodobému i k jednorázovému měření průtoků. Jedná se o překážku v toku, kdy nejvíce používané ostrohranné měrné přelivy jsou především obdélníkové a trojúhelníkové přelivy. Princip měření je založen na průtoku vody přes známý geometrický tvar, kdy každý typ má pro výpočet průtoku svou příslušnou rovnici. Měří se tedy výška přepadového paprsku při dokonalém přepadu. Tento způsob je přesný a nenáročný, ale nevýhodou je velká ztráta energie a při použití v kanalizaci je možné riziko zanesení dna před profilem, což ovlivňuje výsledné měření. Nejistota měření u ostrohranných trojúhelníkových přelivů je +/- 3%, u ostrohranných obdélníkových je +/- 4%. Dále je možné použít i přelivy se širokou korunou, kde je nejistota měření +/- 6%. Nejpoužívanější jsou pravoúhlé prahy s ostrou nebo se zaoblenou návodní hranou. [20]

Ultrazvuková metoda využívá Dopplerův jev, který popisuje změnu vlnové délky a frekvence mezi vysílaným signálem ze sondy a odraženým signálem od hladiny, resp. od vznášených nerozpuštěných látek. [19] Předpokládá se, že rychlost pohybu těchto částic se shoduje s rychlostí okolního proudění. [21] Dále je možné měřit čas, který je potřebný pro návrat k vysílači a z této naměřené hodnoty je možné stanovit vzdálenost odražené částice. Přístroje, které při měření hloubky vody využívají tento princip se nazývají **ultrazvukové sondy**. Vyznačují se velkou přesností, nízkými hydraulickými ztrátami, nenáročnou údržbou. V kanalizaci může být měření ztíženo plovoucím znečištěním, které se může usadit na měřicím přístroji. Aby nedocházelo ke kontaktu a nedošlo ke znečištění, umisťují se snímače převážně nad hladinu. Nejistota měření ultrazvukové sondy je +/- 3%. [19]

- Měření rychlosti

Ultrazvuková metoda využívající translaci zvukového obrazu, měřící přímé hodnoty bodových rychlostí proudění částic nerozpuštěných látek obsažených ve vodě. **Rychlostní sonda** umístěna na dně vysílá zvukový signál v krátkých časových intervalech. Délka posunu mezi jednotlivými zvukovými odrazy je vyhodnocována za pomoci korelační metody. Ze změřených bodových rychlostí je z rychlosti šíření zvuku a prodlevy

dopočítána výška hladiny a následně průtok. Je nezbytné, aby tyto přístroje byly na místě vždy kalibrovány a nejistota jejich měření je +/- 3%.

Dále je možné využít ultrazvukovou transmisi, měřící časovou prodlevu šířícího se zvukového signálu proti nebo po vodě. **Ultrazvukové vysílače-přijímače** jsou umístěny na protilehlých stranách potrubí, která jsou ve směru kanalizace polohově posunuty. Okamžitý průtok se tedy spočítá z průtočné plochy a střední průřezové rychlosti, která se dopočítá ze známé vzdálenosti mezi jednotlivými čidly a rozdílu mezi časovými prodlevami. Nejistota měření těchto signálů je +/- 3% až +/- 10%. [19]

- Měření koncentrace látky v čase.

Stopovací zkouška využívá stopovací látky vytvářející stopovací mrak, přičemž je měřen časový rozdíl průchodu charakteristických bodů tohoto mraku. K vyhodnocení průtoku lze využít dvě základní metody. Směšovací stopovací zkouška používá indikátor, který je kontinuálně přidáván a sledován v určitých kontrolních profilech. Jako indikátor lze použít inertní chemickou látku (např. NaCl). Druhá metoda se nazývá integrační stopovací zkouška. Vychází z principu o zachování jednorázového injektovaného množství stopovací látky, jenž je v proudící vodě dokonale promíchána. Průtok se tedy vyhodnotí z charakteristiky průtoku stopovací látky. [20]

4.2 Monitoring dešťových dat

Výstupem monitoringu dešťových dat je intenzita srážky zaznamenaná v čase. Pro získání dat ohledně množství, trvání a průběhu srážky, je potřeba provést dešťoměrná pozorování. [55]

4.2.1 Dešťová data

Atmosférické srážky jsou v České republice primárním zdrojem vody, proto obecně platí, že dešťová data slouží jako vstupní informace pro výpočet odtoku z urbanizovaného povodí. [56] Pro zajištění větší spolehlivosti je potřeba, aby byla měření prováděna souvisle po delší dobu a v pravidelných

intervalech staticky a dynamicky kalibrována z důvodu menší objemové chyby. [55]

4.2.2 Přístroje pro měření srážek

K měření srážkového úhrnu je možné použít odměrný válec, ombrograf, srážkoměr váhový nebo člunkový. Princip měření těchto přístrojů může být založen na pohyblivém mechanismu, speciálně upravených kapacitních čidel či na měření elektrického odporu apod. Mezi faktory ovlivňující přesnost měření patří velikost a orientace zachytné plochy, umístění přístroje. [55]

Odměrný válec je spíše používán pro orientační měření. Má velmi malý zachytný prostor a na průhledné stěně je ryska, na které je vyobrazena stupnice. Měření není příliš přesné, proto je používán pouze pro přibližnou představu spadlých srážek. Používají ho především amatérští meteorologové nebo zahrádkáři. [61]

Ombrograf je přístroj zaznamenávající časový průběh množství kapalných atmosférických srážek, ale jejich využití je spíše během bezmrazového období. Přístroj se skládá z přijímací, měřicí a registrační části. V ČR se používají zejména plovákové ombrografy, ale od těch se v posledních letech odstupuje. [61] [55]

Váhový srážkoměr využívá zachytné plochy, pod kterou je na váze položena válcová nádoba. Měření vždy spočívá v hmotnostním vyhodnocení zachycených srážek. Velkým nedostatkem tohoto měření je, že se v momentě naplnění srážkoměru musí nádoba pomocí obsluhy vylít. Další nevýhodou je vnikání nežádoucích předmětů do měřicího ústrojí jako např. spadlé listy či ulomené věténky. [61]

Člunkový srážkoměr je založen na mechanickém překlápění člunku. Spadlá srážka dopadá na kuželovitou zachytnou plochu, která stéká po trychtýři a padá na člunkový mechanismus. Člunek se po spadení vody o určité hmotnosti překlápí a počítadlo zaznamená jeden pulz. Celkové spadené množství je pak stanoveno přepočtem. Při vyšších úhrnech nebo při poryvu větru není tento srážkoměr příliš přesný, ale i přesto se jedná o nejrozšířenější způsob měření dešťových srážek. [60] [61]

5. MODELOVÁNÍ SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO PROCESU

Srážky dopadají na zemský povrch a jsou zachyceny na vegetaci nebo zadrženy v půdách a horninách, do kterých se vsakují či infiltrují. Další dílčí část srážky se zpětně vypaří do ovzduší. Jestliže v daném místě intenzita a dešťový úhrn srážek převyšuje intenzitu vsaku, tak nastává situace, kdy se půda nasytí vodou a následně stéká po povrchu v souvislé vrstvě jako plošný povrchový odtok. [56]

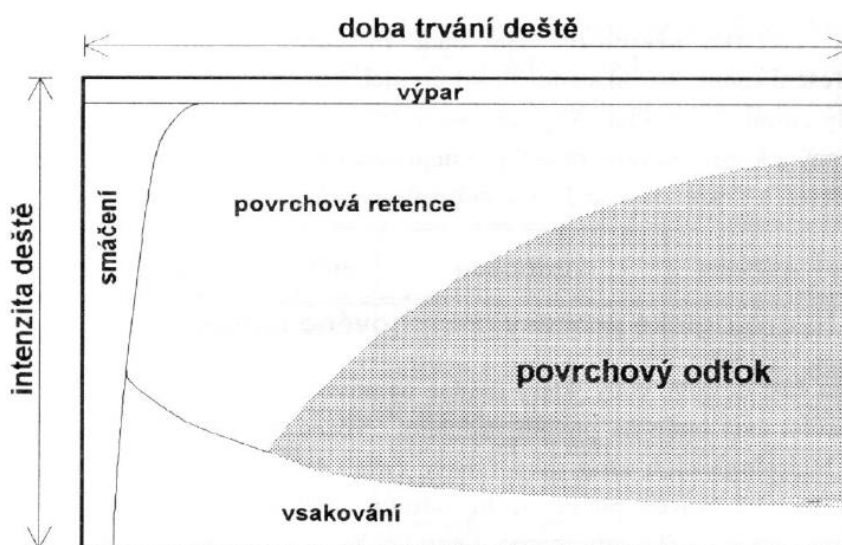
Urbanizace značně narušila přirozený hydrologický cyklus, kdy stavebně upravované plochy výrazně změnil hydrologické poměry a charakter odvodnění. Na těchto plochách dochází ke zrychlení odtoku srážkové vody, k většímu objemu přímého odtoku srážkové vody a k pomalejší infiltraci a výparu. [23]

Povrchový odtok je proces skládající se z hydrologických (výpar, vsakování, vyplňování prohlubní) a hydraulických procesů (pohyb vody od dopadu na povrch až po zaústění do vtoku kanalizace). Část dešťové vody, která spadne na povodí, odečte a vytvoří tzv. **efektivní déšť**, jehož časový průběh a objem vytváří reálný odtok odpadní vody do kanalizace a další část bude na povodí zachycena v důsedku tzv. ztrát. [9]

Na povodí může dojít k těmto ztrátám:

- Intercepce (smáčení povrchu např. vegetace, střechy, silnice)
- Evapotranspirace (výpar)
- Infiltrace (vsakování např. zámková dlažba, parky, sady)
- Povrchová retence (např. drobné prohlubeniny a vznik louží)
- Ostatní trvalé ztráty (např. autodoprava, vliv větru apod.)

Povrchový odtok včetně všech ztrát, ke kterým dochází na povodí v době srážkové události je vykreslen na Obrázek 4.



Obrázek 4: Povrchový odtok v době srážkové události [9]

KAPACITA INTERCEPCE C_B

Významná část dešťových srážek je zachycena na povrchu, neúčastní se odtoku a je následně odpařena zpětně do atmosféry. V urbanizovaných povodích má na tento proces vliv tepelný režim a životnost některých stavebních konstrukcí budov a návrh stokové sítě. [22] Smáčení probíhá až do dosažení kapacity intercepce C_B , jehož hodnota se v praxi pohybuje okolo 0,5 – 1,0 mm. V závislosti na různé druhy povrchu jsou v Tabulka 4 vypsány hodnoty tohoto parametru. [23]

Tabulka 4: Hodnoty parametru C_B – kapacity intercepce dle druhu povrchu [22]

Typ povrchu	C_B [mm]
Silnice	0,75
Šikmé střechy	0,30
Hrubý beton	0,55

Asfalt se splitem	0,52
Středně hrubý beton	0,35
Hladký asfalt	0,18
Jílovitý písek s podílem 25% travního porostu	1,50
Jílovitý písek s podílem 45% travního porostu	2,00
Udusaná půda	0,2 – 0,25

KOEFICIENT VSAKU

Koeficient, který charakterizuje rychlost vsakování vody do horninového prostředí za atmosférického tlaku při hydraulickém sklonu $I = 1$. Nelze ho nahradit součinitelem infiltrace ani koeficientem hydraulické vodivosti a způsobem, kterým se koeficient stanovuje je popsán v ČSN 75 9010. [6]

Koeficient vsaku by měl být součástí geologického průzkumu pro vsakování. [24] A pokud není součástí vstupních podkladů, je pro nezávazný předběžný výpočet možné použít orientační údaje z Tabulka 5, které jsou rozříděny podle druhu zeminy. [25]

Tabulka 5: Hodnoty koeficientu vsaku dle druhu zeminy [25]

Druh zeminy	kv [m/s]
Jíl	$1 \cdot 10^{-8}$ a méně
Píščitá hlína	$1 \cdot 10^{-6}$
Ulehý hlinitý písek	$1 \cdot 10^{-6}$ až $5 \cdot 10^{-6}$
Písky s jílovitými částicemi	$1 \cdot 10^{-6}$ až $2 \cdot 10^{-6}$
Jemný písek a kyprý hlinitý písek	$1 \cdot 10^{-5}$ až $5 \cdot 10^{-5}$

Hrubozrný písek	$1 \cdot 10^{-4}$ až $5 \cdot 10^{-4}$
Štěrkopísek	$2 \cdot 10^{-4}$ až $1 \cdot 10^{-3}$ i více

EVAPOTRANSPIRACE

Na simulaci jednotlivých dešťů nemá výpar téměř žádný vliv. Velikost úhrnu výparu a jejich časová proměnlivost se v jednotlivých oblastech velice liší v závislosti na dalších meteorologických prvcích. [26]

Od roku 1968 bylo zahájeno pravidelné měření z vodní hladiny pomocí přístrojů GGI-3000, které byly nahrazeny od roku 2011 automatickými výparoměry EWM. [27] Pro Českou republiku byl v letech 1971 – 2000 stanovený průměrný denní výpar na 2,6 mm pro průměrný úhrn za vegetační sezónu V-IX 393,7 mm. [28]

Na základě těchto změřených údajů a dat zveřejněných na ČHMÚ byl pro řešené území dopočítán denní výpar o velikosti 2,00 mm.

KAPACITA POVRCHOVÉ RETENCE C_M

Velikost povrchové retence je velice odlišná v závislosti na rozdílných podmínkách jako např. spád povodí, hloubka a velikost prohlubní. V praxi tento parametr v urbanizovaných povodích nabývá hodnot okolo 1,0 – 2,0 mm. V Tabulka 6 jsou vypsány hodnoty kapacity povrchové retence C_M podle typu povrchu. [23]

Tabulka 6: Hodnoty parametru C_M – kapacita povrchové retence dle druhu povrchu [23]

Typ povrchu	C_M [mm]
Hlinitý písek s podílem 45% travního porostu	4,5
Hlinitý písek s podílem 25% travního porostu	3,3

Hlinitý písek bez porostu	3,0 – 4,0
Ušlapaná půda bez porostu	0,6 – 1,4
Ušlapaná půda s hustým porostem	2,5 – 4,0
Hlinitá půda s trávou	1,0 – 2,5
Zatrávněný hlinito-pískový humus	1,5 – 2,0
Velmi hladká zpevněná plocha	0,2 – 0,4
Hladká zpevněná plocha	0,5 – 0,7
Hrubý beton	0,35
Asfalt se splitem	0,3
Hladký asfalt	0,2
Dláždění se zalitými spárami	1,0
Středně hrubý beton	0,2

OSTATNÍ TRVALÉ ZTRÁTY

V urbanizovaných povodích má tato ztráta největší význam, který dosahuje až cca 15% dešťového úhrnu. Tato srážka není odvodněna do kanalizace, ale infiltruje se na propustných plochách. [29]

Znalost těchto procesů je podstatná pro určení objemu srážkové vody a doby dotoku, která bude zaústěna a odváděna do kanalizace. Proto jsou pro modelování povrchového odtoku dešťová data nejvýznamnějším vstupem. [23]

6. ZÁKLADNÍ CHARAKTERISTIKA OBCE TRNOVÁ

6.1 Obecné informace o obci

Kraj: Středočeský

Počet obyvatel: 457 (údaj z roku 2019) [30]

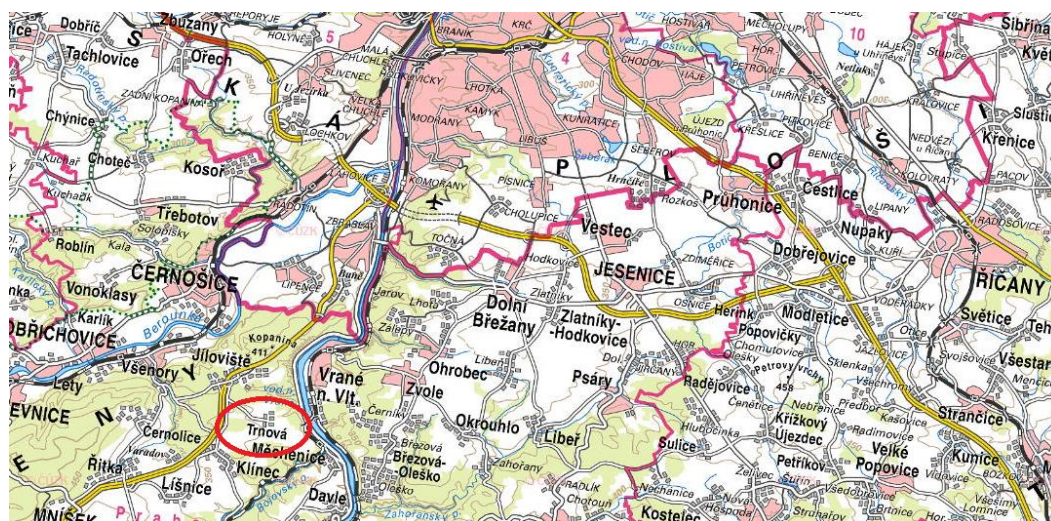
Katastrální území: Trnová u Jíloviště

Katastrální výměra: 4,27 km²

Obec s rozšířenou působností: Černošice

Nadmořská výška: 340 m n. m.

Obec Trnová se nachází ve Středočeském kraji, asi 5 km jihovýchodně od města Černošice a 22 km jižně od centra Prahy viz Obrázek 5. Levý břeh Vltavy kopíruje východní okraj území obce. [31]



Obrázek 5: Poloha obce Trnová [57]

6.2 Historie obce

První písemná zmínka o vesnici Trnová byla doložena z roku 1342, kdy se zároveň položily základy farního kostela sv. Ducha. [32] Později v 17. století byl založen barokní zámek, který je od roku 1995 chráněn společně s kostelem od roku 1958 jako kulturní památka České republiky. [33] Jedná se tedy o významné, architektonicky cenné stavby, které je potřeba chránit. Rozsáhlá výstavba rodinných domů začíná až po roce 1990. [31]

6.3 Klimatické podmínky

V České republice jsou vymezené 3 základní klimatické oblasti – chladná, mírně teplá a teplá. A v každé této oblasti je několik podoblastí definované na základě intenzity a chodu 14ti klimatických charakteristik. [34]

Teplá oblast je rozdělena na 5 podoblastí T1 až T5, kdy T1 je nejchladnější a nejvlhčí a T5 je nejteplejší a též nejsušší. [34]

Charakteristika klimatického rajónu T2 se vyznačuje teplým, dlouhým, suchým létem a krátkou, mírně teplou a suchou až velmi suchou zimou. Jaro a podzim je teplý až mírně teplý a jedná se o velmi krátké přechodné období. [35]

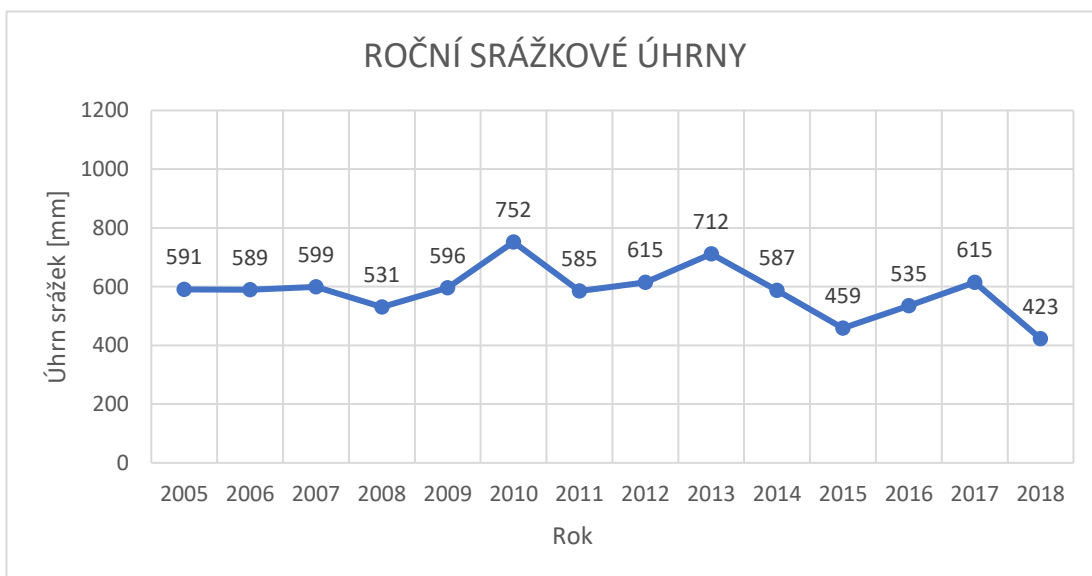
Oblast Trnová leží v teplé klimatické oblasti a klimaticky náleží řešená oblast do rajónu T2. Následující charakteristické hodnoty klimatického rajónu T2 vychází z díla Quitt (1971) [36]:

Počet letních dnů	: 50 - 60
Počet dnů s teplotou 10°C a více	: 160 - 170
Počet mrazových dnů	: 100 - 110
Průměrná teplota ledna [°C]	: -2 - -3
Průměrná teplota dubna [°C]	: 8 - 9
Průměrná teplota července [°C]	: 18 – 19
Průměrná teplota října [°C]	: 7 - 9
Srážkový úhrn ve vegetační období [mm]	: 350 – 400
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	: 90 - 100
Srážkový úhrn v zimním období [mm]	: 200 - 300
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	: 40 - 50
Počet dnů jasných	: 40 - 50
Počet dnů zamračených	: 120 – 140

Pro přehled jsou v Tabulka 7 uvedeny průměrné roční úhrny srážek pro Prahu a Středočeský kraj od roku 2005 do 2018 v ČR, které vydal Český hydrometeorologický ústav. V průměru nejvíce srážek připadá na květen až září a nejnižší měsíční úhrny srážek v těchto letech jsou od února až do března. [37]

Tabulka 7: Průměrné roční úhrny srážek pro Prahu a Středočeský kraj [37]

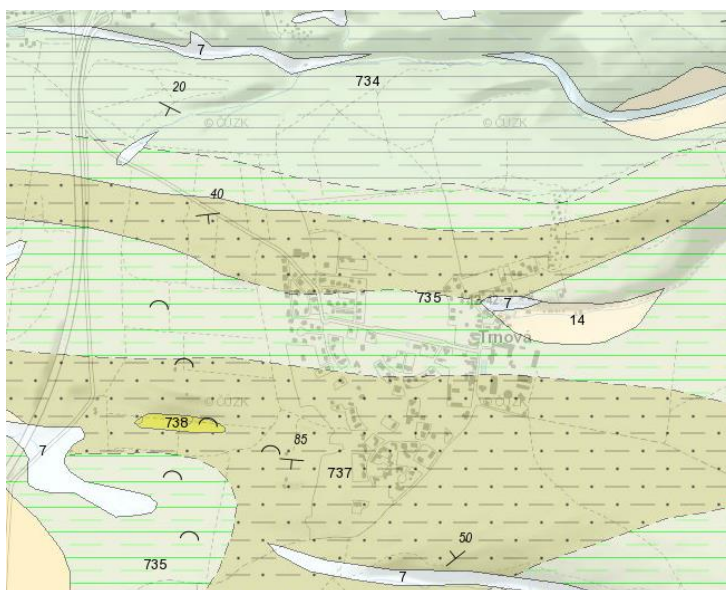
Rok	Úhrn srážek [mm]	Rok	Úhrn srážek [mm]
2005	591	2012	615
2006	589	2013	712
2007	599	2014	587
2008	531	2015	459
2009	596	2016	535
2010	752	2017	615
2011	585	2018	423



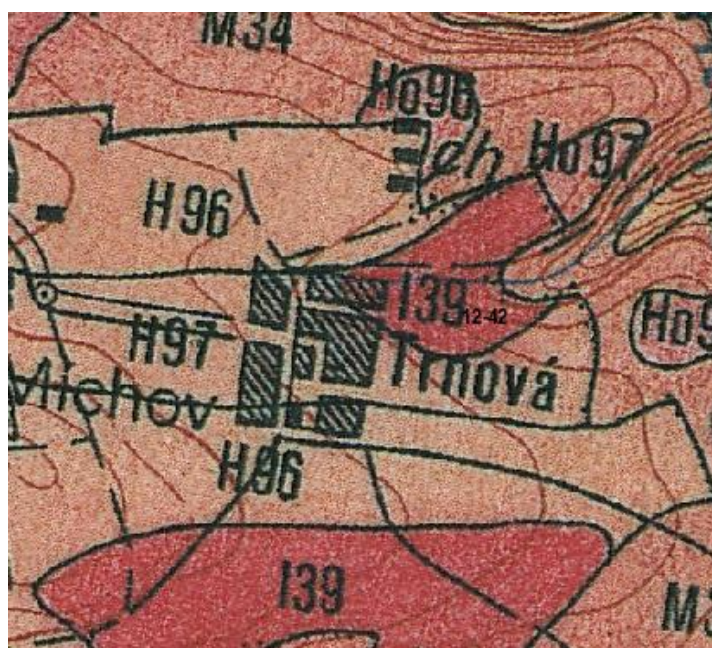
Graf 2: Grafické znázornění průměrných ročních úhrnů srážek pro Prahu a Středočeský kraj [37]

6.4 Geologické a pedologické poměry

Z hlediska geologického (Obrázek 6) se na většině řešeného území nachází zpevněný sediment jako prachovec, břidlice, droby (737, 735). V severní části je zpevněný sediment jako prachovec a břidlice (737). A ve východní části je pak menší část zastupující nezpevněný sediment jako hlinito-kamenity, balvanitý až blokový sediment (14) a smíšený sediment (7). V území se nenachází poddolované území. [38]



Obrázek 6: Výřez z geologické mapy obce Třnová [38]

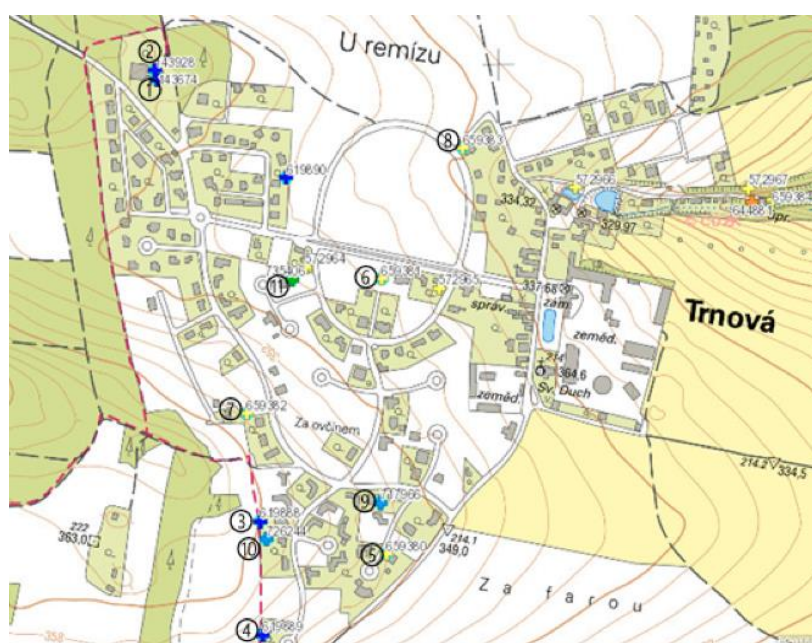


Obrázek 7: Výřez z půdní mapy obce Třnová [39]

Na většině zájmového území (Obrázek 7) se nachází hnědá půda na drobech (H96) a nebo na normální až fylitické břidlici (H97). V severovýchodní části obce se nachází illimerizovaná půda na polygenetické kyselé hlíně (I39). [39]

6.5 Hydrogeologické poměry

Česká geologická služba poskytla data o hydrogeologických vrtech z databáze geologicky dokumentovaných objektů. [40]



Obrázek 8: Výřez z geologické mapy, vrtná prozkoumanost [40]

Pro následující posouzení jsou důležité úrovně hladiny podzemní vody v jednotlivých vrtech. Mapová situace (Obrázek 8) výše znázorňuje lokalizaci hydrogeologických vrtnů v řešeném území a v Tabulka 8 jsou vypsány charakteristické údaje jednotlivých vrtnů.

Tabulka 8: Charakteristické údaje jednotlivých hydrogeologických vrtů [40]

OZNAČENÍ	IG GDO	VRT SVISLÝ			NADMOŘSKÁ VÝŠKA [m n.m.]	HPV – HLOUBKA [m]	DRUH HLADINY
		HLOUBKA [m]	ROK	ÚČEL			
①	143674	60,00	1989	hydrogeologický	352,00	6,50	ustálená
②	143928	61,00	1984	hydrogeologický	345,00	7,10	ustálená
③	619888	60,85	1996	hydrogeologický	362,00	12,60	ustálená
④	619889	60,15	1996	hydrogeologický	355,00	10,00	ustálená
⑤	659380	4,00	2003	hydrogeologický	352,13	2,26	ustálená
⑥	659381	3,50	2003	hydrogeologický	345,69	1,93	ustálená
⑦	659382	3,50	2003	hydrogeologický	357,41	2,79	ustálená
⑧	659383	3,50	2003	hydrogeologický	339,48	2,26	ustálená
⑨	717966	30,00	2011	hydrogeologický	354,00	9,30	ustálená
⑩	726244	29,00	2011	hydrogeologický	361,50	15,00	ustálená
⑪	735406	25,00	2015	hydrogeologický	348,00	8,00	ustálená

6.6 Popis stávajícího kanalizačního systému

V obci Trnová je vybudována oddílná splašková kanalizace a oddílná dešťová kanalizace, avšak o jejím samotném vývoji se nedochovaly žádné projektové dokumentace.

Pokud není u stavby vybudována z důvodu odkanalizování jímka s následným vyvážením nebo septik s dočištěním zemních filtrů, tak musí být všechny ostatní stavby určené ať už pro trvalé bydlení, anebo rodinnou rekreaci napojeny na veřejnou gravitační splaškovou kanalizaci zakončenou

místní čistírnou odpadních vod. [41] V situaci (Obrázek 9) níže je zakreslen stávající stav oddílné splaškové kanalizace.



Obrázek 9: Stávající kanalizační systém v obci Trnová [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

6.7 ČOV

Pro řešené zájmové území je z hlediska čištění odpadních vod zvoleno decentralizované, v závislosti na zvoleném technickém řešení konceptu. Decentralizované řešení odvádí odpadní vody z celé zájmové oblasti navrženým stokovým systémem na jednu centrální ČOV a částečně je řešené zájmové území pokryto akumulací odpadních vod v domovních žumpách s vývozem v pravidelných intervalech. [5]

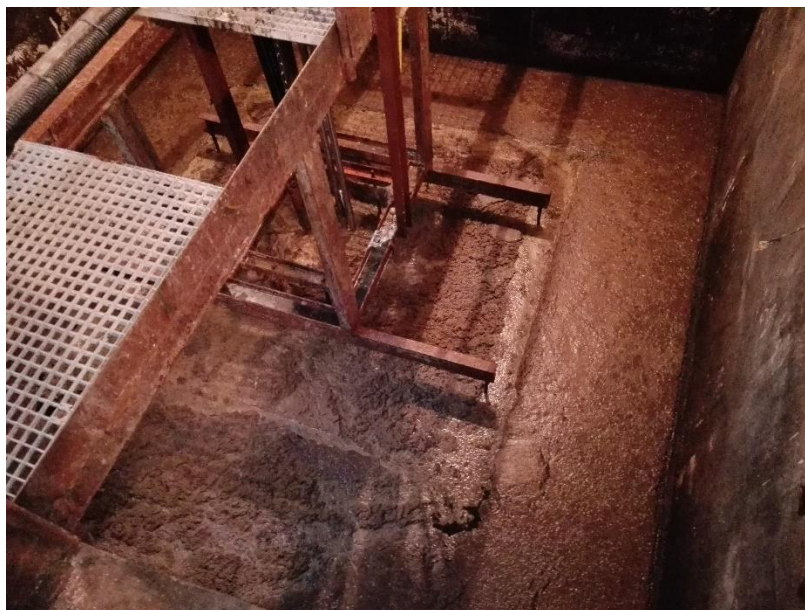
Kvůli rozvoji obce bylo nutné v roce 2014 provést intenzifikaci ČOV, protože veškerá nová výstavba pro trvalé bydlení bude napojena na veřejnou kanalizaci. Na místo stávající centrální ČOV pro 850 EO bude navrženo rozšíření pro 1700 EO na $Q_{\max} = 3491,8 \text{ m}^3/\text{měs} = 1,99 \text{ l/s}$ a $Q_{\text{prům}} = 1,53 \text{ l/s}$. Po kompletním odstranění stávající ČOV byl na stejném místě vybudován nový objekt o půdorysných rozměrech 16,2 x 9,15 m. Výústní objekt nadále zůstává stejný.

Nové členění technologie:

- Mechanické předčištění – hrubé česle, lapák písk, samočisticí česle
- Biologické aktivční čištění s předřazenou denitrifikací
 - o Denitrifikační nádrž 135 m³
 - o Aktivační-nitrifikační nádrž 244 m³
 - o Dosazovací nádrž 19 m³
- Dmychárna
- Kalová zahušťovací a akumulární nádrž o objemu 81 m³
- Srážení fosforu pomocí koagulantu PIX-113
- Měření a regulace pomocí ultrazvukové sondy a passhallova žlabu [42]

Problematika centrální ČOV

V posledních letech dochází v době dešťových událostí ke zvýšení objemu splaškových vod na centrální ČOV. Přívalová vlna splaškových vod zředěná vodami srážkovými zahltlí a současně přetíží navrženou kapacitu ČOV. V době dešťové události vzniká na ČOV mnoho problémů a některé z nich jsou zachyceny na Obrázek 10 - 12 níže poskytnuté společností VAK Beroun. [58]



Obrázek 10: Problematika na ČOV v době dešťové události 1 [58]



Obrázek 111: Problematika na ČOV v době dešťové události 2 [58]



Obrázek 12: Problematika na ČOV v době dešťové události 3 [58]

7. CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je zhodnocení balastních vod v oddílné splaškové soustavě v obci Trnová. Základem práce je měření průtoků v kanalizaci a intenzity srážek s následným vyhodnocením množství balastních vod.

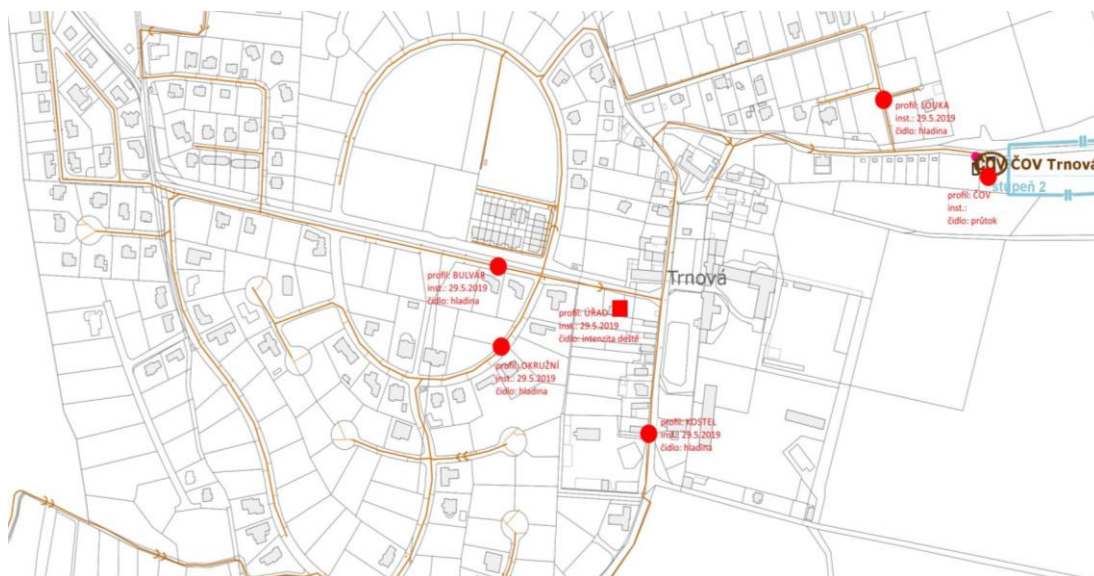
Dílčí cíle:

- Identifikace povodí
- Selektce srážkových událostí
- Provedení monitoringu
- Vyhodnocení balastních vod z monitoringu průtoku
- Stavba modelu v simulačním programu SWMM
- Vyhodnocení balastních vod z modelu
- Srovnání výsledků

8. METODIKA A VSTUPNÍ DATA

Metodika popisuje postup a podmínky výpočtu ke zjištění množství odpadních balastních vod ve stokové síti v zájmovém území.

8.1 Identifikace povodí



Obrázek 12: Situace obce Trnová [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Správný výběr profilu má rozhodující vliv na reprezentativnost a kvalitu měřených dat. Proto je příhodné před instalací přístroje provést terénní průzkum a prověřit, zda je zvolený profil pro měření vhodný. Počet a umístění bylo zvoleno tak, aby bylo možné určit základní objemovou bilanci pro řešené povodí. [55]

V zájmovém území byly zvoleny měrné profily resp. 4 kanalizační šachty, které sloužily k nepřetržitému měření úrovně hladiny tak, aby co nejlépe zachycovala průtoky jednotlivých povodí a odezvu stokové sítě na povrchový odtok z povodí při dešťových událostech. Pro přehlednost byly tyto šachty s ohledem na polohu pojmenovány – Bulvár, Okružní, Kostel, Louka. Další data ohledně průtoku odpadních vod byla kontinuálně měřena a zaznamenávána na odtoku z centrální ČOV Trnová, které zajišťovala společnost Vodovody a kanalizace Beroun a.s.. Na měření byly použity

ultrazvukové sondy a Parshallův měrný žlab. Jejich pozice jsou zakresleny v situaci (Obrázek 13) výše.

Monitoring se uskutečnil od 29.5.2019 do 24.9.2019. A před začátkem měření byla nastavena časová synchronizace všech přístrojů do 1 minuty.

Výpočet povrchového odtoku z povodí

Před zahájením výpočtu povrchového odtoku bylo potřeba dílčí povodí rozdělit na různé specifické plochy a charakterizovat tak povrch povodí. V obci Trnová má každé z těchto povodí povrch rozdělený dle charakteru povrchové úpravy jako např. asfaltová, šťerková komunikace, komunikace z betonové dlažby, zpevněná plocha u rodinných domů, střechy, vegetační povrch, sportovní umělý povrch a jezdecká plocha. Základní podklad pro stanovení těchto ploch každého dílčího povodí budou satelitní snímky.

Pro výpočet množství dešťových odpadních vod a současně pro výpočet povrchového odtoku v řešeném povodí je použit základní výpočtový vztah uvedený v ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky za použití racionální metody.

$$Q_i = \psi_i \cdot S_i \cdot q_i \quad (8)$$

Kde,

Q_i je vypočtený odtok dešťových odpadních vod pro i-tý úsek sítě [l/s]

ψ_i je součinitel odtoku ($0 < \psi \leq 1$) [-]

S_i je plocha stokového povodí [ha]

q_i je intenzita směrodatného deště uvažované periodicity [l/s.ha]

- Součinitel odtoku

Součinitel odtoku udává poměr množství odteklého k množství spadlému na terén za určitý časový interval. Vyznačuje se tím, že nemá stálou hodnotu, protože závisí na proměnné intenzitě deště, na proměnných

vlastnostech terénu a na proměnných klimatických poměrech. Nejzásadnější však pro nás je povrchová úprava a spád terénu a ostatní vlivy pomíjíme.

Celé uvažované území se rozdělí na oblasti stejného charakteru o dané velikosti. Pro každou tuto vymezenou oblast se zvolí menší ucelené části uvažované oblasti, kde se přesně vymezí, označí a změří jednotlivé plochy různého charakteru povrchové úpravy. [10]

Pro celou oblast se jednotný koeficient odtoku stanoví dle vzorce:

$$\psi = \frac{S_1 \cdot \psi_1 + S_2 \cdot \psi_2 + \dots + S_n \cdot \psi_n}{S_0} \quad (9)$$

$$S_0 = S_1 + S_2 \dots + S_n \quad (10)$$

kde,

ψ je jednotný součinitel odtoku pro celou oblast [-]

S_n jsou dílčí plochy s různou povrchovou úpravou [ha]

ψ_n jsou součinitele odtoku pro jednotlivé druhy povrchové úpravy [-]

S_0 je plocha zvolené ucelené části uvažované oblasti [ha]

Hodnoty součinitele odtoku pro jednotlivé povrchy, které byly ve výpočtech použity jsou vypsány v tabulce výše. (Tabulka 9)

Tabulka 9: Hodnoty součinitele odtoku ψ [52]

Hodnoty součinitele odtoku ψ		
Způsob zástavby	Mezní hodnoty	Použitá hodnota
Komunikace – asfalt	0,7 – 0,9	0,9
Komunikace – dlažba	0,7 – 0,9	0,8
Komunikace – štěrk	0,3 – 0,5	0,4
Střecha	1,0	1,0

Vegetace	0,05 – 0,15	0,1
Zpevněná plocha RD	0,5 – 0,7	0,5
Sportovní umělý povrch	0,1 – 0,2	0,2
Jezdecká plocha	0,2 – 0,3	0,25

Prvotní výstavba a pokládka nové místní komunikace z betonové zámkové dlažby začala v roce 2007 a kvůli špatnému provedení byla v roce 2013 provedena celková rekonstrukce (Obrázek 14). [50] I přestože se jedná o méně frekventovanou komunikaci, tak se po nějaké době začaly v daných úsecích vytvářet prohlubně a zvětšení spár mezi jednotlivými betonovými díly. Což mohlo být způsobeno špatným provedením nespécializovanou firmou nebo nedostatečnou projektovou dokumentací. Dochází tak k zadržení většímu objemu srážkové vody a efektivní srážka je tak snížena vlivem intercepce, povrchové retence a infiltrace. Může tak nekontrolovaně docházet k zásobování a zvýšení hladiny podzemní vody.



Obrázek 14: Místní komunikace z betonové dlažby [50]

V roce 2014 byla provedena rozsáhlá oprava asfaltového povrchu místní komunikace (Obrázek 15). [51] Asfaltový beton je složen z asfaltu a kameniva, a mezery mezi částicemi kameniva jsou plně vyplněny pojivem. Proto je infiltrace srážkové vody minimální. Může však dojít ke ztrátám intercepce nebo k povrchové retenci.



Obrázek 15: Místní komunikace z asfaltového povrchu [51]

8.2 Monitoring dešťových dat

Poblíž zkoumané oblasti se nachází dvě klimatologické stanice, které reprezentují základní klimatologické charakteristiky. Nejdůležitější v tomto případě budou charakteristiky srážkových úhrnů. Přesná poloha je zakreslena na Obrázek 16. [43]

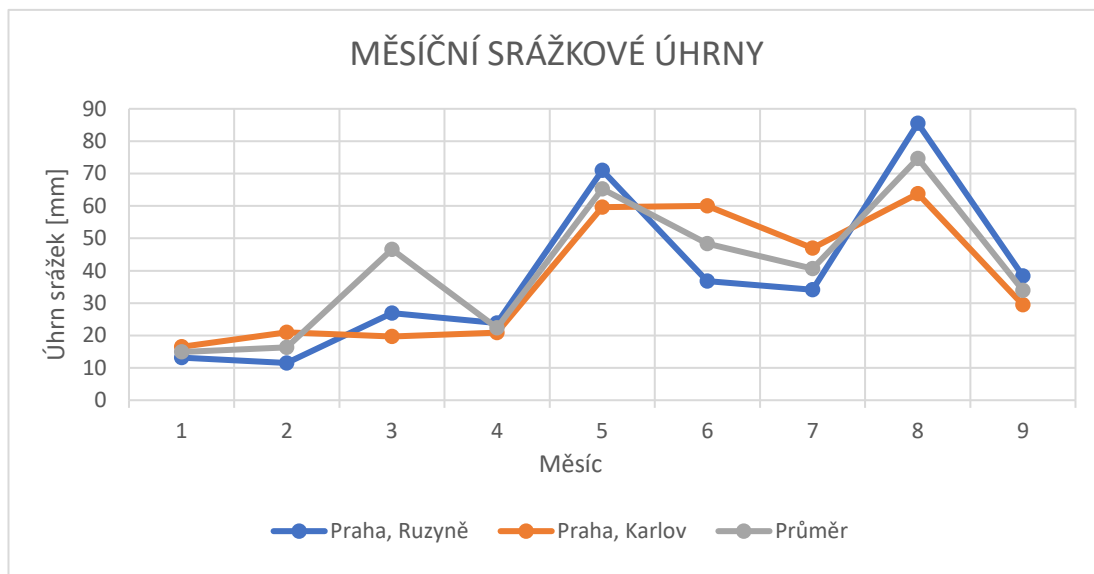


Obrázek 16: Poloha obce Trnová z hlediska umístění klimatologických stanic ČHMÚ [59]

V Tabulka 10 níže jsou uvedeny měsíční úhrny srážek udávané v mm pro stanici Praha, Ruzyně s nadmořskou výškou 364 m, Praha, Karlov s nadmořskou výškou 232 m a jejich vážený průměr. [44] V Graf 3 jsou tyto měsíční úhrny pro přehled i graficky znázorněny.

Tabulka 10: Měsíční úhrny srážek pro klimatologické stanice Praha, Ruzyně a Praha, Karlov [44]

Název stanice	Měsíc								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Praha, Ruzyně	13,2	11,5	26,9	23,8	71,0	36,8	34,1	85,5	38,4
Praha, Karlov	16,5	21,0	19,7	20,9	59,6	60,0	47,0	63,8	29,5
Průměr	14,9	16,3	46,6	22,4	65,3	48,4	40,6	74,7	33,9



Graf 3: Grafické znázornění měsíčních úhrnů srážek pro klimatologické stanice Praha, Ruzyně a Praha, Karlov [44]

Protože je vzdálenost obou stanic více než 20,0 km od dané lokality, tak bude v obci Trnová kvůli potřebě přesného měření konkrétních dešťů umístěna srážkoměrná stanice.

V urbanizovaném území je doporučeno instalovat šrážkoměr do 3 m nad terénem, přístupný srážkám ze všech směrů v dostatečné vzdálenosti od stromů i vysokých budov. Současně by měl být instalován na místě, kde nedojde k poškození nebo odcizení samotného přístroje. [55] Proto byl srážkoměr umístěn na střeše Obecného úřadu Trnová, který byl v pravidelných časových intervalech kontrolován, aby se zamezilo větším chybám, které by mohly ovlivnit přesnost měření. Přesná poloha v obci je znázorněna v situaci (Obrázek 13) výše.

Časový krok záznamu srážek byl nastaven na 1 minutu.

8.2.1 Přístroje pro měření srážek

Srážkoměrná stanice TS500

Jedná se o srážkoměrnou sestavu, která se skládá z člunkového srážkoměru SR03, telemetrické jednotky s dlouhou provozní dobou a stojanu. (Obrázek 17)

Srážkoměr slouží k měření tekutých i tuhých srážek. Tento typ má sběrnou plochu o velikosti 500 cm² využívající dva překlápěcí člunky, kdy každý pulzní výstup představuje intezitu dešťové srážky s rozlišením 0,1 mm. Konstrukce srážkoměru se skládá z válcového pláště vyrobeného z vysoce kvalitních materiálů, který odolává povětrnostním vlivům. Déšť tak dopadá na přesnou sběrnou plochu skládající se z nálevky a kruhu v horní části, kde je umístěna i pružina zabraňující vniknutí nečistot. Po celou dobu trvání deště se střídá překlopení a naplnění člunku, kdy feritový magnet zabudovaný v jeho těle sepne kontakt v držáku samotného člunku a připojená registrační jednotka zaznamená pulz. Z počtu pulzů se tak spočítá celkové množství srážek a maximální intenzita deště. (Obrázek 18)

Pro celoroční nepřetržité měření srážek je možnost využití dvoukomorového vytápění pomocí topného modulu, kdy dochází k vyhřívání pláště a vnitřního prostoru okolo měrného člunku. Zabudovaný mikroprocesorový regulátor zajišťuje postupné odtávání sněhu bez možnosti jeho vypařování nebo zamezuje namrzání odtokových otvorů.

Dále je součástí srážkoměrné sestavy telemetrická stanice STELA s dlouhou dobou provozu bez výměny baterie. Umožňuje zaznamenávat a ukládat naměřené hodnoty k dalšímu vyhodnocení a zpracování. U vícekanálové jednotky je možnost zaznamenávat i teplotu nebo nasycení (vlhkost) půdy.

Pro upevnění a zajištění snadného nastavení srážkoměru do vodorovné polohy se používá nerezový stojan s využitím základové betonové dlaždice. Jeho výška by měla být taková, aby se sběrná plocha nacházela 1 m nad terénem. Ke kalibraci slouží uvnitř válce srážkoměru tři aretační šrouby a libela pro kontrolu vodorovné plochy. [45]



Obrázek 17: Pohled na srážkoměr včetně stojanu a základové betonové dlaždice [45]



Obrázek 18: Pohled na vnitřní mechanismus srážkoměru [45]

8.2.2 Intenzita deště

Deště se charakterizují různou dobou trvání a též proměnlivou vydatností. [10] Při řešení návrhu, posuzování a bilance stokových sítí jsou rozhodující převážně krátkodobé místní přívalové deště, které se vyznačují vysokou intenzitou, krátkou dobou trvání a malou povrchovou rozlohou. [9]

Pro stanovení intenzity deště podle úhrnu se použije tento vztah: [7]

$$i = \frac{h}{t} \quad (11)$$

Kde,

i je intenzita deště [mm/min]

h je srážková výška, resp. vrstva vody na dané ploše bez odtoku [mm]

t je doba trvání deště [min]

Intenzita i je vyjádřena v **mm/min** , ale někdy je označována i termínem **vydatnost q** vyjádřená v **$l/(s.ha)$** . Jedná se tedy o jiný způsob kvantitativního vyjádření určitého deště. A pro tyto dva parametry platí vztah, který je vyjádřen takto: [8]

$$1 \text{ mm/min} = 166,67 \frac{l}{s.ha} \quad (12)$$

8.3 Identifikace balastních vod pomocí monitoringu průtoku odpadních vod

8.3.1 Přístroje pro měření průtoku odpadních vod

Nároky na přesnost měření, spolehlivost a použitelnosti v dané lokalitě jsou rozhodující pro správnou volbu metody měření průtoku. Pro měření včetně zaznamenávání průtoku odpadních vod byly ve zvolených šachtách v zájmovém území nainstalovány tyto přístroje. V pravidelných intervalech byla měřící zařízení kontrolována a naměřená data stažena a zálohována.

Pro měření hladiny ve stokové síti bylo za deště i za bezdeštného období nastaveno časové rozlišení 1-2 minuty.

Univerzální registrační, řídicí jednotka

Jednotka se využívá v dispečerském monitoringu a převážně je určena ke sběru dat. Tuto záznamovou jednotku vynalezla společnost FIEDLER společně se dvěma vodárenskými společnostmi. (Obrázek 19)

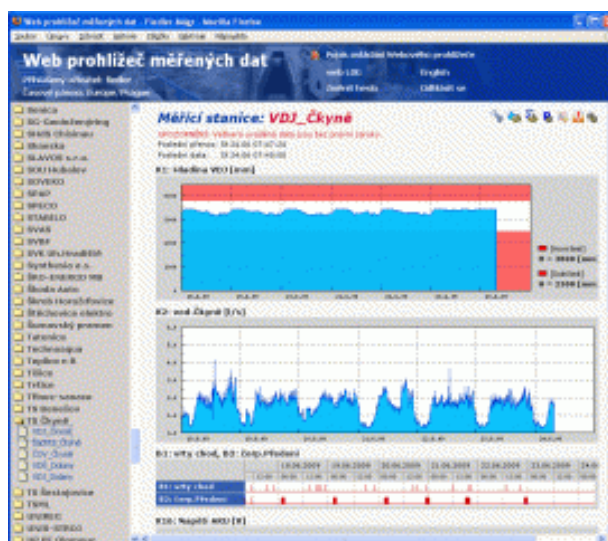
Tato jednotka obsahuje univerzální datalogger, telemetrickou stanici s přímým přístupem na internet prostřednictvím GSM/GPRS modulu, programovatelný řídicí automat a varovný systém, který odesílá SMS zprávy. Je možnost využít i vícenásobný průtokoměr se spojení s ultrazvukovými nebo tlakovými snímači. Jejich mechanická odolnost díky robustnímu provedení,

velmi nízká vlastní spotřeba, spolehlivost provozu a variabilita je velkou výhodou.



Obrázek 19: Řídicí jednotka FIEDLER [46]

Vestavěný modem automaticky posílá v pravidelných intervalech data prostřednictvím sítě do databáze. A pro jejich zpracování se používá komunikační program MOST, který výsledky zobrazuje graficky i tabulkově. (Obrázek 20) Dále naměřená data průměruje, vyhledává mezní hodnoty a počítá denní i měsíční proteklé objemy. Kapacita celkové paměti je až 450 000 měřených hodnot a k následnému přepisování nejstarších změřených dat v praxi dochází až po několika letech provozu. [46]



Obrázek 20: Grafická vizualizace změřených dat na serveru [46]

Ultrazvukové sondy US1200 a US3200

Pro bezkontaktní měření výšky hladiny uvnitř kanalizačních šachet byly použity ultrazvukové sondy typu US1200 a US3200, protože jsou odolné proti klimaticky nepříznivým podmínkám, kde je trvale vlhké prostředí. (Obrázek 21)

Jejich hlavním rozdílem je rozsah požadované měřené maximální vzdálenosti od překážky k hladinoměru, kdy US3200 měří do 3,2 m a US1200 do 1,2 m. Důležitá je i minimální vzdálenost překážky od hladinoměru, která se nazývá mrtvé pásmo a např. u US1200 je tento parametr roven 15 cm. Pro přenesení změřených hodnot se používá záznamové zařízení připojené přes sériové rozhraní RS485 kompatibilní se vstupy záznamových jednotek STELA. Změřené hodnoty výšky hladin jsou zpřesněny pomocí číslicového filtru.

Řídící a vyhodnocovací elektrotechnika je umístěna uvnitř hladinometru, vyrobeného z nerezové oceli, jehož plášť má průměr 50 mm a délku 110 mm, hermeticky zalita. Díky tomuto provedení je vyloučen průnik vody a vzdušná vlhkost do těla ultrazvukového snímače hladiny. Svislá poloha se nastaví pomocí libely a uchytí se díky křížovému držáku, který musí být namontován tak, aby se odražený ultrazvukový signál od měřené hladiny vracel zpět do snímače. (Obrázek 22) [47]



Obrázek 21: Ultrazvukový snímač výšky hladiny US1200 FIEDLER [47]



Obrázek 22: Držák pro ultrazvukový snímač hladiny [47]

8.3.2 Hydraulika stokové sítě

Vzhledem k velikosti povodí a chování systému, bylo zvoleno ke zjištění průtoků v jednotlivých předem zvolených profilech stokové sítě ustálené rovnoměrné proudění o volné hladině.

Ustálené rovnoměrné proudění o volné hladině

Pro ustálené rovnoměrné proudění platí konstantní průtok a současně i konstantní plocha průtočného průřezu a průřezová plocha v daném profilu. Na povrchu proudící kapaliny je volná hladina a proud je omezen pouze pevnými stěnami potrubí. Celkově je pohyb způsoben vlastní tíhou kapaliny. [48]

Návrhový průtok Q stok je navržen tak, aby nepřekročil kapacitní průtok Q_{kap} . A za předpokladu tohoto proudění, pak návrhový průtok Q protéká při částečném plnění s volnou hladinou, kdy je průtok ve výpočtech funkčně závislý na výšce plnění h . [9]

Pro výpočet průřezové rychlosti a průtoku ve stoce je použita **Chézyho rovnice**:

$$Q = S \cdot v = S \cdot C \cdot \sqrt{R \cdot i_E} \quad (13)$$

kde,

Q průtok odpadních vod [m^3/s]

S plocha průtočného průřezu [m^2]

v průřezová rychlost [m/s]

C rychlostní součinitel podle Manninga [$m^{0,5}/s$]

R hydraulický poloměr [m]

i_E sklon čáry energie [m/m]

Hydraulický poloměr pro kruhové potrubí průměru D se spočítá dle vzorce:

$$R = \frac{S}{o} \quad (14)$$

kde,

o omočený obvod

Porovnáním Chézyho rovnice s Manningovou rovnicí lze odvodit **Chézyho rychlostní součinitel dle Manninga**: [7]

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6} \quad (15)$$

kde,

n součinitel drsnosti [-]

Hydraulická drsnost stok

Hydraulická drsnost stokového potrubí v sobě zahrnuje energetické ztráty, které jsou ovlivněny převážně vlastnostmi materiálu potrubí, ale i kvalitou montáže, počtem spojů, napojením kanalizačních přípojek a typem šachet. [9]

Hydraulickou drsnost potrubní sítě lze popsat dvěma způsoby. Buď vyjádřením ekvivalentní výšky výstupků stěny Δ [m], anebo pomocí součinitele drsnosti n . [9]

Součinitel drsnosti charakterizuje odpor stěn potrubí působící na proudící vodu. Pro popis daného materiálu je udáván v tabelární formě třemi hodnoty – dobrý, běžný a špatný stav. V řešeném území je převážně použito plastové potrubí, ale v některých částech obce bylo navrženo potrubí z kameniny. Pro tyto materiály jsou v Tabulka 11 pro uzavřené profily s umělým povrchem vypsány hodnoty n podle Chowa. [49]

Tabulka 11: Hodnoty součinitele drsnosti n podle Chowa [49]

Materiál	Hodnota n		
	min.	střed.	max.
Plastické hmoty	0,008	0,009	0,010
Kamenina	0,011	0,014	0,017

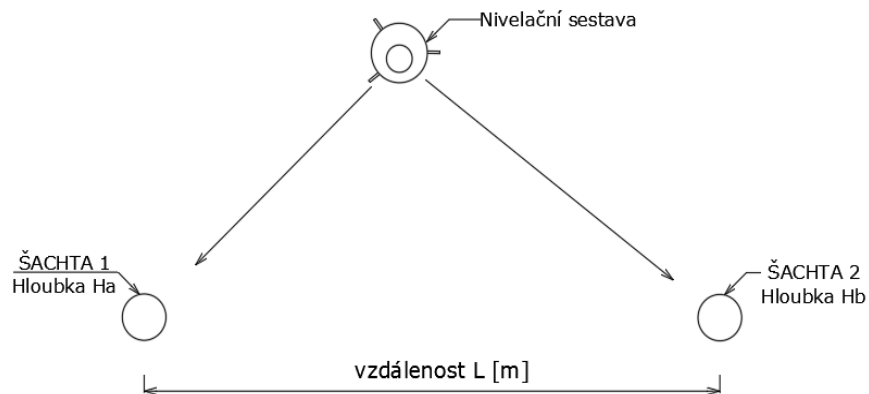
Místní stoková síť je navržena z tzv. hladkých materiálů (kamenina, HDPE, PVC apod.) a podle dlouhodobých zkušeností a doporučenou hodnotou ČSN 75 6101 lze použít hodnotu $k = 1,50$ mm zahrnující vyšší rozsah lomových změn v trase. V Tabulka 12 se pak porovnává hydraulická drsnost vyjádřená absolutní drsností k ve vztahu k součiniteli drsnosti n . [9] Proto byla pro následující výpočty zvolena hodnota součinitele $n = 0,013$.

Tabulka 12: Porovnání hodnot hydraulických drsností [9]

Porovnání hydraulických drsností								
k	0,6	1,0	1,5	3,0	6,0	30	60	150
n	0,0111	0,0121	0,0129	0,0145	0,0162	0,0212	0,0238	0,0278

Sklon potrubí

Pro zjištění sklonu potrubí oddílné stokové sítě byla použita nivelační sestava skládající se z nivelačního přístroje SETL AL-24G, stavebního hliníkového stativu a teleskopické nivelační latě o délce 4 m. Za použití základní měřické nivelační sestavy byly změřeny hloubky šachet H_A a H_B , což následně umožnilo dopočítat převýšení. Pomocí pásma byla změřena vzdálenost L mezi zvolenými šachtami a tyto údaje stačily k dopočítání sklonu potrubí. Situační rozmístění je schématicky znázorněno níže, viz Obrázek 23.



Obrázek 23: Schématické znázornění výpočtu sklonu potrubí [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Proudění vody ve stokové síti je ovlivněno povrchovým odtokem, proto je jeho určení tak důležité. Je zásadní pro jednotné a dešťové kanalizace, ale i ke stanovení dešťových balastních vod pro splaškové kanalizace.

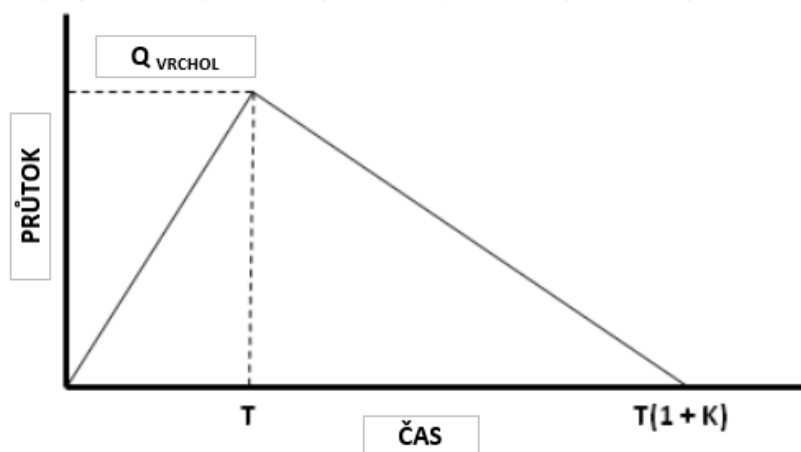
8.4 Identifikace balastních vod pomocí simulačního programu SWMM

Pro simulaci srážko-odtokových vztahů v zájmovém území byl aplikován srážko-odtokový dynamický simulační model EPA Storm Water Management Model (SWMM), který byl vyvinut v roce 1971 a následně prošel několika vylepšeními. Je používán pro simulaci kvality a kvantity povrchové a podpovrchové vody pouze pro jednu událost, anebo kontinuální dlouhodobou simulaci dešťového odtoku za různých hydrologických procesů způsobující odtok z primárně městských oblastí.

Uplatňuje se pro plánování, analýzu a návrh související s odtokem dešťové vody s kombinací kanalizačních systémů ve městech. Ve všech těchto procesech je studovaná oblast rozdělena na menší homogenní oblasti, z nichž každá obsahuje vlastní podíl propustných a nepropustných podoblastí. [52]

SWMM RDII (Rainfall-derived infiltration and inflow)

Jednotkový hydrogram je znázorněn na Obrázek 24 a odhaduje infiltraci / přítok závislý na dešti do kanalizačního systému. Sada jednotkového



Obrázek 24: Jednotkový hydrogram SWMM RDII [52]

hydrogramu obsahuje až tři takové hydrogramy. Jeden pro krátkodobou reakci, druhý pro střednědobou a třetí pro dlouhodobou reakci. Každá skupina je považována za samostatný objekt a je jí přiděleno specifické pojmenování společně se srážkoměrem, která mu dodává údaje o srážkách během období simulace. Skupina může mít až 12 sad jednotkových hydrogramů, jednu pro každý měsíc v roce.

Jednotkový hydrogram je definován třemi parametry:

- R: podíl objemu srážek, který vstupuje do kanalizačního systému
- T: doba od srážky po vrchol jednotkového hydrogramu v hodinách
- K: poměr času k recesi jednotkového hydrogramu k času do vrcholu

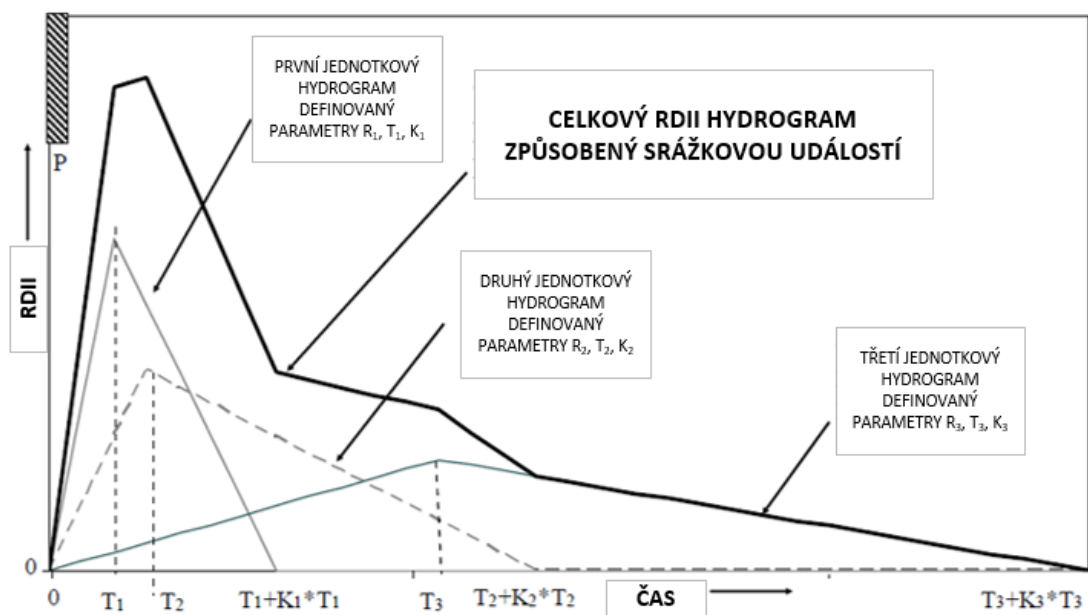
Ke každému jednotkovému hydrogramu je přiřazena další sada parametrů počáteční retence. Opět je tato skupina rozdělena na krátkodobé, střednědobé a dlouhodobé období. Tyto parametry určují, kolik srážek je ztraceno při intercepci a při povrchové retenci, než je jakákoliv nadměrná srážka transformována do uzlu RDII pomocí hydrogramu.

Tyto podmínky jsou definovány pomocí těchto parametrů:

- D_{max} : maximální možná retence [mm]

- D_{rec} : míra výparu během suchého období [mm/den]
- D_0 : počáteční retence [mm] [17]

Při řešení bude jednotkový hydrogram použit k nahrazení hlavního procesu odtoku, který používá plochu povodí. Před použitím je ale potřeba správně nakalibrovat již zmíněné parametry jednotkového hydrogramu, aby přítok do RDII uzlu představoval skutečný odtok z povodí během srážkové události viz Obrázek 25. [52]



Obrázek 13: Parametry RTK a součet tří jednotkových hydrogramů [17]

KALIBRACE A VERIFIKACE MODELU

Na základě porovnání měřených reálných vstupních veličin s výsledky simulace se ověřuje platnost a shoda skutečných a modelových okrajových podmínek a koeficientů řídicích rovnic. Ke zjištění správných hodnot koeficientů a parametrů slouží právě kalibrace a modelu. V rámci verifikace modelu bude ověřena platnost parametrů zjištěných kalibrací na nezávislé sérii vstupních veličin. [54]

KRITÉRIA PŘI VYHODNOCENÍ HYDROLOGICKÝCH PROCESŮ

Základním přístupem při vyhodnocení bude primárně vizuální porovnání průtokových hydrogramů při dešťové události tak, aby se respektoval tvar vzestupné a sestupné větve hydrogramů průtoků. [54] Dalším kritériem při vyhodnocování bude procentuální rozdíl mezi hodnotou pozorované a simulované veličiny. Bude se jednat o maximální průtoky v jednotlivých vlnách hydrogramů a o celkový objem za stejný časový úsek. Porovnáván bude i časový posun mezi jednotlivými maximálními hodnotami průtokových hydrogramů. Při vyhodnocování hydrologických modelů budou posuzované výsledné hodnoty rozřazeny do tří kategorií – velmi dobré, ok a špatné, dle toho do jakého intervalu bude výsledná hodnota spadat. Limitní hodnoty těchto kategorií jsou vypsány v Tabulka 13.

Tabulka 13: Kategorie při vyhodnocení výsledné hodnoty [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

	Rozdíl [%] [min]	Rozdíl [%] [min]	Rozdíl [%] [min]
V [m ³]	0 ≤ 25	20 < 50	≥ 50
Q _{max} [m ³ /s]	0 ≤ 30	30 < 60	≥ 60
Δ Tmax [min]	0 ≤ 10	10 < 20	≥ 20
slovní vyhodnocení	velmi dobré	ok	špatné
barevné vyhodnocení			

Dále k vyhodnocení bude použit NSE koeficient, který je pravděpodobně nejpoužívanějším kritériem při hodnocení hydrologických modelů. Jeho výpočet vychází z rovnice níže, kde pozorovaný průtok je referenční hodnota. [62] Ideální hodnota indexu NSE je 1, ale v tomto vyhodnocování bude limitní hodnota ≥ 0,8.

$$NSE = 1 - \frac{(Q_{max}^{monitoring} - Q_{max}^{model})^2}{(Q_{max}^{model} - Q_{m,průměr}^{model})^2} \quad (16)$$

Kde,

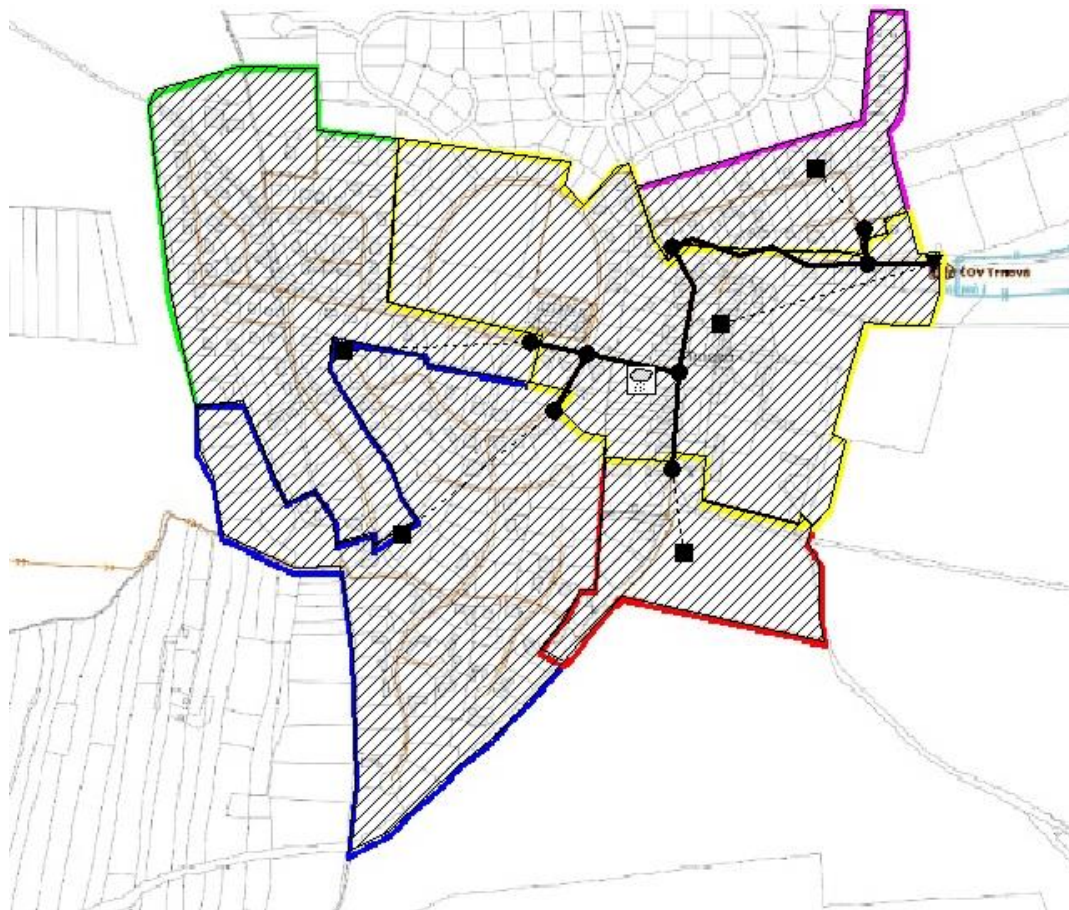
$Q_{max}^{monitoring}$ je maximální pozorovaný průtok [m³/s]

Q_{max}^{model} je maximální simulovaný průtok [m³/s]

$Q_{m,průměr}^{model}$ je průměrný simulovaný průtok [m³/s]

9. VÝSLEDKOVÁ ČÁST

9.1 Identifikace povodí



Obrázek 26: Situace zájmového území rozdělena na dílčí povodí, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Hranice jednotlivých dílčích povodí jsou v situaci (Obrázek 26) kvůli přehlednosti barevně odlišena a pojmenována dle zvolených měrných profilů.

-  Profil Bulvár
-  Profil Okružní
-  Profil Kostel
-  Profil Louka
-  Profil ČOV

Dále jsou jednotlivé profily podrobně charakterizovány z hlediska stávající stokové sítě a povrchů povodí kvůli určení povrchového odtoku.

9.1.1 Profil Bulvár

Charakteristika povrchu povodí (Tabulka 14):

$$A = 14,95 \text{ ha}$$

$$\Psi = 0,32 \text{ [-]}$$

$$C_B = 0,29 \text{ mm}$$

$$C_M = 2,43 \text{ mm}$$

Tabulka 14: Charakteristika povrchu dílčího povodí Bulvár [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

BULVÁR				
Druh povrchu	Dílčí plocha [m ²]	Součinitel odtoku ψ	Kapacita intercepce c_B [mm]	Kapacita povrchové retence c_M [mm]
Komunikace – asfalt	3565	0,9	0,8	0,3
Komunikace – dlažba	16073	0,8	0,6	2,0
Komunikace – štěrk	575	0,4	0,5	0,0
Střecha	16325	1,0	0,3	0,7
Vegetace	103030	0,1	0,2	3,0
Zpevněná plocha RD	9903	0,5	0,6	1,0
Sportovní umělý povrch	0	0,2	0,4	0,6
Jezdecká plocha	0	0,3	0,3	1,4

Charakteristika stokové sítě:

Gravitační splašková kanalizace z PVC DN 300 mm v celkové délce 1713 m.

$$n = 0,013 \text{ [-]}$$

$$i = 0,0108 \text{ [-]}$$

Výpočet sklonu potrubí:

$$H_A = 4,045 \text{ m}$$

$$H_B = 3,532 \text{ m}$$

$$L = 47,50 \text{ m}$$

$$i_{BULVÁR} = \frac{H_A - H_B}{L} = \frac{4,045 - 3,532}{47,50} = 0,0108$$

9.1.2 Profil Okružní

Charakteristika povrchu povodí (Tabulka 15):

$$A = 16,00 \text{ ha}$$

$$\Psi = 0,28 \text{ [-]}$$

$$C_B = 0,26 \text{ mm}$$

$$C_M = 2,54 \text{ mm}$$

Tabulka 15: Charakteristika povrchu dílčího povodí Okružní [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

OKRUŽNÍ				
Druh povrchu	Dílčí plocha [m ²]	Součinitel odtoku ψ	Kapacita intercepce c_B [mm]	Kapacita povrchové retence c_M [mm]
Komunikace – asfalt	0	0,9	0,8	0,3
Komunikace – dlažba	15063	0,8	0,6	2,0
Komunikace – štěrk	284	0,4	0,5	0,0
Střecha	15857	1,0	0,3	0,7
Vegetace	116982	0,1	0,2	3,0
Zpevněná plocha RD	5870	0,5	0,6	1,0
Sportovní umělý povrch	673	0,2	0,4	0,6
Jezdecká plocha	5300	0,25	0,3	1,4

Charakteristika stokové sítě:

Gravitační splašková kanalizace z PVC DN 300 mm v celkové délce 1912 m.

$$n = 0,013 \text{ [-]}$$

$$i = 0,0272 \text{ [-]}$$

Výpočet sklonu potrubí:

$$H_A = 3,248 \text{ m}$$

$$H_B = 2,303 \text{ m}$$

$$L = 34,80 \text{ m}$$

$$i_{OKRUŽNÍ} = \frac{H_A - H_B}{L} = \frac{3,248 - 2,303}{34,80} = 0,0272$$

9.1.3 Profil Kostel

Charakteristika povrchu povodí (Tabulka 16):

$$A = 3,84 \text{ ha}$$

$$\Psi = 0,32 \text{ [-]}$$

$$C_B = 0,28 \text{ mm}$$

$$C_M = 1,77 \text{ mm}$$

Tabulka 16: Charakteristika povrchu dílčího povodí Kostel [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

KOSTEL				
Druh povrchu	Dílčí plocha [m ²]	Součinitel odtoku ψ	Kapacita intercepce C_B [mm]	Kapacita povrchové retence C_M [mm]
Komunikace – asfalt	271	0,9	0,8	0,3
Komunikace – dlažba	1910	0,8	0,6	2,0
Komunikace – štěrk	2767	0,4	0,5	0,0
Střecha	3858	1,0	0,3	0,7
Vegetace	12562	0,1	0,2	3,0
Zpevněná plocha RD	376	0,5	0,6	1,0
Sportovní umělý povrch	0	0,2	0,4	0,6
Jezdecká plocha	16624	0,25	0,3	1,4

Charakteristika stokové sítě:

Gravitační splašková kanalizace z PVC DN 300 mm v celkové délce 257 m.

$$n = 0,013 \text{ [-]}$$

$$i = 0,0164 \text{ [-]}$$

Výpočet sklonu potrubí:

$$H_A = 2,989 \text{ m}$$

$$H_B = 2,272 \text{ m}$$

$$L = 43,70 \text{ m}$$

$$i_{KOSTEL} = \frac{H_A - H_B}{L} = \frac{2,989 - 2,272}{43,70} = 0,0164$$

9.1.4 Profil Louka

Charakteristika povrchu povodí (Tabulka 17):

$$A = 5,34 \text{ ha}$$

$$\Psi = 0,22 \text{ [-]}$$

$$C_B = 0,24 \text{ mm}$$

$$C_M = 2,71 \text{ mm}$$

Tabulka 17: Charakteristika povrchu dílčího povodí Louka [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

LOUKA				
Druh povrchu	Dílčí plocha [m ²]	Součinitel odtoku ψ	Kapacita intercepce c_B [mm]	Kapacita povrchové retence c_M [mm]
Komunikace – asfalt	0	0,9	0,8	0,3
Komunikace – dlažba	3720	0,8	0,6	2,0
Komunikace – štěrk	0	0,4	0,5	0,0
Střecha	3690	1,0	0,3	0,7
Vegetace	44259	0,1	0,2	3,0
Zpevněná plocha RD	1739	0,5	0,6	1,0
Sportovní umělý povrch	0	0,2	0,4	0,6
Jezdecká plocha	0	0,25	0,3	1,4

Charakteristika stokové sítě:

Gravitační splašková kanalizace z PVC DN 270 mm v celkové délce 390 m.

$$n = 0,013 \text{ [-]}$$

$$i = 0,0766 \text{ [-]}$$

Výpočet sklonu potrubí:

$$H_A = 3,917 \text{ m}$$

$$H_B = 3,097 \text{ m}$$

$$L = 10,70 \text{ m}$$

$$i_{LOUKA} = \frac{H_A - H_B}{L} = \frac{3,917 - 3,097}{10,70} = 0,0766$$

9.1.5 Profil ČOV

Charakteristika povrchu povodí (Tabulka 18):

$$A = 19,05 \text{ ha}$$

$$\Psi = 0,26 \text{ [-]}$$

$$C_B = 0,26 \text{ mm}$$

$$C_M = 2,47 \text{ mm}$$

Tabulka 18: Charakteristika povrchu dílčího povodí ČOV [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

ČOV				
Druh povrchu	Dílčí plocha [m ²]	Součinitel odtoku ψ	Kapacita intercepce c_B [mm]	Kapacita povrchové retence c_M [mm]
Komunikace – asfalt	5966	0,9	0,8	0,3
Komunikace – dlažba	3601	0,8	0,6	2,0
Komunikace – štěrk	3832	0,4	0,5	0,0
Střecha	18548	1,0	0,3	0,7
Vegetace	145440	0,1	0,2	3,0
Zpevněná plocha RD	13154	0,5	0,6	1,0
Sportovní umělý povrch	0	0,2	0,4	0,6
Jezdecká plocha	0	0,25	0,3	1,4

Charakteristika stokové sítě:

Gravitační splašková kanalizace z PVC DN 300 mm v celkové délce 2064 m

$$n = 0,013 \text{ [-]}$$

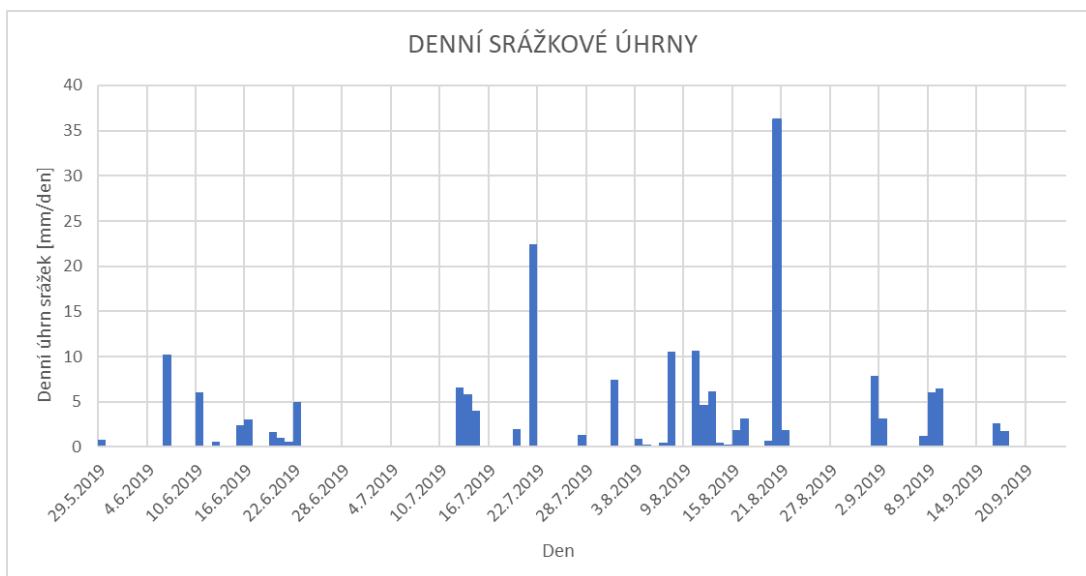
9.2 Dešťová data a jejich selekce

Srážkové úhrny jsou měřeny pomocí nainstalovaného srážkoměru po celou dobu monitoringu, který se uskutečnil 29.5.2019 do 24.9.2019. Všechny srážkové události, které v době monitoringu nastaly jsou vypsány v Tabulka 19 i s přiřazeným dopočítaným denním srážkovým úhrnem.

Tabulka 19: Denní srážkové úhrny [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

DENNÍ SRÁŽKOVÉ ÚHRNY			
Den	srážkový úhrn [mm/den]	Den	srážkový úhrn [mm/den]
29.5.2019	0,8	4.8.2019	0,3
6.6.2019	10,2	6.8.2019	0,5
7.6.2019	0,2	7.8.2019	10,5
10.6.2019	6,0	10.8.2019	10,6
11.6.2019	0,1	11.8.2019	4,6
12.6.2019	0,6	12.8.2019	6,2
15.6.2019	2,4	13.8.2019	0,5
16.6.2019	3,0	14.8.2019	0,3
19.6.2019	1,7	15.8.2019	1,9
20.6.2019	1,0	16.8.2019	3,2
21.6.2019	0,6	19.8.2019	0,7
22.6.2019	5,0	20.8.2019	36,2
1.7.2019	0,2	21.8.2019	1,9
12.7.2019	6,6	1.9.2019	7,9
13.7.2019	5,8	2.9.2019	3,1
14.7.2019	4,0	3.9.2019	0,1
19.7.2019	2,0	7.9.2019	1,2
21.7.2019	22,4	8.9.2019	6,0
27.7.2019	1,3	9.9.2019	6,5
30.7.2019	0,1	16.9.2019	2,6
31.7.2019	7,4	17.9.2019	1,8
1.8.2019	0,1	24.9.2019	0,2
3.8.2019	0,9		

Celkový srážkový úhrn v monitorovaném období činil 189,2 mm.



Graf 4: Denní srážkové úhrny [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



Graf 5: Kumulativní srážkový úhrn v době monitoringu [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Denní srážkové úhrny jsou v období monitoringu i graficky zakresleny v Graf 4 a kumulativní srážkový úhrn je zakreslen v Graf 5. Pro další zpracování budou k vyhodnocování použity pouze srážky, jejichž denní srážkový úhrn dosáhl hodnoty 5 mm a více.

9.3 Identifikace balastních vod pomocí monitoringu průtoku odpadních vod

Monitoring na oddílné splaškové kanalizaci v obci Trnová probíhal v období 29.5.2019 - 24.9.2019 ve všech měrných profilech a s výjimkou měrného profilu Louka bylo zaznamenáno dostatek reprezentativních dat pro vyhodnocení průtoků. Společnost VAK Beroun poskytla naměřená data z odtoku ČOV Trnová, která nebyla měřena kontinuálně, ale pouze v těchto obdobích:

- 3.6.2019 12:00 hodin – 13.6.2019 12:00 hodin
- 20.6.2019 12:00 hodin – 21.7.2019 00:00 hodin
- 20.8.2019 16:00 hodin – 16.9.2019 11:00 hodin

9.3.1 Vyhodnocení množství balastních vod

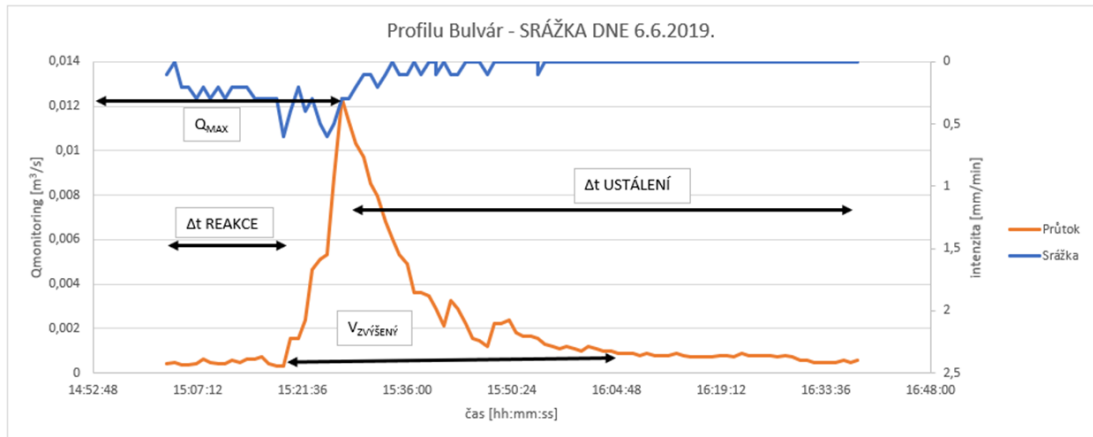
Každá srážková událost s denním srážkovým úhrnem větší než 5 mm je popsána charakteristikou deště a charakteristikou odtoku.

Charakteristika deště je totožná pro všechna dílčí povodí. Byla vymezena doba trvání deště, a tudíž začátek a konec srážkové události. Podle úhrnu byla stanovena a následně přepočítána průměrná a maximální intenzita srážky.

Charakteristika odtoku je pak zaměřena na jednotlivých povodí zvlášť. Pro každý měrný profil byl zjištěn maximální průtok Q_{MAX} a zvýšený objem $V_{ZVÝŠENÝ}$, tedy objem balastních vod. Časová reakce Δt_{REAKCE} určuje dobu od začátku srážky po počáteční reakci v systému a ustálení pak vymezuje dobu ustálení $\Delta t_{USTÁLENÍ}$ z maximální hodnoty průtoku po hodnotu bezdeštného průtoku v oddílné splaškové kanalizaci.

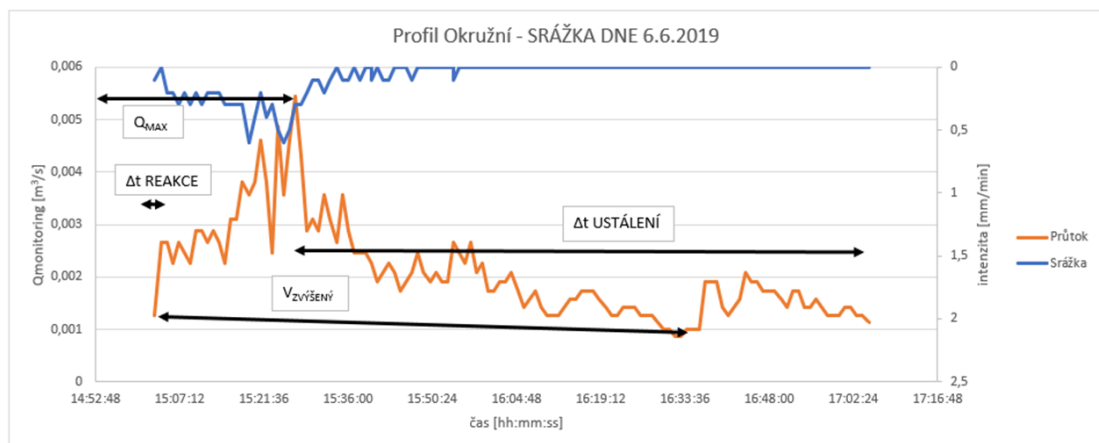
Pro vybranou srážkovou událost ze dne 6.6.2019 je názorně demonstrováno jakým způsobem byla data vyhodnocována. Stejným stylem byly zpracovány i ostatní deště.

DEŠŤOVÁ UDÁLOST 6.6.2019



Graf 6: Vyhodnocení balastních vod v měrném profilu Bulvár během srážkové události dne 6.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

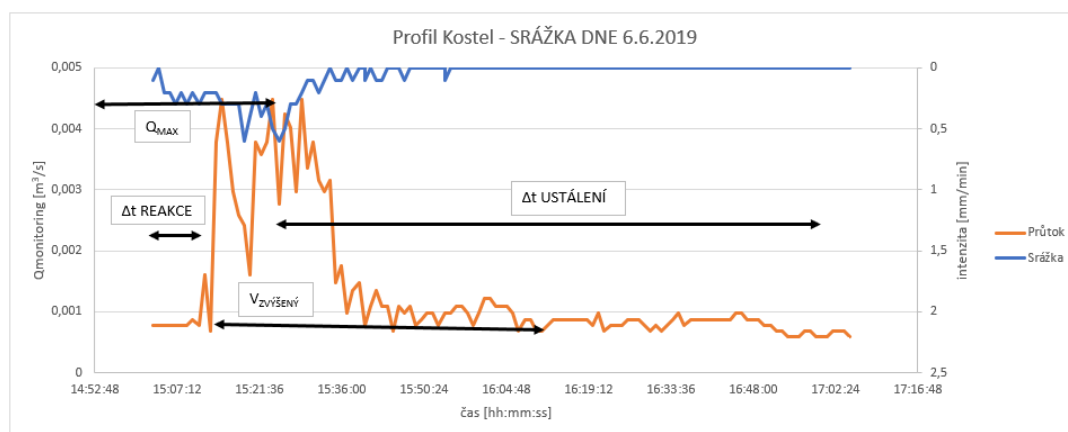
V profilu Bulvár (Graf 6) trvá 17 minut, než dojde od začátku srážky v kanalizaci k počáteční reakci a průtok se začne rychle zvyšovat. Z grafu je možné vyčíst maximální hodnotu průtoku, která je rovna 12,34 l/s. Po dosažení maximálního průtoku trvá 71 minut než dojde k ustálení na bezdeštný průtok v oddílné splaškové kanalizaci. Celkový zvýšený objem se v tomto případě skládá ze špičkového a prodlouženého odtoku. Objem balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci je po odečtení bezdeštného průtoku spočítán na 6,97 m³.



Graf 7: Vyhodnocení balastních vod v měrném profilu Okružní během srážkové události dne 6.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

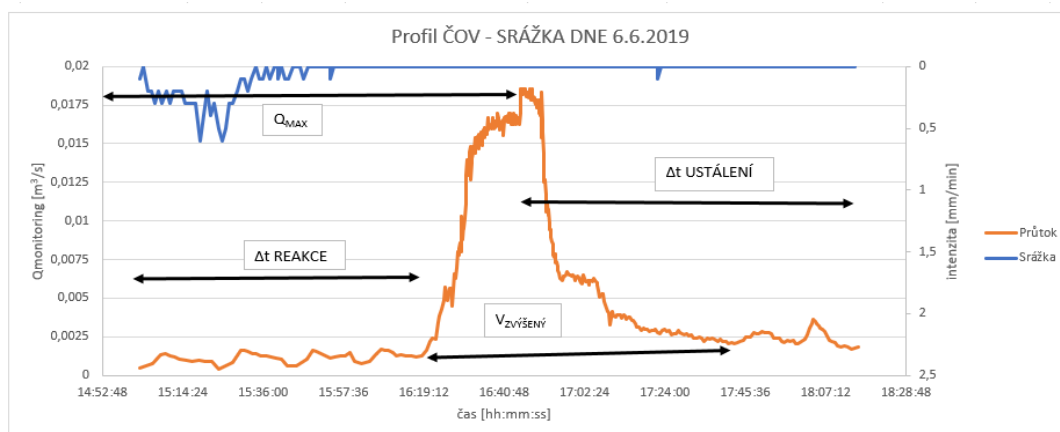
V profilu Okružní (Graf 7) trvá 1 minutu, než dojde od začátku srážky v kanalizaci k počáteční reakci a průtok se začne postupně zvyšovat. Reakce je téměř okamžitá. Z grafu je možné vyčíst maximální hodnotu průtoku, která je rovna 5,46 l/s. Po dosažení maximálního průtoku trvá 168 minut než dojde

k ustálení na bezdeštný průtok v oddílné splaškové kanalizaci. Celkový zvýšený objem se skládá ze špičkového i prodlouženého odtoku. Objem balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci je po odečtení bezdeštného průtoku roven $3,05 \text{ m}^3$.



Graf 8: Vyhodnocení balastních vod v měrném profilu Kostel během srážkové události dne 6.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

V profilu Kostel (Graf 8) trvá 9 minut, než dojde od začátku srážky v kanalizaci k počáteční reakci a průtok se začne rychle zvyšovat. Z grafu je možné vyčíst maximální hodnotu průtoku, která je rovna $4,48 \text{ l/s}$. Po dosažení maximálního průtoku trvá 110 minut než dojde k ustálení na bezdeštný průtok v oddílné splaškové kanalizaci. Celkový zvýšený objem se skládá ze špičkového a částečně i z prodlouženého odtoku. Objem balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci je po odečtení bezdeštného průtoku spočítán na $5,23 \text{ m}^3$.



Graf 9: Vyhodnocení balastních vod v měrném profilu ČOV během srážkové události dne 6.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

V profilu ČOV (Graf 9) trvá 79 minut, než dojde od začátku srážky v kanalizaci k počáteční reakci a průtok se začne rychle zvyšovat. Z grafu je možné vyčíst maximální hodnotu průtoku, která je rovna 18,52 l/s. Po dosažení maximálního průtoku trvá 105 minut než dojde k ustálení na bezdeštný průtok v oddílné splaškové kanalizaci. Celkový zvýšený objem se skládá ze špičkového i prodlouženého odtoku. Objem balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci je po odečtení bezdeštného průtoku spočítán na 25,30 m³.

V Profilu Louka bohužel nejsou k této srážkové události data k dispozici.

V každém profilu dochází v době srážky k rychlému zvýšení průtoku. Špičkový zvýšený odtok je nejspíš způsobený vtoky přes otvory poklopů a rámu šachet. Prodloužený zvýšený odtok může vzniknout infiltrovanou srážkovou vodou vnikající do kanalizace přes poškozené části potrubí, špatným připojením šachet nebo netěsnostmi v síti. Dále je zde možnost, že potrubí je položeno těsně nad hladinou podzemní vody a v době intenzivnější nebo déle trvající srážky může dojít ke zvýšení její polohy. Ale dle grafického vyhodnocení v tomto případě netrval prodloužený odtok tak dlouho, aby bylo zvýšení hladiny podzemní vody bráno v době jako hlavní zdroj tohoto odtoku.

Výsledky ohledně vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci během dešťových událostí jsou zdokumentovány dále v tabulkách (Tabulka 20 – Tabulka 24) pro každý měrný profil (povodí) zvlášť.

Tabulka 20: Vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci během dešťové události v profilu Bulvár
[Zdroj: Vlastní tvorba autora]

BULVÁR											
DATUM UDÁLOSTI	CELKOVÝ ÚHRN	CHARAKTERISTIKA DEŠTĚ					CHARAKTERISTIKA ODTOKU				
		ČASOVÁ UDÁLOST			INTENZITA		Q _{MAX}	Δt REAKCE	V _{ZVÝŠENÝ}	Δt USTÁLENÍ	
		ZAČÁTEK	KONEC	DOBA TRVÁNÍ	PRŮMĚRNÁ	MAXIMÁLNÍ					
[dd.mm.rok]	[mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[min]	[l/s.ha]	[l/s.ha]	[l/s]	[hh:mm]	[m ³]	[hh:mm]	
6.6.2019	9,3	15:03	15:54	51	30,4	100,0	12,34	0:17	6,97	1:11	
10.6.2018	6,0	22:21	23:02	41	24,4	133,3	4,45	0:06	4,03	2:00	
12.-13.7.2019	6,6	1:50	18:27	997	1,1	33,3	3,07	0:44	20,33	3:41	
	5,8	4:58	13:12	494	2,0	133,3					
21.7.2019	22,4	6:45	14:53	488	7,7	233,3	18,43	8:15	20,81	1:33	
31.7.2019	6,1	12:42	13:05	23	44,2	183,3	9,10	0:09	5,59	1:49	
7.8.2019	6,1	2:21	3:30	69	14,7	250,0	6,83	0:28	4,78	1:56	
7.8.2019	4,3	19:58	20:39	41	17,5	133,3	2,56	0:14	4,52	2:27	
10.8.2019	10,6	0:49	17:12	983	1,8	33,3	2,40	6:35	11,93	10:44	
11.-12.8.2019	4,6	23:38	0:05	27	28,4	100,0	5,34	0:06	5,84	1:24	
12.-13.8.2019	6,3	9:50	0:52	902	1,2	16,7	1,09	2:37	11,94	10:58	
20.8.2019	36,2	15:24	23:47	503	12,0	250,0	28,35	0:43	44,02	5:44	
1.9.2019	7,9	11:30	19:18	468	2,8	66,7	2,41	0:10	7,70	5:17	
8.-9.9.2019	6	18:44	23:51	1507	0,7	16,7	2,73	0:45	23,25	10:24	
	6,4	1:30	14:26	776	1,4	33,3					
16.9.2019	4,4	20:47	0:45	238	3,1	33,3	2,09	2:33	3,31	5:04	

Tabulka 21: Vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci během dešťové události v profilu Okružní
[Zdroj: Vlastní tvorba autora]

OKRUŽNÍ											
DATUM UDÁLOSTI	CELKOVÝ ÚHRN	CHARAKTERISTIKA DEŠTĚ					CHARAKTERISTIKA ODTOKU				
		ČASOVÁ UDÁLOST			INTENZITA		Q _{MAX}	Δt REAKCE	V _{ZVÝŠENÝ}	Δt USTÁLENÍ	
		ZAČÁTEK	KONEC	DOBA TRVÁNÍ	PRŮMĚRNÁ	MAXIMÁLNÍ					
[dd.mm.rok]	[mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[min]	[l/s.ha]	[l/s.ha]	[l/s]	[hh:mm]	[m ³]	[hh:mm]	
6.6.2019	9,3	15:03	15:54	51	30,4	100,0	5,46	0:01	3,05	2:48	
10.6.2018	6,0	22:21	23:02	41	24,4	133,3	5,16	0:02	3,67	2:21	
12.-13.7.2019	6,6	1:50	18:27	997	1,1	33,3	9,62	0:13	45,54	1:54	
	5,8	4:58	13:12	494	2,0	133,3					
21.7.2019	22,4	6:45	14:53	488	7,7	233,3	10,02	8:03	11,59	1:44	
31.7.2019	6,1	12:42	13:05	23	44,2	183,3	7,05	0:05	3,19	1:54	
7.8.2019	6,1	2:21	3:30	69	14,7	250,0	5,45	0:02	4,88	1:59	
7.8.2019	4,3	19:58	20:39	41	17,5	133,3	bez dat				
10.8.2019	10,6	0:49	17:12	983	1,8	33,3	bez dat				
11.-12.8.2019	4,6	23:38	0:05	27	28,4	100,0	bez dat				
12.-13.8.2019	6,3	9:50	0:52	902	1,2	16,7	bez dat				
20.8.2019	36,2	15:24	23:47	503	12,0	250,0	11,26	0:09	18,87	5:15	
1.9.2019	7,9	11:30	19:18	468	2,8	66,7	6,72	0:29	9,83	3:43	
8.-9.9.2019	6	18:44	23:51	1507	0,7	16,7	4,59	0:10	38,15	11:03	
	6,4	1:30	14:26	776	1,4	33,3					
16.9.2019	4,4	20:47	0:45	238	3,1	33,3	3,46	3:24	16,79	3:30	

Tabulka 22: Vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci během dešťové události v profilu Kostel [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

KOSTEL										
DATUM UDÁLOSTI	CELKOVÝ ÚHRN [mm]	CHARAKTERISTIKA DEŠTĚ					CHARAKTERISTIKA ODTOKU			
		ČASOVÁ UDÁLOST			INTENZITA		Q _{MAX} [l/s]	Δt REAKCE [hh:mm]	V _{ZVÝŠENÝ} [m ³]	Δt USTÁLENÍ [hh:mm]
		ZAČÁTEK [hh:mm]	KONEC [hh:mm]	DOBA TRVÁNÍ [min]	PRŮMĚRNÁ [l/s.ha]	MAXIMÁLNÍ [l/s.ha]				
[dd.mm.rok]	[mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[min]	[l/s.ha]	[l/s.ha]	[l/s]	[hh:mm]	[m ³]	[hh:mm]
6.6.2019	9,3	15:03	15:54	51	30,4	100,0	4,48	0:09	5,23	1:50
10.6.2018	6,0	22:21	23:02	41	24,4	133,3	4,72	0:05	2,92	1:31
12.-13.7.2019	6,6	1:50	18:27	997	1,1	33,3	13,15	0:34	22,81	4:55
	5,8	4:58	13:12	494	2,0	133,3				
21.7.2019	22,4	6:45	14:53	488	7,7	233,3	18,34	8:02	8,05	1:35
31.7.2019	6,1	12:42	13:05	23	44,2	183,3	4,97	0:07	1,11	1:52
7.8.2019	6,1	2:21	3:30	69	14,7	250,0	7,79	0:26	2,49	2:00
7.8.2019	4,3	19:58	20:39	41	17,5	133,3	2,59	0:04	0,73	2:32
10.8.2019	10,6	0:49	17:12	983	1,8	33,3	2,07	7:04	7,62	6:30
11.-12.8.2019	4,6	23:38	0:05	27	28,4	100,0	3,36	0:05	0,97	1:29
12.-13.8.2019	6,3	9:50	0:52	902	1,2	16,7	1,91	3:59	15,58	11:04
20.8.2019	36,2	15:24	23:47	503	12,0	250,0	11,97	0:31	14,05	5:43
1.9.2019	7,9	11:30	19:18	468	2,8	66,7	1,62	0:09	6,53	5:27
8.-9.9.2019	6	18:44	23:51	1507	0,7	16,7	2,96	0:05	12,06	22:09
	6,4	1:30	14:26	776	1,4	33,3				
16.9.2019	4,4	20:47	0:45	238	3,1	33,3	3,96	2:15	5,67	4:23

Tabulka 23: Vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové soustavě během dešťové kanalizaci v profilu Louka [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

LOUKA										
DATUM UDÁLOSTI	CELKOVÝ ÚHRN [mm]	CHARAKTERISTIKA DEŠTĚ					CHARAKTERISTIKA ODTOKU			
		ČASOVÁ UDÁLOST			INTENZITA		Q _{MAX} [l/s]	Δt REAKCE [hh:mm]	V _{ZVÝŠENÝ} [m ³]	Δt USTÁLENÍ [hh:mm]
		ZAČÁTEK [hh:mm]	KONEC [hh:mm]	DOBA TRVÁNÍ [min]	PRŮMĚRNÁ [l/s.ha]	MAXIMÁLNÍ [l/s.ha]				
[dd.mm.rok]	[mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[min]	[l/s.ha]	[l/s.ha]	[l/s]	[hh:mm]	[m ³]	[hh:mm]
6.6.2019	9,3	15:03	15:54	51	30,4	100,0	bez dat			
10.6.2018	6,0	22:21	23:02	41	24,4	133,3	bez dat			
12.-13.7.2019	6,6	1:50	18:27	997	1,1	33,3	0,36	0:50	14,18	3:41
	5,8	4:58	13:12	494	2,0	133,3				
21.7.2019	22,4	6:45	14:53	488	7,7	233,3	bez dat			
31.7.2019	6,1	12:42	13:05	23	44,2	183,3	bez dat			
7.8.2019	6,1	2:21	3:30	69	14,7	250,0	bez dat			
7.8.2019	4,3	19:58	20:39	41	17,5	133,3	bez dat			
10.8.2019	10,6	0:49	17:12	983	1,8	33,3	bez dat			
11.-12.8.2019	4,6	23:38	0:05	27	28,4	100,0	bez dat			
12.-13.8.2019	6,3	9:50	0:52	902	1,2	16,7	bez dat			
20.8.2019	36,2	15:24	23:47	503	12,0	250,0	1,58	0:11	7,31	ZÁZNAM DO 20:33
1.9.2019	7,9	11:30	19:18	468	2,8	66,7	bez dat			
8.-9.9.2019	6	18:44	23:51	1507	0,7	16,7	8,61	0:12	19,06	21:31
	6,4	1:30	14:26	776	1,4	33,3				
16.9.2019	4,4	20:47	0:45	238	3,1	33,3	2,21	1:24	2,09	2:09

Tabulka 24: Vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci během dešťové události v profilu ČOV
[Zdroj: Vlastní tvorba autora]

čov											
DATUM UDÁLOSTI	CELKOVÝ ÚHRN	CHARAKTERISTIKA DEŠTĚ					CHARAKTERISTIKA ODTOKU				
		ČASOVÁ UDÁLOST			INTENZITA		Q _{MAX}	Δt REAKCE	V _{ZVYŠENÝ}	Δt USTÁLENÍ	
		ZAČÁTEK	KONEC	DOBA TRVÁNÍ	PRŮMĚRNÁ	MAXIMÁLNÍ					
[dd.mm.rok]	[mm]	[hh:mm]	[hh:mm]	[min]	[l/s.ha]	[l/s.ha]	[l/s]	[hh:mm]	[m ³]	[hh:mm]	
6.6.2019	9,3	15:03	15:54	51	30,4	100,0	18,52	1:19	25,30	1:45	
10.6.2018	6,0	22:21	23:02	41	24,4	133,3	15,71	1:01	16,77	1:52	
12.-13.7.2019	6,6	1:50	18:27	997	1,1	33,3	10,06	1:11	105,77	3:58	
	5,8	4:58	13:12	494	2,0	133,3					
21.7.2019	22,4	6:45	14:53	488	7,7	233,3	bez dat				
31.7.2019	6,1	12:42	13:05	23	44,2	183,3	bez dat				
7.8.2019	6,1	2:21	3:30	69	14,7	250,0	bez dat				
7.8.2019	4,3	19:58	20:39	41	17,5	133,3	bez dat				
10.8.2019	10,6	0:49	17:12	983	1,8	33,3	bez dat				
11.-12.8.2019	4,6	23:38	0:05	27	28,4	100,0	bez dat				
12.-13.8.2019	6,3	9:50	0:52	902	1,2	16,7	bez dat				
20.8.2019	36,2	15:24	23:47	503	12,0	250,0	21,74	1:30	93,74	5:52	
1.9.2019	7,9	11:30	19:18	468	2,8	66,7	8,62	0:24	32,21	6:17	
8.-9.9.2019	6	18:44	23:51	1507	0,7	16,7	1,26	0:12	95,65	2:47	
	6,4	1:30	14:26	776	1,4	33,3					
16.9.2019	4,4	20:47	0:45	238	3,1	33,3	bez dat				

Bohužel některá zaznamenaná data nebyla pro vyhodnocení množství balastních vod z hlediska reprezentativnosti použitelná a nebo zcela chyběla. Proto nebylo možné dopočítat a vyhodnotit množství balastních vod v měrných profilech během určité srážkové události a charakteristika odtoku je v tabulkách „bez dat“.

Ze změřených hodnot průtoků v měrných profilech a na odtoku z ČOV se prakticky každá srážková událost v oddílné splaškové kanalizační síti projevila.

9.3.2 Základní objemová bilance

Základní objemová bilance je založena na myšlence, že celkový objem odpadních vod odtékající z ČOV za definované období, se rovná součtu objemů odpadních vod změřených na všech měrných profilech. Součet objemů změřených na profilu Bulvár, Okružní, Kostel, Louka a ČOV by neměl převyšovat objem změřený na odtoku z ČOV. Proto objem u dílčího povodí ČOV a v některých událostech společně s povodím Louka bude dopočítán jako rozdíl mezi odtokem z ČOV a sumou změřených objemů na jednotlivých profilech.

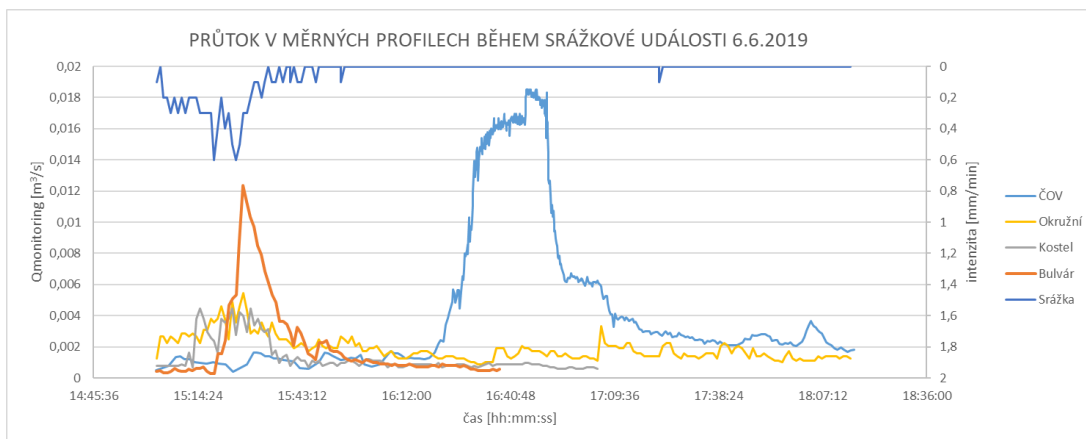
Z důvodu nedostatku dat není možné provést objemovou bilanci pro všechny srážkové události. Proto jsou vybrány takové deště, které mají denní srážkový úhrn větší než 5 mm a současně jsou dostupná data z profilu ČOV.

Tabulka 25: Základní objemová bilance - monitoring [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

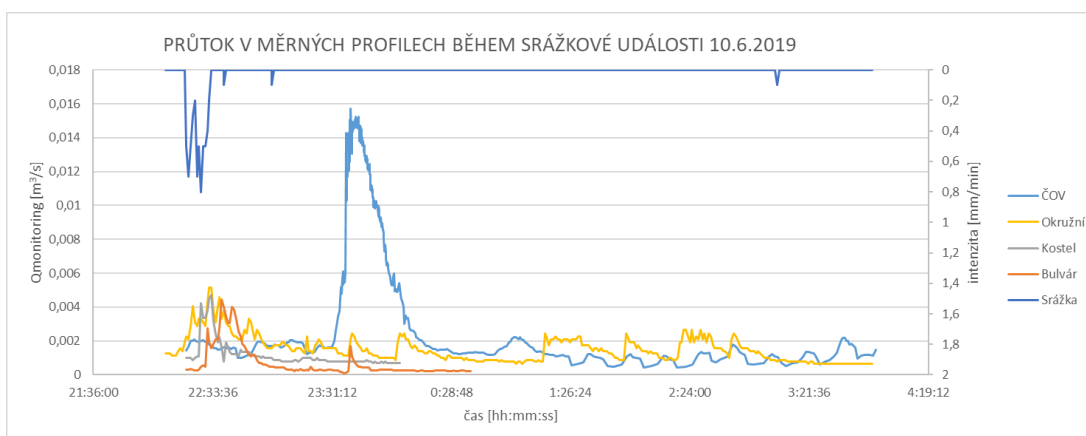
BILANCE - MONITORING						
DATUM	ZVÝŠENÝ OBJEM					
	BULVÁR	OKRUŽNÍ	KOSTEL	LOUKA	ČOV	Odtok z ČOV
6.6.2019	6,97	3,05	5,23	9,78		25,03
10.6.2018	4,03	3,67	2,92	6,15		16,77
12.-13.7.2019	20,33	45,54	22,81	14,18	2,91	105,77
20.8.2019	44,02	18,87	14,05	7,31	9,49	93,74
1.9.2019	7,7	9,83	6,53	8,15		32,21
8.-9.9.2019	23,25	38,15	12,06	19,06	3,13	95,65

Naměřené hodnoty průtoků v měrných profilech oddílné splaškové kanalizaci během těchto vybraných srážkových událostí jsou graficky znázorněny níže (Graf 10 až Graf 17) a v Tabulka 25 jsou numericky zaznamenány zvýšené objemy v jednotlivých profilech s následným porovnáním.

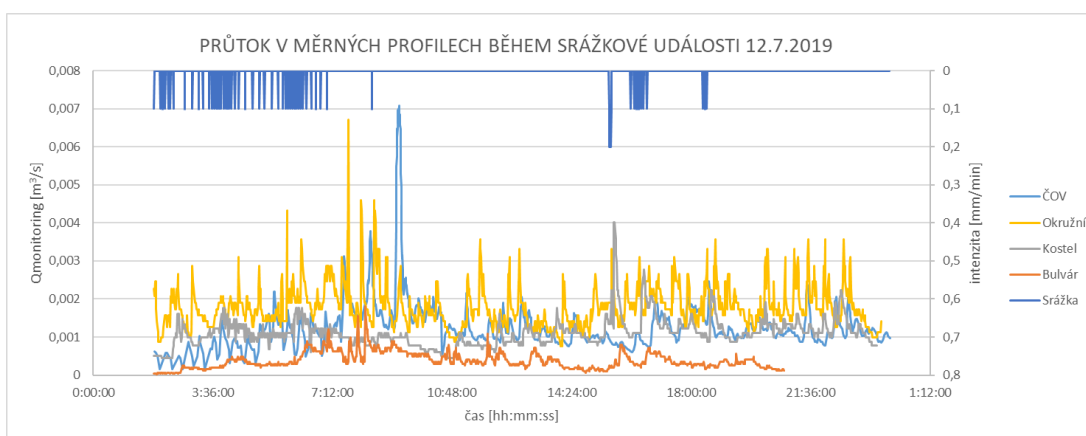
Ve všech zvolených událostech je zachovaná objemová bilance.



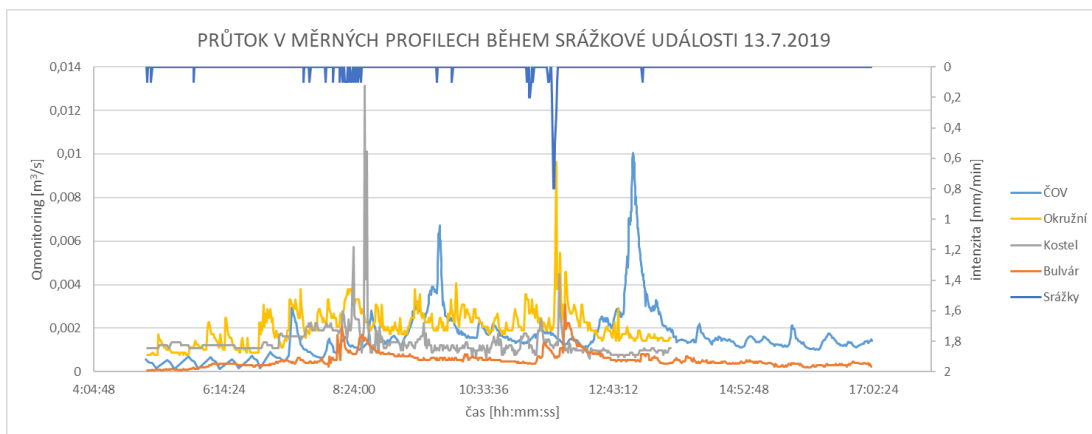
Graf 10: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 6.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



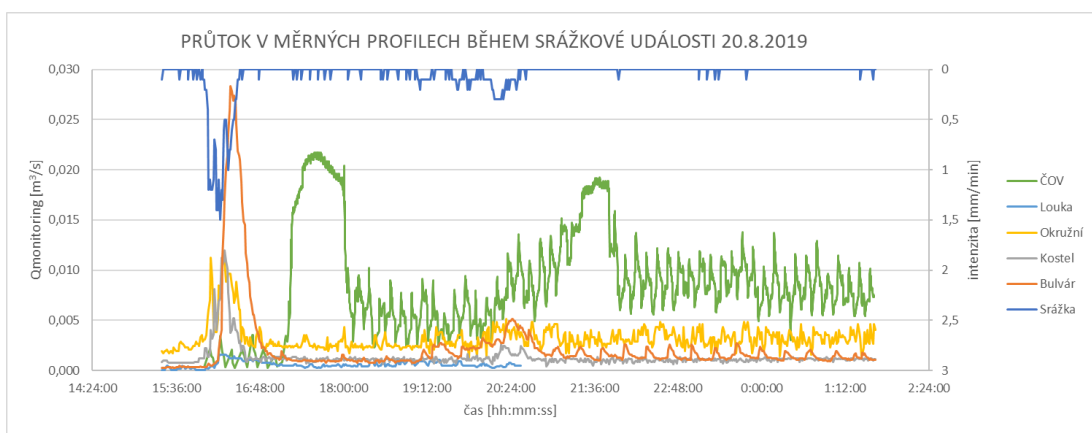
Graf 11: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 10.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



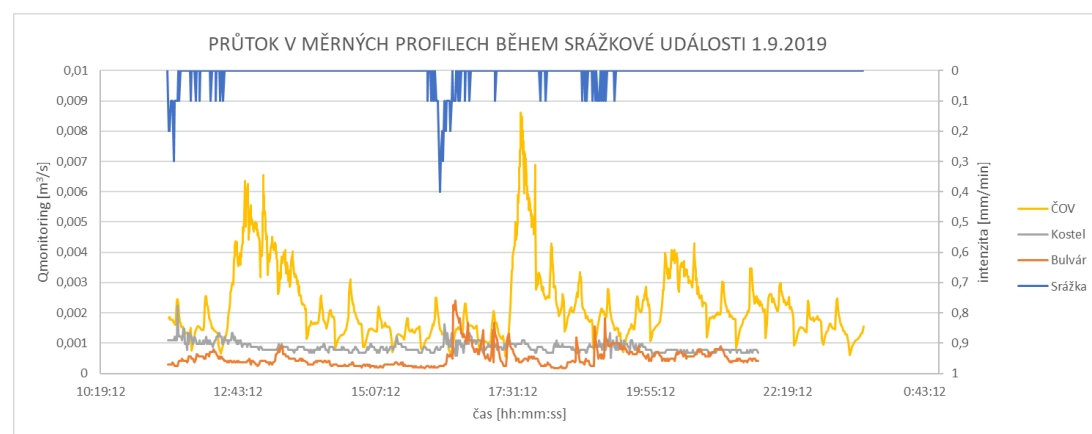
Graf 11: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 12.7.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



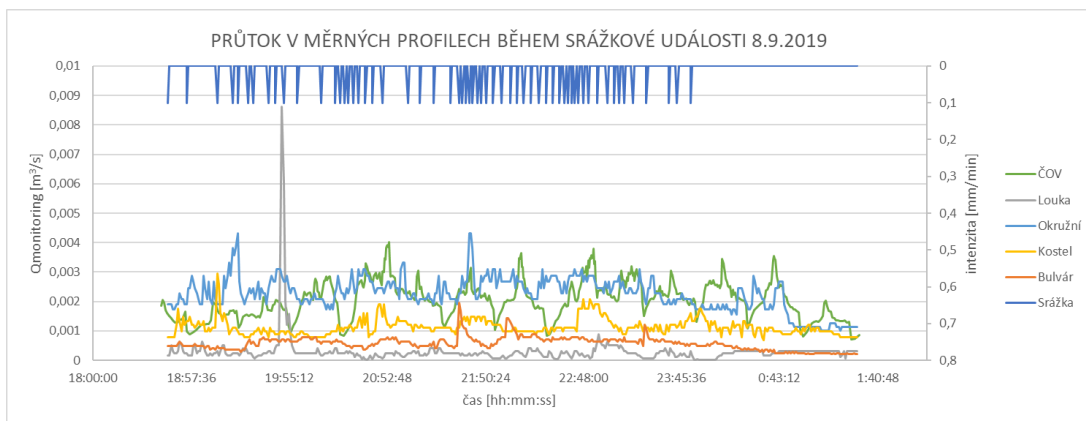
Graf 123: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 13.7.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



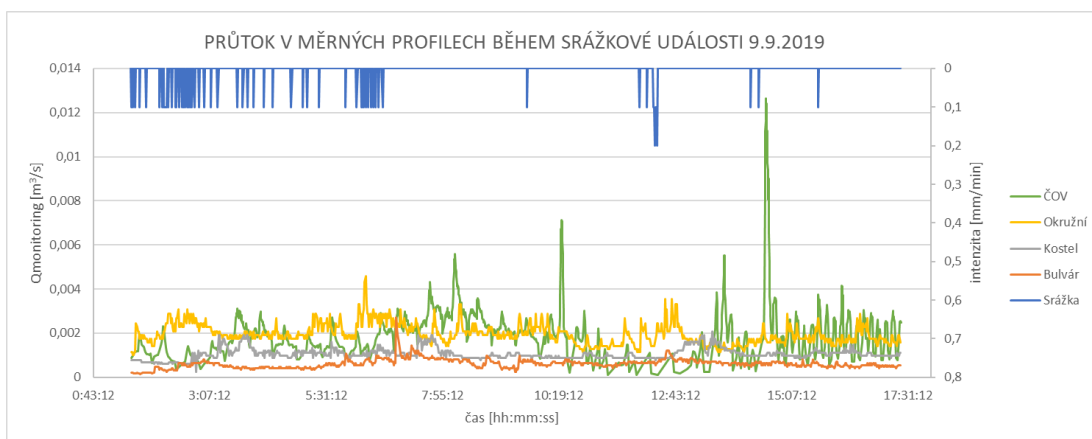
Graf 134: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 20.8.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



Graf 14: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 1.9.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



Graf 16: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 8.9.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



Graf 17: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 9.9.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Vzhledem k tomu, že jednotlivá měření byla poznamenána výpadky a také měření na ČOV neprobíhalo kontinuálně, pro ucelenou bilanci za delší období je vhodné se pokusit o popis vtoku balastních vod pomocí kalibrovaného modelu.

9.4 Identifikace balastních vod pomocí simulačního programu SWMM

9.4.1 Kalibrace parametrů jednotkového hydrogramu

Aby simulovaný odtok dešťové vody z povodí během srážkové události co nejvíce kopíroval změřený odtok při monitoringu, je potřeba nakalibrovat parametry jednotkového hydrogramu odtoku srážkových vod a parametry počátečních ztrát deště na povodí. Kalibrace je jednotně nastavena pro všechny měsíce v roce. Dále je jako vstupní hodnota výpočtu pro jednotlivá dílčí povodí potřebná plocha povodí v ha a jejich bezdeštný průtok, který byl spočítán jako průměrná hodnota v bezdeštném období.

$$Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,BULVÁR}} = 0,5585 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,OKRUŽNÍ}} = 0,5375 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,KOSTEL}} = 0,7426 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,LOUKA}} = 0,1346 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,ČOV}} = 0,1696 \text{ l/s}$$

K vyhodnocení hydrologických procesů byly použity totožné srážkové události, které byly použity na základní objemovou bilanci při monitoringu.

Vybrané srážkové události ke zhodnocení kalibrace modelu:

- 12.-13.7.2019
- 20.8.2019
- 6.6.2019
- 8.-9.9.2019

Vybrané srážkové události ke zhodnocení verifikace modelu:

- 10.6.2019
- 1.9.2019

V Tabulkách 26 až 30 jsou vypsány konkrétní hodnoty nakalibrovaných parametrů pro jednotlivá povodí, se kterými je dále počítáno a jsou tedy zadány do programu SWMM RDII.

Tabulka 26: Hodnoty parametrů jednotkového hydrogramu v programu SWWM RDII – profil Bulvár [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Profil Bulvár						
Parametry	jednotkový hydrogram			počáteční hloubky		
	R	T	K	D _{max}	D _{rec}	D ₀
Krátkodobé období	0,00600	0,2350	0,8950	2,72	2,00	0,00
Střednědobé období	0,00270	0,3470	0,7110	2,72	2,00	0,00
Dlouhodobé období	0,00130	0,5710	0,6670	2,72	2,00	0,00

Tabulka 27: Hodnoty parametrů jednotkového hydrogramu v programu SWWM RDII – profil Okružní [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Profil Okružní						
Parametry	jednotkový hydrogram			počáteční hloubky		
	R	T	K	D _{max}	D _{rec}	D ₀
Krátkodobé období	0,00185	0,0840	0,6500	1,79	2,00	0,00
Střednědobé období	0,00223	0,2710	0,4760	1,79	2,00	0,00
Dlouhodobé období	0,00240	0,3690	0,5610	1,79	2,00	0,00

Tabulka 28: Hodnoty parametrů jednotkového hydrogramu v programu SWWM RDII – profil Kostel [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Profil Kostel						
Parametry	jednotkový hydrogram			počáteční retence		
	R	T	K	D _{max}	D _{rec}	D ₀
Krátkodobé období	0,01030	0,0918	1,0000	1,67	2,00	0,00
Střednědobé období	0,00350	0,1632	0,0890	1,67	2,00	0,00
Dlouhodobé období	0,00150	0,3163	0,3163	1,67	2,00	0,00

Tabulka 29: Hodnoty parametrů jednotkového hydrogramu v programu SWWM RDII – profil Louka [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Profil Louka						
Parametry	jednotkový hydrogram			počáteční retence		
	R	T	K	D _{max}	D _{rec}	D ₀
Krátkodobé období	0,00100	0,3680	1,1810	2,05	2,00	0,00
Střednědobé období	0,00017	0,4150	0,4150	2,05	2,00	0,00
Dlouhodobé období	0,00310	2,1900	1,0200	2,05	2,00	0,00

Tabulka 30: Hodnoty parametrů jednotkového hydrogramu v programu SWMM RDII – profil ČOV [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Profil ČOV						
Parametry	jednotkový hydrogram			počáteční retence		
	R	T	K	D _{max}	D _{rec}	D ₀
Krátkodobé období	0,00040	5,1500	1,4200	1,96	2,00	0,00
Střednědobé období	0,00036	5,2100	1,3700	1,96	2,00	0,00
Dlouhodobé období	0,00024	5,3100	1,0300	1,96	2,00	0,00

Graficky bude znázorněn průběh odtokového hydrogramu v měrných profilech stokové sítě všech výše zmíněných srážkových událostí. Porovnán je změřený reálný průtok během monitoringu s výsledkem výpočtu simulačním modelem po kalibraci nebo verifikaci. Graficky znázorněny a podrobně popsány včetně zařazení do příslušné kategorie jsou všechny tyto srážkové události viz Příloha A1: Vyhodnocení hydrologických procesů během srážkové události.

Primárně je vyhodnoceno vizuální porovnání průtokových hydrogramů respektující tvar vzestupné a sestupné větve hydrogramů průtoků a srovnání maximálních hodnot mezi pozorovaným a simulovaným průtokem. Z části tedy parametru NSE. Dále objem, který je významný obzvlášť pro základní objemovou bilanci. Sekundárně je pak vyhodnocován časový posun mezi jednotlivými maximálními hodnotami průtokových hydrogramů.

Výsledné hodnoty maximálních průtoků v jednotlivých vlnách hydrogramů, celkový objem za stejný časový úsek a časový posun během srážkové události je vyhodnocen průměrnou hodnotou pro každý profil. Tímto způsobem je posouzen kalibrovaný a verifikovaný hydrologický model. Numerické vyhodnocení nakalibrovaného hydrologického modelu je popsáno v Tabulka 31.

VYHODNOCENÍ HYDROLOGICKÝCH MODELŮ – KALIBRACE

Tabulka 31: Numerické vyhodnocení kalibrace pro měrné profily – průměrné hodnoty [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

VYHODNOCENÍ KALIBRACE					
	Profil Bulvár	Profil Okružní	Profil Kostel	Profil Louka	Profil ČOV
V [%]	26,43	16,33	18,01	28,76	84,07
Qmax [%]	38,11	38,58	33,57	53,72	49,63
Δ Tmax [min]	78,00	66,25	310,50	405,33	415,75

Výsledky naměřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu stokové sítě se vizuálně moc neliší. Nutnost verifikace modelu po jeho kalibraci na nezávislé skupině dat je ale nezbytná. Numerické vyhodnocení verifikovaného hydrologického modelu je popsáno v Tabulka 32.

VYHODNOCENÍ HYDROLOGICKÝCH MODELŮ – VERIFIKACE

Tabulka 32: Numerické vyhodnocení verifikace pro měrné profily – průměrné hodnoty [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

VYHODNOCENÍ VERIFIKACE					
	Profil Bulvár	Profil Okružní	Profil Kostel	Profil Louka	Profil ČOV
V [%]	48,22	24,22	5,29	Bez dat	38,32
Qmax [%]	42,96	23,56	15,57	Bez dat	19,47
Δ Tmax [min]	6,50	102,50	144,00	Bez dat	114,00

V některých časových úsecích je v kalibračních a verifikačních bodech nižší shoda simulovaných a měřených průtokových křivek. Může to být způsobeno náhodnými okolnostmi, které bez jejich detailní znalosti modelem nelze postihnout. Jedná se např. o závady měření způsobené pohybem sedimentů v kanalizaci, o nárazové vypouštění většího množství odpadních vod apod. [54]

Důležitým parametrem při vyhodnocování hydrologických procesů je již zmíněný koeficient NSE, který je pro vybrané srážkové události spočítán a vypsán v Tabulka 33. Hodnoty označeny zelenou barvou dosahují skvělých výsledků a koeficient je větší než limitní hodnota +0,8. Žlutě zbarvené hodnoty dosahují horších výsledků a pohybují se v intervalu $<-1,0;+0,8>$. Červeně zbarveny jsou ty výsledky, jejichž výsledné hodnoty jsou několikanásobně odchyleny od limitní hodnoty kritéria.

Tabulka 33: Koeficient NSE pro vybrané srážkové události v jednotlivých měrných profilech [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

DATUM	NSE				
	BULVÁR	OKRUŽNÍ	KOSTEL	LOUKA	ČOV
6.6.2019	-0,217	0,981	0,994	-	0,877
10.6.2018	0,887	0,996	0,999	-	0,247
12.-13.7.2019	0,876	-1,714	-9,427	0,543	0,945
20.8.2019	0,851	0,879	0,997	-0,361	0,662
1.9.2019	0,813	0,892	0,901	-	0,999
8.-9.9.2019	-0,543	-11,026	-6,588	-	-17,897

Lepších výsledků z hlediska kalibrace a verifikace parametrů jednotkového hydrogramu posuzované simulačním programem SWMM RDII dosahují krátkodobé a intenzivní deště než dlouhodobé deště s menší intenzitou. To se projevilo i u koeficientu NSE, kdy delší srážky bylo mnohem těžší nakalibrovat jak z hlediska vizuálního, tak i maximálních hodnot průtoků. Proto je jejich hodnota mnohem více odchylena od limitní hodnoty kritéria a dosahuje mnohonásobně vyšších hodnot.

Celkově ale lze konstatovat, že kalibrace a verifikace simulačního modelu dosahuje dobré shody. Navržené parametry pro kalibraci a verifikaci téměř odpovídají realitě.

9.4.2 Základní objemová bilance

Základní objemová bilance je provedena totožným způsobem jako u monitoringu. Objem balastních vod včetně bezdeštného průtoku v oddílné splaškové kanalizaci na přítoku ČOV je roven součtu objemů na měrných profilech Bulvár, Okružní, Kostel, Louka a ČOV. V Tabulka 34 jsou zapsány výsledné hodnoty všech dopočítaných objemů.

Tabulka 34: Základní objemová bilance - model [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

BILANCE - MONITORING						
DATUM	ZVÝŠENÝ OBJEM					
	BULVÁR	OKRUŽNÍ	KOSTEL	LOUKA	ČOV	Odtok z ČOV
6.6.2019	13,82	24,63	9,89	4,25	7,32	59,91
10.6.2018	8,84	13,68	6,81	3,55	6,96	39,84
12.-13.7.2019	89,62	201,22	100,21	20,39	34,15	445,59
20.8.2019	68,69	80	43,08	8,22	26,23	226,22
1.9.2019	27,39	59,07	31,05	6,03	9,84	133,38
8.-9.9.2019	57,62	128,23	65,67	12,91	29,2	293,63

Ve všech zvolených událostech je zachovaná objemová bilance.

9.4.3 Vyhodnocení množství balastních vod

Bezdeštný průtok, který byl zadán jako vstupní veličina do simulačního programu, byl spočítán jako průměrná hodnota v bezdeštném období.

$$Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,BULVÁR}} = 0,5585 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,OKRUŽNÍ}} = 0,5375 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,KOSTEL}} = 0,7426 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,LOUKA}} = 0,1346 \text{ l/s}$$

$$\underline{Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,ČOV}} = 0,1696 \text{ l/s}}$$

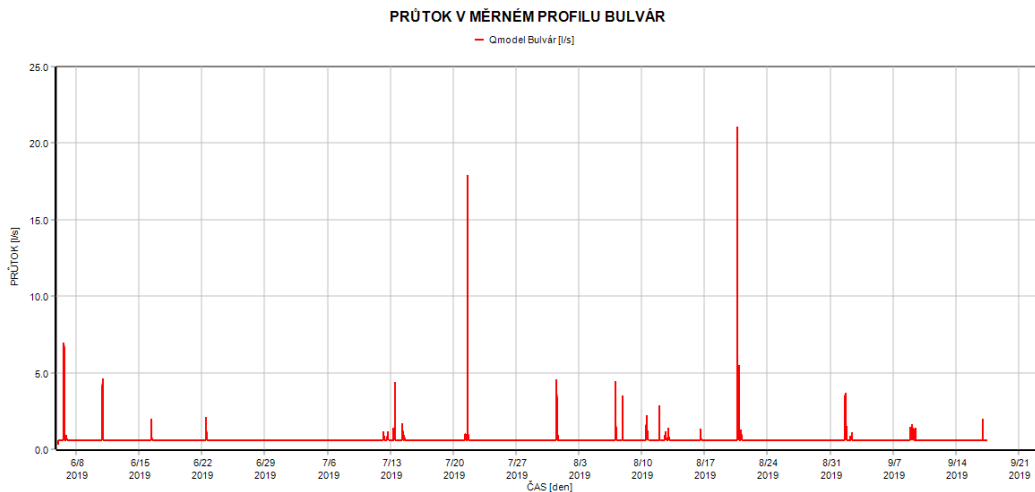
$$Q_{\text{BEZDEŠTNÝ,CELKOVÝ}} = \mathbf{2,1428 \text{ l/s}}$$

Tento průtok zahrnuje jak odpadní splaškové vody, tak infiltrovanou balastní vodu z okolního prostředí.

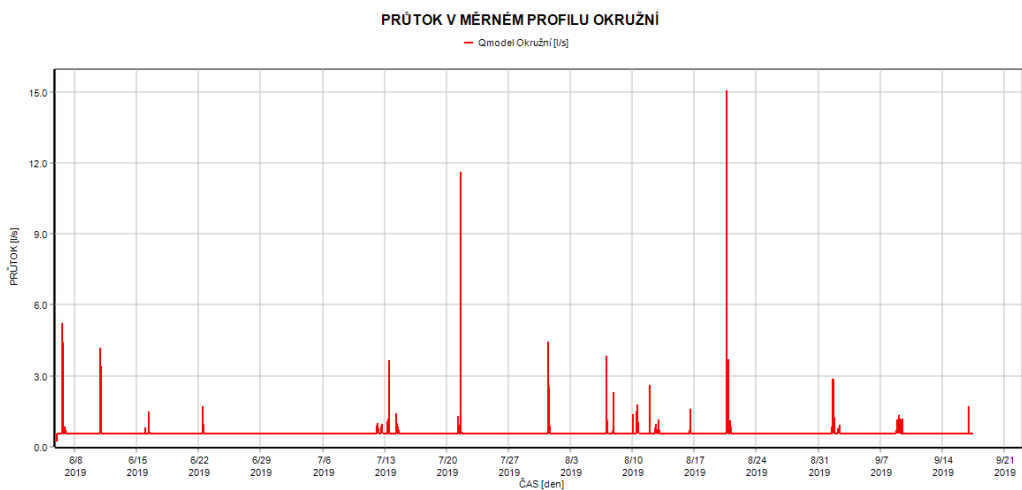
Denní spotřeba vody se v obci Trnová spočítá zjednodušeným výpočtem. Počet obyvatel v obci je 457 a průměrná denní spotřeba pitné vody na osobu je cca 110 l. Po vynásobení těchto hodnot se zjistilo, že spotřebovaný celkový denní objem pitné vody je 50 270 l, tj. 0,5818 l/s. Pro kontrolu dle kalkulace z roku 2018 pro obci Trnová byl celkový objem fakturované pitné vody 18 453 m³, tj. 0,5867 l/s a objem odpadní vody čištěné je 40 467 m³, tj. 1,2832 l/s [63]. S touto podloženou hodnotou se bude dále počítat a průměrný průtok odpadních splaškových vod je tedy **$Q_{\text{OV,SPLAŠ}} = 0,5867 \text{ l/s}$** .

Z toho následně vyplývá, že infiltrovaná voda z okolního prostředí v bezdeštném období vychází na **$Q_{\text{OV,INFIL}} = 1,5561 \text{ l/s}$** .

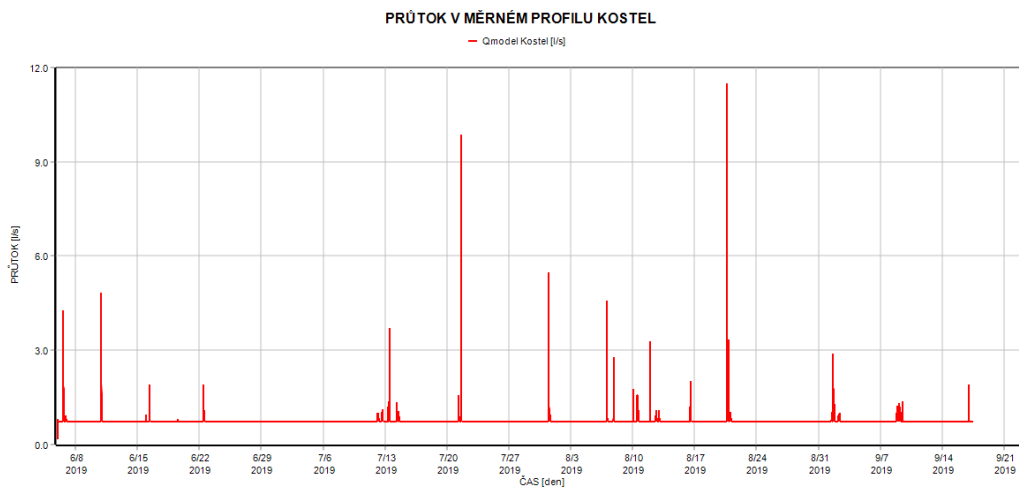
V následujících grafech (Graf 18 až Graf 22) je pomocí programu SWMM vykreslen simulovaný průtok v jednotlivých měrných profilech Bulvár, Okružní, Kostel, Louka a přítok na ČOV v době monitoringu za účelem zjištění zvýšeného objemu v době dešťových událostí. Zvýšený objem v dílčích povodí odpovídá objemu balastních vod, které se v době srážky dostaly do stokové sítě. A jejich součet následně odpovídá celkovému množství balastních vod. Tyto hodnoty jsou vypsány v Tabulka 35 za sledované období.



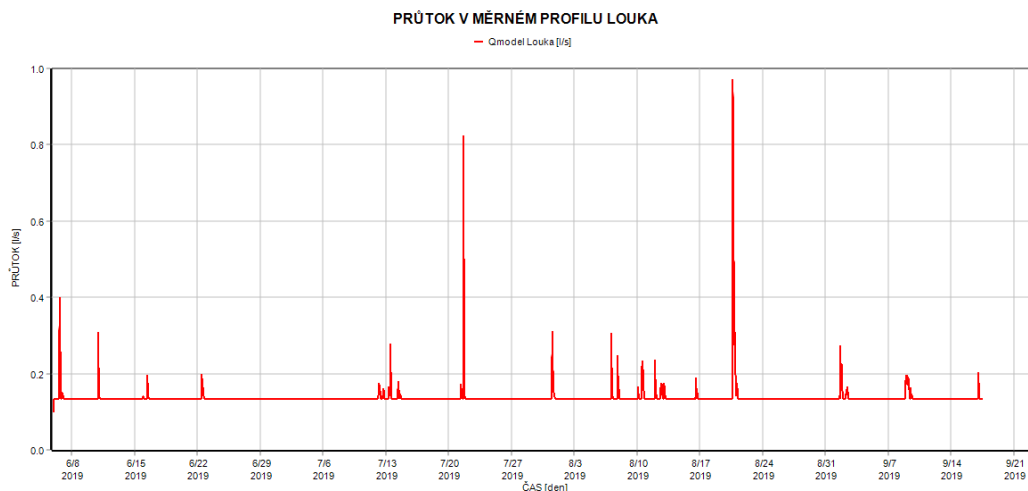
Graf 18: Simulovaný průtok v měrném profilu Bulvár v době monitoringu, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



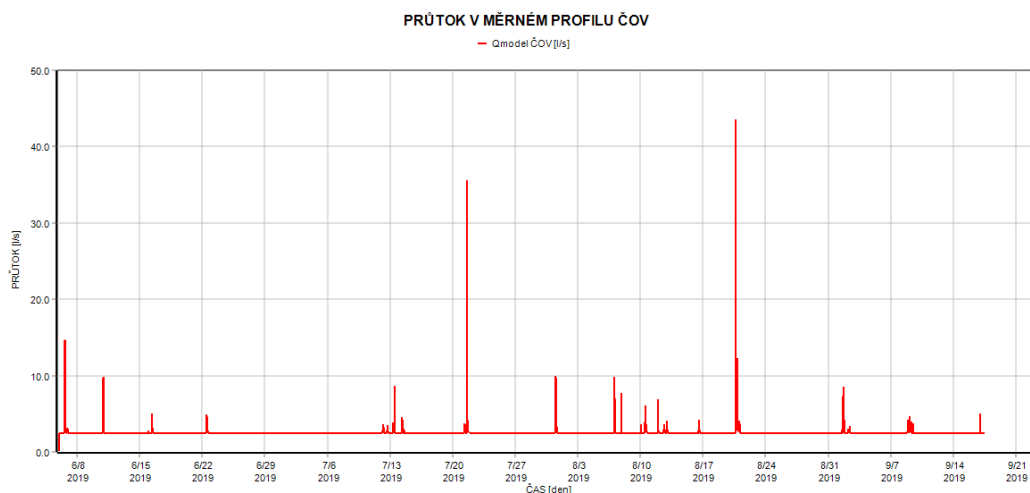
Graf 19: Simulovaný průtok v měrném profilu Okružní v době monitoringu, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



Graf 20: Simulovaný průtok v měrném profilu Kostel v době monitoringu, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



Graf 21: Simulovaný průtok v měrném profilu Louka v době monitoringu, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]



Graf 22: Simulovaný průtok v měrném profilu přítoku na ČOV v době monitoringu, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 35: Vyhodnocení balastních vod způsobené srážkou [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Povodí	$\Sigma V_{BVdeš}$ [m ³]	$\Sigma V_{BVdeš}$ [%]	A [ha]	L potrubí [m]	Nátok, průměr [m ³ /ha]	Nátok, průměr [m ³ /m]
Bulvár	170,01	37,75	14,95	1713	11,37	0,10
Okružní	131,96	29,30	16,00	1912	8,25	0,07
Kostel	78,25	17,38	3,84	257	20,38	0,30
Louka	32,1	7,13	5,34	390	6,01	0,08
ČOV	38	8,44	19,05	2064	1,99	0,02
Celkem	450,32	100,00	59,18	6336	48,00	0,57

Za celé období monitoringu přiteklo stokovou sítí na ČOV **V_{celk} = 19 612,40 m³**, skládající se z těchto dílčích objemů:

$$V_{OV,SPLAŠ} = 5\,246,83\,m^3$$

$$V_{OV,INFIL} = 13\,915,27\,m^3$$

$$V_{BV,DEŠ} = 450,32\,m^3$$

Celkový objem balastních vod během dešťových událostí včetně infiltrované vody z okolního prostředí v bezdeštném období odpovídá objemu:

$$V_{BV,CELK} = 14\,365,59\,m^3$$

Do stávající centrální ČOV tedy přitéká **Q_{celk} = 4903,10 m³/měs**, přestože je navržena na **Q_{max} = 3 491,8 m³/měs**.

Odtok vychází větší než oficiálně deklarovaný, což může být způsobeno vysokou nejistotou při určování nízkých průtoků (tj. bezdeštných, kdy tam bylo pár centimetrů vody). Pokud bychom vycházeli z oficiálních čísel, pak je možné bezdeštné balastní vody spočítat pomocí metody dlouhodobých bilancí. Objem balastních vod tedy vychází z rozdílu objemu vyčištěné odpadní vody na ČOV 40 467 m³ a fakturované vody 18 453 m³.

$$V_{BV} = 22\,014\,m^3, \text{ tj. } Q_{BV} = 0,6980\,l/s.$$

Lze tedy říci, že bezdeštné balastní vody jsou v rozmezí 0,6980 l/s (zjištěno dlouhodobou bilancí) až 1,5561 l/s (zjištěno měřením).

Dle výpočtů je prokázáno, že stoková síť a současně centrální ČOV v obci Trnová jsou zatíženy balastními vodami.

10. DISKUZE A ZÁVĚR

Průtoky v oddílné splaškové kanalizaci reagují na všechny srážkové události v měřených profilech a na odtoku z ČOV. Srážková voda je objemově nevýznamná, ale díky vysoké intenzitě odtoku může přetížít ČOV.

Objemově tvoří největší část balastních vod kontinuální infiltrace z okolního prostředí bez ohledu na srážkovou aktivitu. Přes poškozené části potrubí a netěsnosti v síti může infiltrovaná voda do kanalizace vniknout, takže stáří kanalizačního potrubí nebo použitý materiál hraje velkou roli.

Pomocí monitoringu bylo zjištěno, že dominantní byla během srážkové události většinou rychlá složka odtoku, která svědčí o přímém nátoku přes otvory poklopů a rámu šachet. Nekontrolovaně může docházet ke zvýšení hladiny podzemní vody špatným stavem místní komunikace z betonové zámkové dlažby. Vzniklými prohlubněmi a většími spárami mezi jednotlivými betonovými díly dochází k zadržování většímu množství srážkové vody vlivem povrchové retence a infiltrace. Primární je ale infiltrace srážkové vody dostávající se do půdy přes nezpevněné plochy, kterých je tam daleko více.

Poloha hladiny podzemní vody tedy může být další faktor. Ten ale pravděpodobně na rozdíl od událostí v loňském roce nebyl během monitoringu významný. Srážky s velkým úhrnem (nikoliv intenzitou), které trvaly několik dní způsobily zvýšený odtok a přetížily ČOV. Tento stav jsme bohužel během monitoringu nezaznamenali.

Pro úplné odstranění by bylo nutné síť zcela zrekonstruovat nebo provést sanaci kanalizačního potrubí. Pokud by se i relativně levnou sanací provedla oprava v povodí Kostel, kde je nejvyšší nátok vzhledem k velikosti povodí i délce sítě, tak se tím odstraní jen 17% balastů. Druhý nejvyšší nátok je z povodí Bulvár, kde by se opravou odstranilo 38% balastů. Plošné odstranění balastních vod je otázkou vysoké finanční náročnosti a změny hladiny podzemní vody. Proto je levnější a důležitější identifikovat a odstraňovat lokální zdroje balastních vod.

Navrhovala bych vybudovat před ČOV záchytnou nádrž, která by v době dešťové události zachytila zvýšený objem srážky. Hlavním účelem by tedy bylo zmírnění přívalové vlny splaškových vod zředěných vodami srážkovými, které jsou společně odváděny stokovou sítí. Na ČOV by tak přitékal regulovaný přítok, který by nepřekročil stanovenou hodnotu maximálního přítoku a nedocházelo by k zahlcení a přetížení navržené kapacity.

Simulační program SWMM RDII pracuje pouze se zpomaleným odtokem z infiltrované vody a nezohledňuje polohu hladiny podzemní vody. Proto bych ho nenavrhovala používat u takových úloh, kde je hladina podzemní vody pro simulaci a výpočet množství balastních vod zásadní. Vysoká nejistota je i při určování minimálních průtoků ve stokové síti v bezdeštném období. Nástroj RDII bych spíše doporučovala pro simulaci krátkodobých a intenzivnějších dešťů než dlouhodobých s menší intenzitou, protože z hlediska kalibrace a verifikace parametrů jednotkového hydrogramu dosahují lepších výsledků.

11. LITERATURA

- [1] Wayback Machine [online]. ©2018 [cit. 26.12.2019]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20130709194123/http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/geologie/skripta/PODVODA.htm>
- [2] Kabelková, Ivana. *Základy matematického modelování a simulování, Vodní hodpodářství obcí 4* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, 2018 [cit. 2019-12-27] Dostupné z: http://kzei.fsv.cvut.cz/pdf/VHO4_Modelovani%20a%20simulace.pdf.
- [3] MELIORIS, Ladislav, Igor MUCHA a Pavel. POSPÍŠIL. *Podzemná voda - metody výskumu a prieskumu*. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1988. Edícia baníckej literatúry.
- [4] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 3. přeprac. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. 568 s. ISBN 80-03-00525-62
- [5] *Metodická příručka zneškodňování odpadních vod* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí. © 2008 [cit. 27.12.2019]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/0989B086A5D140A7C1257589003ACE6/\\$file/Metodicka%20prirucka_zneskodnovani%20odpadnich%20vod.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/0989B086A5D140A7C1257589003ACE6/$file/Metodicka%20prirucka_zneskodnovani%20odpadnich%20vod.pdf)
- [6] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA: *TNV 75 9011, Hospodaření se srážkovými vodami*. 2013.
- [7] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA: *ČSN 75 6101, Stokové sítě a kanalizační přípojky*. 2012.
- [8] NYPL, Vladimír a Marcela SYNÁČKOVÁ. *Zdravotně inženýrské stavby 30: stokování*. Praha: České vysoké učení technické, 1998. ISBN 80-01-01729-x.
- [9] HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX. *Stokování a čištění odpadních vod*. Brno: CERM, 2003. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2535-0

- [10] ČÍŽEK, Pavel. *Hydrologie stokových sítí*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1953.
- [11] VÍTEK, Jiří, David STRÁNSKÝ, Ivana KABELKOVÁ, Vojtěch BAREŠ a Radim VÍTEK. *Hospodaření s dešťovou vodou v ČR*. Vydání první. Praha: 01/71 ZO ČSOP Konikleč, 2015. ISBN 978-80-260-7815-9.
- [12] Odvádění dešťových vod – Poradme.se. [online]. Dostupné z: http://poradme.se/index.php/Odv%C3%A1d%C4%9Bn%C3%AD_de%C5%A1%C5%A5ov%C3%BDch_vod
- [13] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA: ČSN 75 0161, *Vodní hospodářství - Terminologie v inženýrství odpadních vod*. 2008.
- [14] ČESKÁ TECHNICKÁ NORMA: ČSN 75 6401, *Čistírny odpadních vod pro ekvivaletní počet obyvatel (EO) větší než 500*. 2014.
- [15] BARTUŠKOVÁ, Kateřina. *Snížení odváděného množství splaškových a balastních vod ve městě Planá nad Lužnicí*, Praha copyright © 2018 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz › F1-DP-2018-Bartuskova-Katerina-Diplomova-prace>
- [16] NARIN, T., H.D. TRAN a N. MUTTIL. Modelling Impact of Extreme Rainfall on Sanitary Sewer System by Predicting Rainfall Derived Infiltration/Inflow. In: 20th International Congress on Modelling and Simulation [online]. [cit. 2019-18-12]. Dostupné z: <http://www.mssanz.org.au/modsim2013/L12/nasrin.pdf>
- [17] VALLABHANENI¹, Srinivas, Fu-hsiung LAI, Carl CHAN, Edward H. BURGESS a Richard FIELD. SSOAP – A USEPA Toolbox for Sanitary Sewer Overflow Analysis and Control Planning [online]. [cit. 2019-18-12]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjy6-3K6dXmAhhVELFAKHcF4BTEQFjAAegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fcfpub.epa.gov%2Fsi%2Fsi_public_file_download.cfm%3Fp_download_id%3D465841&usq=AOvVaw0guF6QaEXUW-zfQW0ZHpWT

- [18] *Global water: Inflow and infiltration* [online]. 2013 [cit. 2019-12-11]. Dostupné z: <http://www.globalw.com/support/inflow.html>.
- [19] PARS Aqua, s.r.o., *Odborný článek o měření průtoku* [online]. © 2004 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <http://www.pars-aqua.cz/clanek13.html>
- [20] PŘF:G7401 Metody hydrogeologického výzkumu. *Informační systém* [online]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2009/G7401/>
- [21] Měření průtoku ultrazvukem, Abflussmessung Quantum Hydrometrie Durchflussmessgeraete Durchflussmessung mit Ultraschall. *Abflussmessung Quantum Hydrometrie Durchflussmessgeraete Durchflussmessung mit Ultraschall* [online]. Copyright © 2001 [cit. 27.12.2019]. Dostupné z: https://www.quantum-hydrometrie.de/mereni_prutoku_ultrazvukem_cz
- [22] Černý, Tomáš. *Model intercepce dešťových srážek smrkového porostu na Šumavě*. Praha copyright © 2016 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=2ahUKEwiNva_u8tXmAUEfFAKHfB_CB4QFjACegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fcore.ac.uk%2Fdownload%2Fpdf%2F47185442.pdf&usq=AOvVaw3oMQ5zdkGF_9Momd-XvGtP
- [23] KREJČÍ, Vladimír. *Odvodnění urbanizovaných území: koncepční přístup*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000, 2002, 562s. ISBN 80-860-2039-8
- [24] Vrána, Jakub. *Nová norma ČSN 75 9010 pro návrh, výstavbu a provoz vsakovacích zařízení srážkových vod*. Tzb-info [online]. Brno copyright © 2011 [cit. 10.11.2019]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/7314-nova-norma-csn-75-9010-pro-navrh-vystavbu-a-provoz-vsakovacich-zarizeni-srazkovych-vod>
- [25] Nicoll Česká republika, s. r. o. [online]. *Návrh vsakovacího zařízení srážkových vod dle ČSN 75 9010*, copyright © 2019 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.nicoll.cz/produkty/destova-voda/vsakovani-a-retence/dimenzovani-vsakovaciho-zarizeni.html>

- [26] MONTEITH, J.L. and UNSWORTH, M.H. Principles of Environmental Physics. London: Edward Arnold, 1990. 2nd ed., p. 291.
- [27] KOHUT, M., ROŽNOVSKÝ, J., KNOZOVÁ, G. a BRZEZINA, J. *Měření výparu z vodní hladiny automatizovaným výparoměrem EWM v České republice*. Práce a studie. Praha, 2016
- [28] ROŽNOSKÝ, Jaroslav, CHUCHMA, Filip, FIALA, Rostislav, KOHOUT, Mojmír, *Vodohospodářská konference Vodní nádrže*, Brno: Povodí Moravy, 2017. ISBN 978-80-905368-5-2. In: *vtei.cz* [online]. 11.06.2018 [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: <https://www.vtei.cz/2018/06/vlahova-bilance-ukazatel-vody-v-krajine/>
- [29] NETOPIIL, Rostislav. Hydrologie pevnin. Praha: Academia, 1972, 294s.
- [30] Počet obyvatel v obcích - k 1.1.2019 | ČSÚ. Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-za0wri436p>
- [31] *Trnová (okres Praha-západ)*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-11-25]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Trnov%C3%A1_\(okres_Praha-z%C3%A1pad\)#Doprava](https://cs.wikipedia.org/wiki/Trnov%C3%A1_(okres_Praha-z%C3%A1pad)#Doprava)
- [32] Historie - Oficiální stránky obce Trnová. *Obec - Oficiální stránky obce Trnová* [online]. Copyright © 2019 [cit. 27.12.2019]. Dostupné z: <http://www.obectrnova.cz/obec-1/informace-o-obci/historie/>
- [33] *Ústřední seznam kulturních památek České republiky* [online]. Praha: Národní památkový ústav ©2015 [cit. 2019-11-27]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/uskp/>
- [34] Květoň, V., Voženílek, V.(2011): Klimatické oblasti Česka: klasifikace podle Quitta. Olomouc, Univerzita Palackého v Olomouci, 20s.978-80-244-2813-0

- [35] HERBER, Vladimír. *Fyzická geografie České republiky* [online]. Klimatické poměry České republiky, Brno, ©2010. [Cit. 20.11.2019]. Dostupné z: http://www.herber.kvalitne.cz/FG_CR/klima.html#C5
- [36] *Klimatické oblasti Česka: klasifikace podle Quitta za období 1961-2000 = Climatic regions of the Czech Republic : Quitt's classification during years 1961-2000*. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2011. M.A.P.S. (Maps and Atlas Product Series). ISBN 978-80-86690-89-6.
- [37] Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Územní srážky. *Portál ČHMÚ : Home* [online]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky#>
- [38] Geologie, Geologická mapa 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- [39] Půdy, Půdní mapa 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/pudy/>
- [40] Vrtná prozkoumanost, Geologická mapa 1 : 50 000 [online]. Praha: Česká geologická služba [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: https://mapy.geology.cz/vrtna_prozkoumanost/
- [41] *Obec - Oficiální stránky obce Trnová* [online]. Dostupné z: <http://www.obectrnova.cz/obec-1/uzemni-plan/>
- [42] [Rekonstrukce a intenzifikace ČOV Trnová na 1700 EO. Černošice - Černošice](#) [online]. Copyright © 2008 [cit. 19.11.2019]. Dostupné z: https://www.mestocernosice.cz/e_download.php?file=data/uredni_deska/obsah4524_1.doc&original=21579_10_R_SP%2B%C2%A78_COV_1700EO.doc
- [43] Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Měsíční data. *Portál ČHMÚ : Home* [online]. [cit.2019-10-05] Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data>

- [44] Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Územní srážky. *Portál ČHMÚ : Home* [online]. [cit. 2019-10-05]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-srazky>
- [45] Srážkoměr SR03 500cm² | FIEDLER. *Homepage | FIEDLER | Electronics for ecology* [online]. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://www.fiedler-magr.cz/cs/produkty/snimace-meteorolog-velicin/destove-srazky/srazkomer-sr03>
- [46] M4016-G Univerzální řídicí jednotka, průtokoměr | FIEDLER. *Homepage | FIEDLER | Electronics for ecology* [online]. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://www.fiedler.company/cs/produkty/ridici-jednotky-m4016/m4016-g-univerzalni-ridici-jednotka-prutokomer>
- [47] Ultrazvukové hladinoměry US1200, US3200 a US4200 | FIEDLER. *Homepage | FIEDLER | Electronics for ecology* [online]. [cit. 2019-11-30]. Dostupné z: <https://www.fiedler.company/cs/produkty/hladinomery/snimace-vysky-hladiny/us1200-3000>
- [48] *Základy hydrodynamiky*, Hydraulika [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra hydrauliky a hydrologie, 2008 [cit. 2019-10-27] Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiE26_3uNbmAhWQPFAKHZrnCSgQFjAAegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Fhydraulika.fsv.cvut.cz%2FHydraulika%2FHydraulika%2FPredmety%2FHya%2Fke_stazeni%2Fprednasky%2F03_zaklady_hydrodynamiky.pdf&usq=AOvVaw3ELFhVWe7bIH-MeCpNZmWH
- [49] Mattas, Daniel. Výpočet průtoku v otevřených korytech. *Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka* [online]. Praha, © 2014. [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiko_LTs9bmAhXOLIAKHfTuCR8QFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fwww.vuv.cz%2Ffiles%2Fpdf%2F

[2Fedicni_cinnost%2Fpublikace%2Fmattas_vypocet_prutoku.pdf&usg=AOvVaw0eywISUHPTJX9cGnXW65hs](#)

- [50] Oprava vozovky – obecn – album na Rajčeti. *obecn – seznam alb na Rajčeti* [online]. [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: https://obecn.rajce.idnes.cz/Oprava_vozovky/
- [51] Rekonstrukce vozovky-2014 – obecn – album na Rajčeti. *obecn – seznam alb na Rajčeti* [online]. [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: https://obecn.rajce.idnes.cz/rekonstrukce_vozovky-2014/
- [52] Storm Water Management Model (SWMM) | Water Research | US EPA. *United States Environmental Protection Agency | US EPA* [online]. [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- [53] Holeš, Petr. *Renovace stokového systému*. Brno copyright © 2014 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:JxVcJwoUW9UJ:https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php%3Ffile_id%3D80365+%&cd=6&hl=cs&ct=clnk&gl=cz&client=firefox-b-d
- [54] Koncepce vodního hospodářství města Olomouc (2014). In: *Databáze Strategii - home | Databáze strategií - portál pro strategické řízení* [online]. 2016 [cit. 21.12.2019]. Dostupné z: <https://www.databaze-strategie.cz/cz/olomouc/strategie/koncepce-vodniho-hospodarstvi-mesta-olomouc>
- [55] SUCHÁNEK, Milan, Karel PRYL a Ivana KABELKOVÁ. Základní přístupy k monitoringu městského odvodnění. *Hydrosphere: Optimalizace návrhu a provozu stokových sítí a ČOV*. Břeclav, 2006, **VII ročník konference**, 6. [online]. Copyright © DHI [cit. 28.12.2019]. Dostupné z: https://worldwide.dhigroup.com > references > clanky > clanek_monitoring
- [56] MATOUŠEK, V. *Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů*. Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G.

Masaryka, 2010.

- [57] *Geologická mapa 1 : 50 000*. In: *Geovědní mapy 1 : 50 000 [online]*. Praha: Česká geologická služba [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://mapy.geology.cz/geocr50/>
- [58] VAK Beroun. *VAK Beroun [online]*. Copyright © 2019 Vodovody a kanalizace [cit. 28.12.2019]. Dostupné z: <https://www.vakberoun.cz/>
- [59] AUTOR NEUVEDEN. *portal.chmi.cz [online]*. [cit. 28.12.2019]. Dostupný z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data>
- [60] *Srážky na území ČR [online]*, 2007. Praha: Český hydrometeorologický ústav [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/main_rain.php
- [61] KREJČÍ, Jan. *Návrh srážkoměr ERGS 2500*. Praha copyright © 2019 [cit. 29.12.2019]. Dostupné z: https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73448/F2-BP-2017-Krejci-Jan-BAKALARSKA-PRACE_Krejci.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [62] Tomáš Vlasák a Jan Daňhelka. Vyhodnocení úspěšnosti hydrologických předpovědí povodní v letech 2002 – 2019. Článek pro Meteorologické zprávy doplněný na základě aktualizace výsledků vyhodncení pro roky 2011 až 2019. In: *Český hydrometeorologický ústav*. Praha [online]. Březen 2019 [cit. 12.12.2019]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/vyhodnoceni.html>
- [63] Úřední deska - POROVNÁNÍ POLOŽEK VÝPOČTU CENY DLE CEN.PŘEDPISŮ PRO VODNÉ A STOČNÉ - Oficiální stránky obce Trnová. *Obec - Oficiální stránky obce Trnová [online]*. Copyright © 2020 [cit. 05.01.2020]. Dostupné z: <http://www.obectrnova.cz/obecni-urad/uredni-deska/porovnani-polozek-vypoctu-ceny-dle-cenpredpisu-pro-vodne-a-stocne-303.html?ftresult=vodn%C3%A9>

12. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma jednotné stokové soustavy; 1 – ČOV, 2 – Výpusť vyčištěné odpadní vody, 3 – Výpusť odlehčovací stoky, 4 – Odlehčovací komora, 5 – Kmenová stoka [9]

Obrázek 2: Schéma oddílné stokové soustavy; 1 – ČOV, 2 – výpusť vyčištěné odpadní vody, 3 – výpusť dešťových odpadních vod, 4 – kmenová stoka (___ stoky městských odpadních vod, _ _ _ _ stoky dešťové) [9]

Obrázek 3: Tři složky toku odpadní vody během srážkové události [17]

Obrázek 4: Povrchový odtok v době srážkové události [9]

Obrázek 5: Poloha obce Trnová [57]

Obrázek 6: Výřez z geologické mapy obce Trnová [38]

Obrázek 7: Výřez z půdní mapy obce Trnová [39]

Obrázek 8: Výřez z geologické mapy, vrtná prozkoumanost [40]

Obrázek 9: Stávající kanalizační systém v obci Trnová [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Obrázek 10: Problematika na ČOV v době dešťové události 1 [58]

Obrázek 11: Problematika na ČOV v době dešťové události 2 [58]

Obrázek 12: Problematika na ČOV v době dešťové události 3 [58]

Obrázek 13: Situace obce Trnová [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Obrázek 14: Místní komunikace z betonové dlažby [50]

Obrázek 15: Místní komunikace z asfaltového povrchu [51]

Obrázek 16: Poloha obce Trnová z hlediska umístění klimatologických stanic ČHMÚ [59]

Obrázek 17: Pohled na srážkoměr včetně stojanu a základové betonové dlaždice [45]

Obrázek 18: Pohled na vnitřní mechanismus srážkoměru [45]

Obrázek 19: Řídící jednotka FIEDLER [46]

Obrázek 20: Grafická vizualizace změřených dat na serveru [46]

Obrázek 21: Ultrazvukový snímač výšky hladiny US1200 FIEDLER [47]

Obrázek 22: Držák pro ultrazvukový snímač hladiny [47]

Obrázek 23: Schématické znázornění výpočtu sklonu potrubí [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Obrázek 24: Jednotkový hydrogram SWMM RDII [52]

Obrázek 25: Parametry RTK a součet tří jednotkových hydrogramů [17]

Obrázek 26: Situace zájmového území rozdělena na dílčí povodí, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

13. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rozdíl mezi DSO a CSO [11]

Tabulka 2: Rozdělení zdrojů balastních vod [8]

Tabulka 3: Návrhové hodnoty množství balastních vod ve stokových sítích [8]

Tabulka 4: Hodnoty parametru CB – kapacity intercepce dle druhu povrchu [22]

Tabulka 5: Hodnoty koeficientu vsaku dle druhu zeminy [25]

Tabulka 6: Hodnoty parametru CM – kapacita povrchové retence dle druhu povrchu [23]

Tabulka 7: Průměrné roční úhrny srážek pro Prahu a Středočeský kraj [37]

Tabulka 8: Charakteristické údaje jednotlivých hydrogeologických vrtů [40]

Tabulka 9: Hodnoty součinitele odtoku ψ [52]

Tabulka 10: Měsíční úhrny srážek pro klimatologické stanice Praha, Ruzyně a Praha, Karlov [44]

Tabulka 11: Hodnoty součinitele drsnosti n podle Chowa [49]

Tabulka 12: Porovnání hodnot hydraulických drsností [9]

Tabulka 13: Kategorie při vyhodnocení výsledné hodnoty [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 14: Charakteristika povrchu dílčího povodí Bulvár [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 15: Charakteristika povrchu dílčího povodí Okružní [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 16: Charakteristika povrchu dílčího povodí Kostel [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 17: Charakteristika povrchu dílčího povodí Louka [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 18: Charakteristika povrchu dílčího povodí ČOV [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 19: Denní srážkové úhrny [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 20: Vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci během dešťové události v profilu Bulvár [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 21: Vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci během dešťové události v profilu Okružní [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 22: Vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci během dešťové události v profilu Kostel [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 23: Vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové soustavě během dešťové kanalizaci v profilu Louka [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 24: Vyhodnocení balastních vod v oddílné splaškové kanalizaci během dešťové události v profilu ČOV [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 25: Základní objemová bilance - monitoring [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 26: Hodnoty parametrů jednotkového hydrogramu v programu SWWM RDII – profil Bulvár [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 27: Hodnoty parametrů jednotkového hydrogramu v programu SWWM RDII – profil Okružní [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 28: Hodnoty parametrů jednotkového hydrogramu v programu SWWM RDII – profil Kostel [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 29: Hodnoty parametrů jednotkového hydrogramu v programu SWWM RDII – profil Louka [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 30: Hodnoty parametrů jednotkového hydrogramu v programu SWWM RDII – profil ČOV [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 31: Numerické vyhodnocení kalibrace pro měrné profily – průměrné hodnoty [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 32: Numerické vyhodnocení verifikace pro měrné profily – průměrné hodnoty [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 33: Koeficient NSE pro vybrané srážkové události v jednotlivých měrných profilech [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 34: Základní objemová bilance - model [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Tabulka 35: Vyhodnocení balastních vod způsobené srážkou [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

14. SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Zvýšený odtok ve stokové síti za dešťové události [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 2: Grafické znázornění průměrných ročních úhrnů srážek pro Prahu a Středočeský kraj [37]

Graf 3: Grafické znázornění měsíčních úhrnů srážek pro klimatologické stanice Praha, Ruzyně a Praha, Karlov [44]

Graf 4: Denní srážkové úhrny [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 5: Kumulativní srážkový úhrn v době monitoringu [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 6: Vyhodnocení balastních vod v měrném profilu Bulvár během srážkové události dne 6.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 7: Vyhodnocení balastních vod v měrném profilu Okružní během srážkové události dne 6.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 8: Vyhodnocení balastních vod v měrném profilu Kostel během srážkové události dne 6.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 9: Vyhodnocení balastních vod v měrném profilu ČOV během srážkové události dne 6.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 10: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 6.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 11: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 10.6.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 12: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 12.7.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 13: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 13.7.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 14: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 20.8.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 15: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 1.9.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 16: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 8.9.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 17: Průtoky v měrných profilech během srážkové události 9.9.2019 [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 18: Simulovaný průtok v měrném profilu Bulvár v době monitoringu, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 19: Simulovaný průtok v měrném profilu Okružní v době monitoringu, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 20: Simulovaný průtok v měrném profilu Kostel v době monitoringu, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 21: Simulovaný průtok v měrném profilu Louka v době monitoringu, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

Graf 22: Simulovaný průtok v měrném profilu ČOV v době monitoringu, výstup z programu SWMM [Zdroj: Vlastní tvorba autora]

15. SEZNAM POUŽITÝCH VZORCŮ

Metoda minimálních nočních průtoků

- (1) Celkový průtok balastních vod

Metoda časové změny hmotnostního toku specifických polutantů

- (2) Průtok odpadních vod pomocí bilanční rovnice
- (3) Celkový průtok balastních vod
- (4) Směšovací rovnice
- (5) Průtok odpadních vod vyjádřený pomocí koncentrace

Metoda dlouhodobých bilancí

- (6) Průtok balastních vod

Monitoring odtoku během dešťového období

- (7) Objem balastních vod

Výpočet povrchového odtoku

- (8) Odtok dešťových odpadních vod pro i-tý úsek sítě
- (9) Jednotný koeficient odtoku
- (10) Plocha zvolené ucelené části uvažované oblasti

Intenzita deště

- (11) Intenzity deště podle úhrnu
- (12) Převod intenzity z mm/min na l/s.ha

Hydraulika stokové sítě

- (13) Chézyho rovnice
- (14) Hydraulický poloměr
- (15) Chézyho rychlostní součinitel dle Manninga

Kritéria při vyhodnocení hydrologických procesů

- (16) Parametr NSE

16. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ČOV – čistírna odpadních vod

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČSN – Česká technická norma

ČR – Česká republika

DN – vnitřní průměr potrubí udaný v milimetrech

EO – ekvivalentní obyvatel

OK – odlehčovací komora

SWMM – Stormwater Management Model

TNV – Technická norma vodního hospodářství

ÚÚR – Ústav územního rozvoje

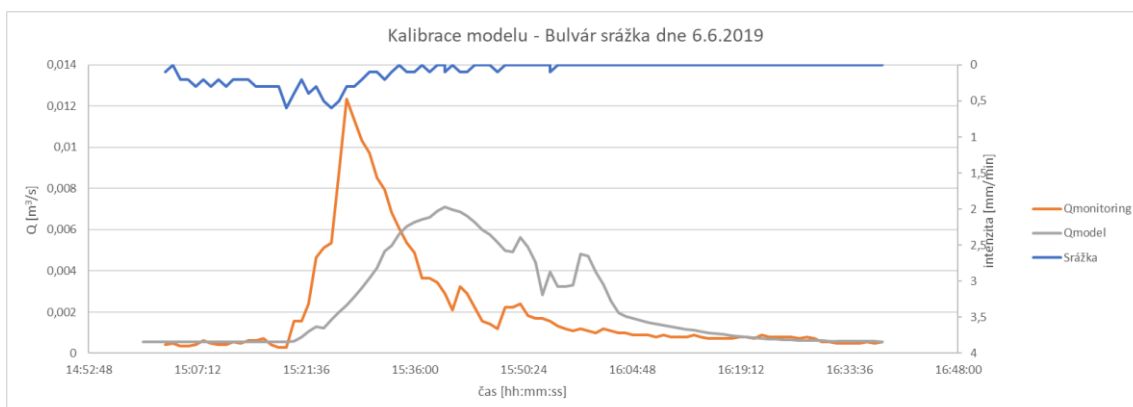
17. SEZNAM PŘÍLOH

17.1 A1: Vyhodnocení hydrologických procesů během srážkové události

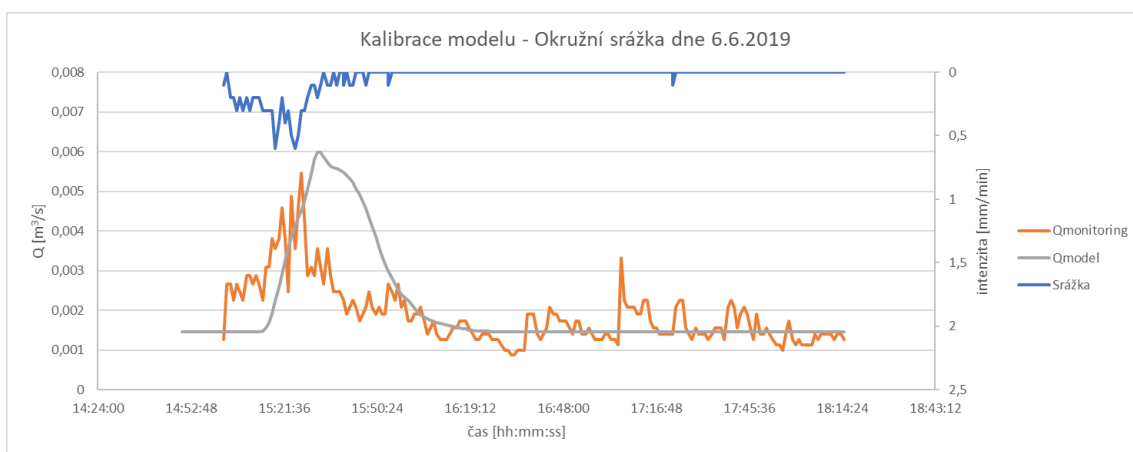
17.1 A1: Vyhodnocení hydrologických procesů během srážkové události

VYHODNOCENÍ HYDROLOGICKÝCH MODELŮ - KALIBRACE

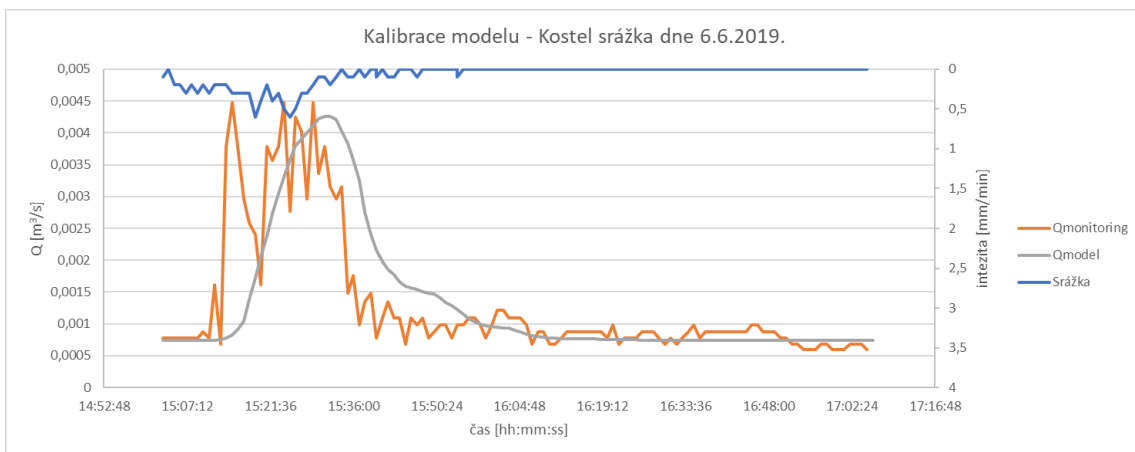
DEŠŤOVÁ UDÁLOST 6.6.2019



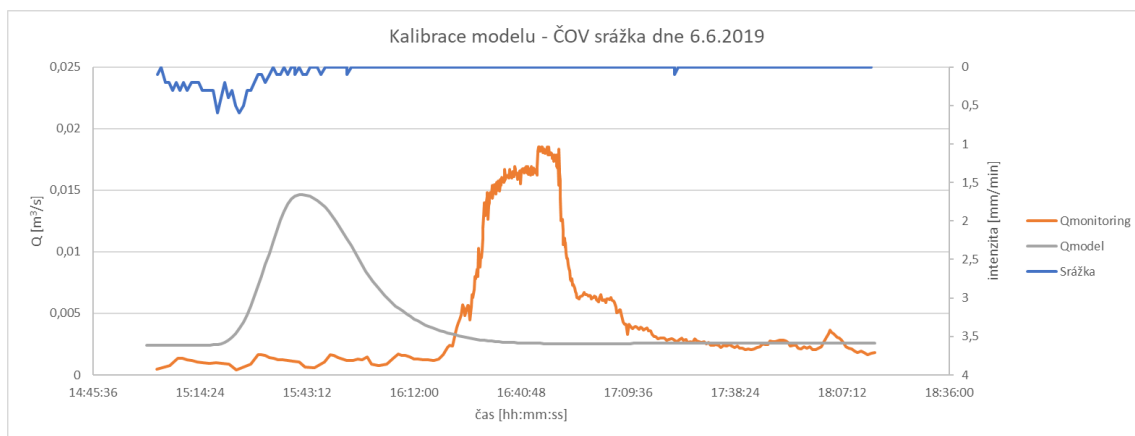
Profil Bulvár					
6.6.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m ³]	11,86	13,82	16,52	0 ≤ 25	
Qmax [m ³ /s]	0,0123	0,0071	42,57	≥ 40	
Δ Tmax [min]	25	41	16	10 < 20	



Profil Okružní					
6.6.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m ³]	22,02	24,63	11,85	0 ≤ 25	
Qmax [m ³ /s]	0,0055	0,0060	9,80	0 ≤ 20	
Δ Tmax [min]	25	33	8	0 ≤ 10	

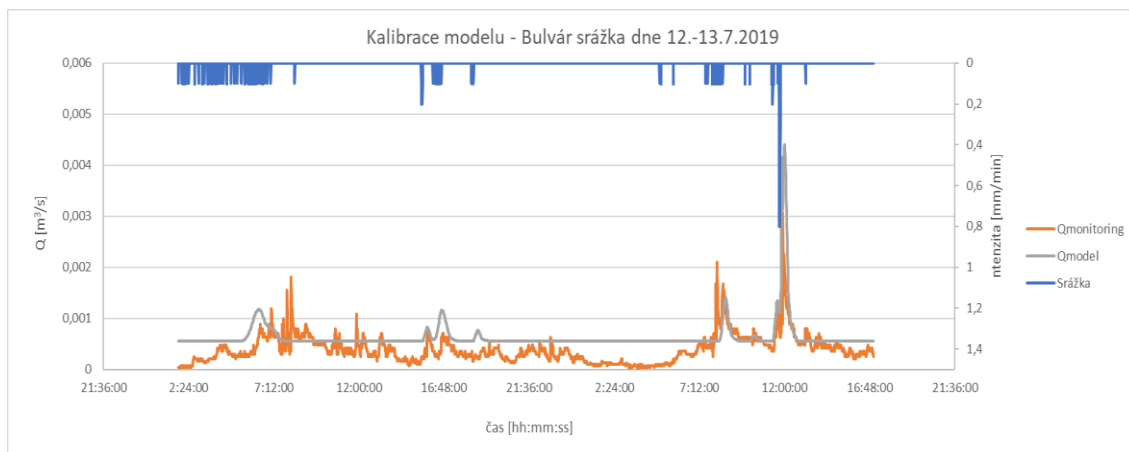


Profil Kostel					
6.6.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	9,75	9,89	1,52	0 ≤ 25	
Qmax [m3/s]	0,0045	0,0043	4,82	0 ≤ 20	
Δ Tmax [min]	20	29	9	0 ≤ 10	

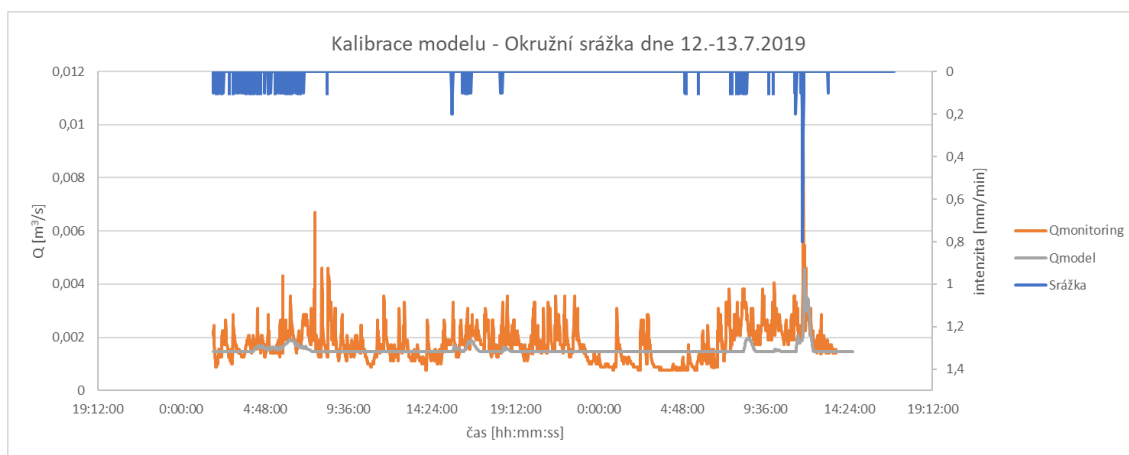


Profil ČOV					
6.6.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	46,40	112,65	142,79	≥ 50	
Qmax [m3/s]	0,0185	0,0146	20,95	20 < 40	
Δ Tmax [min]	223	43	180	≥ 20	

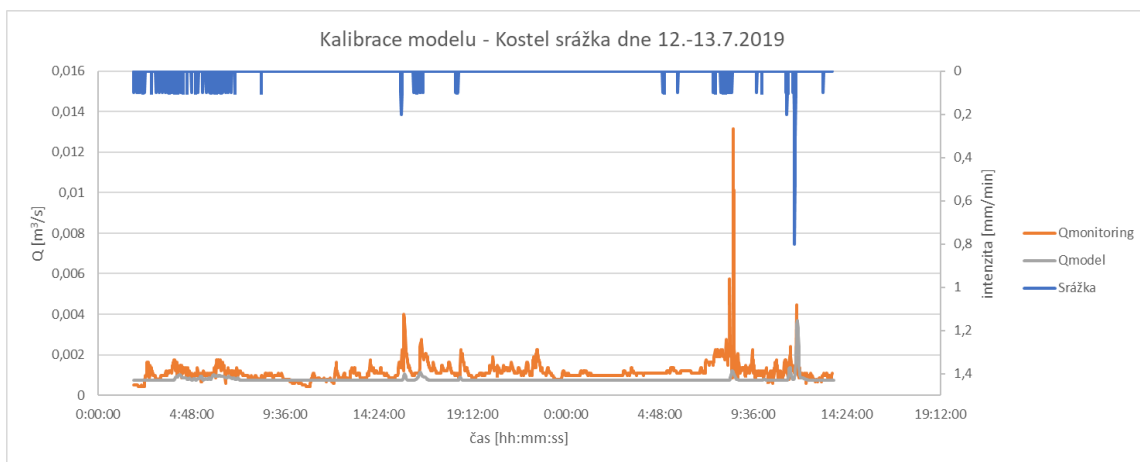
DEŠŤOVÁ UDÁLOST 12.-13.7.2019



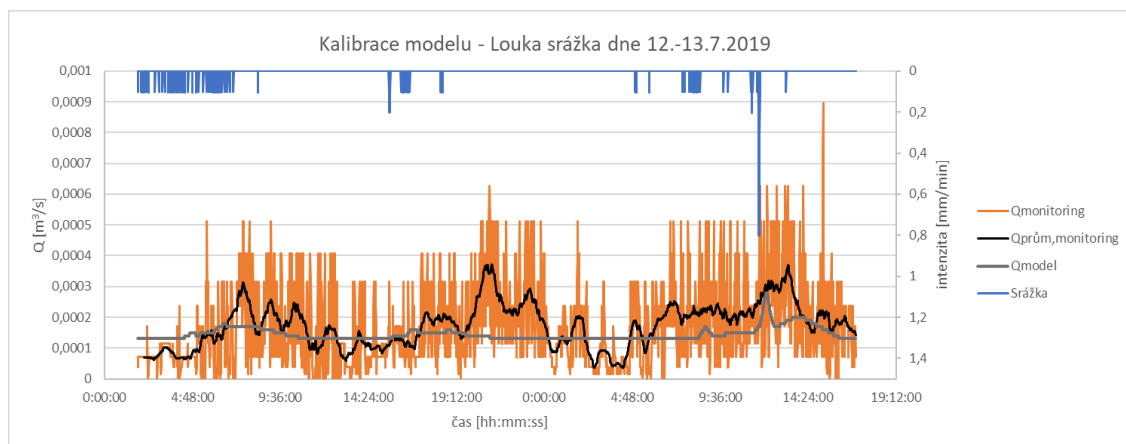
Profil Bulvár					
12.-13.7.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	55,26	89,62	62,18	≥ 50	
Qmax [m3/s]	0,0031	0,0044	43,15	≥ 40	
ΔT_{max} [min]	2046	2051	5	$0 \leq 10$	



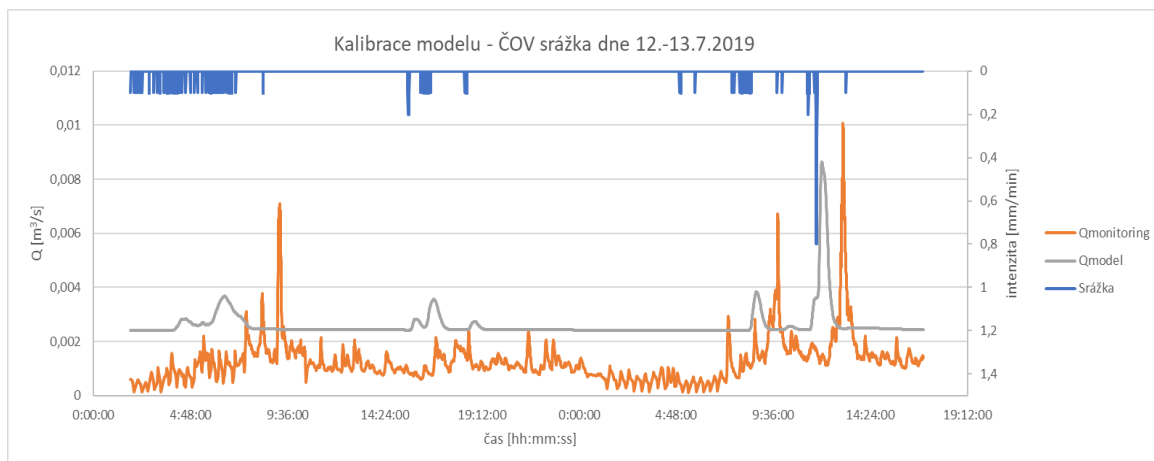
Profil Okružní					
12.-13.7.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	226,40	201,22	11,12	$0 \leq 25$	
Qmax [m3/s]	0,0096	0,0046	52,40	≥ 40	
ΔT_{max} [min]	2037	2042	5	$0 \leq 10$	



Profil Kostel					
12.-13.7.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	148,78	100,21	32,64	25 < 50	
Qmax [m3/s]	0,0131	0,0037	71,86	≥ 40	
Δ Tmax [min]	1846	2043	197	≥ 20	

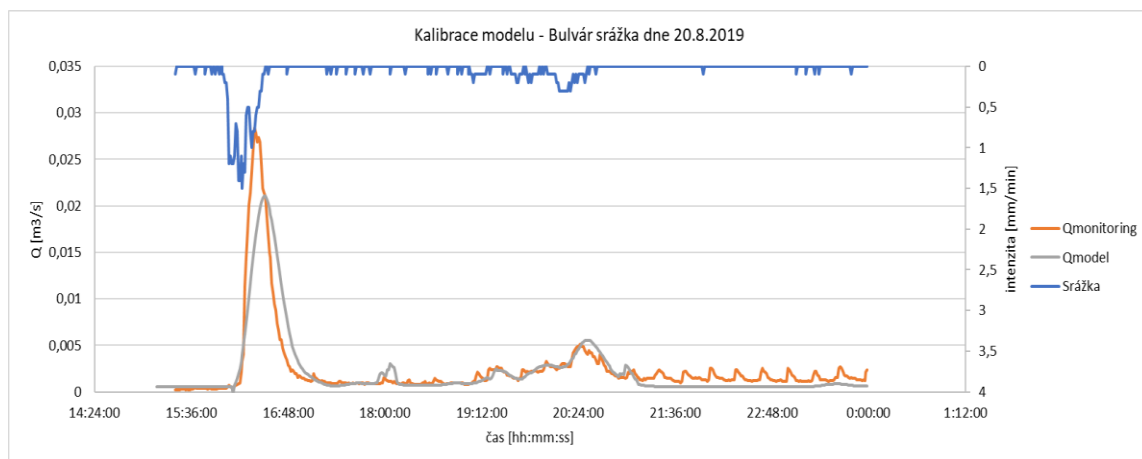


Profil Louka					
12.-13.7.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	23,84	20,39	14,47	0 ≤ 25	
Qmax [m3/s]	0,0004	0,0003	24,64	20 < 40	
Δ Tmax [min]	1113	2057	944	≥ 20	

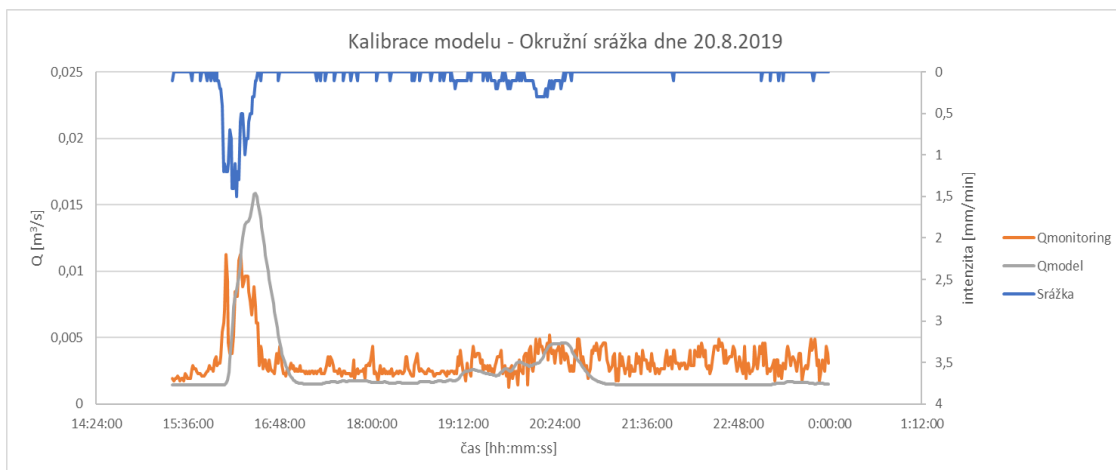


Profil ČOV					
12.-13.7.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m ³]	173,90	366,68	110,85	≥ 50	
Qmax [m ³ /s]	0,0101	0,0087	14,02	0 ≤ 20	
Δ Tmax [min]	1483	2050	567	≥ 20	

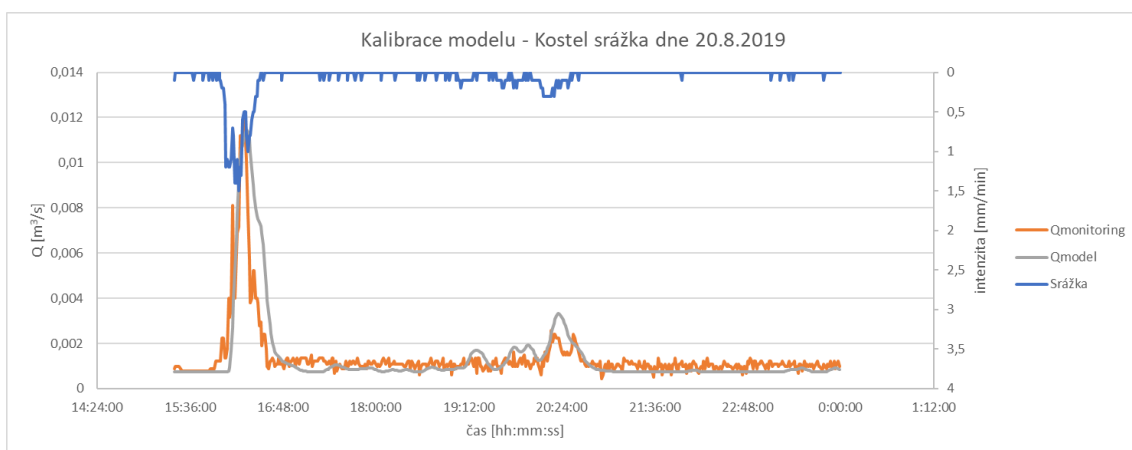
DEŠŤOVÁ UDÁLOST 20.8.2019



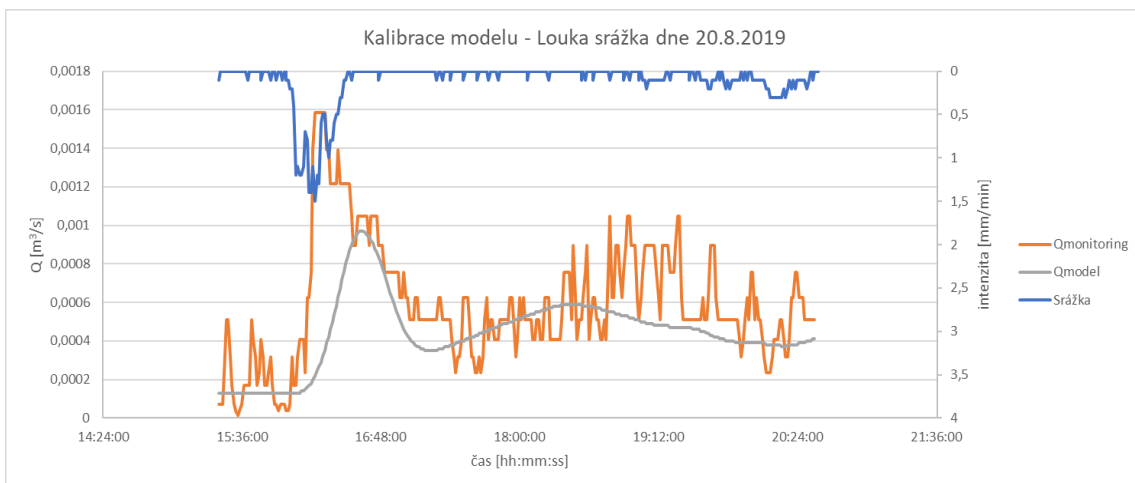
Profil Bulvár					
20.8.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m ³]	75,70	68,69	9,26	0 ≤ 25	
Qmax [m ³ /s]	0,0283	0,0211	25,74	20 < 40	
Δ Tmax [min]	60	81	21	≥ 20	



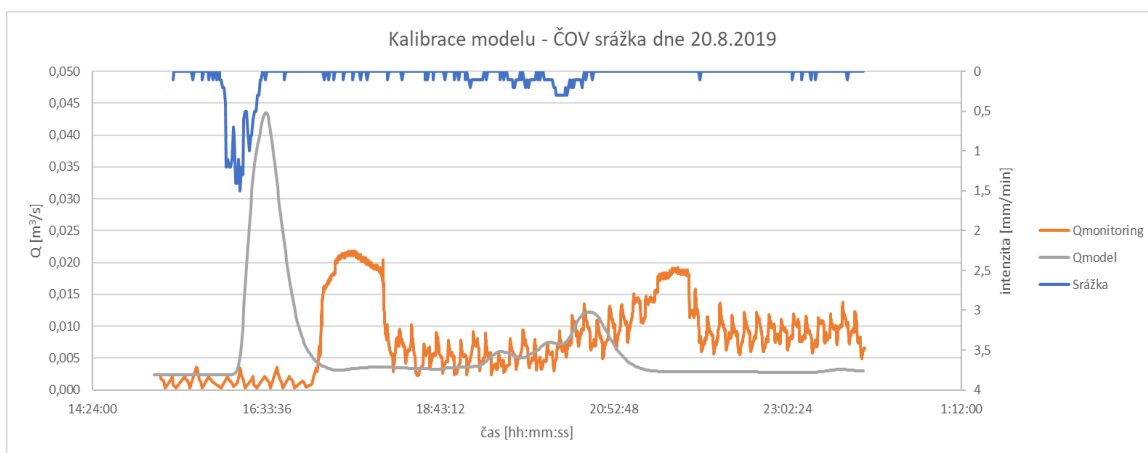
Profil Okružní					
20.8.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	99,50	80,00	19,60	$0 \leq 25$	
Qmax [m3/s]	0,0113	0,0159	41,08	≥ 40	
ΔT_{max} [min]	43	66	23	≥ 20	



Profil Kostel					
20.8.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	49,35	43,08	12,71	$0 \leq 25$	
Qmax [m3/s]	0,0120	0,0115	4,19	$0 \leq 20$	
ΔT_{max} [min]	55	57	2	$0 \leq 10$	

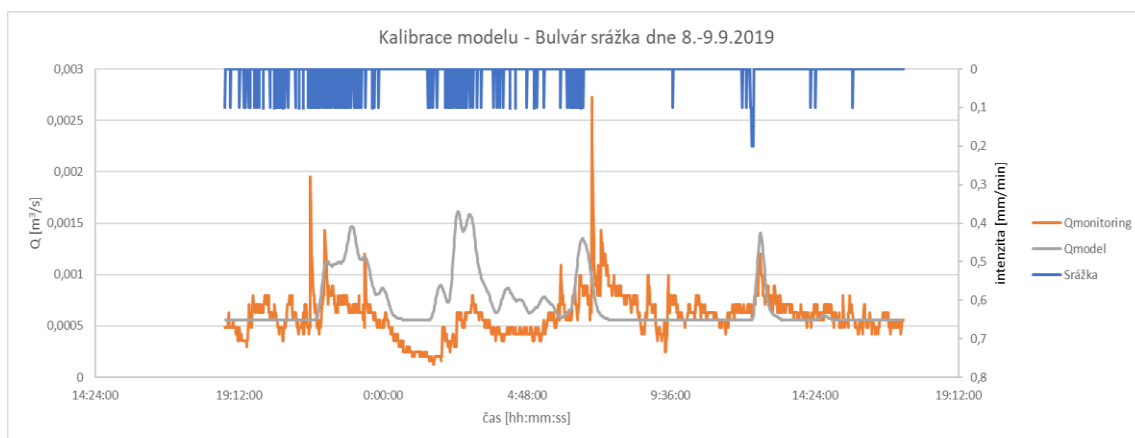


Profil Louka					
20.8.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	11,07	8,22	25,74	25 < 50	
Qmax [m3/s]	0,0016	0,0010	38,85	20 < 40	
Δ Tmax [min]	51	74	23	≥ 20	

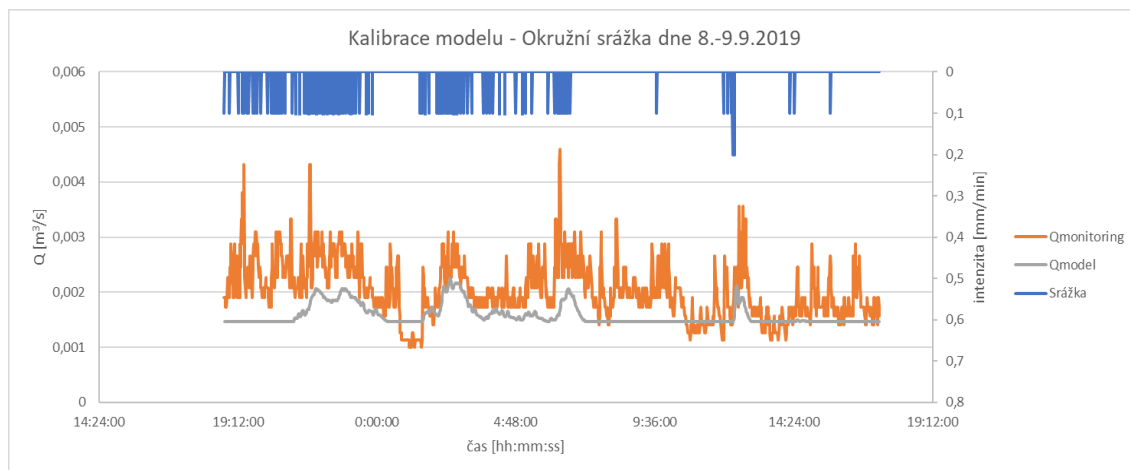


Profil ČOV					
20.8.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	244,20	192,33	21,24	0 \leq 25	
Qmax [m3/s]	0,0217	0,0435	100,19	≥ 40	
Δ Tmax [min]	281	84	197	≥ 20	

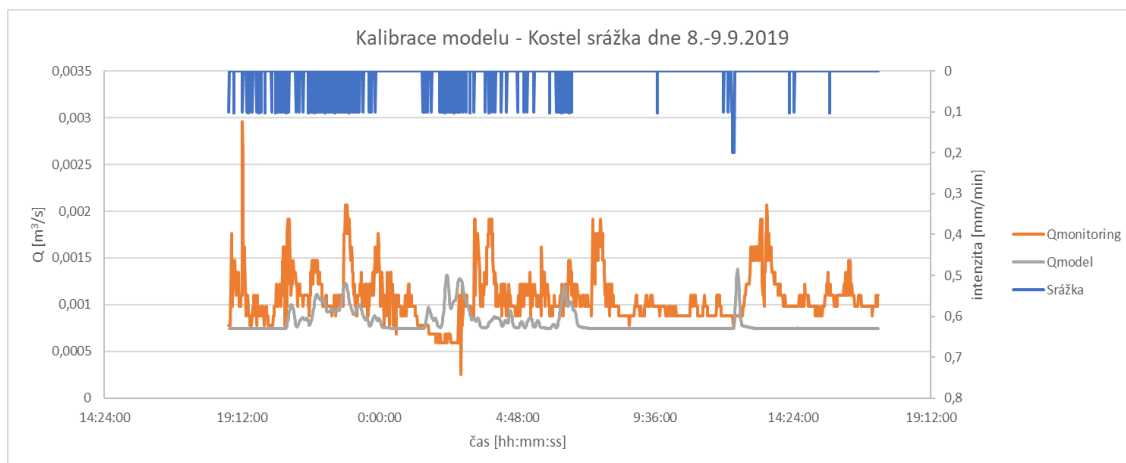
DEŠŤOVÁ UDÁLOST 8.-9.9.2019



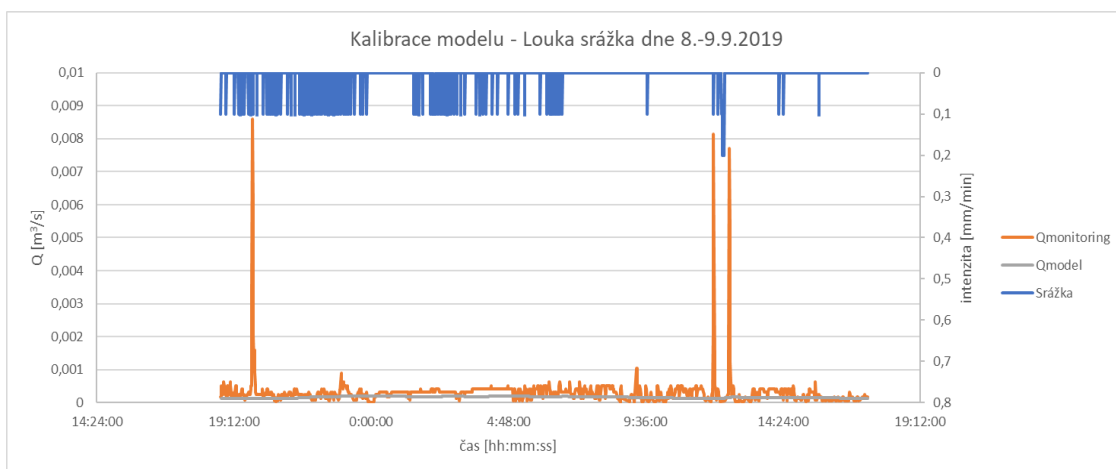
Profil Bulvár					
8.-9.9.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	48,93	57,62	17,76	$0 \leq 25$	
Qmax [m3/s]	0,0027	0,0016	40,97	≥ 40	
$\Delta Tmax$ [min]	735	465	270	≥ 20	



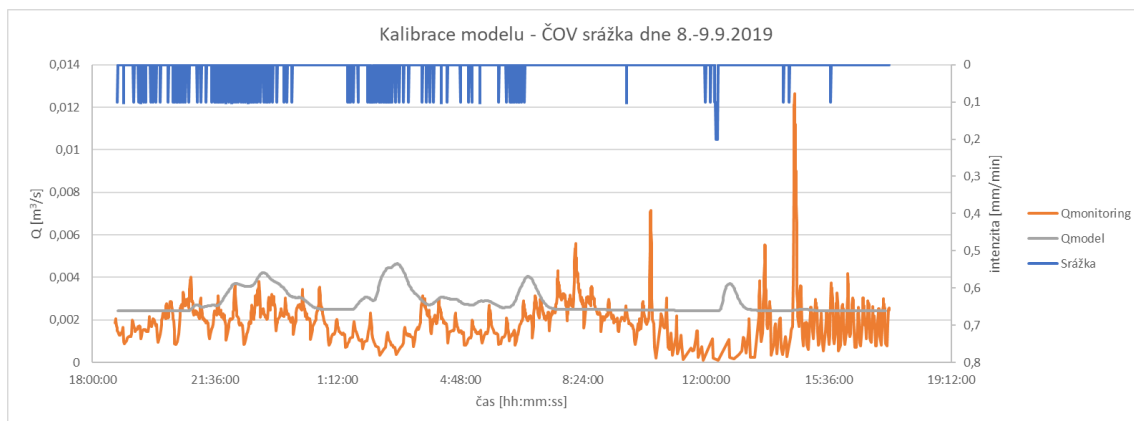
Profil Okružní					
8.-9.9.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	165,95	128,23	22,73	$0 \leq 25$	
Qmax [m3/s]	0,0046	0,0023	51,04	≥ 40	
$\Delta Tmax$ [min]	697	468	229	≥ 20	



Profil Kostel					
8.-9.9.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	87,78	65,67	25,18	25 < 50	
Qmax [m3/s]	0,0030	0,0014	53,40	≥ 40	
Δ Tmax [min]	30	1064	1034	≥ 20	



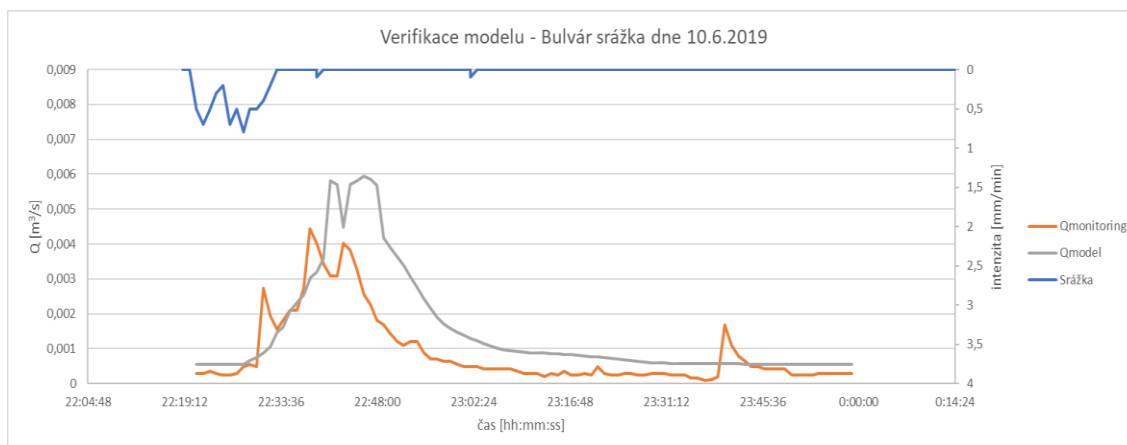
Profil Louka					
8.-9.9.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	23,94	12,91	46,07	25 < 50	
Qmax [m3/s]	0,0086	0,0002	97,68	≥ 40	
Δ Tmax [min]	68	317	249	≥ 20	



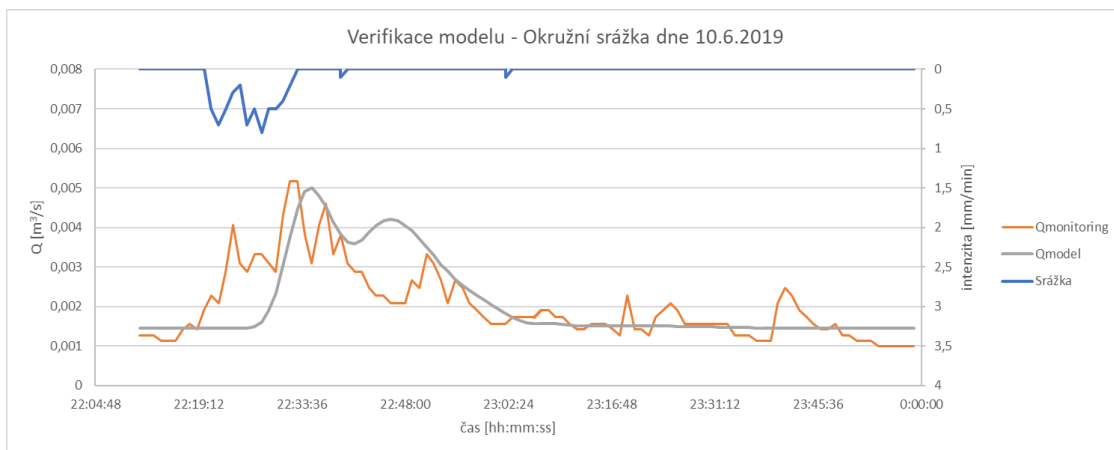
Profil ČOV					
8.-9.9.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	140,50	226,78	61,41	≥ 50	
Qmax [m3/s]	0,0127	0,0046	63,34	≥ 40	
Δ Tmax [min]	1211	492	719	≥ 20	

VYHODNOCENÍ HYDROLOGICKÝCH MODELŮ - VERIFIKACE

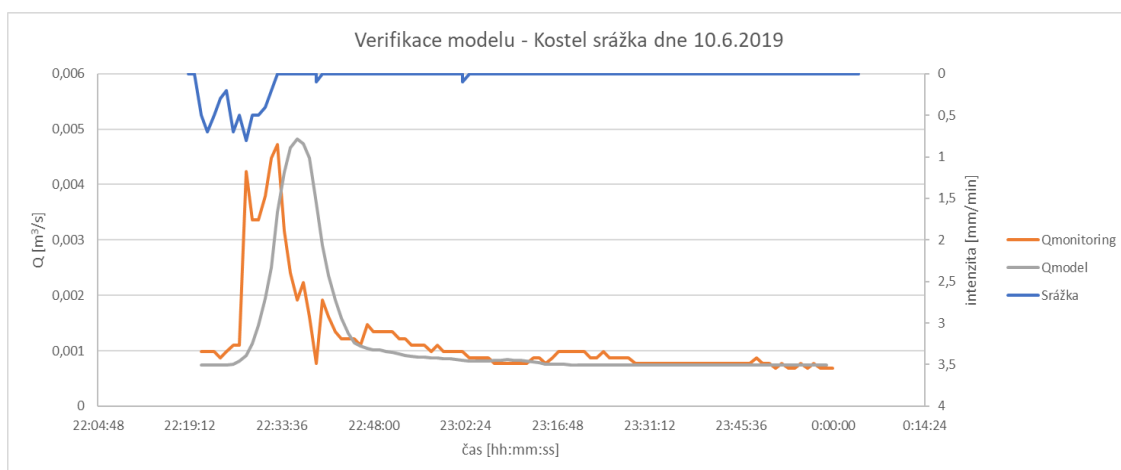
DEŠŤOVÁ UDÁLOST 10.6.2019



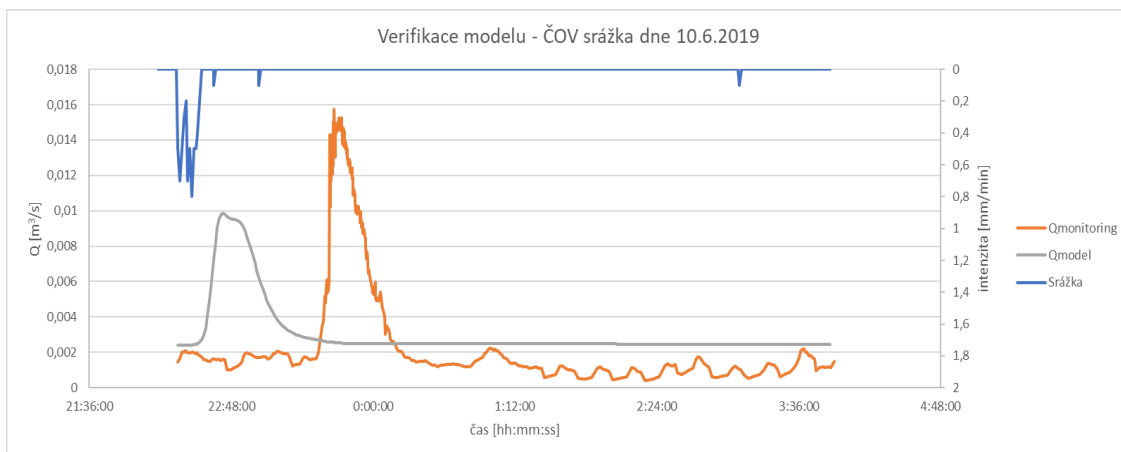
Profil Bulvár					
10.6.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	5,80	8,84	52,38	≥ 50	
Qmax [m3/s]	0,0044	0,0059	33,58	20 < 40	
Δ Tmax [min]	18	26	8	0 ≤ 10	



Profil Okružní					
10.6.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	13,26	13,68	3,20	0 ≤ 25	
Qmax [m3/s]	0,0052	0,0050	3,11	0 ≤ 20	
Δ Tmax [min]	22	25	3	0 ≤ 10	

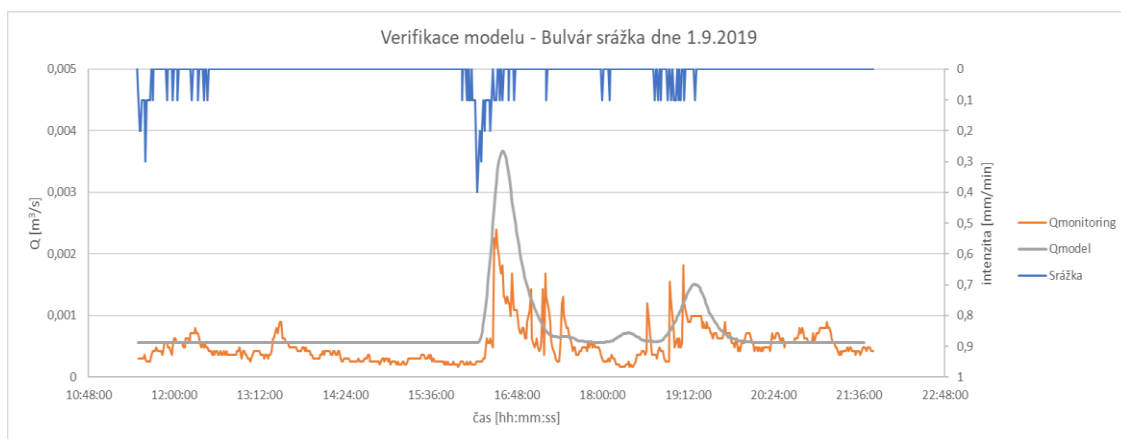


Profil Kostel					
10.6.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	7,26	6,81	6,25	0 ≤ 25	
Qmax [m3/s]	0,0047	0,0048	2,38	0 ≤ 20	
Δ Tmax [min]	13	16	3	0 ≤ 10	

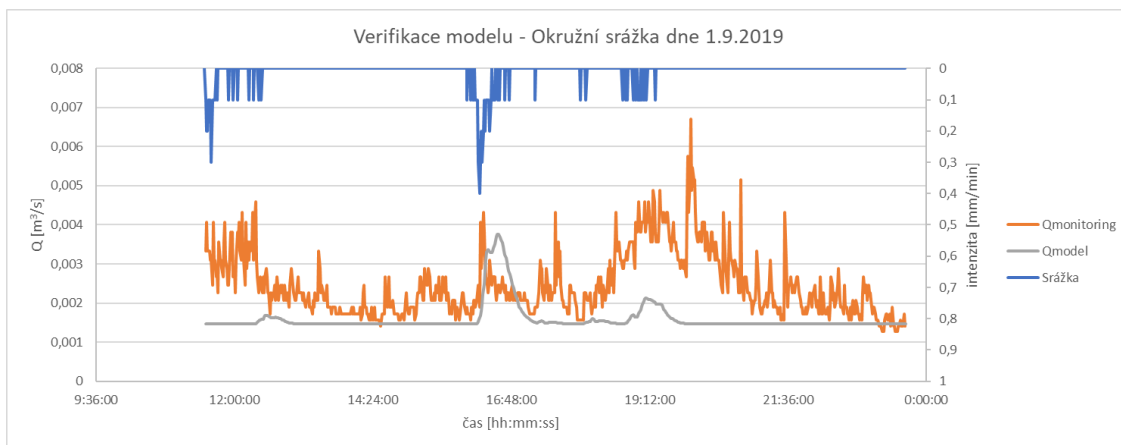


Profil ČOV					
10.6.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	41,30	60,94	47,56	25 < 50	
Qmax [m3/s]	0,0157	0,0098	37,42	20 < 40	
Δ Tmax [min]	104	24	80	≥ 20	

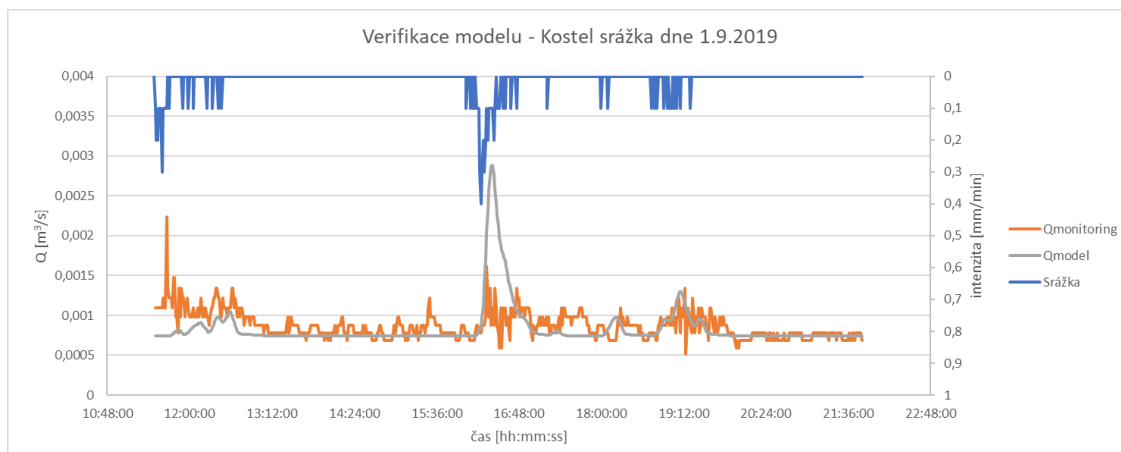
DEŠŤOVÁ UDÁLOST 1.9.2019



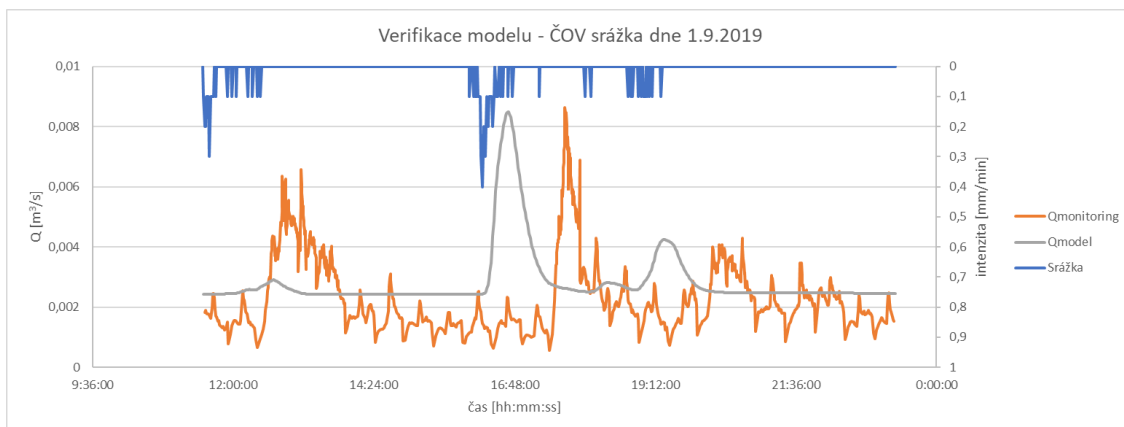
Profil Bulvár					
1.9.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	19,01	27,39	44,06	25 < 50	
Qmax [m3/s]	0,0024	0,0037	52,34	≥ 40	
Δ Tmax [min]	302	307	5	$0 \leq 10$	



Profil Okružní					
1.9.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	107,87	59,07	45,24	25 < 50	
Qmax [m3/s]	0,0067	0,0038	44,01	≥ 40	
Δ Tmax [min]	506	304	202	≥ 20	



Profil Kostel					
1.9.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	32,45	31,05	4,32	0 ≤ 25	
Qmax [m3/s]	0,0022	0,0029	28,76	20 < 40	
Δ Tmax [min]	11	296	285	≥ 20	



Profil ČOV					
1.9.2019	Monitoring	Model	Rozdíl [%] [min]	Kritérium [%] [min]	Vyhodnocení
V [m3]	93,60	120,81	29,07	25 < 50	
Qmax [m3/s]	0,0086	0,0085	1,52	0 ≤ 20	
Δ Tmax [min]	460	312	148	≥ 20	