



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

## MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ PRŮTOKŮ VE STOKOVÝCH SÍTÍCH

MEASUREMENT AND EVALUATION OF FLOWS IN SEWER NETWORKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTOR

ALEŠ HAŠKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV RACLAVSKÝ, Ph.D.

BRNO 2021



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Aleš Haška
Název	Měření a vyhodnocování průtoků ve stokových sítích
Vedoucí práce	doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

---

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

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

## PODKLADY A LITERATURA

[1] Paspportizační údaje a dostupné údaje o stokové síti vybrané části urbanizovaného celku jako podklad pro zpracování BP.

[2] STEIN, Dietrich a STEIN, Robert Instandhaltung von Kanalisationen, Verlag Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, 2014. ISBN 978-3-9810648-4-1.

[3] STRÁNSKÝ, David et al. Metodická příručka - Posouzení stokových systémů urbanizovaných povodí. In OPZP.cz [online]. 2009 [cit. 2017-03-03]. Dostupné z WWW: [http://www.opzp2007-2013.cz/soubor-ke-stazeni/17/5237-01052009\\_metodicka\\_prirucka\\_stokovy\\_system\\_090604.pdf](http://www.opzp2007-2013.cz/soubor-ke-stazeni/17/5237-01052009_metodicka_prirucka_stokovy_system_090604.pdf).

[4] KLEPSATEL, František a RACLAVSKÝ, Jaroslav. Bezvýkopová výstavba a obnova podzemních vedení. 1. české vyd. Bratislava: Jaga, c2007, 144 s. ISBN 978-80-8076-053-3.

[5] MAYS, Larry W. Stormwater collection systems design handbook. New York: McGraw-Hill, c2001. ISBN 0071354719.

[6] Odborný časopis SOVAK, Vodní hospodářství a NODIG.

[7] Příslušné legislativní a normativní podklady.

[8] Další podklady dle pokynu vedoucího BP.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Předmětem bakalářské práce bude zpracování nových poznatků a informací z oblasti měření a vyhodnocování průtoku ve stokových sítích. Práce se bude skládat ze dvou částí. V první části bakalář provede rešerši z dané problematiky. V druhé části bakalář aplikuje získané poznatky na vybraném úseku stokové sítě.

Požadované výstupy: dle pokynů vedoucího BP.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).

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

---

doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## **ABSTRAKT**

Měření průtoku, vodní hladiny a dešťových srážek jsou klíčovými vstupními údaji pro kalibraci hydraulického modelu. V bakalářské práci tedy byly prezentovány poznatky z oblasti matematického modelování a měřících přístrojů na stokových sítích. Byl zde vytvořen seznam dostupných měřících zařízení, které se uplatňují v současné době na stokových sítích. Dále zde jsou uvedeny poznatky z teorie náhodných a systematických chyb. Ve druhé části jsou získané poznatky implementovány na vybraném území stokové sítě města Znojma. Na tomto území byly dne 9. 9. 2020 instalovány 3 ultrazvukové měřící zařízení průtoku typu ISCO 2150 s AV senzorem a jeden přístroj na měření vodní hladiny typu IJINUS. Tato práce obsahuje průběžné výsledky z měření, které jsou následně využity při kalibraci hydraulického modelu. Po skončení této práce je však nutné model dále kalibrovat a verifikovat, aby došlo k vyšší přesnosti.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Stoková síť, měření průtoku, hydraulický model, kalibrace, ultrazvuk

## **ABSTRACT**

Measuring flow rate, water surface and rainfall are the crucial inputs for the calibration of the hydraulic model. This bachelor's thesis presents mathematical models and measuring devices for the sewer networks. This thesis summarises the measuring devices that are currently available and used on the sewer network. Furthermore, theory of random and systematic errors is discussed. In the second section, this theory is implemented in the chosen area for the sewer network in Znojmo. On the 9. 9. 2020, three ultrasonic measuring devices (type ISCO 2150 with AV sensor) and one device for measuring water surface (type IJINUS) were installed in this area. This thesis provides continuous measurements which are then applied for the calibration of the hydraulic model. On completion of this thesis it is necessary to continue to calibrate and verify the model in order to increase accuracy and be more precise.

## **KEYWORDS**

Sewer networks, measuring flow rate, hydraulic model, calibration, ultrasonic

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

Aleš Haška *Měření a vyhodnocování průtoků ve stokových sítích*. Brno, 2021. 56 s., 14 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Jaroslav Raclavský, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Měření a vyhodnocování průtoků ve stokových sítích* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 27. 5. 2021

---

Aleš Haška  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Měření a vyhodnocování průtoků ve stokových sítích* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 27. 5. 2021

---

Aleš Haška  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu práce doc. Ing. Jaroslavu Raclavskému, Ph. D. za jeho cenné rady, a hlavně za čas, který této práci musel obětovat. Dále bych chtěl poděkovat ještě Ing. Jakubu Lžičařovi za poskytnuté fotografie.

# Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce.....	2
3. Rešerše z dané problematiky .....	3
3.1. Právní rámec.....	3
3.1.1. Stoková síť .....	3
3.1.2. Měřicí přístroje .....	4
3.2. Matematické modely .....	5
3.2.1. Dešťové srážky v městském odvodnění.....	6
3.2.1.1. Zdroje dat .....	6
3.2.2. Nároky na zdroje dat .....	7
3.2.3. Odtok vody z urbanizovaného území.....	7
3.2.4. Hodnoty modelových konstant a parametrů .....	8
3.3. Kalibrace a verifikace modelu .....	9
3.3.1. Rozsah a odchylky.....	9
3.3.2. Postup při kalibraci a verifikaci modelu .....	10
3.3.3. Zdroje dat .....	10
3.3.3.1. Monitorovací kampaň .....	10
3.4. Tabulky měřících zařízení .....	21
4. Odchylky.....	22
4.1. Teorie .....	22
4.1.1. Chyby měření .....	22
4.2. Náhodné chyby – teorie.....	23
4.3. Hodnocení přesnosti měřené veličiny .....	24
4.3.1. Výběrová směrodatná odchylka .....	24
4.3.2. Vliv nepřesnosti měřidla.....	24
4.4. Určování chyb vypočtené veličiny .....	24
4.5. Odchylky při měření průtoků .....	26
4.5.1. Dimenze potrubí .....	27
4.5.2. Součinitel drsnosti .....	30
5. Vybraná část stokové sítě města Znojma .....	32
5.1. Základní informace .....	32
5.2. Popis současného stavu .....	32



5.3.	Vymezení zájmové lokality.....	33
5.4.	Monitorovací kampaň na stokové síti Znojmo .....	34
5.4.1.	Vstupní parametr pro průtokoměry.....	38
5.4.2.	Výstup ze srážkoměrů .....	38
5.4.3.	Výstup z průtokoměrů.....	40
5.4.4.	Výstup z hladinoměru.....	41
5.5.	Oprava hydraulického modelu.....	42
6.	Závěr .....	48
	Summary .....	49
	Bibliografie.....	50
	Firemní literatura .....	51
	Seznam zkratk .....	52
	Seznam veličin.....	53
	Seznam obrázků.....	54
	Seznam tabulek.....	56
	Přílohy.....	57



## 1. Úvod

Městské odvodnění patří k jednomu ze základních prvků určujících životní úroveň a komfort obyvatelstva měst, popřípadě obcí. S postupem času jsou na tyto systémy kladeny daleko větší nároky, neboť dochází ke stále větší urbanizaci. To znamená, že přibývá stále více odvodňovaných ploch či odpadních vod od obyvatelstva. V době, kdy tyto systémy byly budovány, plně odpovídaly tehdejšímu nárokům, dnes však vlivem zvyšujících se průtoků často tyto sítě nevyhovují.

Do jaké míry tyto sítě nevyhovují stávajícím požadavkům pocítí obyvatelé měst až ve chvíli, kdy proudění ve stoce se změní na tlakové a stoková síť je přetížena. V tento moment dochází nejprve k zatopení sklepů a poté vývěr odpadních vod zpět na povrch. Po opadnutí této vody se začnou sčítat škody, které tato voda napáchala.

V současné době se tedy snažíme takovýmito situacím vyhnout. Ne vždy se to však povede. Důležitým faktorem, jak takovým událostem předejít, je poznání chování stokové sítě jako takové. K tomu se využívají simulační modely, které zvládnou posoudit chování sítě na různé typy zatížení od dešťové srážky. Záměrně nebylo použito slovo přesně, zejména z důvodu, že ne každý model, který je vytvořen je přesný. Přesnost model získává až v momentě, kdy je na stokové síti provedena monitorovací kampaň a model je podle ní zkalibrován a verifikován. Poté je model tedy skutečně schopen přesně reflektovat skutečný stav, který za dané události na stokové síti nastane.

Monitoring je účinným nástrojem pro kalibraci a následnou verifikaci modelu. Musí být však proveden s určitou přesností. Tato přesnost žádána od samotného člověka, který tuto kampaň provádí, tak i od měřících přístrojů. V současné době jsou nejčastěji využívány ultrazvukové měřící přístroje. Pár let dozadu jich však bylo minimum, ale dnes jich je dostatečné množství, abychom si mohli vybrat ten „nejlepší“ a mohli tak s dostatečnou přesností připravit modely, které nám poté nasimulují skutečné chování stokových sítí za dešťové události. Tímto poznáním jsme poté schopni situací, které byly popsány výše, zabránit.



## 2. Cíle práce

V první části práce bude cílem zpracovat nové poznatky a informace z oblasti měření a vyhodnocování průtoků na stokové síti. Budou zde uvedeny informace k monitorovací kampani, dále pak samotné poznatky z měření a vyhodnocování průtoků. Bude zpracován rozsáhlý přehled měřící techniky. Zaměřovat se bude na moderní přístroje, které k měření fyzikálních veličin využívají ultrazvukových vln. V práci bude uveden postup montáže i programy na vyhodnocování a zpracování naměřených hodnot.

V druhé části práce budou poznatky, získané zpracováním rešerše, aplikovány na vybrané části stokové sítě města Znojma. Ve městě probíhá měření průtoků na vymezeném zájmovém území. Měření započalo dnem 9. 9. 2020, kdy byly na stokové síti osazeny 3 ultrazvukové měřící přístroje průtoků. Cílem této kapitoly bude kalibrovat vybrané území města Znojma za využití naměřených hodnot.

Na kalibrovaném modelu budou následně provedeny simulace, které nám objasní vliv nepřesností v měření na konečný průtok ve stokové síti. Dále zde bude i uvedeno chování odlehčovací komory OK8A, tedy rozdělení průtoků na odtoku.



## 3. Rešerše z dané problematiky

### 3.1. Právní rámec

#### 3.1.1. Stoková síť

##### Zákony

- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon) o změně některých zákonů  
Nejdůležitější legislativní podklad zabývající se problematikou vodního hospodářství. Vodní zákon prošel několika pozměňovacími zákony a nařízeními vlády.

- Zákon č. 544/2020 Sb.  
Zákon, kterým se mění zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony.

- Zákon č. 274/2001 Sb., zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)  
*Tento zákon upravuje některé vztahy vznikající při rozvoji, výstavbě a provozu vodovodů a kanalizací sloužících veřejné potřebě (dále jen "vodovody a kanalizace"), přípojek na ně, jakož i působnost orgánů územních samosprávných celků a správních úřadů na tomto úseku. Tento zákon mimo jiné stanovuje zásady měření odpadních vod od odběratele. [1]*

- Zákon č. 183/2006 Sb., zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)  
Tento zákon upravuje stanovy územního plánování, a to zejména cíle a úkoly územního plánování. Dále tento zákon upravuje stavební řád, a to od povolování staveb až po odpovědnost při přípravě a provádění staveb. Tento zákon také upravuje podmínky pro projektovou činnost, obecné požadavky a některé další související věci s předmětem této úpravy.

##### Vyhlášky

- Vyhláška 428/2001 Sb.  
Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon 274/2001 Sb. zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). Označováno jako prováděcí vyhláška zákona 274/2001 Sb.

##### Normy

Následující normy stanovují pouze jakýsi výčet možností řešení stokových sítí není to striktní podklad pro návrh. Konečná volba řešení dané problematiky závisí na subjektech zapojených do procesu řízení obnovy či výstavby.



- ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky

Tato norma stanoví podmínky pro navrhování, posuzování, provádění a sanaci gravitačních stokových sítí a kanalizačních přípojek, včetně objektů na nich, s platností pro města, obce, sídliště, rozptýlenou zástavbu, dopravní stavby a jiné objekty, pokud tak není stanoveno jinými předpisy.

- ČSN EN 752 Odvodňovací systémy vně budovy

Tato evropská norma stanovuje podmínky pro odvodňovací systémy vně budov. Stanovuje podmínky pro návrh, obsluhu a údržbu, sanaci a provádění. Norma je platná od té doby, kdy voda opustí budovu a pokračuje až do čistírny odpadní vody (ČOV) nebo do recipientu.

### 3.1.2. Měřicí přístroje

#### Zákony

- Zákon 505/1990 Sb., zákon o meteorologii

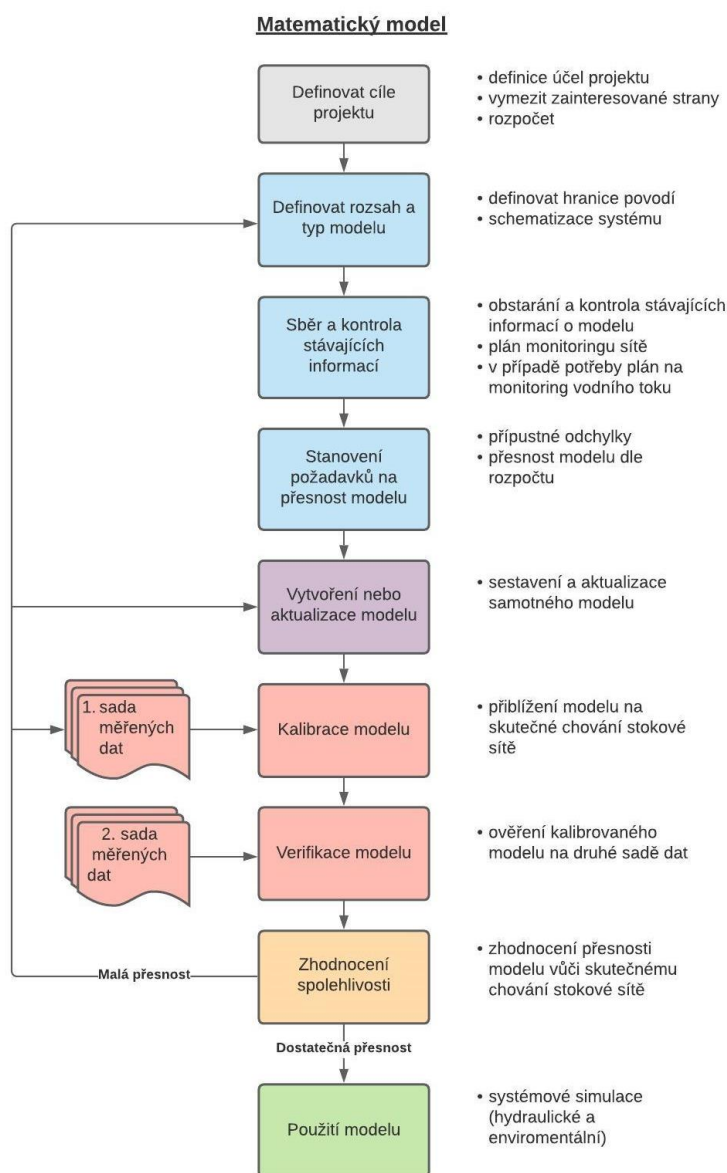
Zákon upravuje práva a povinnosti pro subjekty v takovém rozsahu, aby byla zachována jednotnost a správnost měření a měřidel.

- Zákon 119/2000 Sb., zákon, kterým se mění zákon 505/1990 Sb. o meteorologii

### 3.2. Matematické modely

Koncepce odvodnění urbanizovaného území je v dnešní době založena na integrálním (komplexním) přístupu. Tento přístup zahrnuje všechny prvky srážko-odtokového procesu, a to z hlediska množství i jakosti odpadních vod. Při řešení odvodnění jsme tedy schopni na jedné straně zajistit nárůst odvodňovaných ploch, ale i požadavky na ochranu životního prostředí. Postupy založené na měření hydrologických a hydraulických veličin simulací celého nestacionárního srážko-odtokového procesu, tak na negativním vlivu vypouštěných odpadních vod do vodního recipientu. [2]

Důležitou složkou tohoto procesu jsou matematické simulační modely. K simulačním modelům se začalo přistupovat až s rozvojem výpočetní techniky, dále se pak k nim přistupuje z ekonomických důvodů, neboť dostavba nebo obnova stokových sítí je velice nákladná. V současné době většina stokových systémů má svůj simulační model vytvořený. Zaměřujeme se tedy především na postupnou optimalizaci těchto modelů.



Obr. 3. 1. Postup při tvorbě modelu (autor)

### 3.2.1. Dešťové srážky v městském odvodnění

Dešťové srážky jsou jednou z příčin vzniku oboru městského odvodnění, kdy druhou příčinou je odvod splaškových vod a zajištění hygienických potřeb obyvatelstva žijícího v urbanizovaném území. Dešťové srážky hrají důležitou roli při hydraulickém modelování, neboť jsou v přímé návaznosti na povrchový odtok. Jakákoliv chyba měření má přímý dopad na hydraulický model a nepřesnost v chování reálné stokové sítě.

#### 3.2.1.1. Zdroje dat

Hlavní zdroj dat, který se do současnosti používá, zpracoval Ing. Trupl a publikoval v textu „*Intenzity krátkodobých dešťů v povodí Labe, Odry a Moravy*“, kde nalezneme čáry náhradní vydatnosti, které jsou základní datovou složkou pro návrh stokové sítě. Tato data jsou statisticky zpracována a vychází z historických měření na stanicích Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ).

Základní typy používaných srážkových dat používaných na návrh, posouzení a provozování stokových sítí (Tabulka 3. 1).

Tabulka 3. 1. Základní typy srážkových dat a jejich popis (upraveno) [3]

Typ srážkových dat	Popis
Čáry náhradních vydatností	Statisticky zpracované historické deště. Nerozlišují proměnnou vydatnost, tedy po celou dobu je vydatnost stejná. Posuzují fiktivní situaci. Nevypovídají o dlouhodobém chování stokové sítě.
Syntetické deště	Uměle vytvořené deště z čar náhradních vydatností. Typickým příkladem je Šifaldův déšť nebo Čížkův déšť. Pouze fiktivní a o dlouhodobém chování stokové sítě nevypovídají.
Reálný déšť	Představuje záznam časově ohraničené srážkové události, který ve stokové síti způsobí jednu odtokovou událost. Význam má tehdy, pokud potřebuje zjistit chování určitého objektu, nevypovídá však o dlouhodobém chování stokové sítě.
Historická dešťová řada	Záznam všech srážek, které se vyskytly na daném území. Reálný výsledek chování stokové sítě.

Z tabulky je patrné, že pro vyhodnocování chování stokové sítě jsou nejlepšími vstupními srážkovými daty historické dešťové řady. Příručka „*Code of Practice for the Hydraulic Modelling of Urban Drainage Systems 2017*“, vydaná společností CIWEM, toto tvrzení potvrzuje, avšak dodává, že tato data nejsou schopna reflektovat změny v klimatických podmínkách na zemi. Proto může docházet k odchýlkám mezi simulovanými dešťovými událostmi a skutečnými dešťovými událostmi.

### 3.2.2. Nároky na zdroje dat

V současné době nároky na srážková data publikovaná v odborné literatuře (Haloun, 1993) splňuje většina měření provozovatele sítě.

Tabulka 3. 2. Nároky na dešťová data (Haloun, 1993)

Kritérium	Požadavek
Doba záznamu	20 let a více
Časový krok záznamu	1 min
Hustota stanic	1/1 km <sup>2</sup>
Časová synchronizace stanic	1 min nebo méně
Objemová chyba	méně než 3%
Mezery v záznamech	žádné

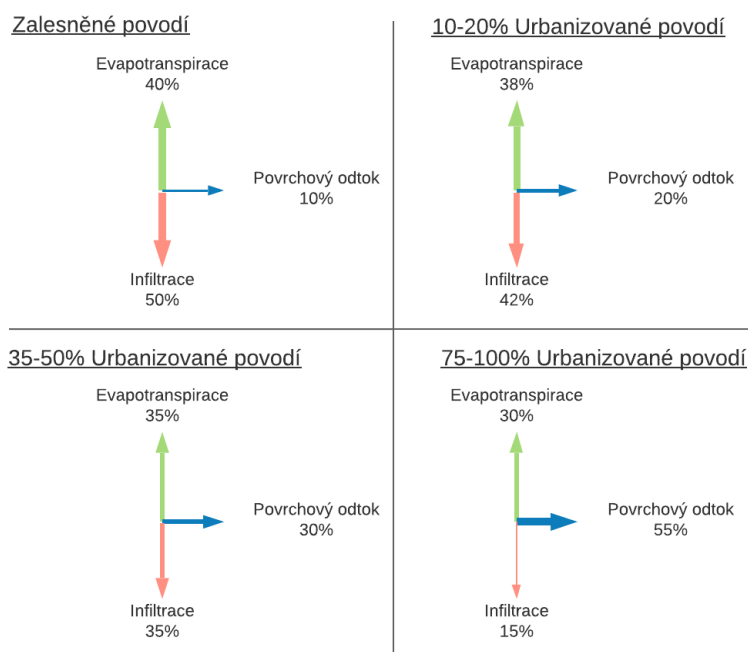
### 3.2.3. Odtok vody z urbanizovaného území

Dalším prvkem při modelování srážko-odtokového procesu je právě odtok vody z urbanizovaného povodí, který je hlavním prvkem pro posouzení stokové sítě během deštivého počasí.

Zde je nejprve nutné určit míru propustnosti povodí za použití analýzy mapových podkladů, satelitních či leteckých snímků. Další možností je terénní průzkum zájmového území. Tyto hodnoty jsou pak důležitým zdrojem dat pro simulační modely. Data jsou však odvozena nejrozličnějšími způsoby, a proto jsou modely použitelné pouze pro orientační srovnání variant v relativních číslech. Pro následné využití je třeba tyto modely kalibrovat a verifikovat pomocí dat z monitorovací kampaně.

Urbanizované území se vyznačuje velkým podílem nepropustných ploch, tedy že většina spadlých srážek na tomto území odteče přímo do stokové sítě. V urbanizovaném povodí, kde procentuální zastoupení nepropustných ploch dosahuje 75–100 %, byl stanoven povrchový odtok až na 55 % všech spadlých srážek na toto povodí. V porovnání s přirozeným prostředím, kde povrchový odtok byl stanoven na 10 %, se jedná o velmi vysoké zatížení stokových sítí (Arnold & Gibbons 1996). Porovnání hodnot můžeme vidět na Obr. 3. 2.





Obr. 3. 2. Změny hydrologických poměrů v závislosti na míře urbanizace (upraveno dle Arnold & Gibbond 1996)

V současné době je zajímavým nástrojem na vyhodnocování nepropustných ploch technologie zvaná LiDAR (Light detection and ranging). Metoda je založena na měření vzdálenosti na základě výpočtu doby šíření pulsu laserového paprsku. Tato technologie je také nazývána jako 3D laserové skenování. Toto skenování probíhá pomocí laserových senzorů připevněných na letadlech. Pokud však potřebujeme data získat pro menší oblasti např. urbanizované území, je ekonomičtější využití dronů. Prostřednictvím klasifikace dat LiDAR a rozpoznávání objektů ve vzduchu mohou výsledky přispět různými perspektivami k řízení městského plánování a monitorování. Pro modelování povrchových odtoků během deštivého počasí potřebujeme kvalitní geoprostorová data k extrahování topologických informací jako jsou například právě procento nepropustných ploch, sklon povrchu nebo informace o pokrytí/použití půdy. Všechny tyto údaje jsou nám v patřičné kvalitě pomocí LiDaru poskytnuty. Studie provedená Casas, Benito, Thorndycraft a Rico (2006), kdy porovnali DTM (Digital terrain model) generovaný ze tří různých zdrojů dat (údaje o obrysech, GPS a LiDAR) pro hydraulické povodňové modelování. Zdůraznili, že výsledky modelování závisí především na přesnosti DTM, mezi nimiž DTM odvozený z LiDAR vytvořil nejméně chyb. [4]

### 3.2.4. Hodnoty modelových konstant a parametrů

Konstanty a parametry jsou hodnoty vyskytující se v rovnicích matematických modelů. Konstanty jsou neměnné hodnoty při nejrůznějších aplikacích modelů. Parametry jsou hodnoty, které se mohou v nejrůznějších aplikacích modelů lišit. V hydrologických modelech se nejčastěji vyskytují hodnoty součinitele odtoku, různé



druhy ztrát v povodí, koeficienty modelů infiltrace na propustných a polopropustných plochách, doba dotoku a jednotlivé drsnosti povrchů půdy. V hydraulických modelech se zase vyskytují nejčastěji drsnosti potrubí, ztráty místní a koeficienty v rovnici přepadu. [2]

Tyto hodnoty vyžadují měření v terénu nebo tabulkový odhad na základě určitých vlastností. Počet konstant a parametrů závisí na typu použitého simulačního modelu.

### 3.3. Kalibrace a verifikace modelu

Nedílnou součástí tvorby matematického modelu zájmového území je jeho následná kalibrace a verifikace. Tyto dva procesy nám přiblíží, do jaké míry je matematický model podobný skutečnému stavu stokové sítě, a jestli je dosti důvěryhodný pro další použití. Ověření modelu probíhá na základě naměřených hodnot nebo také na historické sadě dat. Ověřování by mělo zohlednit účel modelu, a to požadavky na jeho přesnost. Zpřesnění modelu je důležitou složkou tvorby modelu. Kdyby model byl diametrálně odlišný od skutečnosti, mohlo by to v konečném výsledku vést ke špatným investičním záměrům.

Nekalibrovaný model není přípustné používat!

Rozdíl mezi kalibrací a verifikací:

#### Kalibrace

Slouží ke stanovení takových parametrů modelu, aby model odpovídal naměřeným hodnotám (obvykle naměřeným průtokům). Po tomto procesu by měla následovat verifikace tohoto modelu. Účelný postup při kalibraci je potřeba stanovit podle typu modelu odděleně pro jednotlivé dílčí procesy. [2]

#### Verifikace

Je proces kontroly modelu na základě využití jiné sady dat než při kalibraci a tím určení přesnosti tohoto modelu. Výpočty jsou tedy provedeny s jinou sadou vstupních dat, avšak jsou už implementovány již na kalibrované parametry modelu. Následně se pak porovnává výsledek simulace s naměřenými daty a je rozhodováno o přesnosti tohoto modelu a vhodnosti jeho využití.

#### 3.3.1. Rozsah a odchylky

Rozsah dat by měl být takový, aby pokryl nejrůznější situace na stokové síti. Pokud se budeme bavit o bezdeštných průtocích, tak je velice malá pravděpodobnost, že budeme mít stejný průtok na síti za bezdeštného stavu, a proto je potřeba dělat obalovou křivku minimálních a maximálních průtoků. [2]

Při kalibraci a verifikaci je nutno porovnat odchylky mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami. Veličiny, které se takhle porovnávají jsou: [2]

- Maximální průtok
- Objem
- Čas dosažení maxima
- Průběh veličiny v čase

Jako měřítko odchylek se často používá relativní odchylka simulovaných a měřených veličin dle následujícího vztahu:

$$r_i = \frac{y_{sim} - y_{mer}}{y_{mer}} \quad (3.1)$$

kde  $y_{sim}$  je hodnota veličiny z modelu a  $y_{mer}$  je hodnota veličiny naměřená přímo na stokové síti. [2]

Tabulka 3. 3. Doporučené odchylky maximálních průtoků a objemů při kalibraci a verifikaci hydrogramů (Krejčí a kol., 2002)

	Kalibrace	Verifikace
Průměrná odchylka	< 10 %	< 20 %

Úspěšnost kalibrace a verifikace modelu musí být doložena dokumentem, avšak i při správném postupu nemusíme dosáhnout kýženého cíle. Následně je potřeba zvážit další postup s ohledem na přesnost modelu.

Nedosažení cílů je přijatelné, pokud je řádně odůvodněno. Jako přijatelné se berou důvody, které nelze modelovat, ale v konečném výsledku nijak neovlivní použití modelu.

### 3.3.2. Postup při kalibraci a verifikaci modelu

Model kalibrujeme a verifikujeme pouze v naměřených profilech.

Prvním krokem je ověření naměřených hodnot. Hodnoty, které se nějakým způsobem diametrálně odlišují od ostatních, je potřeba smazat. Následně můžeme začít porovnávat naměřené a vypočtené hodnoty.

Snahou, jak již bylo řečeno, je přiblížit model skutečnosti a to způsobem, kdy v modelu do určité míry upravujeme modelové parametry např. procento nepropustných ploch, doba dotoku z povodí (okrsku) atd.

Během kalibrace či verifikace modelu je důležité zachovat objemové bilance. Tento požadavek zajistí správné nastavení modelu z hlediska porovnání objemu dešťových a splaškových vod. Dále je nutné zachovat maxima. Tento požadavek zase znamená správné zachycení maximálních průtoků.

### 3.3.3. Zdroje dat

Zdrojem dat pro kalibraci či verifikaci jsou pro nás údaje buď ze stálého měření (nátok na ČOV, čerpací stanice apod.), anebo z dočasného měření během monitorovací kampaně.

#### 3.3.3.1. Monitorovací kampaň

Účelem monitorovací kampaně je sledování skutečného chování stokového systému prováděného zpravidla měřeními základních fyzikálních veličin, které podstatným způsobem ovlivňují srážko-odtokový proces. Monitoring je koncepční a vzájemně provázaná soustava měření, včetně následného vyhodnocení dat a analýzy trendů. Měřenými veličinami ve stokové síti jsou průtok a výška vodní hladiny na trubní síti či na



kanalizačních objektech. Pro komplexnost může být měřena i jakost odpadních vod. Veličiny jsou měřeny v závislosti na čase.

Před monitorovací kampaní je nutné si zpracovat návrh plánu měření, ten určí potřeby, druhy a počty měření v závislosti na typu projektu. Tento plán chce určité zkušenosti a je dobré si jej dobře promyslet, neboť měření jsou finančně nákladná. Výsledky z monitorovací kampaně nám poté slouží jako:

- Vstupní data pro matematické modely. Jedná se zejména o bezdeštné průtoky stokovou sítí (splašky a balastní vody). Případně mohou být i vstupními hodnotami jakosti odpadních vod.
- Údaje pro kalibraci a verifikaci simulačních modelů během deštivých událostí.

### Délka monitorovací kampaně

Obvyklou délkou monitorovací kampaně je 6-12 týdnů [2]. Pokud však během monitorovací kampaně nezastihneme námi chtěnou deštovou událost, je třeba měření prodloužit. Během monitorovací kampaně chceme zachytit co možná nejvíce srážkových událostí, a proto je vhodné toto měření provádět v hydrologicky vhodném období, tj. duben-říjen, kdy je vysoká pravděpodobnost přivalových dešťů.

### Způsoby měření jednotlivých veličin

- **Srážky**

Monitoring srážkových událostí rozlišujeme s ohledem na řešené úlohy.

#### Dočasný monitoring

V rámci kalibrace a verifikace matematického modelu je možné zřídit tzv. dočasný monitoring. Zpravidla se v měřeném území umísťují minimálně 3 srážkoměry, aby bylo, co možná nejpřesněji popsáno plošné rozdělení srážkové události nad zájmovým územím.

#### Trvalý monitoring

Trvalý monitoring je zpravidla instalován samotným vlastníkem nebo provozovatelem stokové sítě a slouží pro posouzení chování stokové sítě. Častěji však tento přístup monitoringu slouží k řízení stokové sítě v reálném čase, kdy je zapotřebí napojení srážkoměrů přímo na dispečink. Trvalý monitoring je zřizován spíše ve větších městech.

V rámci tvorby matematického simulačního modelu je možné doplnit trvalou sítí srážkoměrných stanic o dočasné srážkoměry. Zvýší se tím hustota monitorovací sítě a zpřesní se tím data pro kalibraci a verifikaci modelu.

#### Umístění srážkoměrů

K umístění srážkoměrů je přístupováno dvojím způsobem. První přístup je takový, že se srážkoměry umísťují do těžiště jednotlivých dílčích povodí. Následné uskupení srážkoměrů je však těžko využitelné pro potřeby kalibrace modelu, neboť vzhledem k nepravidelnému tvaru lze těžko definovat plošné rozdělení srážek nad územím města. Tento nedostatek se odráží v druhém přístupu, kdy jsou vytvářeny pravidelné sítě srážkoměrných stanic orientovaných ve směru převládajících srážek. Problém může



nastat s umístěním srážkoměru v průsečících této sítě. Tyto přístupy lze však kombinovat tak, aby bylo následné plošné rozdělení srážkové události co možná nejlépe vystihováno.

### Člunkový srážkoměr

Je to nepoužívanější srážkoměr, neboť reflektuje intenzitu dešťové události. Skládá se z trychtýře obvykle o objemech 200 nebo 500 cm<sup>3</sup>. [3] Z tohoto trychtýře voda natéká na vahadla, která se skládají ze dvou misek o určitém objemu. Misky jsou připevněny na otočné ose. Voda tedy natéká pomocí trychtýře na jednu z misek, až dosáhne určitého objemu, tak se člunek překlopí a začíná plnění druhé misky. Aby měření mohlo probíhat i v zimních obdobích, bývají srážkoměry vybaveny vyhříváním.

Počet překlopení je elektronickými pulsy zaznamenáván a následně je přepočítáván na intenzitu dešťové události. Počty překlopení jsou odesílány na dispečink. Je tedy nutné, aby srážkoměry byly vybaveny zdrojem energie (akumulátory) a tento zdroj byl pravidelně vyměňován.

Člunkový srážkoměr je zatížen systematickými a náhodnými chybami. Tyto chyby mohou v konečném důsledku udělat nemalé rozdíly v srážko-odtokovém procesu. Důsledkem mohou reálnou dešťovou událost podhodnotit, tj. snížení úhrnu deště nebo naopak nadhodnotit tedy zvýšení úhrnu dešťové události. Procentuálně se pohybuje zatížení chybami 3-30 % (Rauch et al., 1998).

Provozem se srážkoměr opotřebovává a dochází ke snížení přesnosti měření. V určitých intervalech je zapotřebí srážkoměry kalibrovat, aby naměřené hodnoty byly přesné. Obecně se doporučuje provádět kalibraci 1x za 2-4 roky měření u stálých stanic a před každou instalací dočasných stanic. [3] Pro kalibraci je nutné si zvolit jednotnou metodu, aby bylo možné výsledky porovnávat a zjišťovat odchytku od prvního zkalibrování. Průběh kalibrace předepisuje výrobce srážkoměru.

Kalibrace člunkových srážkoměrů se standardně skládá ze dvou základních kroků a to tzv. statické a dynamické kalibrace. Statická kalibrace vede k informaci o potřebě seřízení objemu člunku. [3] Neposkytuje však informace o odchylkách při měření. Tyto informace nám poskytuje dynamická kalibrace. Pomocí ní sestavujeme tzv. kalibrační křivku, která uvádí vztah mezi intenzitou deště a chybou měření. Tato křivka nám následně dělá korekci naměřených hodnot dle následující rovnice:

$$q_{real} = q_{záznam} + q_{záznam} * ERR_q = q_{záznam} * (1 + f(q_{záznam})) \quad (3.2)$$

kde  $ERR_q$  je chyba měření srážkoměru v procentech,  $q_{záznam}$  je zaznamenaná hodnota v l/s/ha. [3]

#### - IJINUS RG25

Srážkoměr IJINUS RG25 může být použit jak pro dočasné měření, tak i pro stálé měření. Srážkoměr je nutné osadit ještě datalogrem např. LOG03V3, který je schopen

zaznamenat až 500 000 záznamů. Možností je zvolení dataloggeru, který bude odesílat data ze srážkoměrů online.



Obr. 3. 4. Vahadla (foto: Jakub Lžičař)



Obr. 3. 3. Nálevka (foto: Jakub Lžičař)

### Optické srážkoměry – Disdrometry

Tyto srážkoměry jsou založeny na principu laserového paprsku, který je schopen zachytit tvar, velikost a rychlost dešťových kapek větších než  $0,16\text{ mm}$ , které jím proletí. Rozsah měřených vydatností se pohybuje od  $0,01$  až  $700\text{ l/s/ha}$ . Zvláště horní hranice vydatností je použitelná pro úlohy městského odvodnění. [3]

Jednoznačnou výhodou disdrometrů je, že zvládnou rozlišit o jaký typ dešťové události se jedná, jestli jde například pouze o déšť, déšť se sněhem nebo mlhu.

Častým problémem disdrometrů je, že nedokážou rozlišit, jestli jím proletěla právě dešťová kapka nebo hmyz. Výrobci však uvádějí, že nové moderní typy disdrometrů jsou tyto problémy schopny odfiltrovat.

#### - [OTT Parsivel<sup>2</sup> – Laser Weather Sensor](#)



Obr. 3. 5. OTT Parsivel<sup>2</sup> [5]

OTT Parsivel<sup>2</sup> je moderní laserový disdrometr pro komplexní měření všech typů srážek. Parsivel<sup>2</sup> zachycuje velikost i rychlost padajících částic a klasifikuje je do jedné z 32 samostatných tříd velikosti a rychlosti. Surová data se používají k výpočtu typu, množství, intenzity a kinetické energie srážek, viditelnosti ve srážkách a ekvivalentní radarové odrazivosti. [5]

V současnosti nejsou distrometry velmi používané v České republice. Jejich velkou předností je okamžitá reakce na dešťovou srážku (člunkový srážkoměr v řádech minut). Tato přednost může být využita při řízení odtoků v reálném čase, jež v konečném důsledku nemusí vést k přetížení určitých částí stokového systému.

#### - 3D Stereo Disdrometr

Disdrometr se skládá v podstatě z vhodného světelného zdroje a stereo kamery. Částice procházejí měřicím objemem definovaným pozorovacími úhly kamer a minimální a maximální vzdáleností od kamer. [6]



Obr. 3. 6. 3D Stereo Distrometr [6]

#### Zpracovávání dat ze srážkoměrů

Základním zpracováním dat ze srážkoměrů je zhotovení součtové čáry deště, které spočívá v následném vyhledávání maximálních průměrných intenzit. Pro účely stokování je nutné získat tzv. náhradní řady dešťů se stálou (průměrnou) intenzitou. Pro určitý časový interval (ve stokování 15-120 minut – přívalové deště) se vyhledává maximální strmost vzestupné součtové čáry intenzity (v *mm*), následná průměrná intenzita je dána tangentou. [7]

Jelikož se jedná o velké množství dat, je vhodné využít softwarové vybavení. V České republice je nejrozšířenější Gandalf společnosti DHI s.r.o. Tento software je určený pro práci s daty, které jsou časově orientovány – datové řady. Umožňuje archivovat, zpracovávat a efektivně prezentovat data libovolných časových řad jako například data o srážkách, průtocích, kvalitě vody apod. Gandalf je speciálně tvořen tak, aby umožňoval export dat do běžně užívaných simulačních modelů.

#### • Průtoky

Měření průtoků můžeme rozdělit na klasické metody a moderní metody. Mezi klasické metody patří použití měrných žlabů a přelivů, ale zde je potřeba osadit i měření hladiny. Využití ve stokové síti je velmi omezené. Mezi moderní metody patří především měření na základě elektromagnetické indukce nebo ultrazvuku (Dopplerův jev). Mezi moderní způsoby měření patří i technologie bezkontaktního laserového Doppleru. Tyto metody nacházejí uplatnění při kalibraci či verifikaci matematického modelu.

Stejně jako při měření dešťů máme průtokoměry osazeny dočasně nebo stále. Stálé průtokoměry se osazují většinou na přítoku a odtoku z čistírny odpadních vod (dále ČOV)

a na kritických místech stokové sítě. Dočasné průtokoměry se využívají během monitorovací kampaně.

### Ultrazvukové průtokoměry

Průtoky v otevřených kanálech (nezaplněných potrubí) vyžadují specifické metody, jelikož na rozdíl od uzavřeného potrubí proudí tekutina proměnným průřezem. [8] V současnosti se nejvíce uplatňují během monitorovací kampaně průtokoměry na základě měření pomocí ultrazvuku nebo laseru.

#### - ISCO 2150 s AV senzorem



Obr. 3. 8. ISCO 2150 s AV senzorem [9]



Obr. 3. 7. Příprava na instalaci průtokoměrů (foto: Jakub Lžičář)

Měření průtoků ultrazvukovým průtokoměrem je prováděno osvědčenou metodou AV senzorů (Area/Velocity), kdy pomocí senzorů měříme dvě fyzikální veličiny, a to rychlost proudění a výšku volné hladiny.

Průtokoměr ISCO 2150 se skládá z AV senzoru, modulu pro měření průtoků a bateriového modulu. Následně mohou být v rámci systému připojeny až 4 moduly jako například 2103 modem modul, který je určen pro stahování a posílání alarmových stavů přes telefonní modem. Celé zařízení je konstruováno jako prachotěsné a zcela voděodolné. Mechanické krytí tohoto přístroje je zařazeno do kategorie IP68 (vodotěsný i při delším ponoření). Bateriový modul je ještě chráněn proti dlouhodobé vlhkosti pomocí silica gelových kuliček umístěných vně modulu.

Jelikož je v poslední době stoková síť označována jako prostředí s nebezpečím výbuchu, je k dispozici jiskrově bezpečná verze ISCO 2150EX. Moduly i princip měření jsou stejné jako u verze ISCO 2150. Na první pohled jej rozeznáme pouze podle barvy.

Princip měření:

Senzor, který je umístěn přímo v profilu, měří výšku vodní hladiny pomocí tlakového senzoru s teplotní kompenzací. Teplotní kompenzace je zapotřebí z důvodu šíření ultrazvuku v atmosféře, neboť rychlost je s teplotou proměnlivá. Následně pomocí výšky hladiny a zadaného profilu stoky si průtokoměr dopočítá průtočnou plochu.

Senzor také na principu Dopplerova jevu měří rychlost proudění. Senzor vysílá do měřeného média impuls (vlnu) o frekvenci 500 kHz a následně měří příjem frekvencí od



nejrůznějších částic, co se mohou vyskytnout v odpadní vodě. Především se však jedná o bublinky či nějaké drobné částice ve vznosu.

Jelikož je rychlost proudění v různých částech průtočného profilu rozdílná, obsahuje i naměřený signál nejen jednu frekvenci, ale řadu frekvencí odrazů, kdy intenzita jednotlivých frekvencí je úměrná tomu, jaký podíl mají části profilu se stejnou rychlostí na celkovém průtočném profilu. Z naměřeného signálu průtokoměr automaticky vyhodnocuje vážený průměr naměřených frekvencí odrazů a určuje průměrnou rychlost proudění. [9]

Výsledný průtok vyjde násobením průtočné plochy rychlostí.

Montáž:

Senzor je potřeba umístit do toku odpadní vody, to je realizováno pomocí montážních plechů s nůžkovým rozpínacím mechanismem. Řešení je vhodné jak pro kruhové profily od 150 mm do 380 mm, tak i pro vejčité profily do průměru 1800 mm. [9] Nejprve je potřeba si nachystat vhodnou délku montážních plechů. Následně připevníme senzor. Celou sestavu potom vložíme do profilu a pomocí nůžkového mechanismu plechy rozepneme, aby kopírovaly obvod profilu. Senzor je třeba umístit přesně na střed dna profilu. Bateriový modul a modul na měření průtoků poté umístíme na speciální držák do tělesa nejbližší šachty. Šachtu je potřeba následně zabezpečit.



Obr. 3. 12. Montážní plechy (foto: Jakub Lžičař)



Obr. 3. 11. Osazený AV senzor ve stoce (foto: autor)



Obr. 3. 10. Osazený AV senzor ve stoce (foto: autor)



Obr. 3. 9. Osazení držáku na bateriový modul (foto: autor)

### Problémy související s měřením:

Během měření mohou nastat situace, které nám v konečném výsledku způsobí nepřesnosti měření. Nejčastějším problémem u těchto průtokoměrů je zanášení senzoru, kdy senzor se nachází přímo v průtočném profilu a tvoří překážku, o kterou se snadno zachytávají předměty, které jsou plavené po dně. Názorně to je vidět na Obr. 3. 13. U průtokoměrů se vyžadují i určité vlastnosti měřících tratí (průměr potrubí, uklidňující potrubí před a za senzorem apod.), které když nebudou dodrženy mohou způsobit také nepřesnosti. Další nepřesnost v měření může nastat, když během montáže neumístíme senzor přesně na spodní líc profilu. Problém představují i hlodavci ve stokové síti, kteří se poměrně často „pustí“ do kabelu vedoucího od senzoru do modulu. Pokud nám hlodavec tento kabel překousne, máme výpadek v měření.



Obr. 3. 13. Zanesení AV senzoru (foto: Jakub Lžičař)

### - ISCO bezkontaktní rychlostní senzor LaserFlow

Hlavní předností tohoto senzoru je úplná absence dotyku s měřeným médiem. Díky těmto vlastnostem je často využíván pro stálé měření přítoku a odtoku na ČOV. Měřící senzor je však řazen do kategorie IP68 (zcela prachu vzdorný a vodotěsný i při delším ponoření), takže je vhodný i pro osazení přímo na stokové síti. Dále jej lze používat na měření průtoku mělkých vod ve velkých a malých potrubích. Výhodou tohoto senzoru je, že dokáže měřit od jakékoliv rychlosti či hladiny, nemá tedy žádnou mrtvou zónu od měřícího bodu.



Obr. 3. 14. LaserFlow (foto: Jakub Lžičař)

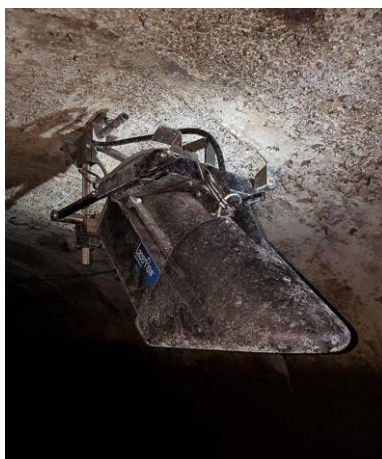
### Princip měření:

Senzor využívá technologie založené na měření dvou fyzikálních veličin. LaserFlow tedy měří průtok v profilech pomocí technologie bezkontaktního laserového Dopplerova jevu a výšku hladiny ultrazvukovým senzorem. Během měření rychlosti je použit pokročilý systém měření laserovým paprskem ve více bodech pod volnou hladinou vody. Měření hladiny probíhá pomocí ultrazvukového senzoru. Ultrazvukový senzor musí být opatřen teplotním senzorem z důvodu vlivu teploty na šíření ultrazvukových vln v atmosféře.

Pokud nastane úplné zatopení senzoru, uvádí výrobce, že měření pokračuje bez přerušení za pomoci senzoru TIENet™ 350, který kombinuje ultrazvukové měření rychlosti s diferenciatním tlakovým měřením.

### Montáž:

Senzor se osazuje na předem připevněný nerezový držák. Umísťovat tento držák můžeme přímo do profilu stokové sítě, tedy připevněním na horní líc profilu nebo do revizní šachty či na odlehčovací komoře. Po upevnění držáku se pomocí efektivního uzamykacího mechanismu připevní senzor. Poté je potřeba senzor napojit na modem modul 2160 a bateriový modul. Následně je potřeba tyto moduly osadit do nejbližší šachty. Pokud měříme na odlehčovací komoře, tak je potřeba moduly umístit v dosahu kabelu senzoru a zároveň na chráněné místo před splaveninami.



Obr. 3. 15. Osazený LaserFlow (foto: Jakub Lžičař)

### Problémy související s měřením:

Senzor je větších rozměrů než AV senzor, je s ním tedy horší manipulace. Při úplném zatopení senzoru může dojít k narážení splavenin do senzoru, pokud tedy senzor nebude pevně připevněn k potrubí, dojde k jeho uvolnění a následnému odplavení. Dalším problémem mohou být opět hlodavci, kteří poškodí kabel od senzoru do modulu. Nastane tedy výpadek měření.

### Hladinoměry

Hladinoměry můžeme instalovat jako dočasné během monitorovací kampaně, anebo jako stálé. Hladinoměry nám měří výšku volné hladiny ode dna měřeného profilu. Pokud známe závislost výšky vodní hladiny na okamžitém průtoku (konsumpční křivka)



můžeme si přepočítat průtok. Nejčastěji se však hladinoměry osazují na odlehčovacích komorách nebo jako stálé měření na ČOV. Dále se hladinoměry používají v kombinaci s klasickými metodami měření.

Hladinoměry můžeme mít mechanické (plovákové) nebo dnes již moderní bez kontaktu s měřeným médiem (ultrazvukové).

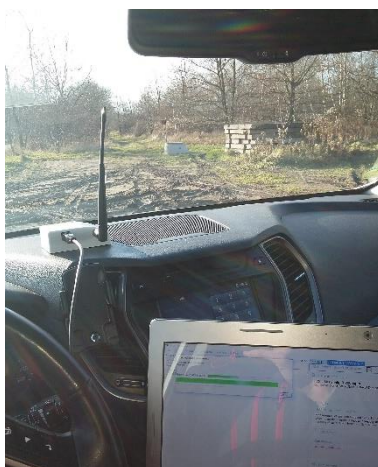
#### - IJINUS Ultrasonic level sensor LNU06V3



Obr. 3. 16. Hladinoměr IJINUS (foto: Jakub Lžičař)

Hladinoměr je řešen jako „all-in-one“, tedy kombinuje ultrazvukový senzor, záznamník, komunikaci a energii v jednom zařízení. Je to moderní hladinoměr, který pracuje na principu měření výšky pomocí ultrazvuku s automatickými změnami měřicího cyklu v závislosti na prahových hodnotách průtoků dle konverzních tabulek.

Výhodou hladinoměru IJINUS je sloučení všech potřebných modulů do jednoho zařízení, které je svými rozměry velmi malé. Výhodou řešení od firmy IJINUS je také bezdrátový přenos dat na vzdálenost až 80 m, což je velmi výhodné, neboť nepotřebujeme neustále otevírat šachtu. Hladinoměr je připraven na stálé měření nebo i na dočasné během monitorovací kampaně.



Obr. 3. 17. Stahování dat (foto: Jakub Lžičař)

### Princip měření:

Volná vodní hladina je měřena za pomoci ultrazvukových vln vysílaných do měřeného média. Z důvodu závislosti šíření ultrazvukových vln na atmosférické teplotě je tento senzor vybaven i měřením teploty.

### Montáž:

Senzor se usazuje do výrobcem dodávaných speciálních držáků. Držák je kombinací nerezavějící oceli a plastové úchytky, proto je potřeba ať už kvůli ochraně proti odcizení nebo uvolnění plastové úchytky, senzor dodatečně zajistit.



Obr. 3. 19. Osazení hladinoměru na OK (foto: autor)



Obr. 3. 18. Osazení hladinoměrů ISCO a IJINUS (foto: Jakub Lžičař)

### Problémy související s měřením:

Problémy během měření mohou nastat při malých výškách vodní hladiny, neboť senzor reaguje dle výrobce až od 0,03 m.

### Zpracovávání naměřených dat:

Pokud budeme uvažovat, tak že monitorovací kampaň bude probíhat 12 týdnů a frekvence měření bude 15 minut, dostáváme přibližně 8000 záznamů z jednoho přístroje. Proto je dobré využít na zpracování nějaký sofistikovaný softwarový nástroj.

Nejčastějším nástrojem na správu a zpracování dat je Flowlink 5.1. Poskytovatel uvádí, že se jedná o software umožňující stahování a import dat, jejich porovnání a analýzy. Flowlink generuje také různé informativní grafy a tabulky. Můžeme si nechat zobrazit jednoduché grafy nebo provádět sofistikované analýzy dat. Všechna vložená data je však potřeba řádně zkontrolovat a případné anomálie v měření opravit, což nám Flowlink umožní. Software je kompatibilní se sestavou ISCO 2150 i s hladinoměrem IJINUS.

Software na zpracování a správu dat nabízí také společnost FIEDLER AMS s.r.o., která tento program nabízí pod názvem MOST. Společnost uvádí, že kromě grafického a tabulkového zobrazení program umí i základní statistické zpracování.

Zajímavým nástrojem na zpracování dat může být i software *Modeler* od společnosti Statistica.pro. Tento analytický software je velmi propracovaný a nabízí nepřeberné množství analytických metod a následný export přímo do MS excel je velkou předností.

- **Jakost**

Pro komplexnost měření se na stokovou síť během monitorovací kampaně osazují i vzorkovače jakosti odpadní vody. Měření jakosti probíhá zejména na odlehčovacích komorách, kdy chceme vědět, jaké složení odpadních vod je odlehčováno do recipientu. Dále pak na vstupu na ČOV, aby v případě nežádoucích látek, které mohou ohrozit biocenózu v aktivačních nádržích, mohla být ČOV odstavena z provozu.



Obr. 3. 21. Kontinuální měření jakosti  
(foto: Jakub Lžičař)



Obr. 3. 20. Vyhodnocení bodového odběru vzorku jakosti odpadní vody  
(foto: Jakub Lžičař)

- **Profil potrubí**

Před každým osazením průtokoměru s AV senzorem je potřeba si změřit profil potrubí. Jednak kvůli montážním plechům (počet a velikost), ale také především pro zjištění profilu v daném místě pro následný výpočet průtoku.

Při instalaci si vystačíme s obyčejným svinovacím metrem. Ten však není úplně přesný. Pro větší přesnost je možnost si daný profil změřit tzv. profiloměrem, který nám pomocí optických senzorů zaměří přesný profil potrubí.

V současnosti však tento měřicí přístroj nenachází při měření průtoků moc uplatnění, neboť to není ekonomicky výhodné. Uplatnění však může najít během kalibrace či verifikace, neboť průřez potrubí se po délce může měnit a tento přístroj je to schopen naměřit. Jedná se však o velké množství dat, které je potřeba následně zpracovat. Přístroj se používá spíše při renovaci stokové sítě u technologie přesně šitého rukávce. Používá například firma WOMBAT s.r.o.

### 3.4. Tabulky měřících zařízení

V příloze jsou zpracovány tabulky dostupných měřících zařízení od dostupných výrobců či distributorů.

V současné době je na trhu velké množství ultrazvukových měřících zařízení průtoků a výšky vodní hladiny, je tedy z čeho vybírat. Za to výrobců disdrometrů je pomálu, přijde mi to jako škoda, neboť se jedná o přesnější měření srážkových událostí, nežli tomu je v případě člunkových srážkoměrů.

## 4. Odchylky

Odchylky během modelování závisí především na „modelářovi“, který volí nejrůznější koeficienty pro výpočet. Tyto parametry je potřeba zadávat s určitým citem a taky se zkušenostmi, abychom dosáhli v modelu skutečného průtoku.

Odchylky mohou vznikat i během měření, kdy každé měření fyzikálních veličin je zatíženo chybami. Přesným měřením se tyto chyby snažíme minimalizovat, avšak nikdy tyto chyby nemůžeme zcela odstranit.

### 4.1. Teorie

#### 4.1.1. Chyby měření

Podle příčin vzniku chyby dělíme na:

##### a) Hrubé chyby

Hrubé chyby jsou chyby, které při měření ovlivní hrubě skutečnou měřenou veličinu. Může se jednat o poruchu měřícího zařízení atd. Například u AV senzorů to znamená zachycení nečistot na senzoru, který potom nemůže měřit. Dále pak u srážkoměrů se může jednat o ucpání nálevky na vahadla.

Tyto chyby se často odhalí při vizuální kontrole nebo až při samotném zpracování dat, kdy jsou naměřené hodnoty diametrálně odlišné od ostatních. Je tedy nutné před každou analýzou dat z těchto měřících zařízení provést jejich kontrolu, případně následnou korekci, aby se mohlo pracovat dál.

##### b) Soustavné chyby

Soustavné chyby nebo také systematické chyby ovlivňují výsledek s určitou pravidelností. Chyba se projevuje stálým podhodnocováním nebo nadhodnocováním skutečné měřené hodnoty. Chybu lze odhadnout a tím ji vyloučit, avšak to není zcela korektní způsob. Soustavné chyby mohou mít původ v použité metodě měření, v měřícím přístroji nebo v pozorovateli. V konečném důsledku může mít negativní vliv na měřené médium také samotný měřící přístroj. Příkladem může být AV senzor, který je umístěn přímo v měřeném profilu.

*Vliv soustavných chyb na výsledek měření se se zvětšujícím se počtem opakování měření nezmenšuje. Pokud však známe zdroje těchto chyb, můžeme provést jejich korekci a výrazně omezit jejich vliv na výsledek měření. [10]*

##### c) Náhodné chyby

Náhodné chyby jsou chyby, které nejsou předem definované. Poznáme je pouze tak, že dvě naměřené veličiny se za stejných podmínek liší. Může se jednat o nejrůznější příčiny.

*Měření fyzikálních veličin představuje v důsledku působení náhodných chyb statistický proces s náhodnou proměnnou. Pravděpodobnou hodnotu měřené fyzikální veličiny a její chyby tak lze určit statistickými metodami. Vliv náhodných chyb na výsledek měření klesá s počtem opakovaných měření. [10]*

## 4.2. Náhodné chyby – teorie

Náhodné chyby měření mohou nabývat libovolných hodnot. S větším počtem opakovaného měření se tyto chyby vymezují.

Abychom tyhle chyby mohli kvantitativně, vyhodnocovat je zapotřebí si vymezit několik pojmů. První významným pojmem je *absolutní četnost*  $n(x)$  chyby o určité velikosti  $x$ , kdy tato veličina je přímo úměrná počtu měření za stejných podmínek. Proto zavádíme *relativní četnost*  $p(x)$ , kdy absolutní četnost podělíme počtem měření:

$$p(x) = \frac{n(x)}{n} \quad (4.1)$$

Následně, pokud budeme chtít dostat z relativní četnosti hustotu pravděpodobnosti, je zapotřebí *pravděpodobnost*  $dP(x)$  podělit šířkou intervalu  $dx$ :

$$\frac{dP(x)}{dx} = p(x) \quad (4.2)$$

Dále budeme následně chtít zjistit pravděpodobnost toho, že chyba leží v mezích např.  $e$ ,  $-e$ , je zapotřebí hustotu pravděpodobnosti integrovat.

$$P = \int_{-e}^e p(x) dx \quad (4.3)$$

Hodnota označována jako  $P$  je pravděpodobnost, že velikost chyby nepřekročí tuto hranici.

Pokud však budeme chtít vypočítat pravděpodobnost spojitě náhodné chyby je zapotřebí k tomu použít *normální rozdělení pravděpodobnosti* nebo též, označováno jako *Gaussovo rozložení*. Toto rozložení popisuje celou řadu veličin, jejichž hodnoty se shlukují kolem střední hodnoty a vytváří tak charakteristický zvonovitý tvar křivky. Normální rozložení pravděpodobnosti je popsáno dvěma parametry, které jsou označovány  $\sigma^2$  (*rozptyl*) a  $\mu$  (*střední hodnota*). Pokud však rozptyl odmocníme, bude se jednat o směrodatnou odchylku označovanou jako  $\sigma$ . To že se jedná o normální rozdělení pravděpodobnosti náhodné chyby  $x$  poznáme ze zápisu  $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ . Hustota náhodné veličiny má poté následující tvar: [11]

$$p(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (4.4)$$

Vlastností normálního rozdělení s velkým praktickým významem je, že jsme u něj schopni vyčíslit procentuální pravděpodobnost, s jakou bude chyba ležet v intervalu  $\pm \sigma$  *směrodatné odchylky* od *střední hodnoty*  $\mu$ . To uskutečníme vyřešením následujícího integrálu:

$$P_\sigma = \int_{-\sigma}^{\sigma} p(x) dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \int_{-\sigma}^{\sigma} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (4.5)$$

Z provedených úvah je zřejmé, že určení směrodatné odchylky  $\sigma$  je pro následné zpracování dat zcela zásadní.

Z těchto úvah vychází i poučka někdy označovaná jako pravidlo  $\pm 3$  *sigma*. Tato poučka nám říká, že pravděpodobnost realizace náhodné veličiny uvnitř tohoto intervalu je více než 99,5 %. [12]



### 4.3. Hodnocení přesnosti měřené veličiny

Výše uvedené úvahy platí v případě, jestliže máme k dispozici velké množství měřených hodnot. Pokud však máme méně měření, je zapotřebí upravit tyto úvahy.

#### 4.3.1. Výběrová směrodatná odchylka

Sebevětší preciznost během měření by byla málo cenná, kdybychom nebyli schopni aspoň přibližně určit chybu výsledku. K tomu slouží směrodatná odchylka. Tato odchylka byla u spojitě náhodné proměnné označována jako  $\sigma$ .

*My ovšem neznáme ani správnou hodnotu  $x_0$ , ani neuskutečňujeme nekonečný počet měření. Při náhodném výběru  $n$  dat měření jsme schopni vypočítat aritmetický (tj. výběrový) průměr  $\bar{x}$  a odchylky  $\Delta_k = x_k - \bar{x}$  jednotlivých naměřených hodnot  $x_k$  od tohoto průměru. Můžeme provést součet druhých mocnin těchto odchylek přes všechna  $k$  a vypočítat jejich aritmetický průměr; tedy postupovat analogicky jako v případě výpočtu směrodatné odchylky  $\sigma$  pro spojitou proměnnou. Součet druhých mocnin odchylek  $\Delta_k$  však nemůžeme dělit počtem  $n$  měření, jak by se dalo očekávat, nýbrž  $n - 1$ . [10]*

Následně tedy má výběrová směrodatná odchylka jednoho měření výraz:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \Delta_k^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} \quad (4.6)$$

Je také důležité znát, jakou chybou bude zatížen výběrový průměr naměřených hodnot. V tomto případě se však jedná už o chybu z vypočtené veličiny, a proto musíme použít příslušný postup. Výsledný tvar směrodatné odchylky aritmetického (výběrového) průměru je:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum \Delta_k^2}{n(n-1)}} \quad (4.7)$$

#### 4.3.2. Vliv nepřesnosti měřidla

Měřidlo neboli měřící přístroj je technické zařízení pro měření fyzikálních veličin.

Při výrobě je potřeba, aby měřidlo prošlo tzv. cejchováním, kdy se ověří jeho správnost, případně se vyznačují měřící značky. V zákoně 505/1990 Sb., zákon o meteorologii je uvedený proces schvalování a postup ověřování a kalibrace měřidel.

Každé měřidlo je zhotoveno s určitou chybou, která má složku soustavnou i náhodnou. Soustavnou chybu nelze ani opakováním odstranit, proto jej v určitých případech musíme porovnat s přesnějším měřidlem. Chybu měřidla obecně bereme jako zlomek nejmenšího dílku měřidla.

U digitálních přístrojů se dovolená odchylka uvádí jako součet dvou relativních chyb:

$$\delta = |\delta_M| + |\delta_R| \frac{M}{X} \quad (4.8)$$

kde  $\delta_R$  je relativní chyba z maximální hodnoty měřícího rozsahu (obvykle na štítku měřidla) a  $\delta_M$  je relativní chyba z měřené hodnoty,  $X$  je naměřená hodnota na rozsahu  $M$ . [10]

### 4.4. Určování chyb vypočtené veličiny

Tento typ chyby je specifický, neboť námi hledaná veličina je skládána z více měřených veličin. Můžeme zapsat následovně:

$$u = u(x, y, z \dots) \quad (4.9)$$

kde  $u$  nám představuje vypočtenou veličinu a veličiny  $x, y, z \dots$  jsou měřeny.

Předpokladem je, že každá měřená veličina je spjata s její směrodatnou odchylkou. Zápis může vypadat následovně:

$$x = \bar{x} \pm s_{\bar{x}} \quad y = \bar{y} \pm s_{\bar{y}} \quad z = \bar{z} \pm s_{\bar{z}} \quad (4.10)$$

Pravděpodobná hodnota výsledné směrodatné chyby bude:

$$\bar{u} = u(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z} \dots) \quad (4.11)$$

Dále je zapotřebí stanovit *horní mez směrodatné odchylky vypočtené veličiny*. Kdy dílčí odchylky uvažujeme dostatečně malé. Následně můžeme aproximovat totálním diferenciálem funkce několika nezávisle proměnných (tj. měřené veličiny) v okolí uvažovaného bodu (tj. vypočtené pravděpodobné veličiny) [10]:

$$du = \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy + \frac{\partial u}{\partial z} dz + \dots \quad (4.12)$$

Horní mez se určí, tak že diferenciály nahradíme výběrovými směrodatnými odchylkami měřených veličin a parciální derivace budeme uvažovat se stejným znaménkem. Následný výraz pro *horní mez směrodatné odchylky vypočtené veličiny* je:

$$(s_{\bar{u}})_{max} = \left| \frac{\partial u}{\partial x} \right| s_{\bar{x}} + \left| \frac{\partial u}{\partial y} \right| s_{\bar{y}} + \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| s_{\bar{z}} + \dots \quad (4.13)$$

Výsledek popisuje nejméně příznivý stav, kdy se ve své podstatě všechny odchylky pouze sečtou. Tento výsledek zároveň platí převážně pro veličiny zatížené soustavnými chybami.

Jsou-li však vypočtené hodnoty zatíženy převážně nahodilými chybami je zapotřebí, užití jiné metody. Tou metodou je metoda nejmenších čtverců, která zohledňuje kompenzaci jednotlivých náhodných chyb. Tato metoda tedy hodnotí směrodatnou odchylku vypočtené veličiny příznivěji a má tvar:

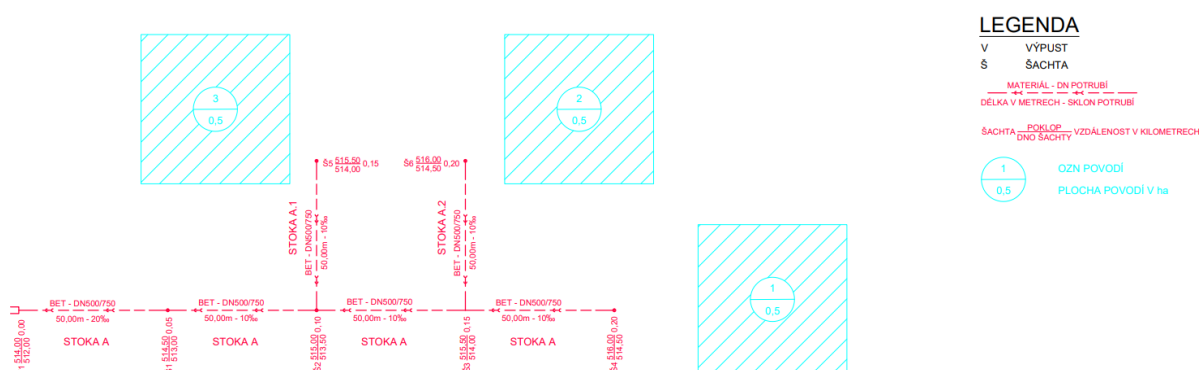
$$s_{\bar{u}} = \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 s_{\bar{x}}^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 s_{\bar{y}}^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 s_{\bar{z}}^2 + \dots} \quad (4.14)$$

Tento výsledek je také označován jako kvadratický (Gaussův) zákon hromadění chyb.

## 4.5. Odchylnky při měření průtoků

V této kapitole bylo cílem porovnat parametry, které jsou do výpočtu průtoků přímo zainteresovány anebo parametry, které jsou voleny tvůrcem matematického modelu. Jedná se o hrubé chyby z měření či potom modelování. Byla tedy vytvořena fiktivní situace, ve které budou měněny rozměry potrubí, které přímo souvisí s výpočtem průtoků. Dalším parametrem ovlivňujícím do určité míry průtok stokou sítí je drsnost potrubí. Tento parametr se však zadává až do modelu, avšak bylo zajímavé jej porovnat v závislosti na výšce plnění.

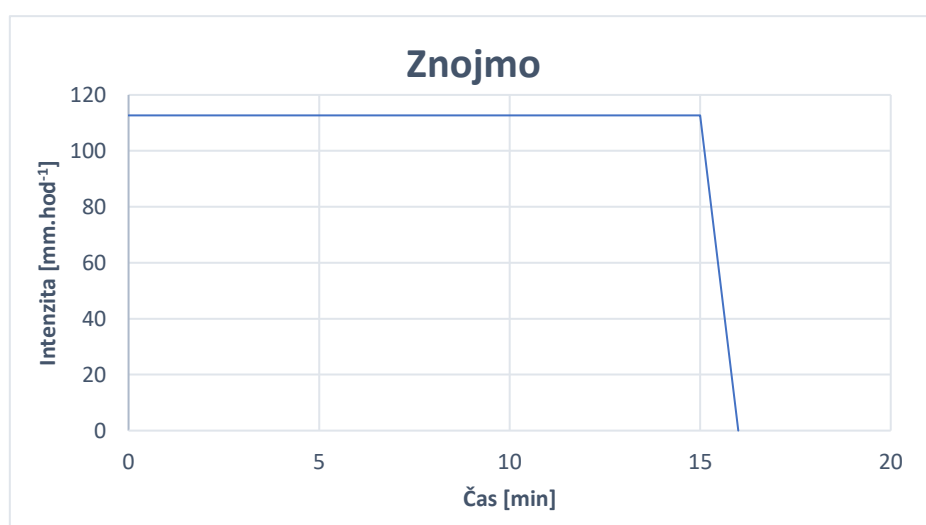
Fiktivní situace se skládá ze tří povodí, každé o výměře 0,5 ha. Každému povodí byla nastavena hodnota nepropustných ploch na 85 %. Procentuální hodnotu nepropustných ploch bylo voleno za předpokladu, že se fiktivní situace bude nacházet v urbanizovaném území.



Obr. 4. 1. Fiktivní situace

Následně byly propojeny jednotlivé šachty betonovým potrubím o vejčitém tvaru. Přesněji se jedná o vejčité potrubí v poměru stran 2 : 3 (b : h) a o rozměrech 500/750 mm.

Celá situace bude zatížena blokovým deštěm. Intenzita byla vybrána dle Truplových tabulek pro lokalitu Znojmo. Hodnota intenzity byla zvolena pro 15minutový déšť s periodicitou  $p=0,05$  (1x za 20 let). Hodnoty i typ srážkových dat byly vybrány s ohledem na to, že se jedná o fiktivní situaci a není potřeba, aby situace odrážela skutečné chování.



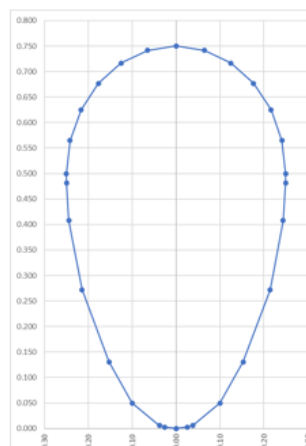
Obr. 4. 2. Průběh blokového deště

#### 4.5.1. Dimenze potrubí

Když vytváříme model, zadáváme do něj hodnoty dimenzí potrubí dle provozovatele, avšak skutečnost může být jiná. Může se jednat o projev deformací způsobené špatným hutněním potrubí nebo nadměrným zatěžováním. Dále se pak může jednat o monolitické potrubí, které bylo betonováno přímo na stavbě stokové sítě.

Pro ověření, do jaké míry nám tyto nepřesné rozměry ovlivní výsledný průtoky v síti, bylo použito jako původní betonové potrubí vejčitého tvaru (vídeňský typ) o rozměrech 500/750 mm. Rozměry potrubí, které byly importovány do simulačního modelu viz Obr. 4. 3.

Depth/Full Depth (d/D)	Width of Full Depth (w/D)
0.0000	0.0000
0.0026	0.0512
0.0059	0.0760
0.0500	0.2000
0.1307	0.3056
0.2720	0.4290
0.4076	0.4886
0.4815	0.4995
0.5000	0.5000
0.5647	0.4830
0.6250	0.4330
0.6768	0.3536
0.7165	0.2500
0.7415	0.1294
0.7500	0.0000

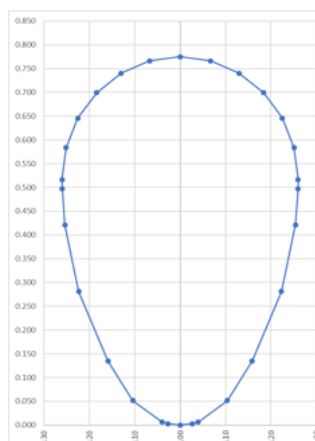


Obr. 4. 3. Vejčitý profil vídeňského typu DN500/750

Následně byla provedena simulace.

Dále pak byl rozměr trouby pozměněn (zvětšen) jak na výšku, tak na šířku. Jedná se tedy o zcela smyšlené rozměry. Dimenze tedy byla zvětšena na 520/775 mm viz Obr. 4. 4.

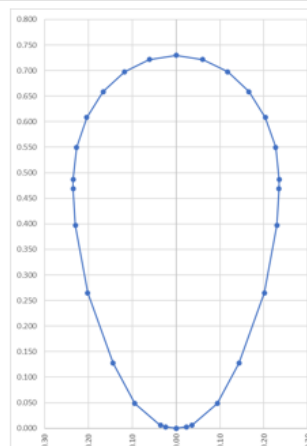
Depth/Full Depth (d/D)	Width of Full Depth (w/D)
0.0000	0.0000
0.0027	0.0532
0.0061	0.0791
0.0517	0.2080
0.1351	0.3178
0.2811	0.4462
0.4212	0.5081
0.4975	0.5195
0.5167	0.5200
0.5835	0.5023
0.6458	0.4503
0.6993	0.3677
0.7404	0.2600
0.7662	0.1346
0.7750	0.0000



Obr. 4. 4. Zvětšená dimenze vejčitého potrubí vídeňského typu

Poté bylo potrubí zmenšeno. Dimenze byla zmenšena na 470/730 mm viz Obr. 4. 6. Znovu se jedná o zcela smyšlené hodnoty.

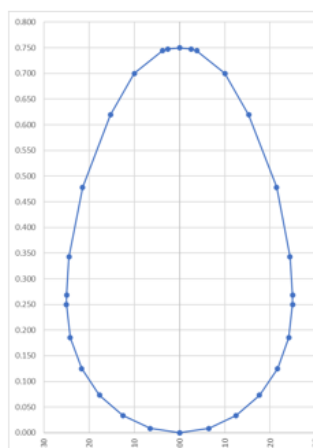
Depth/Full Depth (d/D)	Width of Full Depth (w/D)
0.0000	0.0000
0.0026	0.0481
0.0058	0.0715
0.0487	0.1880
0.1272	0.2873
0.2648	0.4033
0.3967	0.4593
0.4686	0.4696
0.4867	0.4700
0.5496	0.4540
0.6083	0.4070
0.6587	0.3323
0.6974	0.2350
0.7217	0.1216
0.7300	0.0000



Obr. 4. 6. Zmenšená dimenze vejčitého potrubí vídeňského typu

Někdy se můžeme setkat i s tím, že z nějakých nezištných důvodů je potrubí vejčitého profilu otočené od běžného hydraulicky výhodného tvaru. Následující simulace tedy byla provedena na vejčitém profilu, který byl obrácený. Rozměry zadávané do SWMM viz Obr. 4. 5.

Depth/Full Depth (d/D)	Width of Full Depth (w/D)
0.0000	0.0000
0.0085	0.1294
0.0335	0.2500
0.0732	0.3536
0.1250	0.4330
0.1853	0.4830
0.2500	0.5000
0.2685	0.4995
0.3424	0.4886
0.4780	0.4290
0.6193	0.3056
0.7000	0.2000
0.7441	0.0760
0.7474	0.0512
0.7500	0.0000



Obr. 4. 5. Obrácené vejčité potrubí vídeňského typu

Výsledky ze simulací byly zpracovány do tabulky (Tabulka 4. 1). Z tabulky je možné vidět, že při malém průtoku, který ve fiktivní síti nastal, rozměry potrubí nemají zásadní vliv na průtok.

Tabulka 4. 1. Výsledky simulací nad fiktivní situací

Úsek	Průtok [l.s <sup>-1</sup> ]		Rozdíl v procentech	Průtok [l.s <sup>-1</sup> ]		Rozdíl v procentech	Průtok [l.s <sup>-1</sup> ]		Rozdíl v procentech
	Potrubí 500/750	Potrubí 520/775		Potrubí 500/750	Potrubí 470/730		Potrubí 500/750	Potrubí 500/750*	
1	46.06	46.13	0.15	46.06	45.88	-0.39	46.06	46.40	0.73
2	46.26	46.37	0.24	46.26	45.98	-0.61	46.26	46.90	1.36
3	31.82	31.86	0.13	31.82	31.69	-0.41	31.82	32.15	1.03
4	16.49	16.53	0.24	16.49	16.43	-0.37	16.49	16.74	1.49
5	16.49	16.53	0.24	16.49	16.43	-0.37	16.49	16.74	1.49
6	16.49	16.53	0.24	16.49	16.43	-0.37	16.49	16.74	1.49

**Průměrný procentuální  
rozdíl**

**0.21**

**-0.42**

**1.27**

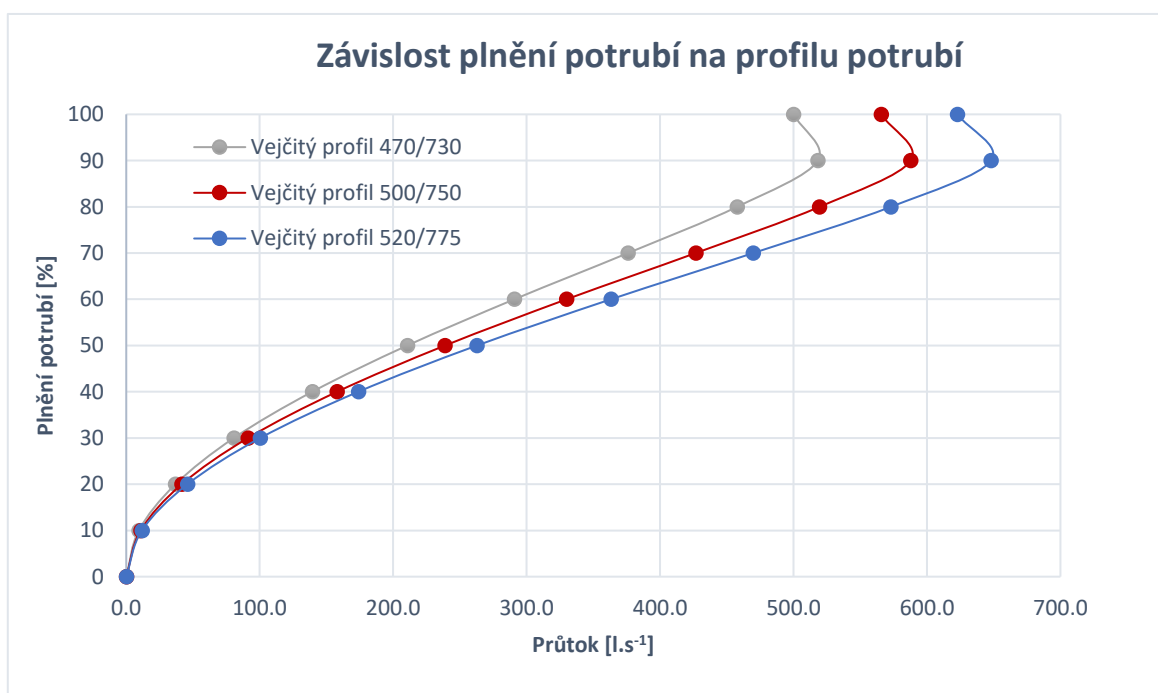
\*otočené potrubí

Průtok je však minimální. Bylo by teda dobré si vyzkoušet, jakým způsobem se tato odchylka mění v závislosti na výšce plnění. Byl tedy sestaven výpočet pro ustálené rovnoměrné proudění ve vídeňském vejčitém profilu. V závislosti na výšce plnění byly pro jednotlivé úrovně sestaveny průtočné plochy a omočené obvody. Profily vídeňského vejčitého profilu zadávané do výpočtu byly DN500/750, DN470/730 a DN520/775. Součinitel drsnosti byl jednotný a roven hodnotě  $n=0,014$ . Rychlostní součinitel byl stanoven dle Manninga. Sklon potrubí byl zvolen 1 %.

V tabulce jsou uvedeny průtoky pro jednotlivé dimenze potrubí. Celý výpočet v příloze. Tyto hodnoty byly následně zaneseny pro lepší názornost do grafu (Obr. 4. 7).

Tabulka 4. 2. Vypočtené hodnoty průtoků v závislosti na výšce plnění

DN	500/750	520/775	470/730
Plnění	Průtok		
[%]	[l.s <sup>-1</sup> ]		
0	0.000	0.000	0.000
10	10.811	11.762	9.444
20	41.597	45.915	36.922
30	91.237	100.431	80.618
40	157.994	173.899	139.415
50	238.887	262.794	210.616
60	329.972	363.202	290.817
70	426.735	469.816	375.983
80	519.499	572.963	457.706
90	587.820	648.050	518.202
100	565.639	622.837	500.021



Obr. 4. 7. Graf závislosti plnění potrubí na rozměrech potrubí



Tyto průtoky byly následně vyjádřeny v procentuálním rozdílu vztaženého na základní rozměr potrubí a to DN500/750.

Tabulka 4. 3. Procentuální rozdíl průtoků v závislosti na procentu plnění

Plnění [%]	DN 520/775 470/730 Rozdíl [%]	
	0	0.0
10	8.8	12.6
20	10.4	11.2
30	10.1	11.6
40	10.1	11.8
50	10.0	11.8
60	10.1	11.9
70	10.1	11.9
80	10.3	11.9
90	10.2	11.8
100	10.1	11.6

Výsledky jsou zajímavé s ohledem na to, že potrubí bylo měněno v řádech *cm* dosahoval rozdíl průtoků při 100 % okolo  $60 \text{ l.s}^{-1}$ . Podle procentuální vyjádření je to okolo 10 %, což při kalibraci, která má být s přesností menší než oněch 10 % je zajímavý poznatek.

#### 4.5.2. Součinitel drsnosti

Pro úplnost byla znázorněna závislost součinitele drsnosti je koeficient, který volí každý projektant podle svého uvážení. Chybně zadaný součinitel drsnosti může značně ovlivnit průtok stokou.

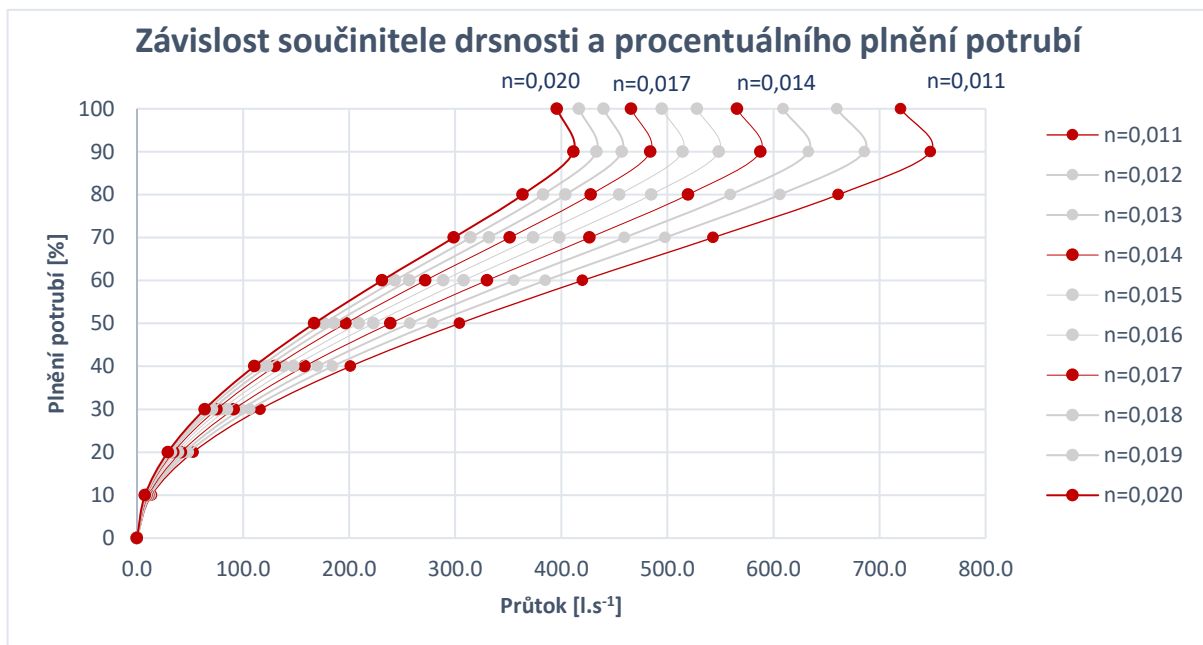
V následující kapitole jsme porovnali závislost plnění potrubí na změně součinitele drsnosti. Porovnávání probíhalo na vejčitém potrubí DN500/750 a sklonu potrubí 1 %.

Tabulka 4. 4. Vypočtené průtoky v závislosti součinitele drsnosti na procentu plnění potrubí

n	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.017	0.018	0.019	0.02
Plnění [%]	Průtok [l.s <sup>-1</sup> ]									
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10	13.7595	12.6128	11.6426	10.8110	10.0903	9.4596	8.9032	8.4086	7.9660	7.5677
20	52.9419	48.5301	44.7970	41.5972	38.8241	36.3976	34.2565	32.3534	30.6506	29.1180
30	116.1198	106.4432	98.2552	91.2370	85.1545	79.8324	75.1364	70.9621	67.2273	63.8659
40	201.0831	184.3262	170.1473	157.9939	147.4610	138.2447	130.1126	122.8841	116.4165	110.5957
50	304.0379	278.7014	257.2629	238.8869	222.9611	209.0261	196.7304	185.8010	176.0220	167.2209
60	419.9639	384.9669	355.3541	329.9716	307.9735	288.7252	271.7414	256.6446	243.1370	230.9802
70	543.1168	497.8570	459.5604	426.7346	398.2856	373.3928	351.4285	331.9047	314.4360	298.7142
80	661.1803	606.0819	559.4602	519.4988	484.8655	454.5614	427.8225	404.0546	382.7886	363.6492
90	748.1339	685.7894	633.0364	587.8195	548.6316	514.3421	484.0867	457.1930	433.1302	411.4737
100	719.9039	659.9119	609.1494	565.6388	527.9295	494.9339	465.8202	439.9413	416.7865	395.9471

V tabulce je vidět rozdíl mezi  $n=0,014$  (hodnota běžně používaná pro betonové potrubí) a  $n=0,02$  (hodnota betonového potrubí, které je silně degradované/znečištěné), tento rozdílový průtok po vyčíslení činí  $169,6916 \text{ l.s}^{-1}$ .

Pro lepší názornost byly tyto hodnoty zaneseny do grafu (Obr. 4. 8).



Obr. 4. 8. Graf průtoků v závislosti součinitele drsnosti na procentu plnění potrubí

Následně byly rozdíly znázorněny procentuálně mezi jednotlivými drsnostmi. V závislosti na výšce plnění se rozdíl procentuálně měnil pouze do 10 % výšky plnění poté se ustálil na konstantní hodnotě. Tyto konstantní hodnoty jsou zobrazeny v tabulce. Procentuální rozdíly byly vztaženy k hodnotě  $n=0,014$ .

Tabulka 4. 5. Procentuální rozdíly závislosti součinitele drsnosti na procentuální výšce plnění

n	Rozdíl	n	Rozdíl
	[%]		[%]
0.014	0.0	0.014	0.0
0.013	-7.7	0.015	6.7
0.012	-16.7	0.016	12.5
0.011	-27.3	0.017	17.6
		0.018	22.2
		0.019	26.3
		0.020	30.0



## 5. Vybraná část stokové sítě města Znojma

### 5.1. Základní informace

Tabulka 5. 1. Základní informace [13]

Popis	Značení	Jednotky	rok				
			2017	2020	2030	2040	2050
Počet trvale bydlících obyvatel připojených na veřejnou kanalizaci	$N_k$	obyv.	26976	26952	26806	26383	25886
Počet trvale bydlících obyvatel napojený na ČOV	$N_{\text{čov}}$	obyv.	26976	26830	26806	26383	25886
Počet obyvatel se svozem na ČOV	$N_{\text{sčov}}$	obyv.	160	122	0	0	0
Produkce odpadních vod	$Q_{\text{spl}}$	$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$	4138.2	4120.6	4108.4	4066.1	4016.4
Produkce BSK <sub>5</sub>	BSK <sub>5</sub>	$\text{kg} \cdot \text{den}^{-1}$	2121.5	2112.0	2108.1	2082.7	2052.9
Produkce CHSK	CHSK	$\text{kg} \cdot \text{den}^{-1}$	3972.7	3955.2	3948.1	3901.6	3846.9
Produkce NL	NL	$\text{kg} \cdot \text{den}^{-1}$	1944.7	1936.0	1932.4	1909.1	1881.8

### 5.2. Popis současného stavu

Ve městě Znojmě je vybudována gravitační jednotná kanalizace, kterou jsou odpadní vody odváděny do jihovýchodní části města, kde je na katastrálním území obce Dobšice umístěna stávající ČOV. Stávající stoková síť byla budována postupně od roku 1846. [13]

Páteřními stokami pro odvádění odpadních vod jsou hlavní stoky A a B, jejichž trasy vedou prakticky celým městem od severu až k jihu. Na obou kmenových stokách jsou vybudovány dešťové nádrže, které mají za úkol ochránit recipient před znečištěním z kanalizačního systému. Na tyto stoky se postupně napojují hlavní stoky a vedlejší stoky z jednotlivých částí města. [13]

Na jednotné kanalizaci jsou vybudovány odlehčovací komory, kterými jsou v době zvýšených srážek nařaděné odpadní vody v požadovaném poměru ředění odlehčeny do recipientu. [13] Recipientem je řeka Dyje, která je zároveň recipientem vyčištěné vody z ČOV Dobšice.

Provozovatelem stokového systému ve městě Znojmě je Vodárenská akciová společnost a.s.

### 5.3. Vymezení zájmové lokality

Pro účely této práce byla vybrána lokalita na severním okraji města Znojma. Jedná se o území nad kritickou lokalitou, kterou je střed města. V této oblasti se také nachází úpravná vody provozovatele Vas a.s. (Vodárenská akciová společnost a.s.).

Na zájmovém území se nachází 316 šachet (nodes) a 711 povodí (catchments). Dále se na zájmovém území nachází 5 odlehčovacích komor.

Samotné území bylo vymezeno dle mapy (Obr. 5. 1.). Červenou barvou je označený přítok č. 1 z obce Přímětice. Pod č. 2 je významný nátok z výtlaku. Následné dva odtoky, značené modrou barvou, označují odtok z vymezeného území, kde odtok č. 4 je Stoka L a odtok č. 3 je Stoka A.



Obr. 5. 1. Mapa vymezeného území; zdroj ortofoto: cuzk.cz [14]

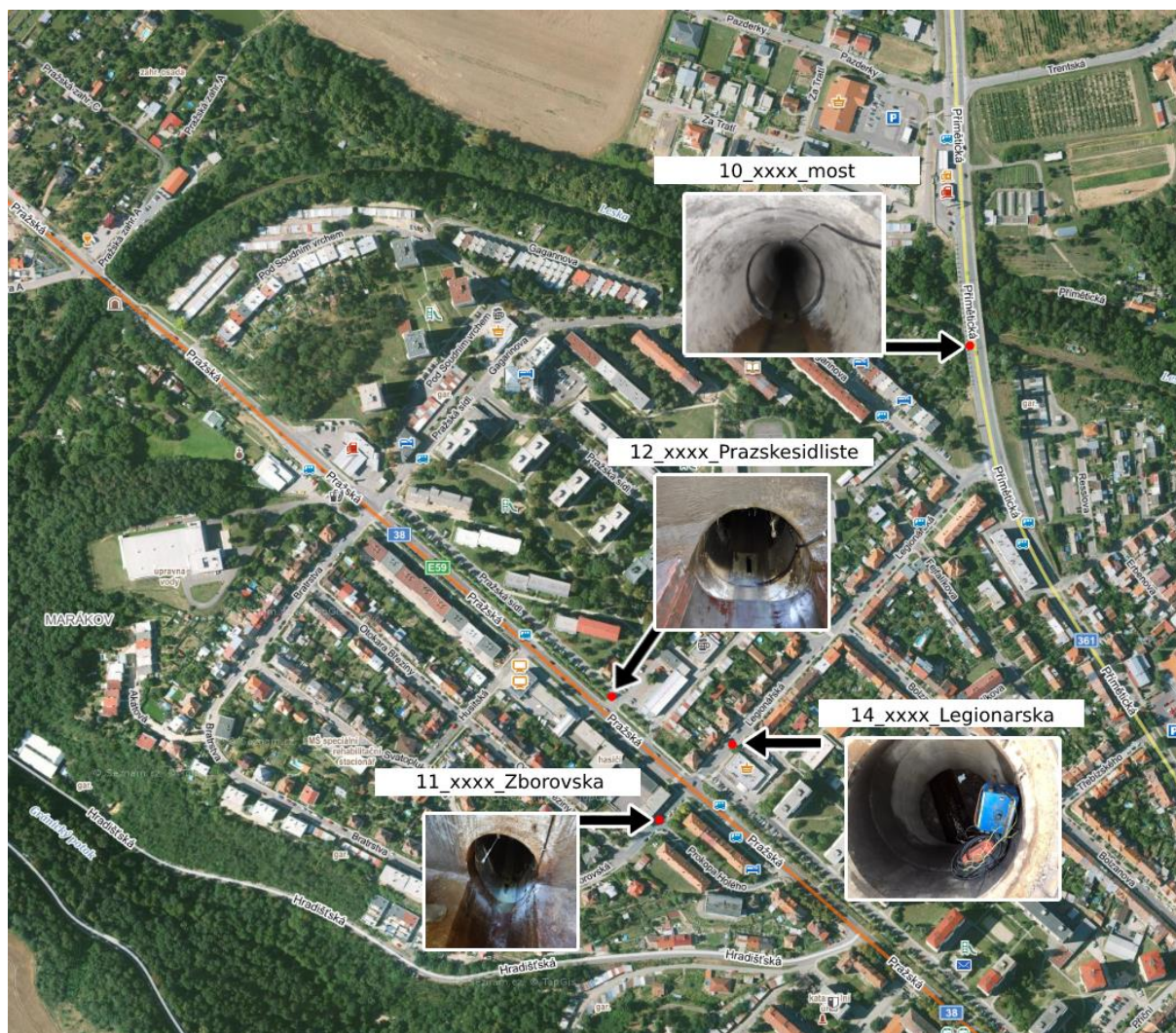
## 5.4. Monitorovací kampaň na stokové síti Znojmo

V zájmovém území bylo zahájena monitorovací kampaň dne 9. 9. 2020. Tato kampaň v současné době pořád probíhá. Toho dne byly (autor se podílel na instalaci) na stokové síti osazeny 3 průtokoměry s AV senzorem a jeden hladinoměr. Průtokoměry byly typu ISCO 2150 s AV senzorem a data modemem.

Jeden z průtokoměrů byl osazen na ulici Přímětická a nese pracovní označení 10\_xxxx\_most. Byl instalován v profilu DN990. Další byl osazen na ulici Zborovská (11\_xxxx\_Zborovska) v profilu DN500/750 a poslední na ulici Pražské sídliště (12\_xxxx\_Prazskesidliste) v profilu DN500. Průtokoměr na ulici Legionářská (14\_xxxx\_Legionarska) byl doinstalován 1.10.2020. Poloha a osazení viz Obr. 5. 2.

Během instalace nastal problém s průtokoměrem osazeným na ulici Zborovská, neboť dle GIS systému provozovatele se zde měl nacházet kruhový profil, avšak po vizuálním průzkumu bylo zjištěno že se jedná o vejčitý profil 500/750. Bylo tedy nutné vytvořit a následně nahrát nové parametry objemů v závislosti na výšce plnění.

Průtokoměr na ulici Legionářská nebyl primárně instalován za účelem následné kalibrace modelu. Tento průtokoměr slouží k zjištění rozdělení průtoků z OK8A.



Obr. 5. 2. Mapa instalovaných průtokoměrů; zdroj ortofoto: seznam.cz

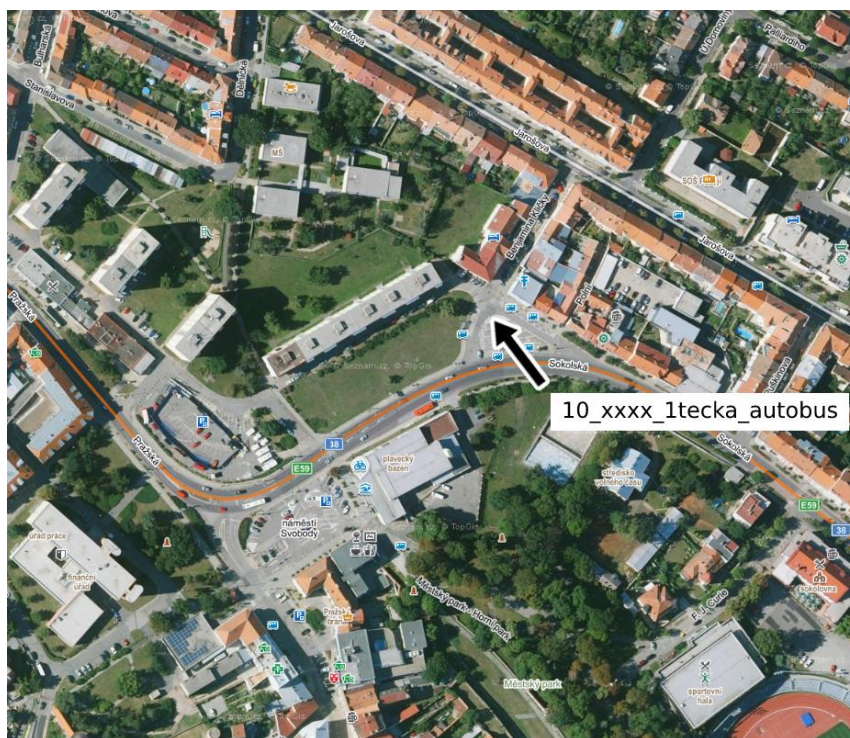
Součástí monitorovací kampaně je i osazení hladinoměru. Hladinoměr nebyl osazen v zájmové lokalitě, avšak je součástí této monitorovací kampaně a byl instalován 9. 9. 2020. Osazen byl za přelivnou hranou na odtoku z odlehčovací komory OK4A. Přístupová šachta k hladinoměru se nachází v cyklostezce naproti domu č.p. 38. Hladinoměr je typu IJINUS LNU06V3.



Obr. 5. 3. Hladinoměr OK4A; zdroj ortofoto: seznam.cz

Na území města Znojma byly ještě 11. 5. 2021 instalovány dva průtokoměry. První z průtokoměrů byl umístěn na křižovatce ulic Sokolská a Benjamina Kličky (Obr. 5. 4.). Tento průtokoměr nese pracovní označení *10\_xxxx\_1tecka\_autobus*. Průtokoměr byl umístěn na odtoku ze šachty v profilu DN900/1350. Druhý průtokoměr byl instalován na ulici 28. října před domem č.p. 28 (Obr. 5. 5.) a nese pracovní označení *11\_xxxx\_2tecky\_vlknadrz*. Průtokoměr byl instalován na odtoku ze šachty v profilu DN800/1200.

Tyto průtokoměry jsou pokračováním projektu UVHO FAST ve městě Znojmo, proto zpracování ani vyhodnocování měřených průtoků není součástí této práce.



Obr. 5. 4. Průtokoměr 10\_xxxx\_1tecka\_autobus\_vlknadrz; zdroj ortofoto: seznam.cz



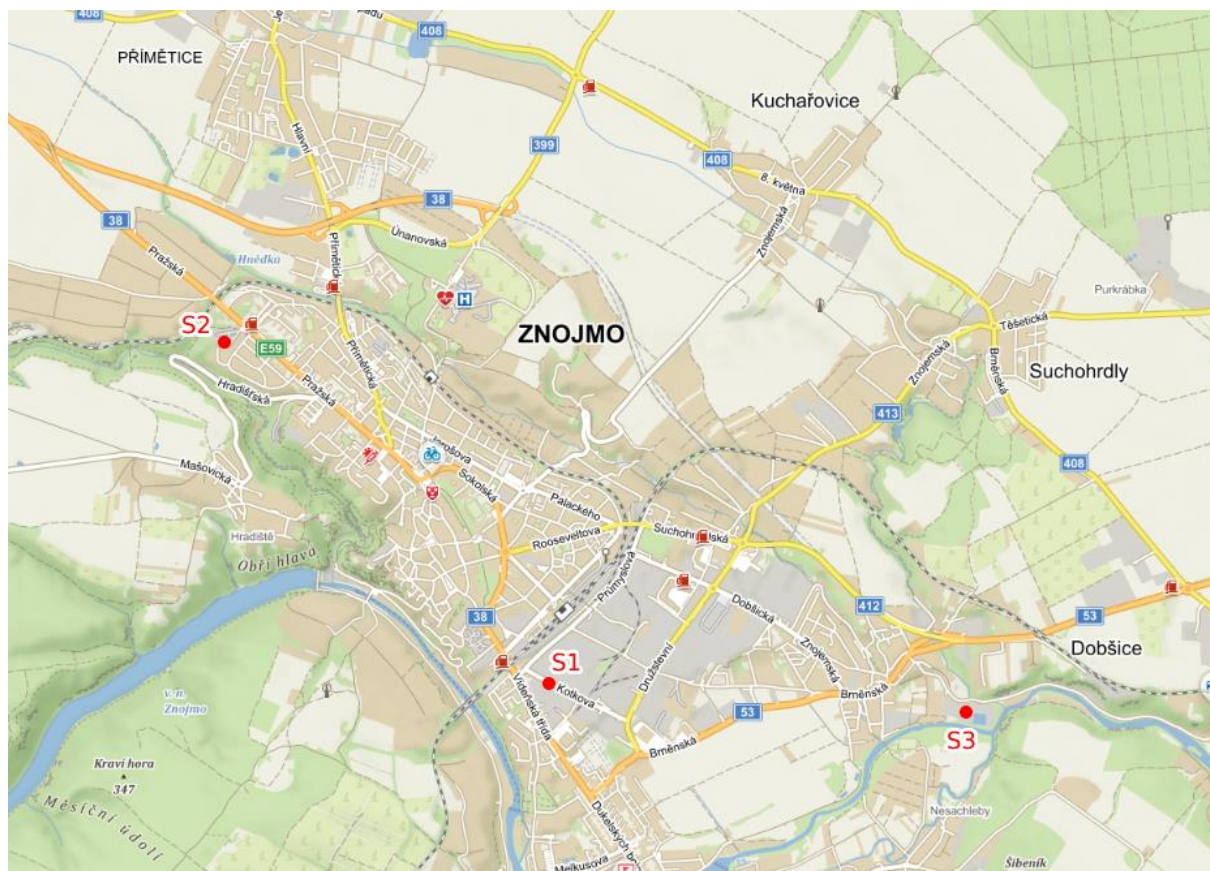
Obr. 5. 5. Průtokoměr 11\_xxxx\_2tecky\_vlknadrz; zdroj ortofoto: seznam.cz

V řešené lokalitě jsou využívána data ze 3 stávajících srážkoměrných stanic, které jsou dlouhodobě užívány ke sledování průběhu dešťových srážek na území města Znojma. Hodnoty ze srážkoměrů jsou v časovém období od 1. 9. 2020 do 10. 11. 2020. Záznam dešťových událostí je v minutovém intervalu.

První srážkoměr je umístěn na ulici Kotkova a nese označení S1. Další srážkoměr se nachází na úpravně vody Znojmo a nese označení S2. Poslední srážkoměr je umístěn na ČOV v Dobšicích a nese označení S3.

Ve všech případech se jedná o pulzní typ srážkoměru značky Fiedler o sběrné ploše 200 cm<sup>2</sup>.

Umístění všech srážkoměrů viz Obr. 5. 6.



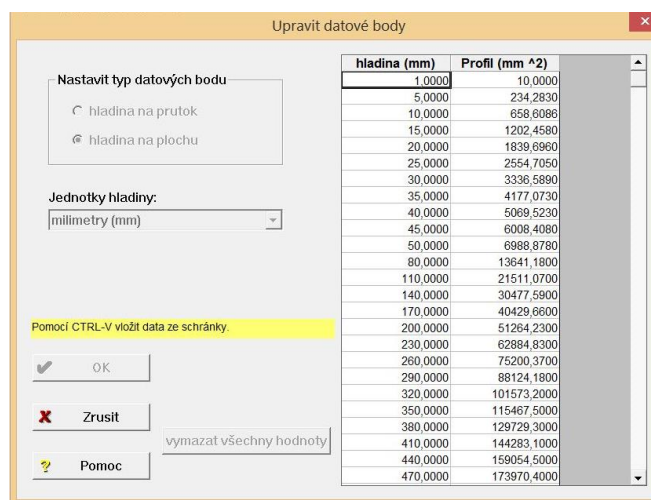
Obr. 5. 6. Mapa srážkoměrů na území města Znojma; zdroj mapy: seznam.cz

Jak je obecně známo oblast jižní Moravy potažmo přímo Znojmo patří k oblastem, které nejsou na srážkové události nijak bohaté. Za sledované období byl v průměru ze 3 srážkových stanic srážkový úhrn za měsíc září 38 mm, avšak dlouhodobý průměr za tento měsíc je 49 mm ([meteoblue.com](http://meteoblue.com)). Za měsíc říjen byl průměrný srážkový úhrn 59 mm, avšak dlouhodobý průměr je 32 mm ([meteoblue.com](http://meteoblue.com)).

### 5.4.1. Vstupní parametr pro průtokoměry

Vstupní hodnotou pro průtokoměry je závislost výšky plnění na průtočné ploše. Bylo tedy zapotřebí si tuto závislost stanovit 50 body a následně nahrát do přístroje. V každém měřeném profilu se jednalo o jiný profil potrubí, proto bylo zapotřebí si předem tyto body připravit.

V dialogovém okně (Obr. 5. 7.) je vidět v jakých jednotkách bylo zapotřebí pracovat, a proto je také vyžadována přesnost. Body byly připraveny předem podle údajů z GIS souboru provozovatele stokové sítě. Na místě však došlo ke kontrolnímu přeměření.



Obr. 5. 7. Dialogové okno datových bodů

### 5.4.2. Výstup ze srážkoměrů

Jak už bylo zmíněno výstup ze srážkoměrů je v časovém kroku 1 minuta. Data jsou typu „back step“ (zpětný krok), to znamená, že naměřená hodnota zapsaná v určité minutě platí od předchozí hodnoty.

V naměřených hodnotách byla hledána dešťová událost, která splňovala následující parametry:

- 10 - 80 mm za menší dobu než 180 minut (<https://www.chmi.cz/>)
- 50 mm za dobu 15 minut

Žádná z dešťových srážek tyto parametry za sledované období nenaplnila.

Za sledované období měla pouze jedna srážka patřičné parametry. Jednalo se o dešťovou srážku ze dne 25. 9. 2020, kde v horizontu 90 minut byl průměrný srážkový úhrn 12.4 mm. Tato hodnota dle Truplových tabulek (1958) odpovídá zhruba dešťové události s periodicitou  $p=2$  (2krát za rok).

Tato dešťová srážka dostala označení ID 20200925 a její průběh je vidět na grafu. Pokud budeme porovnávat „peaky“ můžeme přibližně určit směr deště, který v tomto případě postupoval od západu. Pro přesnější určení směru by bylo potřeba na území města Znojma přidat srážkoměry.

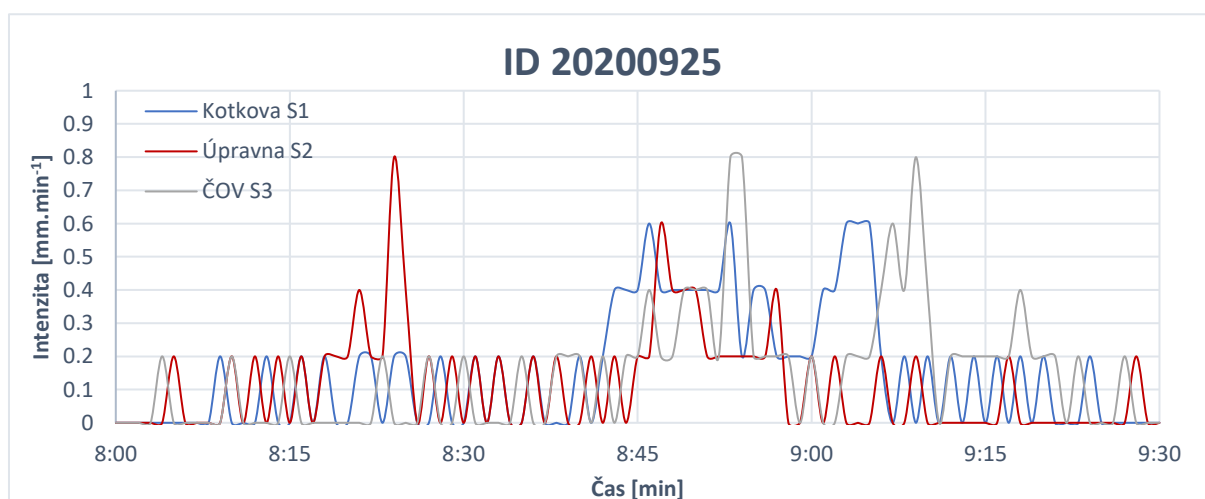
Další srážkové události během vyhodnocovaného období jsou zpracovány v příloze.



Tabulka 5. 2. Průběh dešťové srážky ze dne 25. 9. 2020

Srážkoměr ID 20200925	Kotkova S1		Úpravna S2		ČOV S3	
	Úhrn [mm]	Intenzita [mm/hod]	Úhrn [mm]	Intenzita [mm/hod]	Úhrn [mm]	Intenzita [mm/hod]
Datum a čas	[mm]	[mm/hod]	[mm]	[mm/hod]	[mm]	[mm/hod]
25.09.2020 8:00	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:01	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:02	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:03	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:04	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 8:05	0	0	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:06	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:07	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:08	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:09	0.2	12	0	0	0	0
25.09.2020 8:10	0	0	0.2	12	0.2	12
25.09.2020 8:11	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:12	0	0	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:13	0.2	12	0	0	0	0
25.09.2020 8:14	0	0	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:15	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 8:16	0.2	12	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:17	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:18	0.2	12	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:19	0	0	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:20	0	0	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:21	0.2	12	0.4	24	0	0
25.09.2020 8:22	0.2	12	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:23	0	0	0.2	12	0.2	12
25.09.2020 8:24	0.2	12	0.8	48	0	0
25.09.2020 8:25	0.2	12	0.4	24	0	0
25.09.2020 8:26	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:27	0	0	0.2	12	0.2	12
25.09.2020 8:28	0.2	12	0	0	0	0
25.09.2020 8:29	0	0	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:30	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 8:31	0.2	12	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:32	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:33	0.2	12	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:34	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:35	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 8:36	0.2	12	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:37	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 8:38	0	0	0.2	12	0.2	12
25.09.2020 8:39	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 8:40	0.2	12	0	0	0.2	12
25.09.2020 8:41	0	0	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:42	0.2	12	0	0	0.2	12
25.09.2020 8:43	0.4	24	0.2	12	0	0
25.09.2020 8:44	0.4	24	0	0	0.2	12
25.09.2020 8:45	0.4	24	0.2	12	0.2	12

Srážkoměr ID 20200925	Kotkova S1		Úpravna S2		ČOV S3	
	Úhrn [mm]	Intenzita [mm/hod]	Úhrn [mm]	Intenzita [mm/hod]	Úhrn [mm]	Intenzita [mm/hod]
Datum a čas	[mm]	[mm/hod]	[mm]	[mm/hod]	[mm]	[mm/hod]
25.09.2020 8:46	0.6	36	0.2	12	0.4	24
25.09.2020 8:47	0.4	24	0.6	36	0.2	12
25.09.2020 8:48	0.4	24	0.4	24	0.2	12
25.09.2020 8:49	0.4	24	0.4	24	0.4	24
25.09.2020 8:50	0.4	24	0.4	24	0.4	24
25.09.2020 8:51	0.4	24	0.2	12	0.4	24
25.09.2020 8:52	0.4	24	0.2	12	0.2	12
25.09.2020 8:53	0.6	36	0.2	12	0.8	48
25.09.2020 8:54	0.2	12	0.2	12	0.8	48
25.09.2020 8:55	0.4	24	0.2	12	0.2	12
25.09.2020 8:56	0.4	24	0.2	12	0.2	12
25.09.2020 8:57	0.2	12	0.4	24	0.2	12
25.09.2020 8:58	0.2	12	0	0	0.2	12
25.09.2020 8:59	0.2	12	0	0	0	0
25.09.2020 9:00	0.2	12	0.2	12	0.2	12
25.09.2020 9:01	0.4	24	0	0	0	0
25.09.2020 9:02	0.4	24	0.2	12	0	0
25.09.2020 9:03	0.6	36	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:04	0.6	36	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:05	0.6	36	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:06	0.2	12	0.2	12	0.4	24
25.09.2020 9:07	0	0	0	0	0.6	36
25.09.2020 9:08	0.2	12	0	0	0.4	24
25.09.2020 9:09	0	0	0.2	12	0.8	48
25.09.2020 9:10	0.2	12	0	0	0.4	24
25.09.2020 9:11	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 9:12	0.2	12	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:13	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:14	0.2	12	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:15	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:16	0.2	12	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:17	0	0	0.2	12	0.2	12
25.09.2020 9:18	0.2	12	0	0	0.4	24
25.09.2020 9:19	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:20	0.2	12	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:21	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:22	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 9:23	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:24	0.2	12	0	0	0	0
25.09.2020 9:25	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 9:26	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 9:27	0	0	0	0	0.2	12
25.09.2020 9:28	0	0	0.2	12	0	0
25.09.2020 9:29	0	0	0	0	0	0
25.09.2020 9:30	0	0	0	0	0	0



Obr. 5. 8. Graf průběhu dešťové srážky ze dne 25. 9. 2020

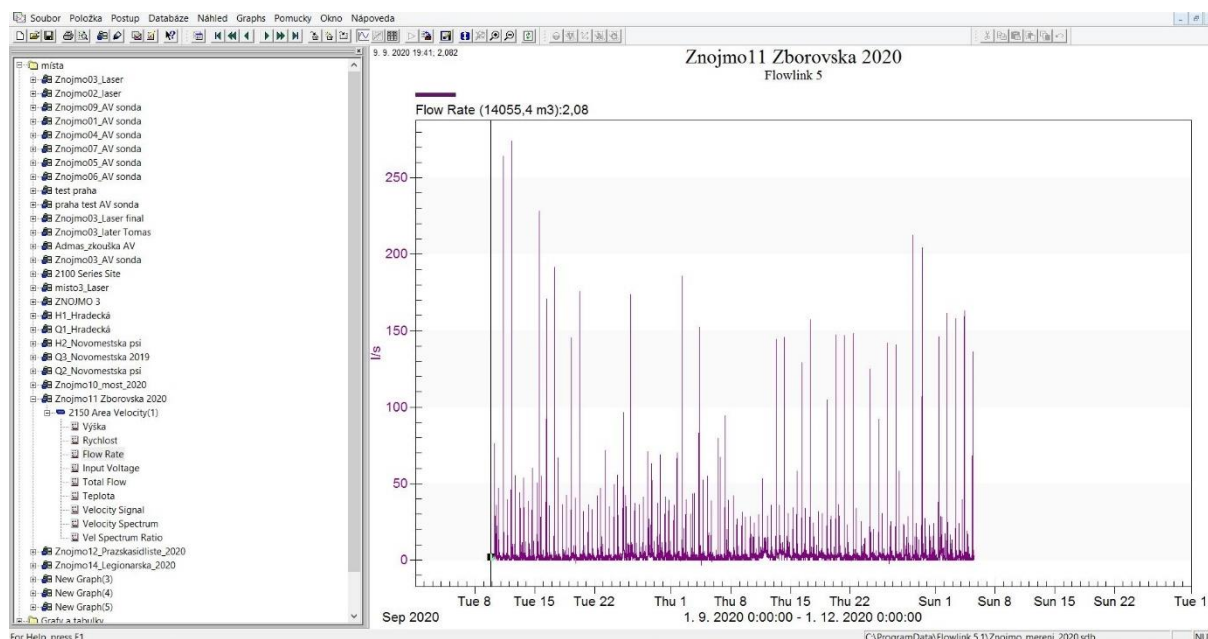


### 5.4.3. Výstup z průtokoměrů

Pro správu dat z průtokoměrů byl použit software Flowlink. Pro účely této práce byly naměřené průtoky zobrazeny v období od 1. 9. 2020 do 1. 1. 2021.

Výstup z průtokoměrů byl nastaven v minutovém intervalu, tak aby to odpovídalo nastavení intervalů na srážkoměrech. Tento záznam je potřeba zkontrolovat je tedy výhodně si jej nechat zobrazit v grafu, kde případné odchylky od normálu jsou zřetelně vidět. Pokud na chybu v měření narazíme je potřeba tuto hodnotu smazat.

Na Obr. 5. 9. je vidět graf záznamu z průtokoměru, který byl osazen na ulici Zborovská.



Obr. 5. 9. Graf naměřených hodnot průtoků na ulici Zborovská

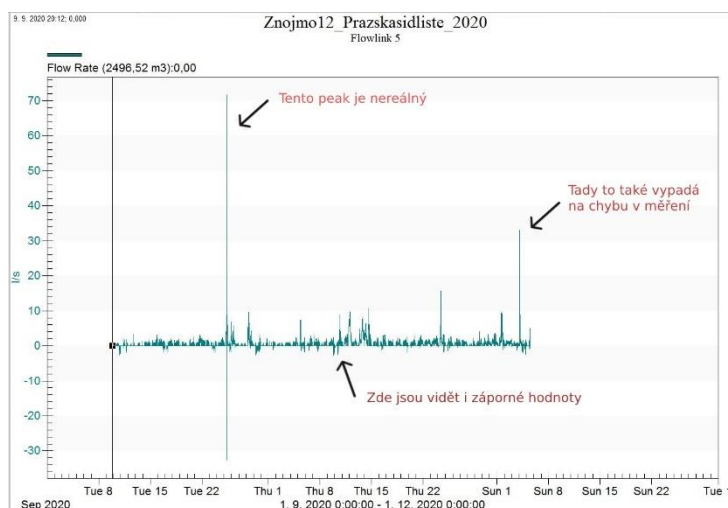
Na tomto záznamu můžeme vidět velmi vysoké peaky, které se cyklicky opakují. Nejedná se o chybu měření, jak by tomu u většiny případů bylo, jedná se o odpadní vody z úpravy vody, kdy obsluha v době od 6:00 do 8:00 vypouští do stokové sítě odpadní vodu z praní filtrů. Jedná se přibližně o  $200 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ , tento průtok úprava vypouští pouze po dobu přibližně jedné minuty, což vyvozuje problémy v záznamech.

Vypouštěné množství je pokaždé přibližně stejné, avšak průtokoměr nám naměřil různé průtoky. Vysvětlení tohoto jevu je takové, že průtokoměr je nastavený na záznam v minutových intervalech. Obsluha úpravy nevypouští odpadní vody vždy v přesnou dobu, a proto průtokoměr zachytí vlnu vždy v jiném okamžiku. Nejvyšší hodnoty tedy odpovídají vrcholovému bodu vlny a pokud jsou hodnoty nižší, tak se může jednat o sestupnou nebo vzestupnou větev vlny.

Množství odpadní vody ve stokové síti nevyvolá problémy, avšak bude potřeba pro další účely zjistit jakým způsobem se tento průtok dělí na odtoku v OK8A.

Jak vypadá záznam s chybným záznamem je vidět na následujícím grafu (Obr. 5. 10.). Tento záznam pochází z průtokoměru, který se nacházel na ulici Pražské sídliště. Na tomto záznamu je vidět několik chyb během měření.

První výraznou chybou je neuvěřitelně vysoký peak oproti ostatním průtokům. Tato hodnota je tedy odmazána. Dále jsou tam vidět i záporné hodnoty v měření. Tyto hodnoty jsou zcela správné, neboť v této části dochází ke vzduť. Pro další zpracování však tyto hodnoty jsou nepodstatné, a proto jsou následně také smazány.



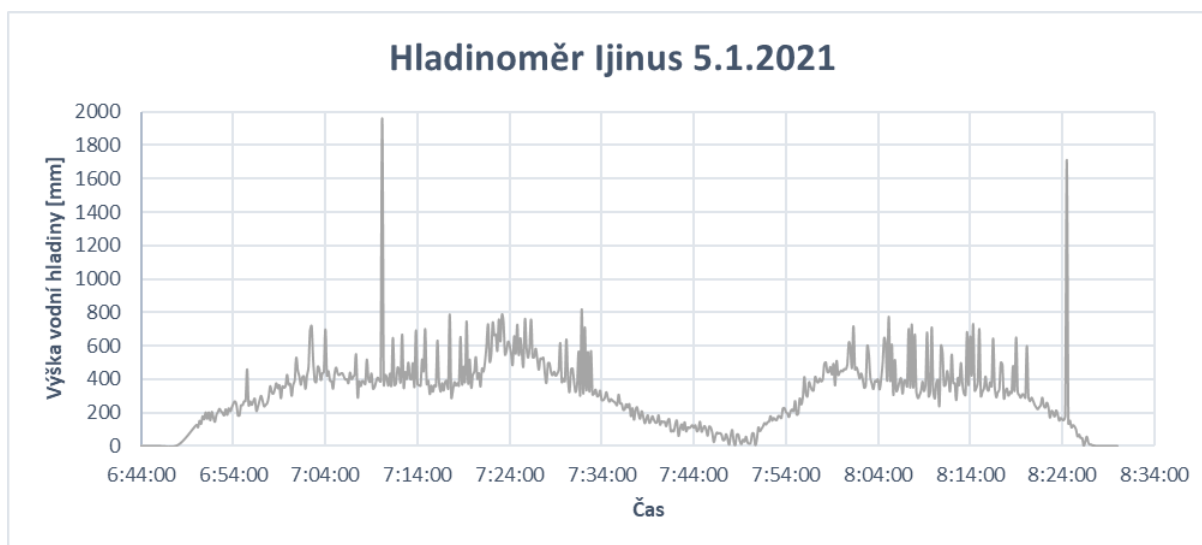
Obr. 5. 10. Graf naměřených průtoků na ulici Pražské sídliště

Záznamy ze všech průtokoměrů v období od 1. 9. 2020 do 1. 1. 2021 jsou zpracovány v příloze.

#### 5.4.4. Výstup z hladinoměru

Měření výšky hladiny v OK4A bylo nastaveno v časovém intervalu 1 minuta, neboť většinu času v měřeném období nedochází k odlehčení není vyžadován přesnější záznam. Bylo však nastaveno, že jakmile hladinoměr zachytí zvednutí hladiny začne záznam snímat po 10 vteřinách. Tohle nastavení vystihuje přesněji chování odlehčovací komory. Záznam výšky vodní hladiny je udávám v *mm*.

Po většinu měřeného období k odlehčení nedocházelo. Významné odlehčení hladinoměr zaznamenal 5. 1. 2021. Tento den byla nejvyšší vodní hladina až 818 *mm* nade dnem. V grafu je možné vidět, že hodnoty byly ve dvou případech vyšší. Tyto hodnoty nejsou moc reálné, neboť v prvním případě se zvedla hladina za 10 s z hodnoty 386 *mm* na hodnotu 1961 *mm* a ve druhém případě ze 183 *mm* na 1712 *mm*. Podle výšky bych soudil, že hladinoměr zachytil pracovníka vodáren, který prováděl v danou dobu inspekci. Je to však pouze dohad, co hladinoměr zachytil. Tyto dvě hodnoty však byly pro další zpracování smazány.



Obr. 5. 11. Graf naměřených výšek vodní hladiny (typ přístroje IJINUS)

## 5.5. Oprava hydraulického modelu

Hydraulický model je přebírán z projektu ÚVHO FAST. Hydraulický model je vytvořen v softwaru MIKE URBAN.

Výsledky z monitorovací kampaně slouží ke kalibraci hydraulického modelu. Tento model je již vytvořen a v současné době probíhá jeho postupná kalibrace. Jak již bylo řečeno město Znojmo patří k suchým oblastem, kde se srážkové události nevyskytují, tak často a v takové intenzitě, jaká by byla žádána pro kalibraci modelu. Monitorovací kampaň tedy probíhá i v době odevzdání této práce.

Model je průběžně kalibrován podle výskytu dešťových událostí na území města Znojma. V této práci je hydraulický model kalibrován na dešťovou událost ze dne 25. 9. 2020. Ostatní dny, nezpůsobovaly dešťové srážky, na stokové síti větší průtoky, na které by bylo vhodné model kalibrovat.

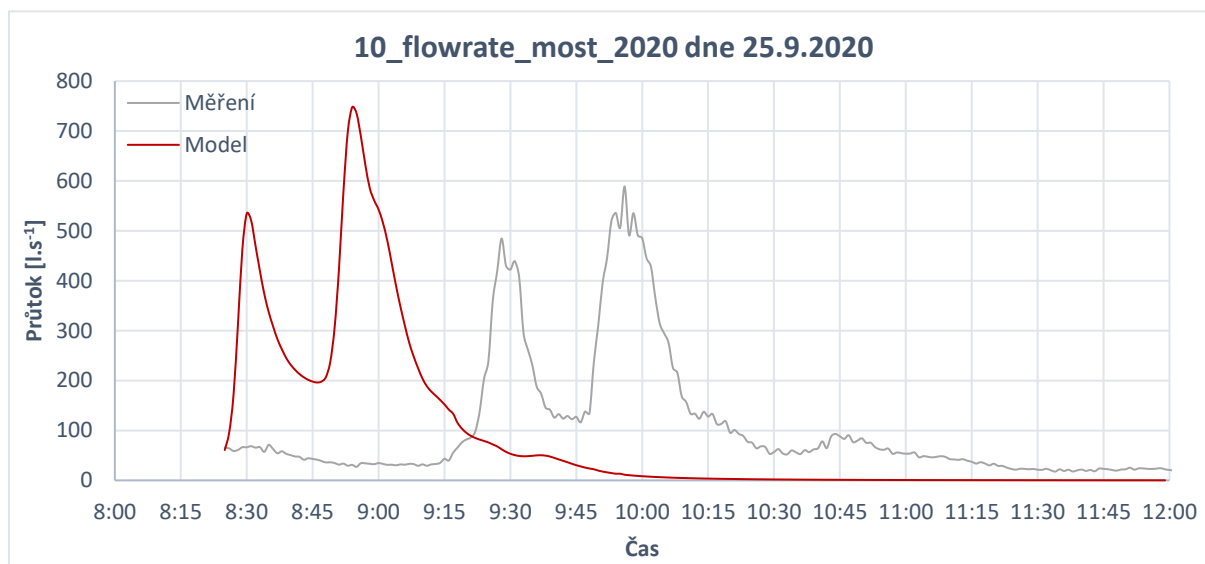
### Bezdeštný průtok

V hydraulickém modelu nejsou zadány průtoky splaškových vod. Bylo tedy nutné si udělat představu jaké jsou v jednotlivých denních dobách v měřeném profilu průtoky splaškových vod. Bylo tedy vybráno 10 bezdeštných dní, a to z důvodu, že podle teorie chyb se při více, jak deseti měření přesnost moc nezvyšuje. Následně z těchto 10 měření byl proveden medián, a to z důvodu, že lépe vystihuje průtok během jednotlivých denních dob. Tento průtok lze sestavit také pomocí trendové složky.

Průtok splaškových vod v měření označené jako 10\_xxxx\_most se pohyboval v rozmezí od  $1,22 \text{ l.s}^{-1}$  do  $13,33 \text{ l.s}^{-1}$ . Dále pak na ulici Zborovské se průtoky splaškových vod pohybovaly od  $0,0 \text{ l.s}^{-1}$  do  $3,0 \text{ l.s}^{-1}$ . Na ulici Pražské sídliště dle záznamu z měření byly průtoky ve stokové síti takřka nulové. Je to dáno tím, že průtoky splaškových vod byly zde tak malé, že je přístroj nebyl schopen zaznamenat. Bylo tedy zapotřebí citlivějšího senzoru. Na ulici Legionářská byly zachyceny průtoky splaškových vod kolem hodnoty  $0,3 \text{ l.s}^{-1}$ .

### Kalibrace na dešťový průtok

Do hydraulického modelu byl nahrán časový průběh dešťové události s intenzitami (průběh dešťové události Obr. 5. 12.). Následně byla provedena simulace. Po skončení simulace bylo označeno potrubí, ve kterém se nacházel průtokoměr a byly sepsány hodnoty průtoků v závislosti na čase. Dále bylo zapotřebí si vytáhnout data naměřená ve stejném čase. Tyto hodnoty byly pro lepší představu vloženy do grafu.



Obr. 5. 12. Grafické porovnání naměřených průtoků a průtoků z hydraulického modelu

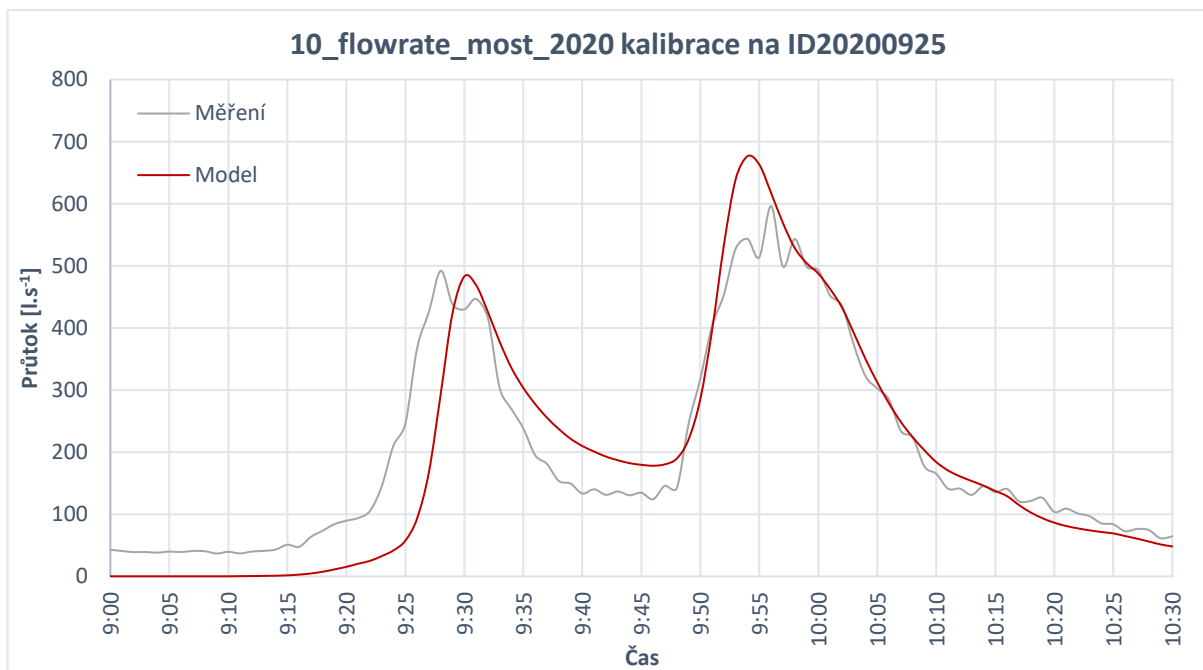
Z grafu je na první pohled vidět, že křivka modelu a křivka měření jsou posunuty na časové ose o určitou hodnotu. Přesněji můžeme říct, že je to o 1 hodinu. Tento posun je způsoben, že na záznamu ze srážkoměru není reflektována změna na zimní čas, ve kterém toto měření probíhalo. Bylo tedy nutné opravit časovou osu ze srážkoměrů (přidat 60 minut).

Dále je z grafu vidět, že objemy srážkové vody, které protékají stokovou sítí v modelu, jsou vyšší než ve skutečnosti. V prvním peaku byl tento rozdíl asi  $42 \text{ l.s}^{-1}$ . Bylo tedy za potřebí upravit hodnoty jednotlivých okrsků.

Obr. 5. 13. Dialogové okno routing v MIKE URBAN

V dialogovém okně (Obr. 5. 13) bylo potřeba pozměnit tři parametry. Jednalo se o šířku okrsku (1- width; nebo také charakteristická šířka odtoku po zemi), průměrná sklonitost (2 - Ground slope; informace upravována v souladu s mapovými podklady) a procento nepropustných ploch (3 - Imperviousness; informace upravována v souladu s mapovými podklady).

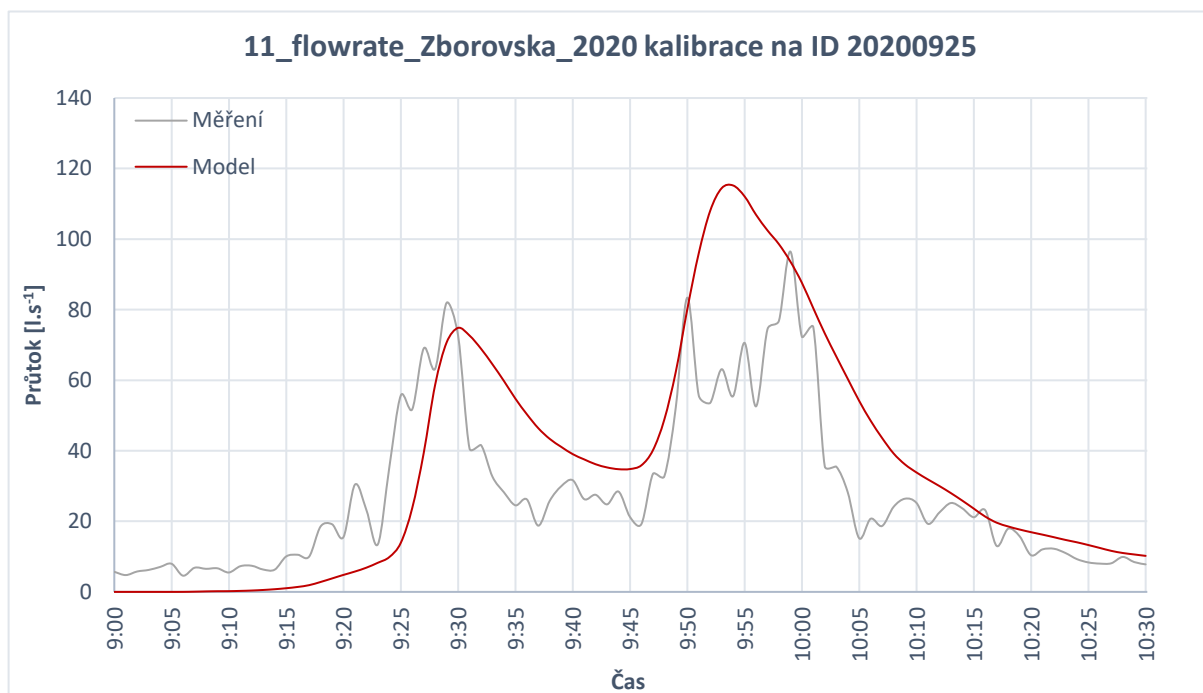
Území bylo poté vystaveno opět dešťové události a výsledky byly porovnány s naměřenými hodnotami. Výsledkem byla křivka, která parametrově odpovídala naměřeným hodnotám, avšak průtoky by měly být menší o splaškové vody.



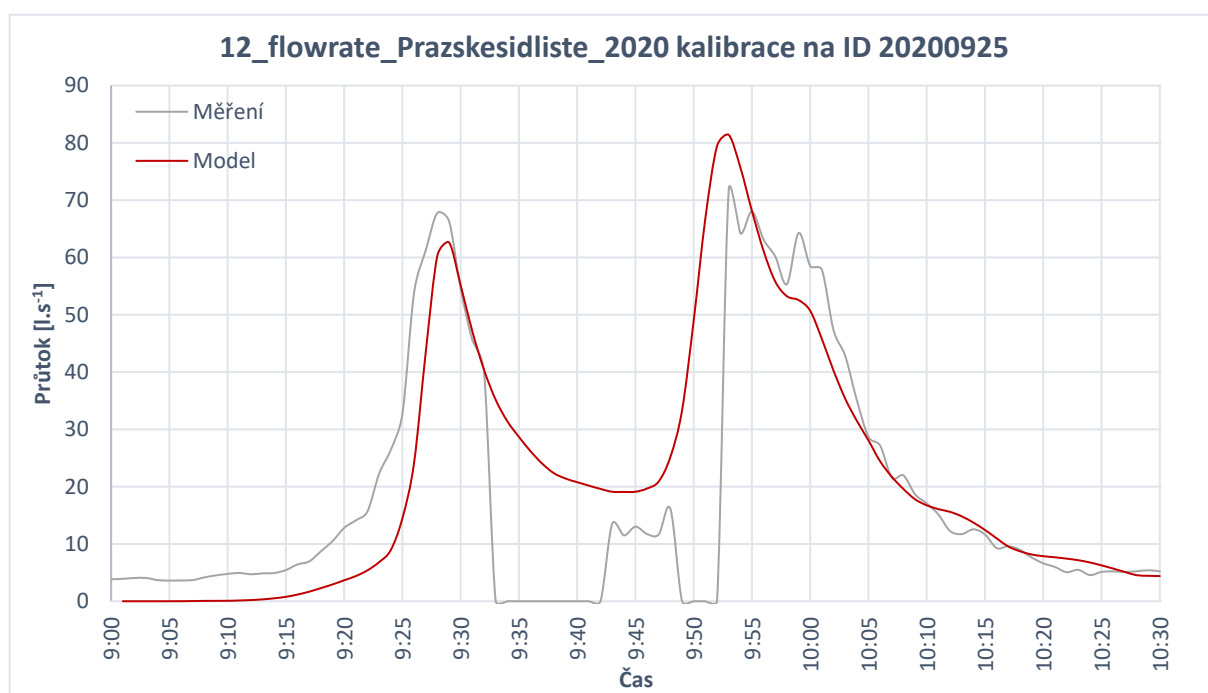
Obr. 5. 14. Grafické znázornění naměřených průtoků a průtoků z hydraulického modelu po kalibraci

Výsledná křivka vystihuje naměřené hodnoty velmi dobře, proto můžeme první kalibraci uzavřít. Byl vyhotoven zápis z měněných parametrů, který je přiložen jako příloha. V dalším průběhu bude území zatěžováno dalšími srážkovými událostmi, aby se změny provedené v modelu potvrdily nebo bude muset být přistoupeno k opravě.

V ostatních měřených profilech bylo ke kalibraci přistupováno stejným způsobem a výsledné křivky jsou vidět na Obr. 5. 15 a Obr. 5. 16. Na ulici Legionářská kalibrace neprobíhala.



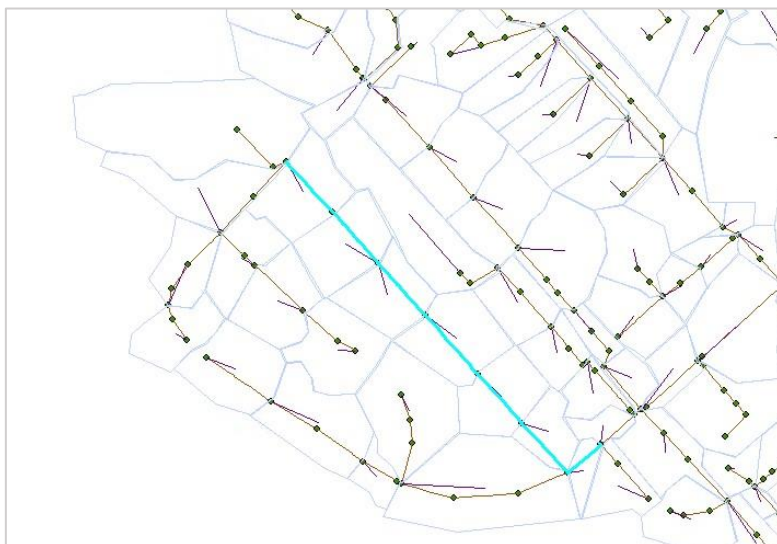
Obr. 5. 15. Grafické znázornění naměřených průtoků a průtoků z hydraulického modelu po kalibraci



Obr. 5. 16. Grafické znázornění naměřených průtoků a průtoků z hydraulického modelu po kalibraci

Na již z kalibrovaném modelu byl odzkoušen vliv nepřesnosti rozměrů potrubí na výsledný průtok. Bylo snahou dokázat, jestli tyto nepřesnosti ovlivní nějakým velkým způsobem vlnu.

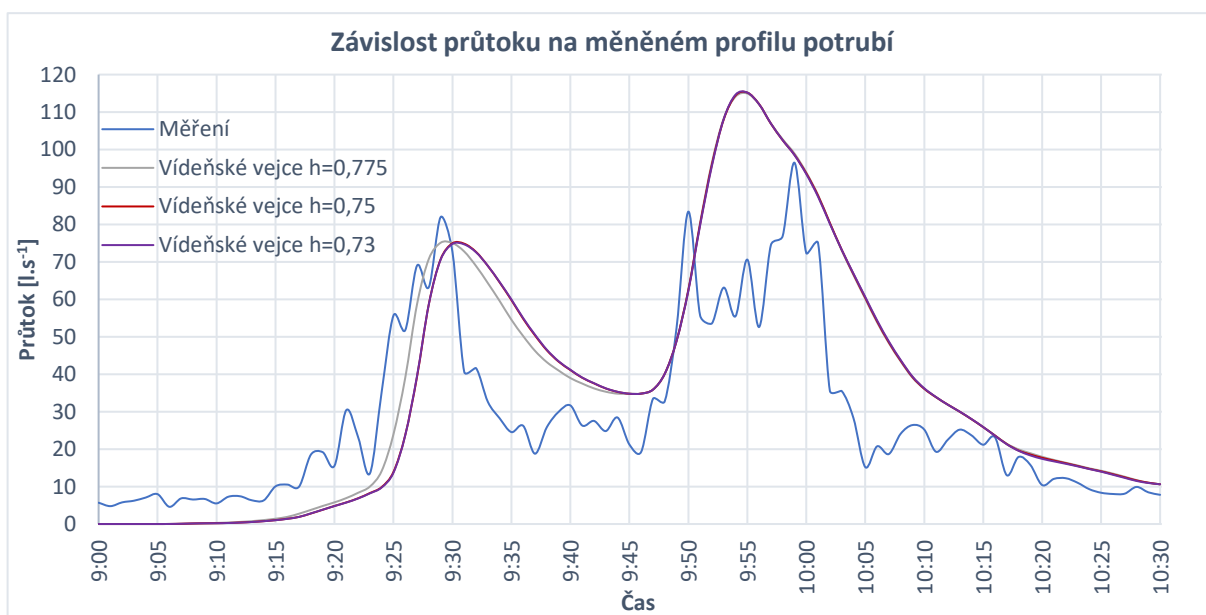
Pro tuto simulaci bylo vybráno potrubí vejčitého profilu DN500/750. Potrubí se nacházelo na území pod úpravnou vody Znojmo. Drsnost tohoto potrubí byla stanovena na  $n=0,018$  a během testování různých profilů potrubí zůstala tato hodnota neměnná.



Obr. 5. 17. Situace vybraného potrubí

Následně bylo dle příručky „User´s guide to SWMM“ ověřena geometrie vejčitého potrubí. Toto potrubí je specifické, neboť existuje více typů, proto bylo potřeba tuto geometrii ověřit. V příručce se udává vztah pro *Egg-shaped*  $= 0,5105G1^2$ , tento vztah plně odpovídá vejci vídeňského typu v poměru stran 2 : 3. Bylo tedy potřeba měnit pouze výšku profilu a program si následně přepočítal v daném poměru šíři profilu.

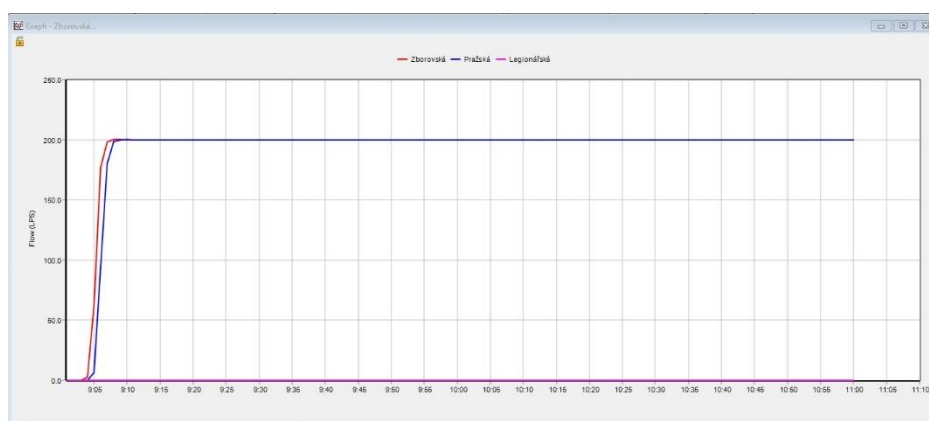
Zájmové území poté bylo zatíženo deštěm ze dne 25. 9 2020 (ID 20200925) a výsledný křivky průtoků byly zaneseny do grafu (Obr. 5. 18).



Obr. 5. 18. Graf závislosti průtoku na měněném profilu

Z grafu je vidět, že vejce při zmenšení profilu tyto změny nijak výrazně na průtoku nereflektuje. V peaku se jejich hodnota liší pouze o  $0,17 \text{ l.s}^{-1}$ . Při nepatrném zvětšení potrubí se však hodnota průtoku v peaku liší pouze o  $0,19 \text{ l.s}^{-1}$ . Peaku však dosáhne tento profil o 1 minutu dříve.

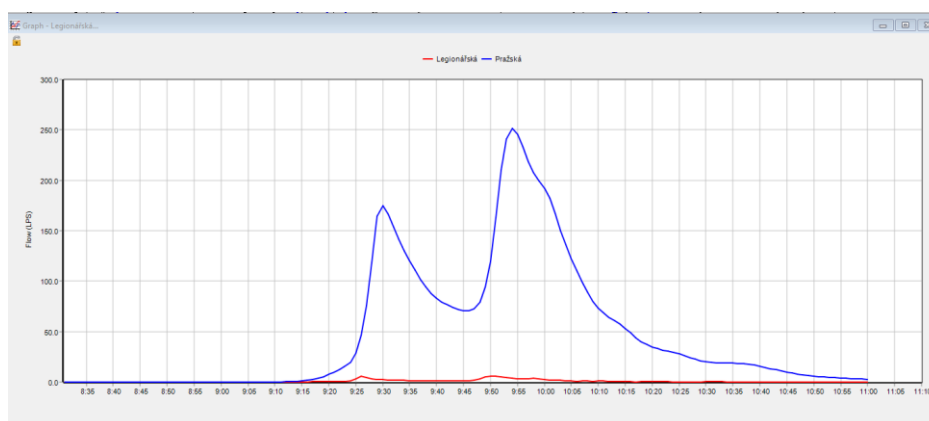
Na z kalibrovaném bylo následně nutné pro další využití ověřit rozložení odtoku v OK8A, když je z úpravny vypouštěná odpadní voda z praní filtrů. Jak bylo výše zmíněno tento průtok je řádově kolem  $200 \text{ l.s}^{-1}$  a trvá přibližně jednu minutu. V modelu tedy byl vytvořen přítok (INFLOW) a byla spuštěna simulace. Výsledkem byl graf průtoků na ulici Pražská a Legionářská.



Obr. 5. 19. Graf rozdělení odtoku na OK8A

Z grafu je zřetelně vidět, že veškerá voda odtéká směrem na ulici Pražská (modrá barva). Toto rozložení nám ostatně potvrzuje i průtokoměr na ulici Legionářská, který žádný peaky v době vypouštění nezaznamenává. Odlehčovací komora je tedy v modelu správně nastavena.

Při dešťové události ze dne 25. 9. 2020 je rozložení podobné, jedná se však o malé průtoky, avšak i ty jsou důležité pro stanovení chování pod touto odlehčovací komorou.



Obr. 5. 20. Graf rozdělení odtoku na OK8A během dešťové srážky



## 6. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo získání nových poznatků z oblasti měření a vyhodnocování průtoků ve stokových sítích. Nejprve byla provedena rešerše z daného tématu. V rámci rešerše byly zpracovány i poznatky z následného užití těchto dat v oblasti matematických simulačních modelů. Byla vytvořena rozsáhlá tabulka s přehledem dostupných měřících zařízení. Měřící zařízení byly moderního typu tedy za využití ultrazvukových vln nebo laserových vln. Dále zde byly uvedeny poznámky z montáže těchto zařízení a následné možnosti zpracování v různých typech programů. V rámci rešerše byla zpracována i kapitola z oblasti odchylek v měření fyzikálních veličin. Následně tyto nepřesnosti byly otestovány na fiktivní situaci a procentuálně vyjádřeny, jaký dopad mají na průtok ve stokové síti.

V druhé části byly získané poznatky implementovány na stokové síti města Znojma. Dne 9. 9. 2020 jsme zde instalovali měřící zařízení na měření průtoků a výšky vodní hladiny. Následně byly průběžně z těchto měřících přístrojů stahována data a proběhlo vyhodnocení. Měřící přístroje spíše zaznamenávaly bezdeštné průtoky, pouze v jednom případě se na území města Znojma vyskytla, za vyhodnocované období, významnější dešťová srážka. Tato srážka byla zpracována a dostala označení ID 20200925. Ostatní dešťové srážky mi nepřišli nějak významné, neboť intenzita byla velmi malá a s takovou by si stoková síť měla poradit a ani nebyly vhodné na kalibraci. Vymezené území, tedy okresky nad měřeným profilem byly následně v prostředí programu MIKE URBAN kalibrovány a za využití simulačního modelu SWMM byla ověřována jejich správnost. Celkem v této práci byly kalibrovány 3 území nad měřenými profily. Z kalibrace, kdy mnou byly v modelu měněny parametry, byl vyhotoven zápis. V závěru této kapitoly byly v jednom z kalibrovaném území změněny rozměry potrubí. Cílem bylo dokázat ovlivnění průtoků, pokud nebude profil správně odměřen či by byl nějakým způsobem zdeformován. Výsledek je z hlediska přesné kalibrace území velmi podstatný, neboť křivka po nepatrném zvětšení lépe vystihovala dešťovou srážku. Bude tedy nutné přímo na stokové síti tyto profily odkontrolovat.

Výsledkem této práce jsou 3 zkalibrovaná území z projektu UVHO FAST na stokové síti města Znojma. V současné době tento projekt stále pokračuje a bude nutné další kalibrace a verifikace modelu, aby byly odladěny všechny nedostatky a došlo i k většímu zpřesnění průtokových křivek.

---

## Summary

The aim of this bachelors thesis was to obtain new knowledge from measuring and analysing the flow rate of the sewer network. The first part presented knowledge of the hydraulic model and the ultrasonic devices. Notation's were added to show the opportunities of the results that were measured, for example, notes of how to install these devices. Further in this thesis a list of measuring devices was added. The main devices were the ultrasonic and the rainfall measuring device. In the second section, the theory is implemented for the sewer network in Znojmo. This sewer network and hydraulic model was taken from the UVHO FAST project. 316 nodes and 711 catchments were situated in the chosen area. And also five weirs were found in this area. The measurements began on the 9.9.2020, when three ultrasonic measuring devices (type ISCO 2150 with AV sensor) and one device for measuring water surface (type IJINUS) were installed. Following the UVHO FAST project framework on the 11.5.2021 two more flow rate measuring devices were installed. The results were then analysed from these devices and used for calibrating the hydraulic model in the chosen area. The result was three calibration areas. This thesis describes the proces of calibration and shows some changing inputs. In the calibration areas there was allowances for measurement errors and these fluctuations were taken into consideration on the flow rate curve. After finishing this thesis the calibration and verification of the hydraulic model will continue in Znojmo.

## Bibliografie

- [1] *Zákon č. 274/2001 Sb.: Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*. 2001.
- [2] STRÁNSKÝ, David. *Metodická příručka Posouzení stokových systémů urbanizovaných povodí*. 1. Praha: Asociace čistírenských expertů České Republiky, 2009.
- [3] SUCHÁNEK, Milan, Petr SÝKORA a David STRÁNSKÝ. *Monitoring v městském odvodnění*. 1. vyd. Líbeznice: Medim pro SOVAK ČR, 2012. ISBN 9788087140253.
- [4] *Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review*. Remote Sensing of Environment, 2015, , 295-310. ISSN 0034-4257.
- [5] *OTT Hydromet* [online]. Germany: OTT Hydromet, 2019 [cit. 2021-05-03].
- [6] *3D disdrometr* [online]. In: . [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://www.thiesclima.com/en/Products/Precipitation-Electrical-devices/?art=1339>
- [7] STARÝ, Miloš. *Hydrologie* [online]. Modul 01. skripta byla vydána v el. podobě, 2005 [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: <http://lences.cz/domains/lences.cz/skola/subory/Skripta/BS02-Hydrologie/M01-Hydrologie.pdf>
- [8] ĎAĎO, Stanislav, Ludvík BEJČEK a Antonín PLATIL. *Měření průtoků a výšky hladiny*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-7300-156-X.
- [9] *ISCO katalogový list: ISCO 2150 s AV senzorem*. 1. Technoaqua s.r.o., 2006.
- [10] VYBÍRAL, Bohumil. *Zpracování dat fyzikálních měření* [online]. In: . s. 72 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/mereni.pdf>
- [11] *E-learningová učebnice: Normální rozdělení pravděpodobnosti* [online]. IBA LF MU a ÚMS PŘF. Institut biostatistiky a analýz Lékařské fakulty Masarykovy univerzity, Brno [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/>
- [12] HOLČÍK, Jiří a Martin KOMENDA. *Matematická biologie: e-learningová učebnice* [online]. 1. vydání. Masarykova univerzita, 2015 [cit. 2021-05-15]. ISBN 978-80-210-8095-9. Dostupné z: <https://portal.matematickabiologie.cz/>
- [13] ČESKÁ REPUBLIKA. *Aktualizace Plánu rozvoje vodovodů a kanalizací JMK: CZ0647.6220.0646.09 Znojmo*. In: . JMK, 2020. Dostupné také z: <https://www.jmk.cz/content/19002>
- [14] *Český úřad zeměměřičský a katastrální: Státní správa zeměměřictví a katastru* [online]. Praha 8, 2021 [cit. 2021-05-27]. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/>

---

## Firemní literatura

- [1\*] *Technoaqua s.r.o.: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <http://www.technoaqua.cz/>
- [2\*] *AQUAS: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.aquas.com>
- [3\*] *DETECTRONIC: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://detectronic.org/>
- [4\*] *FlowAV: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.flowav.com/>
- [5\*] *GWF: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://gwf.ch/>
- [6\*] *ADS: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.adsenv.com/>
- [7\*] *Badger Meter: Dynasonic* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.badgermeter.com/>
- [8\*] *BELL flow system: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.bellflowsystems.co.uk/>
- [9\*] *HACH: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.hach.com/>
- [10\*] *FLOW-TRONIC: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.flow-tronic.com/>
- [11\*] *Pulsar Measurement: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://pulsarmeasurement.com/>
- [12\*] *Lanry Instrument Co., Ltd: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://lanry-flow.en.made-in-china.com/>
- [13\*] *NIVUS: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.nivus.com/>
- [14\*] *OMEGA: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.omegaeng.cz/>
- [15\*] *OTT HydroMet: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.ott.com/>
- [16\*] *FIEDLER AMS s.r.o.: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.fiedler.company/>
- [17\*] *IJINUS- CLAIRE GROUP: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.ijinus.com/>
- [18\*] *Vaisala: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.vaisala.com/>
- [19\*] *Zataiot: Firemní web* [online]. [cit. 2021-5-28]. Dostupné z: <https://www.zataiot.com/>

\*firemní literatura použita při tvorbě příloh A



## Seznam zkratk

ČOV	Čistírna odpadních vod
CIWEM	Urban drainage group (skupina zastřešující odborníky v oblasti odkanalizování urbanizovaného území)
SWMM	Storm water management model (program na tvorbu hydraulických modelů)
Vas a.s.	Vodárenská akciová společnost a.s.
DN	Diameter nominal (vnitřní průměr)
AV senzor	Area-velocity sensor (senzor na měření průtoků)
GIS	Geografický informační systém
OK	Odlehčovací komora
UVHO FAST	Ústav vodního hospodářství obcí, fakulta stavební
MOST	Monitorovací stanice
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
LiDar	Light detection and ranging (technologie měření na základě laserového paprsku)
DTM	Digital terrain model (digitální model terénu)
GPS	Global Positioning System
BSK5	biochemická spotřeba kysíku
CHSK	chemická spotřeba kyslíku
NL	nerozpuštěné látky
apod.	a podobně
atd.	a tak dále



---

## Seznam veličin

$r_i$	měřítka odchylek
$q_{\text{real}}$	kalibrační křivka
$p(x)$	relativní četnost
$n(x)$	absolutní četnost
$n$	počet měření
$P(x)$	pravděpodobnost
$p(x)$	hustota pravděpodobnosti
$\sigma$	směrodatná odchylka
$\mu$	střední hodnota
$\sigma^2$	rozptyl
$s$	výběrová směrodatná odchylka jednoho měření
$s_x$	směrodatná odchylka aritmetického výběrového průměru
$\delta$	odchylka
$(S_u)_{\text{max}}$	horní mez směrodatné odchylky vypočtené veličiny
$s_u$	kvadratický (Gaussův) zákon hromadění chyb
$p$	periodicita
$n$	součinitel drsnosti

## Seznam obrázků

Obr. 3. 1.	Postup při tvorbě modelu (autor) .....	5
Obr. 3. 2.	Změny hydrologických poměrů v závislosti na míře urbanizace (upraveno dle Arnold & Gibbond 1996) .....	8
Obr. 3. 3.	Vahadla (foto: Jakub Lžičař) .....	13
Obr. 3. 4.	Nálevka (foto: Jakub Lžičař) .....	13
Obr. 3. 5.	OTT Parsivel <sup>2</sup> [4] .....	13
Obr. 3. 6.	3D Stereo Distrometr [6] .....	14
Obr. 3. 7.	Příprava na instalaci průtokoměrů (foto: Jakub Lžičař).....	15
Obr. 3. 8.	ISCO 2150 s AV senzorem [9] .....	15
Obr. 3. 9.	Osazení držáku na bateriový modul (foto: autor).....	16
Obr. 3. 10.	Osazený AV senzor ve stoce (foto: autor).....	16
Obr. 3. 11.	Osazený AV senzor ve stoce (foto: autor).....	16
Obr. 3. 12.	Montážní plechy (foto: Jakub Lžičař) .....	16
Obr. 3. 13.	Zanesení AV senzoru (foto: Jakub Lžičař) .....	17
Obr. 3. 14.	LaserFlow (foto: Jakub Lžičař).....	17
Obr. 3. 15.	Osazený LaserFlow (foto: Jakub Lžičař) .....	18
Obr. 3. 16.	Hladinoměr IJINUS (foto: Jakub Lžičař) .....	19
Obr. 3. 17.	Stahování dat (foto: Jakub Lžičař).....	19
Obr. 3. 18.	Osazení hladinoměrů ISCO a IJINUS (foto: Jakub Lžičař).....	20
Obr. 3. 19.	Osazení hladinoměru na OK (foto: autor).....	20
Obr. 3. 21.	Vyhodnocení bodového odběru vzorku jakosti odpadní vody (foto: Jakub Lžičař) .....	21
Obr. 3. 20.	Kontinuální měření jakosti (foto: Jakub Lžičař) .....	21
Obr. 4. 1.	Fiktivní situace .....	26
Obr. 4. 2.	Průběh blokového deště.....	26
Obr. 4. 3.	Vejčitý profil vídeňského typu DN500/750.....	27
Obr. 4. 4.	Zvětšená dimenze vejčitého potrubí vídeňského typu .....	27
Obr. 4. 5.	Obrácené vejčité potrubí vídeňského typu .....	28
Obr. 4. 6.	Zmenšená dimenze vejčitého potrubí vídeňského typu.....	28
Obr. 4. 7.	Graf závislosti plnění potrubí na rozměrech potrubí.....	29
Obr. 4. 8.	Graf průtoků v závislosti součinitele drsnosti na procentu plnění potrubí.....	31

Obr. 5. 1.	Mapa vymezeného území; zdroj ortofoto: cuzk.cz [14] .....	33
Obr. 5. 2.	Mapa instalovaných průtokoměrů; zdroj ortofoto: seznam.cz .....	34
Obr. 5. 3.	Hladinoměr OK4A; zdroj ortofoto: seznam.cz .....	35
Obr. 5. 4.	Průtokoměr 10_xxxx_1tecka_autobus_vlknadrz; zdroj ortofoto: seznam.cz .....	36
Obr. 5. 5.	Průtokoměr 11_xxxx_2tecky_vlknadrz; zdroj ortofoto: seznam.cz .....	36
Obr. 5. 6.	Mapa srážkoměrů na území města Znojma; zdroj mapy: seznam.cz.....	37
Obr. 5. 7.	Dialogové okno datových bodů .....	38
Obr. 5. 8.	Graf průběhu dešťové srážky ze dne 25. 9. 2020 .....	39
Obr. 5. 9.	Graf naměřených hodnot průtoků na ulici Zborovská.....	40
Obr. 5. 10.	Graf naměřených průtoků na ulici Pražské sídliště.....	41
Obr. 5. 11.	Graf naměřených výšek vodní hladiny (typ přístroje IJINUS).....	42
Obr. 5. 12.	Grafické porovnání naměřených průtoků a průtoků z hydraulického modelu .....	43
Obr. 5. 13.	Dialogové okno routing v MIKE URBAN.....	43
Obr. 5. 14.	Grafické znázornění naměřených průtoků a průtoků z hydraulického modelu po kalibraci.....	44
Obr. 5. 15.	Grafické znázornění naměřených průtoků a průtoků z hydraulického modelu po kalibraci.....	45
Obr. 5. 16.	Grafické znázornění naměřených průtoků a průtoků z hydraulického modelu po kalibraci.....	45
Obr. 5. 17.	Situace vybraného potrubí .....	46
Obr. 5. 18.	Graf závislosti průtoku na měněném profilu .....	46
Obr. 5. 19.	Graf rozdělení odtoku na OK8A .....	47
Obr. 5. 20.	Graf rozdělení odtoku na OK8A během dešťové srážky .....	47





---

## Seznam tabulek

Tabulka 3. 1.	Základní typy srážkových dat a jejich popis (upraveno) [3].....	6
Tabulka 3. 2.	Nároky na dešťová data (Haloun, 1993) .....	7
Tabulka 3. 3.	Doporučené odchylky maximálních průtoků a objemů při kalibraci a verifikaci hydrogramů (Krejčí a kol., 2002) .....	10
Tabulka 4. 1.	Výsledky simulací nad fiktivní situací .....	28
Tabulka 4. 2.	Vypočtené hodnoty průtoků v závislosti na výšce plnění.....	29
Tabulka 4. 3.	Procentuální rozdíl průtoků v závislosti na procentu plnění .....	30
Tabulka 4. 4.	Vypočtené průtoky v závislosti součinitele drsnosti na procentu plnění potrubí .....	30
Tabulka 4. 5.	Procentuální rozdíly závislosti součinitele drsnosti na procentuální výšce plnění.....	31
Tabulka 5. 1.	Základní informace [12] .....	32
Tabulka 5. 2.	Průběh dešťové srážky ze dne 25. 9. 2020 .....	39



## Přílohy

### A Měřicí přístroje

- A.1 Ultrazvukové průtokoměry
- A.2 Ultrazvukové hladinoměry
- A.3 Člunkový srážkoměry
- A.4 Disdrometry

### B Výpočet průtoků v závislosti na výšce plnění potrubí

### C Ostatní dešťové události

- C.1 ID 20201010
- C.2 ID 20201104






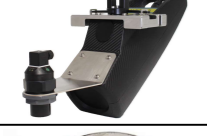
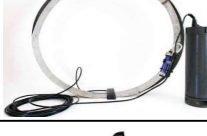




### D Grafy průtoků z měřených profilů













- D.1 Znojmo10\_most\_2020
- D.2 Znojmo11\_Zborovska\_2020
- D.3 Znojmo12\_Prazskesidliste\_2020
- D.4 Znojmo14\_Legionarska\_2020













### E Zápis z kalibrace






- E.1 Znojmo10\_most
- E.2 Znojmo11\_Zborovska
- E.3 Znojmo12\_Prazskesidliste

## Ultrazvukové měřicí zařízení

Model	Obecné				Rychlostní senzor		Depth senzor		Datalogger		Poznámky	Odkaz na web
	Firma	Technologie	Provozní teplota	Ochrana	Rozsah měření	Přesnost	Rozsah měření	Přesnost	Paměť	Interval záznamu		
 ISCO 2150 Průtokoměr s AV senzorem	Technoaqua s.r.o.	Doppler	-18° až 60°C	IP68 (NEMA 4x,6P)	-1.5 až 6.1 m.s <sup>-1</sup>	± 2.0 %	0.01 až 3.05 m	± 0.003 m	79 000 záznamů	od 15 s do 24 h	český zastoupení americké firmy	<a href="http://www.technoaqua.cz">www.technoaqua.cz</a>
 FLO Open Channel Flow Logger and Controller	AQUAS	Doppler	-40° až 85°C	IP68	0.02 až 15.0 m.s <sup>-1</sup>	± 0.01 m.s <sup>-1</sup>	0.00 až 7.00 m	± 0.002 m	2 000 000 záznamů	od 1 s do 24 h	vlastní software SCADA	<a href="http://www.aquas.com.tw">www.aquas.com.tw</a>
 MSFM MCERTS area velocity flow meter	DETECTRONIC	Doppler	-20° až 60°C	IP68 (NEMA6P)	0.03 až 4.0 m.s <sup>-1</sup>	± 2.5 % FS	0.00 až 3.50 m	± 0.2 % FS	128 000 záznamů	od 1 min do 60 min		<a href="http://www.detectronic.org">www.detectronic.org</a>
 ORAKEL SUBMERGED AV FLOW SENSOR	DETECTRONIC	Doppler	-20° až 60°C	IP68 (Datalogger IP65N)	0.03 až 4.0 m.s <sup>-1</sup>	± 2.5 % FS	0.00 až 6.00 m	± 0.2 % FS	1 000 000 záznamů	-	velká konektivita s různými senzory	<a href="http://www.detectronic.org">www.detectronic.org</a>
 ORAKEL NON-CONTACT FLOW MONITORING SYSTEM	DETECTRONIC	NON-CONTACT Doppler	-20° až 60°C	IP68 (Datalogger IP65N)	0.2 až 6.0 m.s <sup>-1</sup>	± 1.5 % FS	0.125-3.00 m	± 2 mm	1 000 000 záznamů	-	velká konektivita s různými senzory	<a href="http://www.detectronic.org">www.detectronic.org</a>
 Raven-Eye Non-Contact Area Velocity Flow Meter	FlowAV	NON-CONTACT Doppler	-20° až 50°C	IP68	0.15 až 15.0 m.s <sup>-1</sup>	± 0.5 %	0.01-15.00 m	± 2 mm	-	-	import do systému SCADA	<a href="http://www.flowav.com">www.flowav.com</a>
 ShortBoard	FlowAV	Doppler	0° až 70°C	IP67 (NEMA 6)	-1.5 až 6.0 m.s <sup>-1</sup>	± 2.0 %	0.00 až 4.50 m	± 0.25 %	-	od 3 s do 8 h		<a href="http://www.flowav.com">www.flowav.com</a>
 Q-EYE PSC Portable	GWF	Doppler	-	IP68 (Datalogger IP67)	-0.04 až 6.0 m.s <sup>-1</sup>	± 1.0 %	0.04 až 1.30 m	± 0.5 % FS	16 GB	od 1 min do 60 min	přenos dat pomocí 4G sítě	<a href="http://www.gwf.ch">www.gwf.ch</a>
 Q-Eye Radar Portable	GWF	NON-CONTACT Doppler	-40° až 85°C	IP68 (Datalogger IP67)	0.005 až 15 m.s <sup>-1</sup>	± 0.5 % FS	0.2 až 10 m	-	17 GB	od 1 min do 60 min	přenos dat pomocí 4G sítě	<a href="http://www.gwf.ch">www.gwf.ch</a>
 ADS TRITON+, AVGated	ADS	Doppler	-20° až 60°C	ATEX (Zone 0)	-0.04 až 6.0 m.s <sup>-1</sup>	± 4.0 %	0.00 až 7.00 m	± 0.5 %	-	-	velmi odolná konstrukce dataloggeru	<a href="http://www.adsenv.com">www.adsenv.com</a>
 IS-6000 Meter Submerged DopplerOpen Channel Flow Meter	Dynasonic	Doppler	-20° až 60°C	IP68 (Datalogger IP66)	0.04 až 5.0 m.s <sup>-1</sup>	± 2.0 %	0.04 až 1.30 m	± 0.0065 m	16 GB	od 1 s do 24 h	pobočka se nachází v Brně, možnost českého jazyka	<a href="http://www.badgermeter.com">www.badgermeter.com</a>

	Non Contact Radar Velocity Open Channel Flow Meter Kit	Bell Flow Systems Ltd.	Doppler	-20° až 60°C	IP68 (Datalogger není uveden)	0.02 až 15.0 m.s <sup>-1</sup>	± 0.02 m.s <sup>-1</sup>	0.00 až 15.00 m	± 0.25 % FS	-	T90 < 1s	různé verze data- kitu	<a href="http://www.bellflowsystems.co.uk">www.bellflowsystems.co.uk</a>
	Mace Hvflo XCI Portable Area Velocity Flow Meter	Bell Flow Systems Ltd.	Doppler	-20° až 65°C	IP68 (Datalogger není uveden)	0.025 až 8.0 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.00 až 4.00 m	± 0.2 %	600 000 záznamů	-	na výběr z více AV senzorů	<a href="http://www.bellflowsystems.co.uk">www.bellflowsystems.co.uk</a>
	Mainstream AV-Flow Transmitter	Bell Flow Systems Ltd.	Doppler	-	ATEX	0.01 až 5.0 m.s <sup>-1</sup>	± 0.001 m.s <sup>-1</sup>	0.00 až 30.00 mA	± 1 µA	-	-		<a href="http://www.bellflowsystems.co.uk">www.bellflowsystems.co.uk</a>
	Mainstream Portable AV Flowmeter	Bell Flow Systems Ltd.	Doppler	-	ATEX	0.01 až 5.0 m.s <sup>-1</sup>	± 0.001 m.s <sup>-1</sup>	0.00 až 30.00 mA	± 1 µA	-	od 15 s do 1 hod		<a href="http://www.bellflowsystems.co.uk">www.bellflowsystems.co.uk</a>
	FLO-DAR AV Sensor	HACH	Electromagnetic	-40° až 60°C	IP68 (NEMA 6P)	0.23 až 6.10 m.s <sup>-1</sup>	± 0.03 m.s <sup>-1</sup>	0.00 až 6.10 m	± 0.0025 m	325 000 záznamů	od 1 min do 60 min	Datalogger Hach FL900 Series	<a href="http://www.em-solutions.co.uk">www.em-solutions.co.uk</a>
	HACH Sigma Submerged Area Velocity Flow Sensor	HACH	Doppler	-40° až 60°C	IP68 (NEMA 6P)	-1.52 až 6.10 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	0.00 až 9.00 m	± 0.0025 m	325 000 záznamů	od 1 min do 60 min	Datalogger Hach FL900 Series	<a href="http://www.em-solutions.co.uk">www.em-solutions.co.uk</a>
	FLO-TOTE 3 AV Sensor	HACH	Doppler	-20° až 52°C	IP68 (NEMA 6P)	-1.50 až 6.10 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	0.01 až 3.50 m	± 0.009 m	326 000 záznamů	od 1 min do 60 min	Datalogger Hach FL900 Series	<a href="http://www.hach.com">www.hach.com</a>
	BELUGA™	FLOW-TRONIC	Doppler	-25° až 55°C	IP68 (Datalogger IP67)	-2.0 až 6.00 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.00 až 5.75 m	± 0.2 %	2 Gb	-	Datalogger IFQ LOGGER™	<a href="http://www.flow-tronic.com">www.flow-tronic.com</a>
	EMV-500	FLOW-TRONIC	Elektomagnetický (Faraday's Law)	-25° až 55°C	IP68 (Datalogger IP67)	-0.0 až 2.5 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	-	-	2 Gb	-	Datalogger IFQ LOGGER™	<a href="http://www.flow-tronic.com">www.flow-tronic.com</a>
	RAVEN-EYE 2	FLOW-TRONIC	NON-CONTACT Doppler	-25° až 55°C	IP68 (Datalogger IP67)	-0.08 až 15.0 m.s <sup>-1</sup>	± 0.5 %	0.00 až 5.75 m	± 0.2 %	2 Gb	-	Datalogger IFQ LOGGER™	<a href="http://www.flow-tronic.com">www.flow-tronic.com</a>
	Greyline AVFM 6.1 Area-Velocity Flow Meter	Pulsar Measurement	Doppler	-20° až 60°C	IP68 (Datalogger IP66)	-1.50 až 6.2 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	0.003 až 4.57 m	± 0.25 %	6.5 mil záznamů	-		<a href="http://www.pulsarmeasurement.com">www.pulsarmeasurement.com</a>
	Greyline MantaRay Area-Velocity Flow Meter	Pulsar Measurement	Doppler	-15° až 80°C	IP68 (Datalogger IP67)	-1.50 až 6.2 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	0.003 až 4.57 m	± 0.25 %	2 mil záznamů	od 10 s do 60 min		<a href="http://www.pulsarmeasurement.com">www.pulsarmeasurement.com</a>

	Greyline Stingray 2.0 Area-Velocity Flow Meter	Pulsar Measurement	Doppler	-20° až 60°C	IP68 (Datalogger IP67)	0.031 až 3.8 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	0.003 až 4.57 m	± 0.25 %	130 000 záznamů	od 10 s do 60 min		<a href="http://www.pulsarmeasurement.com">www.pulsarmeasurement.com</a>
	DOF 6000-W Wall-mounted Open Channel Ultrasonic Flow Meter	Lanry Instrument Co., Ltd	Doppler	-20° až 60°C	IP68	0.02 až 12 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.00 až 10.00 m	± 1 %	16 GB	-		<a href="http://www.made-in-china.com">www.made-in-china.com</a>
	Radar Water Velocity Sensor/Flow Meter Non-contact	Dongguan Hcbetop Technology Co., Ltd	NON-CONTACT Doppler	-35° až 65°C	IP67/IP68	0.15 až 15 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.00 až 30.00 m	± 3 mm	-	od 5 s do 24 hod	standartní datalogger o rozhraní RS485	<a href="http://www.made-in-china.com">www.made-in-china.com</a>
	NivuFlow Mobile 750	NIVIUS	Doppler	-20° až 50°C	IP68	-1.00 až 6.00 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.00 až 5.00 m	± 0.5 %	-	od 5 s do 60 min	NIVIUS WebPortal	<a href="http://www.nivus.com">www.nivus.com</a>
	NivuFlow Mobile 550	NIVIUS	Doppler Radar	-20° až 50°C	IP68	0.15 až 15.0 m.s <sup>-1</sup>	± 0.5 %	0.125 až 10.00 m	± 0.25 %	-	od 5 s do 360 min	NIVIUS WebPortal	<a href="http://www.nivus.com">www.nivus.com</a>
	KDA Doppler Wedgw Sensor	NIVIUS	Doppler	-20° až 60°C	IP68 (Datalogger IP65)	-6.00 až 6.00 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.00 až 5.00 m	± 0.75 %	64 512 záznamů	-	NIVIUS WebPortal, Datalogger OCM F	<a href="http://www.nivus.com">www.nivus.com</a>
	FD-400 Series	OMEGA	Doppler	-40° až 85°C	IP68 (Datalogger IP66)	0.05 až 9.00 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	-	-	-	od 1 s do 24 h	Český výrobce	<a href="http://www.omegaeng.cz">www.omegaeng.cz</a>
	OTT SLD - Side looking Doppler sensor	OTT HydroMet	Doppler	-5° až 35°C	IP68	± 10 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.15 až 10.00 m	± 3 mm	-	-	pouze senzory	<a href="http://www.ott.com">www.ott.com</a>
	SP6526 velocity, depth and flow sensor	Arantec Enginnering	Doppler	-17° až 60°C	-	0.021 až 4.5 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	0.00 až 5.00 m	± 0.25 %	-	od 5 s do 24 hod	Datalogger součástí	<a href="http://www.smartyplanet.com">www.smartyplanet.com</a>
	Portable Flowmeter DOF6000-P	Lanry Instrument Co., Ltd	Doppler	-20° až 60°C	IP68 (Datlogger IP65)	0.021 až 4.5 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	0.00 až 6.00 m	± 0.25 %	16 GB	-		<a href="http://www.ultraflowmeter.com">www.ultraflowmeter.com</a>
	Ultraflow Open Channel Flowmeter 6537	Lanry Instrument Co., Ltd	Doppler	0° až 60°C	IP68 (Datlogger IP66)	0.02 až 10.0 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.002 až 10.00 m	-	-	-	Datalogger 220VAC&24VDC	<a href="http://www.ultraflowmeter.com">www.ultraflowmeter.com</a>
	Doppler Open Channel Flow Meter	Lanry Instrument Co., Ltd	Doppler	-20° až 60°C	IP68 (Datlogger IP65)	0.021 až 4.5 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	0.00 až 6.00 m	± 0.25 %	16 GB	-		<a href="http://www.ultraflowmeter.com">www.ultraflowmeter.com</a>

	SONTEK-IQ PIPE	SONTEK - A XYLEM BRAND	Doppler	-5° až 60°C	IP68	0.00 až 5.00 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.05 až 5.00 m	± 0.1 %	-	-	vlastní software	<a href="http://www.sontek.com">www.sontek.com</a>
	Q2/KDO flow meter	FIELDER AMS s.r.o.	Doppler	0° až 60°C	IP68	-6.0 až 6.0 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.00 až 3.50 m	± 0.75 %	-	-	Český výrobce	<a href="http://www.fiedler.company">www.fiedler.company</a>
	SQ-R DURCHFLUSSMESSER	Sommer Messtechnik	Doppler Radar	-40° až 60°C	IP68	0.08 až 15.0 m.s <sup>-1</sup>	± 1 %	0.05 až 8.00 m	≤ 2 mm	-	-		<a href="http://www.sommer.at">www.sommer.at</a>
	VLI Digital Area Velocity Sensor	IJINUS - CLAIRE GROUP	Doppler	0° až 70°C	IP68	-1.50 až 6.10 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	0.001 až 3.05 m	± 0.1 %	-	od 30 s do 24 h	Datalogger LOG04V2; pro měření delší, jak rok použití battery case	<a href="http://www.ijinus.com">www.ijinus.com</a>
	UB-V Digital Velocity Sensor	IJINUS - CLAIRE GROUP	Doppler	-40° až 85°C	IP68	-1.00 až 4.00 m.s <sup>-1</sup>	± 2 %	od 0.03 m	-	-	od 10 s do 24 h	Datalogger LOG04V2; pro měření delší, jak rok použití battery case	<a href="http://www.ijinus.com">www.ijinus.com</a>







**Ultrazvukové hladinoměry**

Model	Firma	Rozsah měření	Přesnost	Ochrana	Teplotní rozsah	Poznámky	Odkaz na web
 Ultrasonic level sensors LNU06V3	iJinus Groupe Claire	0.30 až 6.00 m	± 0.2 %	IP68	-40° až 85°C		<a href="http://www.ijinus.com">www.ijinus.com</a>
 MSFM - LIDOTT	Detecronic	0.00 až 1.50 m	± 2 mm	IP68 (NEMA 6P)	-40° až 60°C		<a href="http://www.detectronic.org">www.detectronic.org</a>
 MMS D002 MSFM Lite - CSO iss3	Detecronic	0.00 až 3.00 m	± 3 mm	IP68 (NEMA 6P)	-40° až 60°C		<a href="http://www.detectronic.org">www.detectronic.org</a>
 NON Contact water level sensor	Detecronic	0.125 až 3.00 m	± 2 mm	IP68 (Datalogger IP65)	-40° až 80°C		<a href="http://www.detectronic.org">www.detectronic.org</a>
 ADS ECHO	ADS	0.00 až 6.10 m	± 0.25 mm	IP68	-20° až 60°C	Komunikace pomocí 4G sítě	<a href="http://www.adsenv.com">www.adsenv.com</a>
 MHU	Arkon Flow Systém s.r.o.	0.00 až 5.20 m	0.4 %	IP68 (Datalogger IP67)	-20° až 50°C	Více senzorů podle výšky	<a href="http://www.arkon.co.uk">www.arkon.co.uk</a>
 Ultrasonic Level Sensor 0-8 Metre Range	BELL Flow System	0.00 až 8.00 m	± 0.25 % FS	IP67	-10° až 60°C		<a href="http://www.bellflowsystems.co.uk">www.bellflowsystems.co.uk</a>
 BL9000	HACH	0.003 až 3.50 m	± 0.003 m	IP68	-10° až 60°C		<a href="http://www.hach.com">www.hach.com</a>
 HACH SC200	HACH	0.25 až 6.00 m	± 1 mm	IP68 (Datalogger IP66)	-20° až 60°C		<a href="http://www.my.hach.com">www.my.hach.com</a>
 dBR RADAR TRANSDUCER	Pulsar Measurement	0.00 až 16.00 m	± 2 mm	IP68	-20° až 80°C	Datalogger je potřeba dokoupit podle výrobní řady	<a href="http://www.pulsarmeasurement.com">www.pulsarmeasurement.com</a>
 dBi Profibus inteligent transducer	Pulsar Measurement	0.125 až 15.00 m	od 2 do 5 mm	IP68	-40° až 80°C	Datalogger je potřeba dokoupit podle výrobní řady	<a href="http://www.pulsarmeasurement.com">www.pulsarmeasurement.com</a>
 dBi HART inteligent transducer	Pulsar Measurement	0.10 až 15.00 m	od 2 do 5 mm	IP68	-40° až 80°C	Datalogger je potřeba dokoupit podle výrobní řady	<a href="http://www.pulsarmeasurement.com">www.pulsarmeasurement.com</a>






	i-Series Sensor	NIVIUS	od 0.125 do 15.00 m	± 0.25 %	IP68	-40° až 80°C	různé druhy senzorů podle výšky měření	<a href="http://www.nivus.com">www.nivus.com</a>
	P-Series Sensors	NIVIUS	od 0.07 do 40 m	± 2 mm	IP68	-40° až 95°C	různé druhy senzorů podle výšky měření	<a href="http://www.nivus.com">www.nivus.com</a>
	R-Series Sensors	NIVIUS	od 0.07 do 16 m	± 2 mm	IP68	-40° až 80°C	různé druhy senzorů podle výšky měření	<a href="http://www.nivus.com">www.nivus.com</a>
	LVu30 Series Non-contact Ultrasonic Level Transmitter	OMEGA	od 0.1 do 4.5 m	± 0.25 mm	IP67	-20° až 65°C	různé druhy senzorů podle výšky měření	<a href="http://www.omegaeng.cz">www.omegaeng.cz</a>
	LVU2700 Series	OMEGA	od 0.1 do 10 m	± 0.2 %	IP65	-20° až 60°C	různé druhy senzorů podle výšky měření	<a href="http://www.omegaeng.cz">www.omegaeng.cz</a>
	LVU500 Series	OMEGA	od 0.038 do 3.0 m	± 0.2 %	IP68	-40° až 80°C	různé druhy senzorů podle výšky měření	<a href="http://www.omegaeng.cz">www.omegaeng.cz</a>
	LVU700 Series	OMEGA	od 0.02 do 12.0 m	± 0.2 %	IP68	-35° až 60°C	různé druhy senzorů podle výšky měření	<a href="http://www.omegaeng.cz">www.omegaeng.cz</a>
	US1200, US3200, US4200	FIEDLER AMS s.r.o	od 0.15 do 4.20 m	± 0.2 %	IP67	-20° až 60°C	různé druhy senzorů podle výšky měření	<a href="http://www.fiedler.company">www.fiedler.company</a>
	MNU IS	Automatic Product Group, Inc.	0.13 až 7.62 m	± 0.25 %	IP67	-30° až 60°C		<a href="http://www.apgsensors.com">www.apgsensors.com</a>
	ULSL Ultrasonic Level Sensor	Dwyer Instruments International	0.00 až 5.50 m	± 0.2 %	IP68	-35° až 60°C		<a href="http://www.dwyer-inst.com">www.dwyer-inst.com</a>
	ULSM Ultrasonic Level Sensor	Dwyer Instruments International	0.00 až 3.00 m	± 0.2 %	IP68	-35° až 60°C		<a href="http://www.dwyer-inst.com">www.dwyer-inst.com</a>
	SHUTTLE - Ultrasonic Level Measurement	MJK a xylem brand	od 0.00 do 24.0 m	± 0.2 %	NEMA 6P (IP68)	-15° až 65°C		<a href="http://www.mjk.com">www.mjk.com</a>



### Člunkový srážkoměry

Model	Firma	Záchytná plocha	Citlivost	Zimní provoz	Teplotní rozsah	Poznámky	Odkaz na web
 Srážkoměr SR03/V	FIEDLER AMS s.r.o.	500 cm <sup>2</sup>	0.1 mm/puls	Ano	-30° až +60°C		<a href="http://www.fiedler.company">www.fiedler.company</a>
 Isco 674 Srážkoměr	Technoaqua s.r.o.	-	0.1 mm/puls	Ne	0° až +60°C	Pro analýzu software Isco Flowlink	<a href="http://www.technoaqua.cz">www.technoaqua.cz</a>
 Tipping Bucket Rain Gauges RG25	IJINUS - Claire Group	0.033 m <sup>2</sup>	0.254 mm/puls	-	-	Kompatibilní s dataloggerm LOG03V3	<a href="http://www.ijinus.com">www.ijinus.com</a>
 Tipping Bucket Rain Gauge RG20	IJINUS - Claire Group	400 cm <sup>2</sup>	0.2 mm/puls	Ano	-30° až +70°C	Kompatibilní s dataloggerm LOG03V4	<a href="http://www.ijinus.com">www.ijinus.com</a>
 0.5 mm Plastic Tipping Bucket Rain Gauge Sensor	Beijing Guoxinhuayaun Technology Co., Ltd	-	0.5 mm/puls	Ano	-10° až +50°C		<a href="http://www.made-in-china.com">www.made-in-china.com</a>
 Tipping Bucket 0.2 mm Sensor Prices	Beijing Guoxinhuayaun Technology Co., Ltd	-	0.2 mm/puls	Ano	-10° až +50°C		<a href="http://www.made-in-china.com">www.made-in-china.com</a>

### Optické disdrometry

Model	Firma	Intenzita deště	Velikost částic	Rychlost	Přesnost	Teplotní rozsah	Poznámky	Odkaz na web
 OTT Parsivel <sup>2</sup> - Laser Weather Sensor	OTT HydroMet	0.001 až 1200 mm/h	Tekutina: 0.2 - 8 mm Pevné částice: 0.2 - 25 mm	0.2 - 20 m.s <sup>-1</sup>	Tekutina: ± 5 % Pevné částice: ± 20 %	-40° až 70°C	Německý výrobce	<a href="http://www.ott.com">www.ott.com</a>
 ORG 815 Optical Rain Gauge	Info-Eletronics System India Private Limited	0.1 až 500 mm/h	-	-	-	-40° až 50°C		<a href="http://www.indiamart.com">www.indiamart.com</a>
 Optical Disdrometer ODM 470	Eigenbrodt GmbH & Co. KG	-	0.5 až 20 mm	až 20 m.s <sup>-1</sup>	-	-		<a href="http://www.eigenbrodt.de">www.eigenbrodt.de</a>
 ZDM100 Disdrometer	Zataiot	0.001 až 1000 mm/h	0.125 až 26 mm	0.1 až 22 m.s <sup>-1</sup>	Tekutina: ± 5 % Pevné částice: ± 20 %	-40° až 80°C		<a href="http://www.zataiot.com">www.zataiot.com</a>
 Forward Scatter Sensor FD70	Vaisala	0.01 až 999.99 mm/h	0.1 až 35 mm	-	± 2.2 %	-55° až 65°C		<a href="http://www.vaisala.com">www.vaisala.com</a>

**Vejčité potrubí vídeňského typu DN500/750**

Součinitel drsnosti	n	0.014	[-]
Měrná objemová hmotnost	$\rho$	1000	[kg.m <sup>-3</sup> ]
Gravitační zrychlení	g	9.81	[m.s <sup>-2</sup> ]

dle Manninga

DN	sklon	Plnění	Výška hladiny	Průtočný průřez	Omočený obvod	R	C	Rychlost	Průtok
[mm]	[-]	[%]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>0,5</sup> /s]	[m/s]	[l/s]
500/750	0.010	0	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
500/750	0.010	10	0.075	0.0185	0.3977	0.0464	42.8238	0.9228	17.0436
500/750	0.010	20	0.150	0.0495	0.5796	0.0855	47.4069	1.3860	68.6631
500/750	0.010	30	0.225	0.0857	0.7353	0.1165	49.9213	1.7042	146.0453
500/750	0.010	40	0.300	0.1231	0.8853	0.1391	51.4141	1.9174	236.0681
500/750	0.010	50	0.375	0.1598	1.0366	0.1542	52.3042	2.0537	328.1819
500/750	0.010	60	0.450	0.1946	1.1903	0.1635	52.8177	2.1355	415.5274
500/750	0.010	70	0.525	0.2262	1.3485	0.1678	53.0463	2.1727	491.5482
500/750	0.010	80	0.600	0.2534	1.5137	0.1674	53.0290	2.1699	549.9405
500/750	0.010	90	0.675	0.2747	1.6891	0.1626	52.7720	2.1281	584.5742
500/750	0.010	100	0.750	0.2871	1.9825	0.1448	51.7628	1.9700	565.6388

**Vejčité potrubí vídeňského typu DN470/730**

dle Manninga

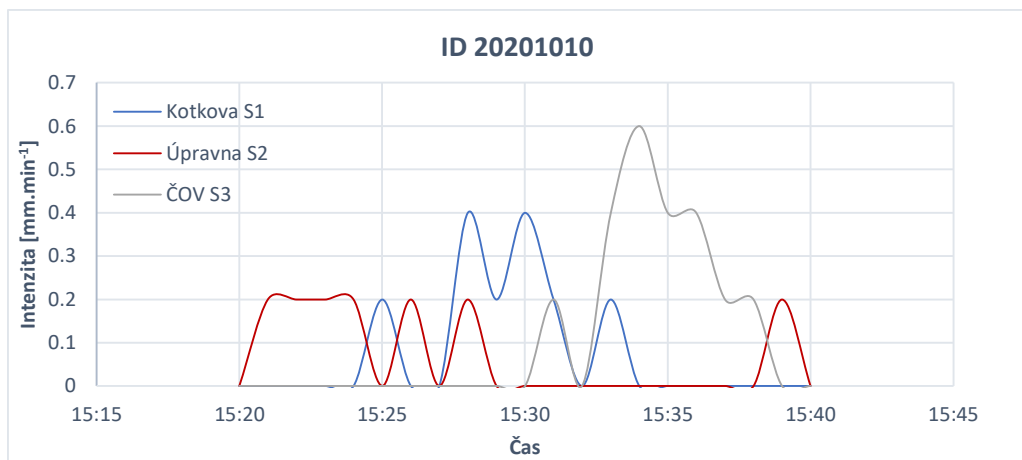
DN	sklon	Plnění	Výška hladiny	Průtočný průřez	Omočený obvod	R	C	Rychlost	Průtok
[mm]	[-]	[%]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>0,5</sup> /s]	[m/s]	[l/s]
470/730	0.010	0	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
470/730	0.010	10	0.075	0.0113	0.2809	0.0401	41.7966	0.8374	9.4442
470/730	0.010	20	0.150	0.0308	0.4483	0.0687	45.7148	1.1984	36.9221
470/730	0.010	30	0.225	0.0556	0.6080	0.0915	47.9442	1.4499	80.6178
470/730	0.010	40	0.300	0.0845	0.7617	0.1110	49.5151	1.6494	139.4148
470/730	0.010	50	0.375	0.1163	0.9110	0.1277	50.6851	1.8110	210.6157
470/730	0.010	60	0.450	0.1499	1.0581	0.1416	51.5694	1.9407	290.8172
470/730	0.010	70	0.525	0.1841	1.2044	0.1529	52.2306	2.0421	375.9830
470/730	0.010	80	0.600	0.2172	1.3553	0.1603	52.6430	2.1074	457.7061
470/730	0.010	90	0.675	0.2456	1.5299	0.1605	52.6585	2.1099	518.2022
470/730	0.010	100	0.750	0.2625	1.9062	0.1377	51.3294	1.9048	500.0208

**Vejčité potrubí vídeňského typu DN520/775**

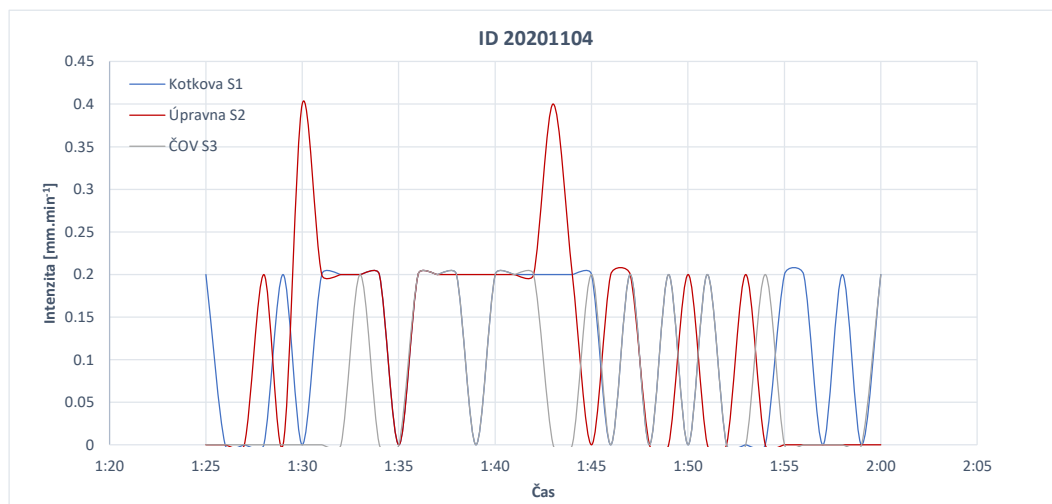
dle Manninga

DN	sklon	Plnění	Výška hladiny	Průtočný průřez	Omočený obvod	R	C	Rychlost	Průtok
[mm]	[-]	[%]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>0,5</sup> /s]	[m/s]	[l/s]
520/775	0.010	0	0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
520/775	0.010	10	0.075	0.0133	0.3059	0.0435	42.3619	0.8837	11.7623
520/775	0.010	20	0.150	0.0363	0.4857	0.0746	46.3490	1.2663	45.9151
520/775	0.010	30	0.225	0.0654	0.6565	0.0996	48.6350	1.5353	100.4305
520/775	0.010	40	0.300	0.0994	0.8203	0.1212	50.2479	1.7493	173.8993
520/775	0.010	50	0.375	0.1368	0.9804	0.1395	51.4403	1.9213	262.7940
520/775	0.010	60	0.450	0.1762	1.1366	0.1550	52.3525	2.0613	363.2019
520/775	0.010	70	0.525	0.2164	1.2919	0.1675	53.0341	2.1707	469.8163
520/775	0.010	80	0.600	0.2553	1.4492	0.1761	53.4790	2.2445	572.9634
520/775	0.010	90	0.675	0.2887	1.6381	0.1762	53.4824	2.2451	648.0498
520/775	0.010	100	0.750	0.3084	2.0517	0.1503	52.0847	2.0194	622.8373

Srážkoměr	Kotkova S1		Úpravna S2		ČOV S3	
ID 20201010	Úhrn	Intenzita	Úhrn	Intenzita	Úhrn	Intenzita
Datum a čas	[mm]	[mm/hod]	[mm]	[mm/hod]	[mm]	[mm/hod]
10.10.2020 15:20	0	0	0	0	0	0
10.10.2020 15:21	0	0	0.2	12	0	0
10.10.2020 15:22	0	0	0.2	12	0	0
10.10.2020 15:23	0	0	0.2	12	0	0
10.10.2020 15:24	0	0	0.2	12	0	0
10.10.2020 15:25	0.2	12	0	0	0	0
10.10.2020 15:26	0	0	0.2	12	0	0
10.10.2020 15:27	0	0	0	0	0	0
10.10.2020 15:28	0.4	24	0.2	12	0	0
10.10.2020 15:29	0.2	12	0	0	0	0
10.10.2020 15:30	0.4	24	0	0	0	0
10.10.2020 15:31	0.2	12	0	0	0.2	12
10.10.2020 15:32	0	0	0	0	0	0
10.10.2020 15:33	0.2	12	0	0	0.4	24
10.10.2020 15:34	0	0	0	0	0.6	36
10.10.2020 15:35	0	0	0	0	0.4	24
10.10.2020 15:36	0	0	0	0	0.4	24
10.10.2020 15:37	0	0	0	0	0.2	12
10.10.2020 15:38	0	0	0	0	0.2	12
10.10.2020 15:39	0	0	0.2	12	0	0
10.10.2020 15:40	0	0	0	0	0	0

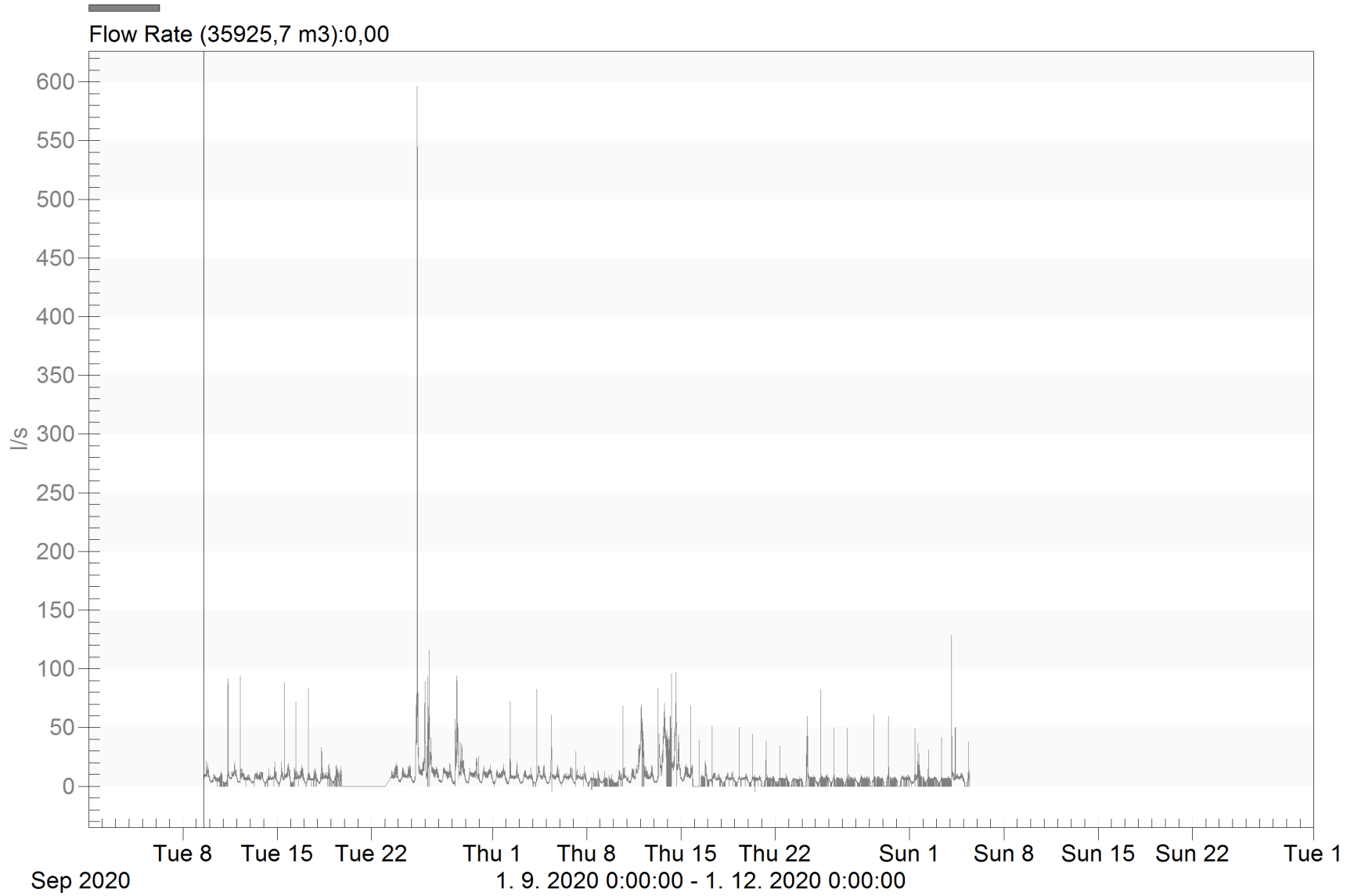


Srážkoměr ID 20201104	Kotkova S1		Úpravna S2		ČOV S3	
	Úhrn	Intenzita	Úhrn	Intenzita	Úhrn	Intenzita
	[mm]	[mm/hod]	[mm]	[mm/hod]	[mm]	[mm/hod]
Datum a čas						
04.11.2020 1:25	0.2	12	0	0	0	0
04.11.2020 1:26	0	0	0	0	0	0
04.11.2020 1:27	0	0	0	0	0	0
04.11.2020 1:28	0	0	0.2	12	0	0
04.11.2020 1:29	0.2	12	0	0	0	0
04.11.2020 1:30	0	0	0.4	24	0	0
04.11.2020 1:31	0.2	12	0.2	12	0	0
04.11.2020 1:32	0.2	12	0.2	12	0	0
04.11.2020 1:33	0.2	12	0.2	12	0.2	12
04.11.2020 1:34	0.2	12	0.2	12	0	0
04.11.2020 1:35	0	0	0	0	0	0
04.11.2020 1:36	0.2	12	0.2	12	0.2	12
04.11.2020 1:37	0.2	12	0.2	12	0.2	12
04.11.2020 1:38	0.2	12	0.2	12	0.2	12
04.11.2020 1:39	0	0	0.2	12	0	0
04.11.2020 1:40	0.2	12	0.2	12	0.2	12
04.11.2020 1:41	0.2	12	0.2	12	0.2	12
04.11.2020 1:42	0.2	12	0.2	12	0.2	12
04.11.2020 1:43	0.2	12	0.4	24	0	0
04.11.2020 1:44	0.2	12	0.2	12	0	0
04.11.2020 1:45	0.2	12	0	0	0.2	12
04.11.2020 1:46	0	0	0.2	12	0	0
04.11.2020 1:47	0.2	12	0.2	12	0.2	12
04.11.2020 1:48	0	0	0	0	0	0
04.11.2020 1:49	0.2	12	0	0	0.2	12
04.11.2020 1:50	0	0	0.2	12	0	0
04.11.2020 1:51	0.2	12	0	0	0.2	12
04.11.2020 1:52	0	0	0	0	0	0
04.11.2020 1:53	0	0	0.2	12	0	0
04.11.2020 1:54	0	0	0	0	0.2	12
04.11.2020 1:55	0.2	12	0	0	0	0
04.11.2020 1:56	0.2	12	0	0	0	0
04.11.2020 1:57	0	0	0	0	0	0
04.11.2020 1:58	0.2	12	0	0	0	0
04.11.2020 1:59	0	0	0	0	0	0
04.11.2020 2:00	0.2	12	0	0	0.2	12



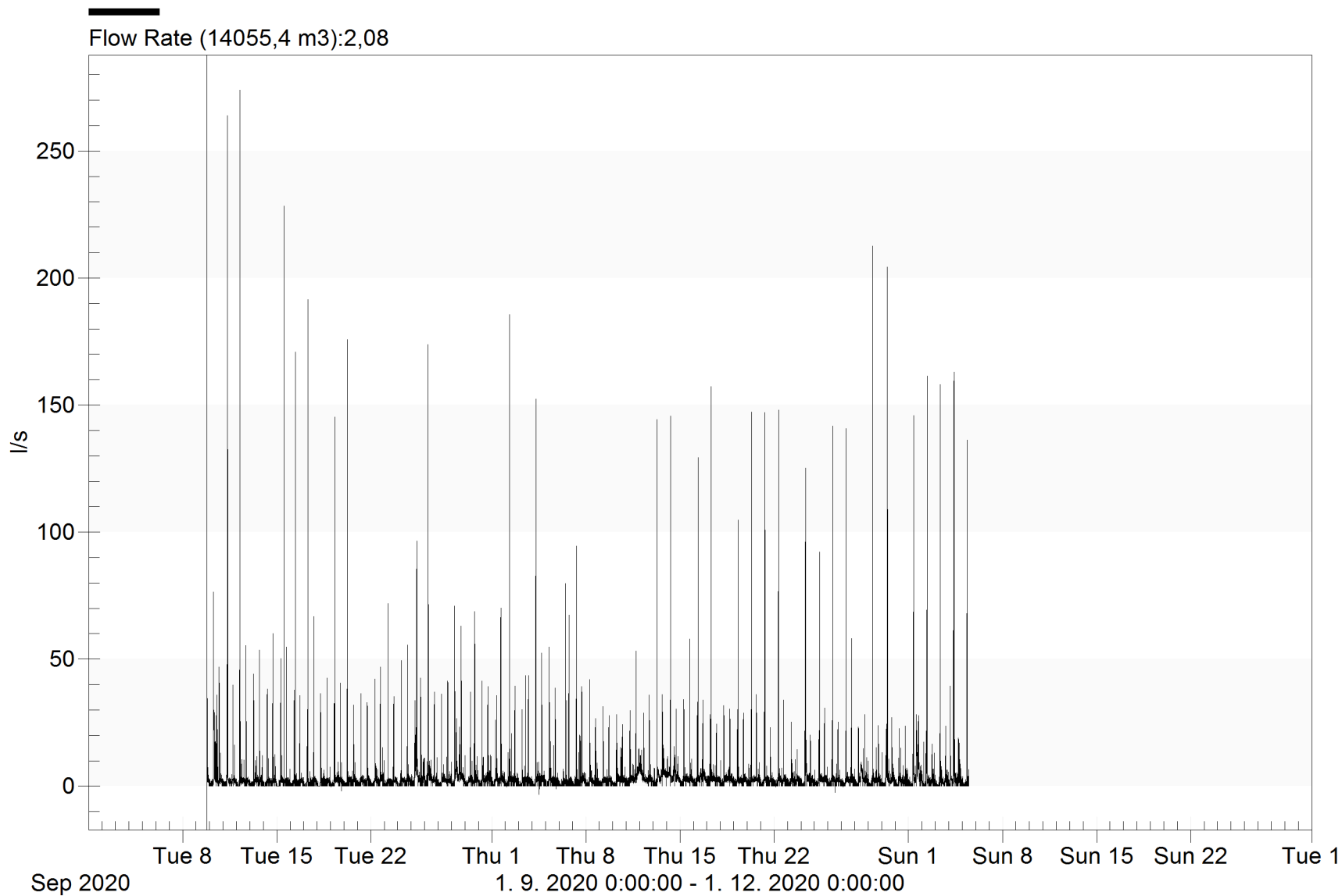
# Znojmo10\_most\_2020

Flowlink 5



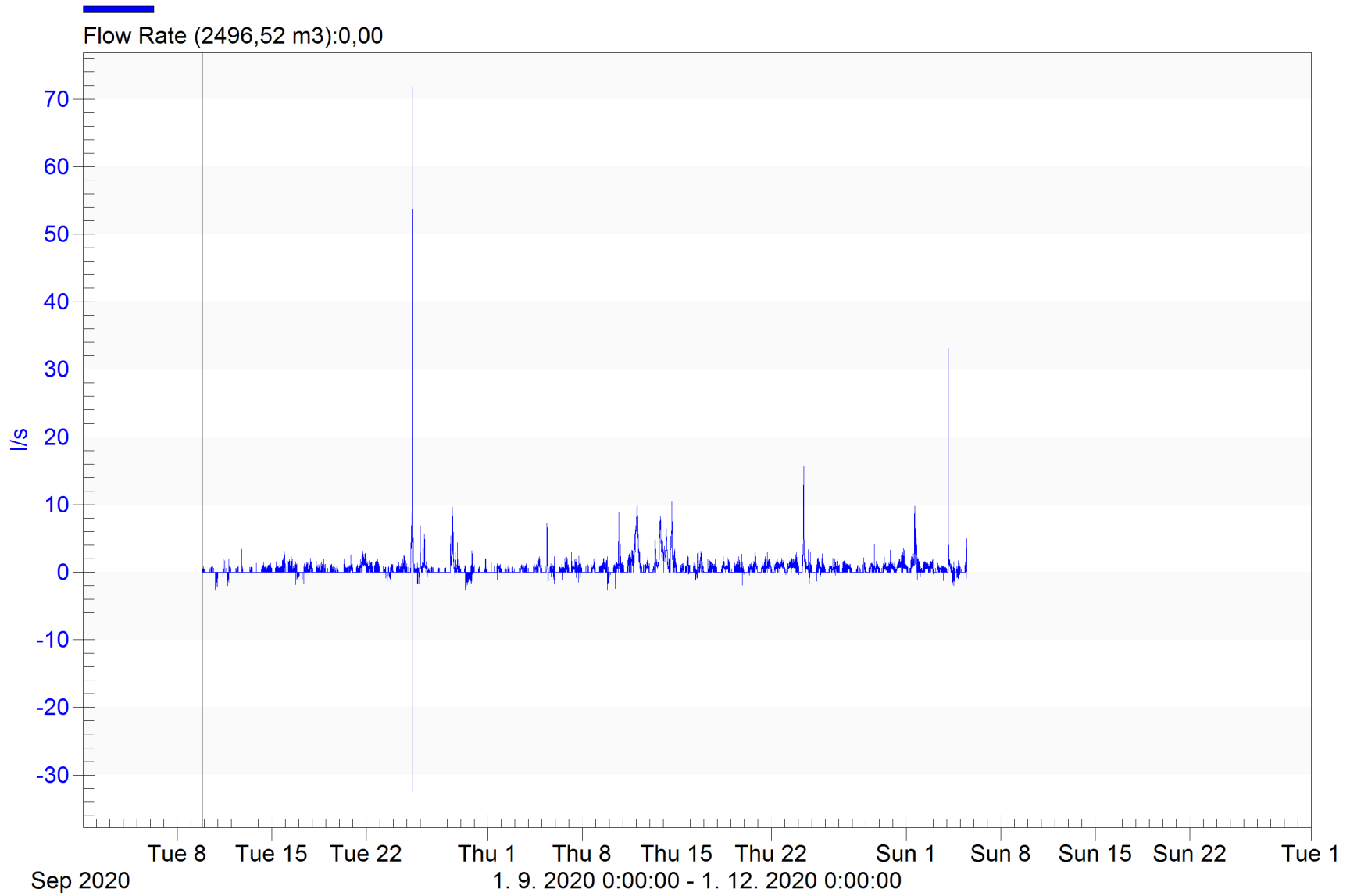
# Znojmo 11 Zborovska 2020

Flowlink 5



# Znojmo12\_Prazskasidliste\_2020

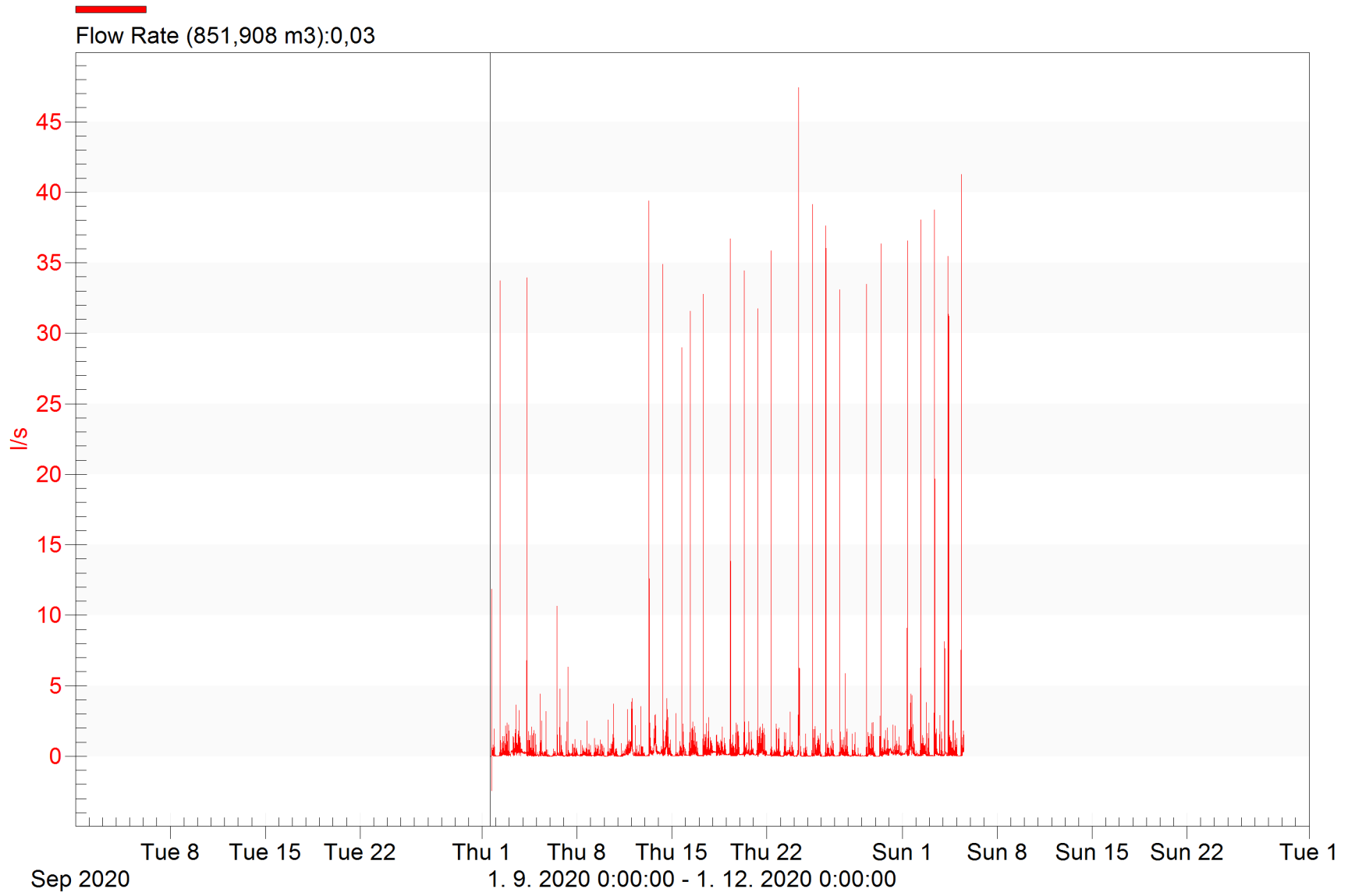
Flowlink 5





# Znojmo14\_Legionarska\_2020

Flowlink 5



Změna provedena dne:

**23.05.2020**

Změnu provedl:

**Aleš Haška**

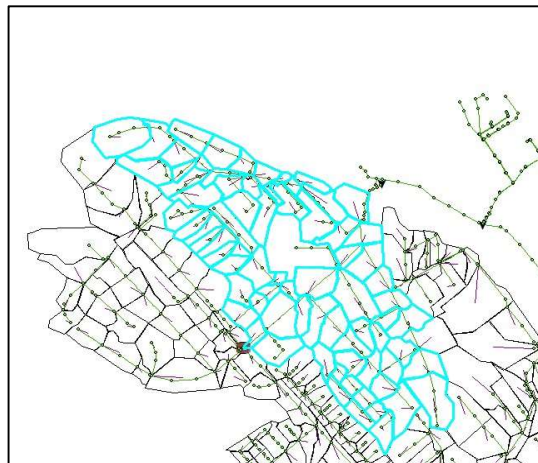
Verze modelu:

**v007**

Stupeň zpracování:

**Kalibrace**

**Vymezená oblast kalibrace**



**Catchments**

MUID	Load_Point	Width		Ground slo		Impreviousness	
		[m]		[%]		[%]	
		Původní	Nový	Původní	Nový	Původní	Nový
Catchment_10	1_108	81		15		40	35
Catchment_2	1_66	78		20		50	40
Catchment_4	1_39	71		25		20	15

\*

\* v rámci ochrany dat zobrazeno pár hodnot pro názornost

Změna provedena dne:

**23.05.2020**

Změnu provedl:

**Aleš Haška**

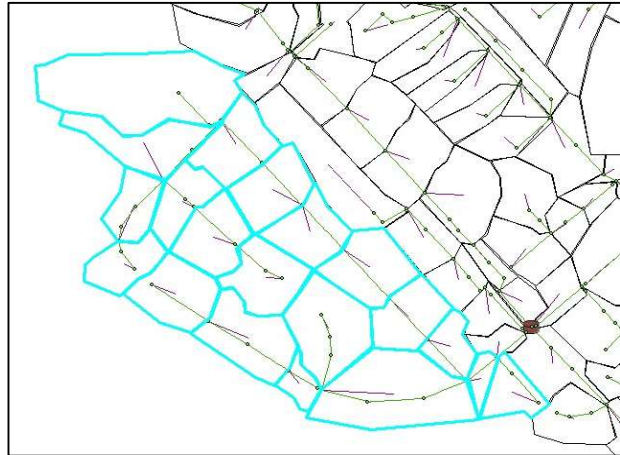
Verze modelu:

**v007**

Stupeň zpracování:

**Kalibrace**

**Vymezená oblast kalibrace**



**Catchments**

MUID	Load_Point	Width		Ground slo		Impreviousness	
		[m]		[%]		[%]	
		Původní	Nový	Původní	Nový	Původní	Nový
Catchment_51	1_1	45		25		40	20
Catchment_52	1_0	84		25		40	20
Catchment_53	1_3515	80		15	25	60	30

\*

**Conduits**

MUID	Leght	Roughness	
		[n]	
		Původní	Nový
115994	60.03	0.02	0.018

\*

Vymezená oblast kalibrace

Změna provedena dne:

**23.05.2020**

Změnu provedl:

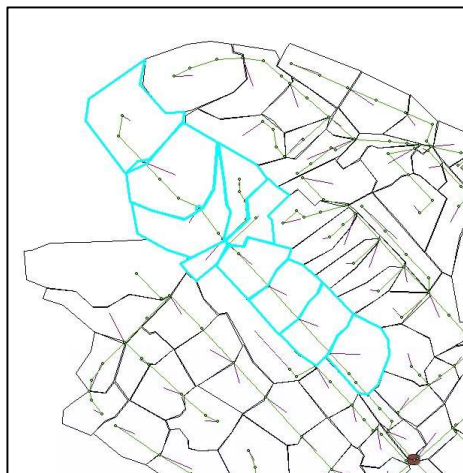
**Aleš Haška**

Verze modelu:

**v007**

Stupeň zpracování:

**Kalibrace**



Catchments

MUID	Load_Point	Width		Ground slo		Impreviousness	
		[m]		[%]		[%]	
		Původní	Nový	Původní	Nový	Původní	Nový
Catchment_33	1_3528	73	112	15		40	15
Catchment_34	1_3	93	105	25		20	5
Catchment_35	1_17	52	89	20		60	30

\*