

Generel kanalizace města Modřice

Studie

A.3 Kalibrace a verifikace matematického modelu
kanalizační sítě

Objednatel: Město Modřice

OBSAH

1.	CÍLE KALIBRACE A VERIFIKACE MATEMATICKÉHO MODELU KANALIZAČNÍ SÍTĚ.....	2
2.	SESTAVENÍ MATEMATICKÉHO MODELU	2
2.1	Programové vybavení.....	2
2.2	Topologie stokové sítě a objekty na ní	3
2.3	Hydrologický model	4
2.4	Hydraulický model	4
2.5	Specifické potřeby vody	4
2.6	Požadovaný rozsah a přesnost kalibrace a verifikace modelu	5
2.7	Výběr dat pro kalibraci a verifikaci matematického modelu stokové sítě	6
2.8	Kalibrace bezdeštných průtoků	7
2.9	Kalibrace dešťových průtoků	7
3.	SROVNÁNÍ MĚŘENÝCH A SIMULOVANÝCH KŘIVEK BEZDEŠTNÝCH PRŮTOKŮ V MĚRNÝCH PROFILECH.....	8
3.1	Q1.....	8
3.2	Q2.....	9
3.3	Q3.....	10
3.4	Q4.....	11
4.	SROVNÁNÍ MĚŘENÝCH A SIMULOVANÝCH KŘIVEK DEŠŤOVÝCH PRŮTOKŮ V MĚRNÝCH PROFILECH.....	12
4.1	Q1.....	12
4.2	Q2.....	15
4.3	Q3.....	18
4.4	Q4.....	21
5.	VYHODNOCENÍ KALIBRACE A VERIFIKACE MATEMATICKÉHO MODELU.....	24
5.1	Vyhodnocení kalibrace bezdeštných průtoků.....	24
5.2	Vyhodnocení kalibrace dešťových průtoků	25
6.	ZÁVĚR.....	26

1. CÍLE KALIBRACE A VERIFIKACE MATEMATICKÉHO MODELU KANALIZAČNÍ SÍTĚ

Kalibrace modelu slouží pro stanovení takových sad parametrů modelu, které vedou k nejmenším odchylkám mezi výsledky simulace a měřenými daty, a tím k redukci nejistot. Pro identifikaci optimální sady parametrů může být použita metoda „pokusů a omylů“ nebo matematické optimalizační techniky. Účelný postup při kalibraci je zapotřebí stanovit podle typu modelu odděleně pro jednotlivé dílčí procesy.

Verifikace modelu umožňuje přezkoušení modelu pro jiná období a zatížení systému než při kalibraci. Výpočty při verifikaci se provádějí s jinou sadou měřených vstupních dat, avšak s kalibrovanými parametry modelu a porovnává se výsledek simulace s měřenými daty. Na základě verifikace je pak posouzeno, zda daný simulační model je pro řešení stanovené úlohy dostatečně přesný a může být použit.

2. SESTAVENÍ MATEMATICKÉHO MODELU

2.1 Programové vybavení

Matematický model srážko-odtokového procesu z urbanizovaného území řeší nestacionární hydrologické i hydrodynamické procesy. Posouzení kapacity stávající kanalizační sítě je provedeno srážko-odtokovým modelem s nestacionárním výpočtem proudění.

Pro zpracování generelu kanalizace (části řešeného matematickým modelem) bylo využito SW vybavení MIKE URBAN CS ve verzi 2019 od společnosti DHI a.s.

Programový prostředek MIKE URBAN je profesionální nástroj pro výpočet povrchového odtoku, proudění vody, kvality vody a transportu sedimentu z urbanizovaných povodí a stokových sítí.

V aplikaci MIKE URBAN je pomocí výpočetních jader možné zejména:

- Modelování srážko-odtokového procesu;
- Hydrodynamická analýza proudění vody v potrubí a otevřených kanálech;
- Modelování v reálném čase a propojení na SCADA systém;
- Dlouhodobá statistika zatížení stokových systému;
- Automatická kalibrace srážko-odtokového modelu;
- Správce variant;
- Transport sedimentu;
- Kvalita vody;
- Automatická optimalizace dimenze potrubí.

Uživatelské rozhraní v aplikaci MIKE URBAN využívá z větší části technologie COM objektu programového prostředku ArcGIS tzn., že uživatel aplikace MIKE URBAN může z velké části využít standardní funkce převzaté z celosvětově ověřeného produktu GIS.

2.2 Topologie stokové sítě a objekty na ní

Matematický model stokové sítě byl sestaven na základě podkladů o kanalizační síti od provozovatele. Byly použity podklady z GIS. Na základě jejich analýzy bylo provedeno doplnění podkladů sestávající zejména z účelového geodetického doměření chybějících údajů ke kanalizačním šachtám a průzkumu objektů.

Topologie kanalizační sítě

Model obsahuje údaje o kanalizační síti na území aglomerace. Koncovými profily jsou profil zaústění splaškové kanalizace do kmenové stoky A pod ČS1 a zaústění z jednotné kanalizace do kmenové stoky A. Do modelu je zanesena kanalizační síť jednotná, splašková, dešťová a po průzkumu provedeném zpracovatelem dostupné informace o kanalizaci areálové. V rámci schematizace stokové sítě nebyly do modelu zadány kanalizační přípojky, uliční vpusti a kanalizace DN 200 a menší, pokud její rozsah významně neovlivňoval odtokové poměry z větších připojených celků.

Model kanalizační sítě tvoří:

Počet uzlů	898
Počet úseků	875
Počet výustí	22

Celková délka modelované kanalizační sítě je cca 28.3 km.

Do matematického modelu byly rovněž zadány údaje o odběratelích pitné vody ze zákaznického informačního systému (ZIS) provozovatele, kde jsou uvedeny údaje o odběrech pitné vody domácnostmi i průmyslem.

Objekty na kanalizační síti

V modelu jsou zadány objekty na kanalizační síti. Jedná se o 12 odlehčovacích komor a 26 čerpacích stanic. Geometrie objektů je vytvořena na základě předaného pasportu stokové sítě.

Čerpací stanice:

Poř. č.	Označení ČS (podklady)	Umístění	Označení v modelu
1	ČS1	zahrádky před zaústěním do KSA	CS1_Modrice
2	ČS 2	u Mlýnského náhonu	CS2_Modrice
3	ČS 3	ul. U hřiště	CS3_Modrice
4	ČS 4	tramvajová smyčka, ul. Brněnská	CS4_Modrice
5	ČS 5	naproti cihelně, ul. Brněnská	CS4_Modrice
6	PTÁČEK - velkoobchod, ČS	ul. Tyršova	CS_Tyrsova_Modrice
7	ČS Modřice Masarykova	křižovatka ul. Masarykova, Severní	CS_Masarykova_Modrice
8	ČS Modřice Polní	křižovatka ul. Masarykova, Polní	CS_Polni_Modrice
9	ČS Modřice Ulička	ul. Ulička	CS_Ulicka_Modrice
10	ČS CTP INVEST	ul. Evropská, CTPark	CS_Evropska_Modrice
11	ČS Želešice	pod ul. Šlechtitelská	CS_Zelesice

Odlehčovací komory:

Poř. č.	ID OK	Umístění OK
1	OKA12	ul. K Náhonu
2	OK_namesti_Svobody	Náměstí Svobody

2.3 Hydrologický model

Hranice jednotlivých kanalizačních okrsků byly zpracovány v grafickém formátu v SW ArcMap a byly importovány do MIKE URBAN. Okrsky tvoří uzavřené polygony bez přesahů a mezer. Velikost jednotlivých povodí závisí především na hustotě kanalizační sítě a spádové oblasti kanalizace.

Hydrologický model je v generelu kanalizace zadán s podrobností uvedenou v tabulce:

Průměrná velikost kanalizačních okrsků	0.698 ha
Počet kanalizačních okrsků	199
Celková odvodňovaná plocha	139 ha

Výpočet povrchového odtoku je proveden na základě TAC metody (Time Area Curve). Procento nepropustných ploch bylo zadáno na základě vzorového hektaru a místních znalostí, validováno bylo nad leteckým snímkem povodí a při kalibraci hydrologických parametrů.

Doba koncentrace na povodí a redukční faktor jsou zadány na základě kalibrace modelu pro každé povodí k jednotlivým měrným profilům zvlášť a jsou uvedeny v kapitole 5.2. Vyhodnocení kalibrace dešťových průtoků.

2.4 Hydraulický model

Pro výpočet proudění v kanalizační síti byl použit hydrodynamický nestacionární model, který je součástí SW MIKE URBAN. Tento model umožňuje simulovat vliv zpětného vzduť, tlakové proudění a vytékání vody na terén.

V hydraulickém modelu jsou zahrnuty všechny úseky kanalizační sítě a všechny šachty a objekty, na základě podkladů z GIS provozovatele kanalizační sítě – podrobněji kapitola 2.2..

Pro úseky byla použita drsnost na základě materiálů jednotlivých potrubí. Ztráty v šachtách byly zadány individuálně, pouze v místech komplikovaných hydraulických propojů. Ostatní šachty byly ve výpočtu uvažovány beze ztrát. V odlehčovacích komorách byly ztráty nastaveny rovněž individuálně s ohledem na složitost a hydrauliku daného objektu. Nastavené parametry byly validovány při kalibraci.

2.5 Specifické potřeby vody

Specifická potřeba vody vycházela z podkladů provozovatele kanalizační sítě. Zpracovatel měl k dispozici databázi zákaznického informačního systému (ZIS), která obsahovala údaje o odběrech

vody v domácnostech, občanské technické vybavenosti i průmyslu bez rozlišení. Data ze ZIS byla podkladem pro kalibraci bezdeštných průtoků.

2.6 Požadovaný rozsah a přesnost kalibrace a verifikace modelu

Data použitá pro kalibraci a verifikaci modelů musí pokrýt celou šíři nejrůznějších událostí:

- bezdeštné průtoky,
- srážkové odtoky způsobené méně vydatnými dlouhotrvajícími dešti,
- významné srážkové odtoky s překročením škrceného odtoku na ČOV způsobené intenzivními krátkými dešti.

Pro kalibraci by kromě bezdeštných průtoků měly být použity minimálně 2-3 relevantní nezávislé srážkové události s příslušnými měřenými daty ve stokové síti, pro verifikaci pak alespoň 2 události. Měřenými daty jsou průtoky v potrubí (např. škrcené odtoky z OK, průtok v závěrném profilu/přítok na ČOV) a vodní stavy (zpravidla na přelivné hraně OK nebo v retenčním prostoru).

Při kalibraci a verifikaci je nutno porovnat odchylky mezi vypočtenými a naměřenými veličinami (průtoky, vodní stavy, koncentrace). Porovnávají se:

- maximum,
- objem, resp. látkové množství
- čas dosažení maxima,
- průběhy veličin (hydrogramy, případně polutogramy).

Pro objektivní srovnání je zapotřebí zahrnout všechna tato kritéria současně. Jako měřítko odchylek se nejčastěji používá relativní odchylka simulovaných a měřených veličin zprůměrovaná pro n dešťových událostí použitých pro kalibraci, resp. verifikaci. Tato odchylka pak ukazuje systematické nadhodnocování či podhodnocování výsledku.

Kalibraci a verifikaci hydrogramů v rámci koncepčních úloh lze považovat za uspokojivou, pokud odchylky objemu, maximálního průtoku nebo vodního stavu v každém měrném profilu nepřekračují hodnoty 10 % při kalibraci a 20 % při verifikaci modelu. Rozdíly v časové synchronizaci průběhů veličin včetně doby dosažení maxima by neměly být větší než 5 min.

Úspěšnost kalibrace a verifikace je doložena vypočtenými odchylkami a grafickým znázorněním průběhů simulovaných a měřených veličin pro kalibrační a verifikační události. Míra odchylky je velmi úzce svázána se správností použitého modelu, matematickou formulací procesů, s kvalitou měřených vstupních dat (zpravidla dešťů), ale i dat o povodí a stokové síti. Závisí tedy také na rozsahu a správnosti dat poskytnutých provozovatelem či správcem kanalizace a na finančních prostředcích vynaložených pro jejich případné ověření a doplnění. Ne vždy tak může být doporučená míra odchylky dosažitelná.

2.7 Výběr dat pro kalibraci a verifikaci matematického modelu stokové sítě

Monitorovací kampaň byla provedena v rámci Generelu kanalizace města Modřice. Zpracovatel měl k dispozici data z kampaně, kterou prováděla firma Pražské vodovody a kanalizace, a. s. v termínu 29.05. až 30.07.2018.

Monitoring byl proveden v rozsahu:

Měřená veličina	Počet měrných profilů
Průtoky (Q, v, h)	4
Hladiny (h)	2
Srážky (i)	1

Podrobně je monitoring popsán v části A.2 Monitoring na kanalizační síti.

Zpracovatel měl k dispozici data z měrné kampaně ve formátu *.dfs0. Ten lze použít jako podklad pro kalibraci a verifikaci v prostředí MIKE URBAN bez jakýchkoliv uživatelských zásahů. Tím je eliminováno riziko vzniku náhodné nebo systematické chyby.

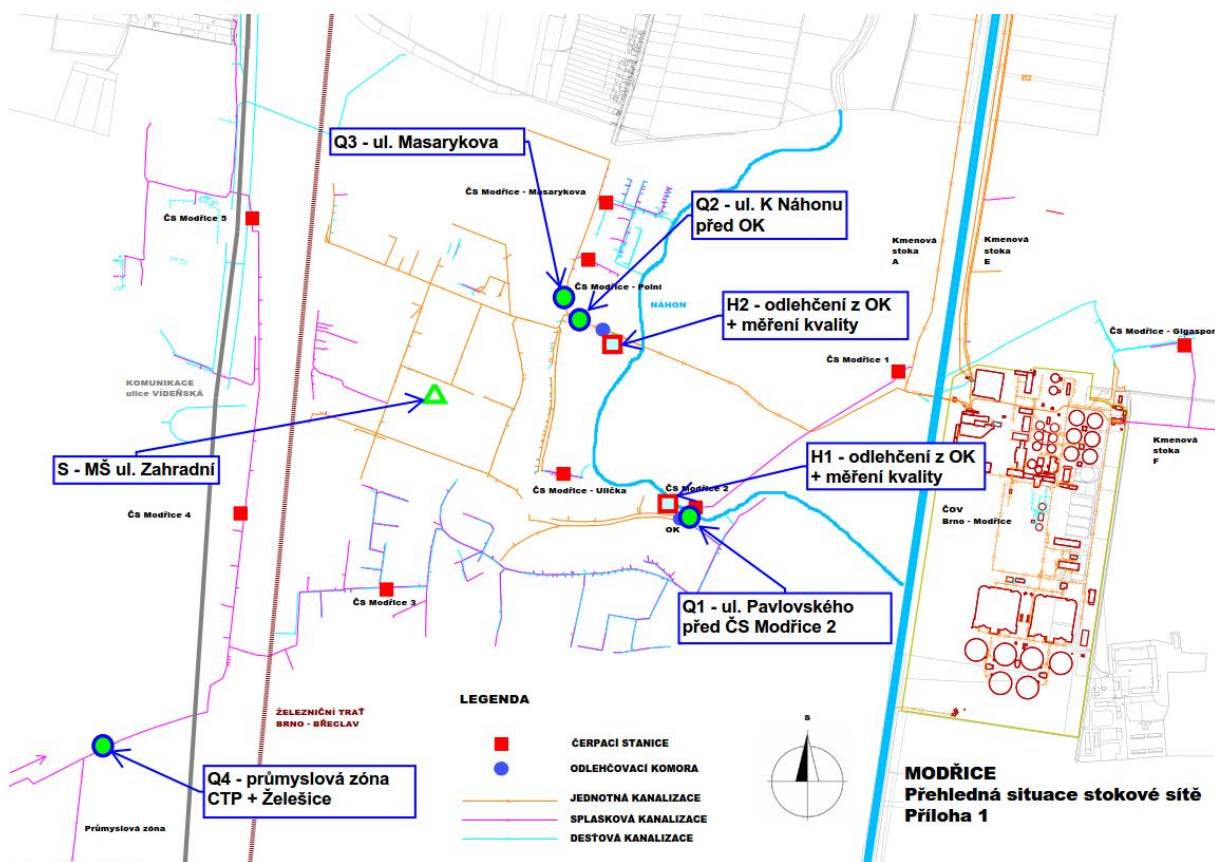
Naměřená data byla analyzována s ohledem na vazbu srážkových událostí a odezvu průtoků v měrných profilech v kanalizační síti. Z uvedeného období byly vybrány vhodné sady dat o průtocích, hladinách, rychlostech a intenzitách srážek pro kalibraci a verifikaci dešťových průtoků. Na základě analýzy byla rovněž vybrána data vhodná pro kalibraci bezdeštných průtoků.

Kalibrace a verifikace dešťových průtoků byla provedena pro následující srážkové epizody:

<i>Začátek srážkové události</i>	<i>Konec srážkové události</i>	<i>Úloha</i>
08.06.2018 5:00	08.06.2017 11:00	Kalibrace
10.07.2018 11:00	10.07.2018 16:00	Kalibrace
22.07.2018 11:00	23.07.2018 4:00	Verifikace
25.07.2018 12:00	25.07.2018 15:30	Verifikace

Kalibrace bezdeštných průtoků byla provedena pro časové období 20.6.2018 až 21.6.2018. Jednalo se o pracovní den mimo prázdninový režim s minimálními možnými odchylkami od mediánu za celé bezdeštné období v průběhu monitorovací kampaně (jedná se o období od 14.6.2018 do 20.6.2018 a od 11.7.2018 do 16.7.2018) a s minimálními nejistotami z pohledu měření.

Schéma s rozmístění měrných profilů:



2.8 Kalibrace bezdeštných průtoků

Splaškový průtok je kalibrován objemově. Do modelu je zadávána hodinová nerovnoměrnost z konkrétního dne, na který probíhá kalibrace modelu. Kalibrace bezdeštného průtoku tak nemůže postihnout „náhodné“ spínání čerpacích stanic v povodí kalibračního profilu, které se mohou a velmi často také vyskytují. Kalibračním parametrem, kterým je zvyšován či snižován objem vody v modelu je hodnota „SCALING FACTOR“ v okrajové podmínce modelu. Tato hodnota je ke každému měrnému profilu dokladována v kapitole 5.1 Vyhodnocení kalibrace bezdeštných průtoků

2.9 Kalibrace dešťových průtoků

Při kalibraci dešťového průtoku je nejdůležitější určit, z jaké části nepropustných ploch v povodí se voda dostane do stokové sítě. Ne všechny objekty totiž jsou na jednotnou/dešťovou kanalizaci napojeny. Větší procento napojení se dá očekávat v centrální části města, menší naopak v jeho okrajových částech. Kalibraci dešťových průtoků v Modřicích předcházela rozsáhlý průzkum zpracovatele k napojení průmyslových podniků na kanalizační síť. Teprve na základě zjištěných skutečností byla stanovena hranice odvodňované oblasti a případný přítok z průmyslových podniků do veřejné kanalizace.

Při kalibraci dešťového průtoku na jednotné kanalizaci je používán tzv. HOTSTART, což je vlastně nastavení systému tak, aby na začátku deště byly v síti stejné podmínky, jako jsou při zkalibrovaném bezdeštném průtoku.

3. SROVNÁNÍ MĚŘENÝCH A SIMULOVANÝCH KŘIVEK BEZDEŠTNÝCH PRŮTOKŮ V MĚRNÝCH PROFILECH

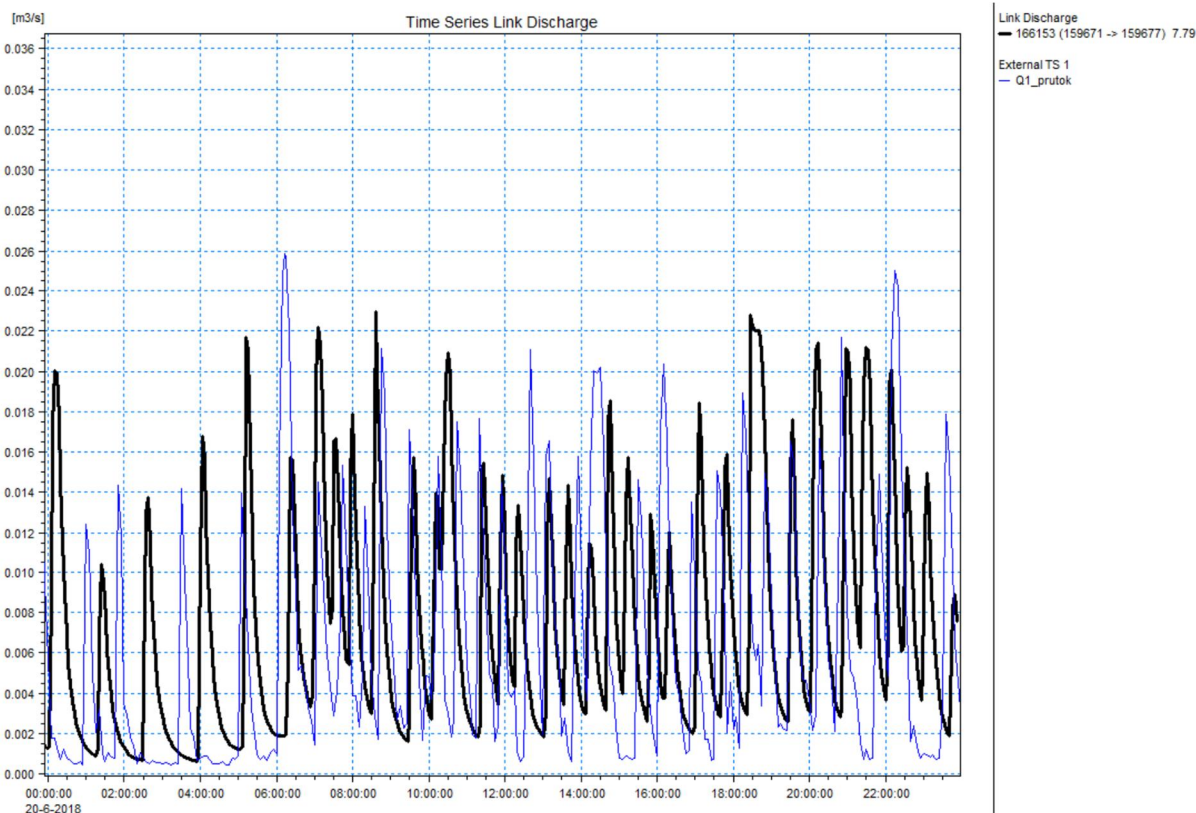
Legenda:

- Průtok naměřený při monitorovací kampani
- Průtok – výsledek simulace na matematickém modelu kanalizační sítě

3.1 Q1

Tabulka 3.1: Objemová odchylka v měrném profilu

Úloha	Profil	Časový interval		Objem V [m ³]	
		Od	Do	měřená	odch. r _i
				simul.	[%]
Kalibrace	Q1 - Modřice, ul. Pavlovského přítok na ČOV	20.06.2018 0:00		648	+0.8
		21.06.2018 0:00		653	

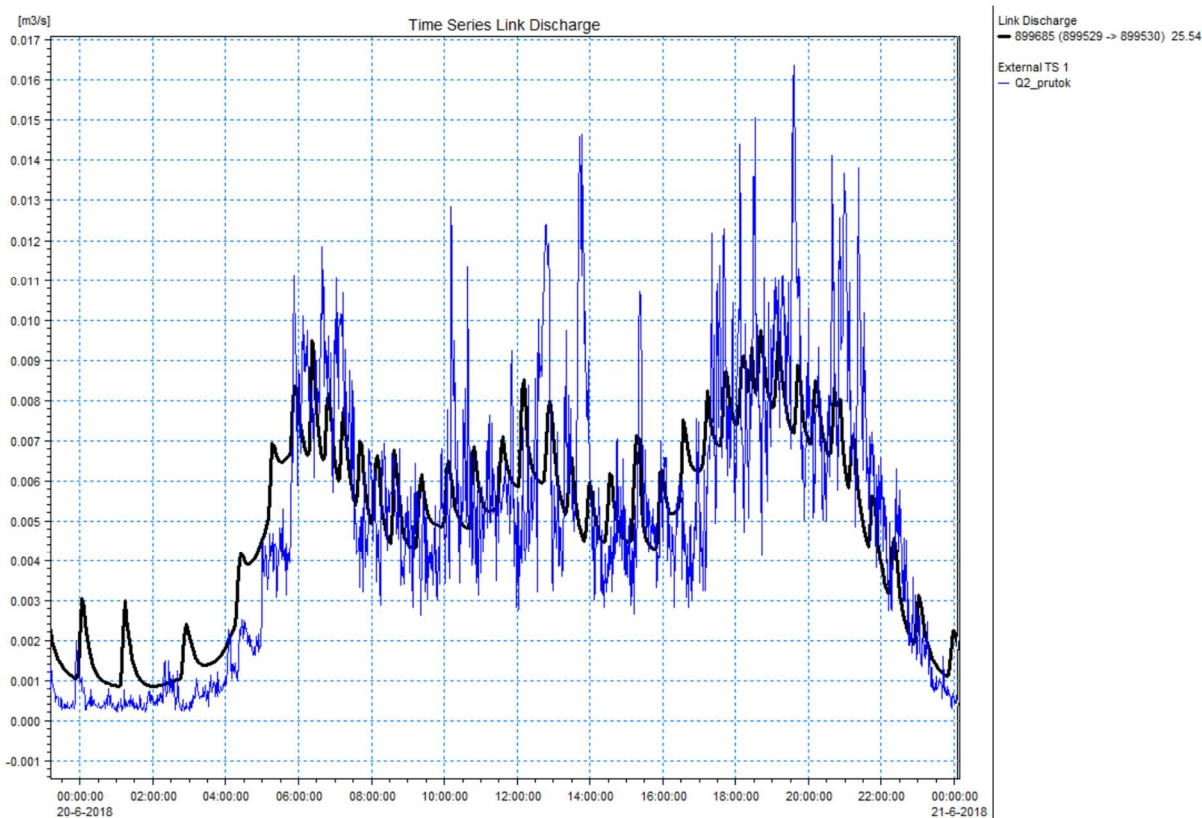


Obrázek 3.1: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu

3.2 Q2

Tabulka 3.2: Objemová odchylka v měrném profilu

Úloha	Profil	Časový interval		Objem V [m ³]	
		Od	Do	měřená	odch. r _i [%]
				simul.	
Kalibrace	Q2 - Modřice, ul. K Náhonu	20.06.2018 0:00		435	+0.2
		21.06.2018 0:00		436	

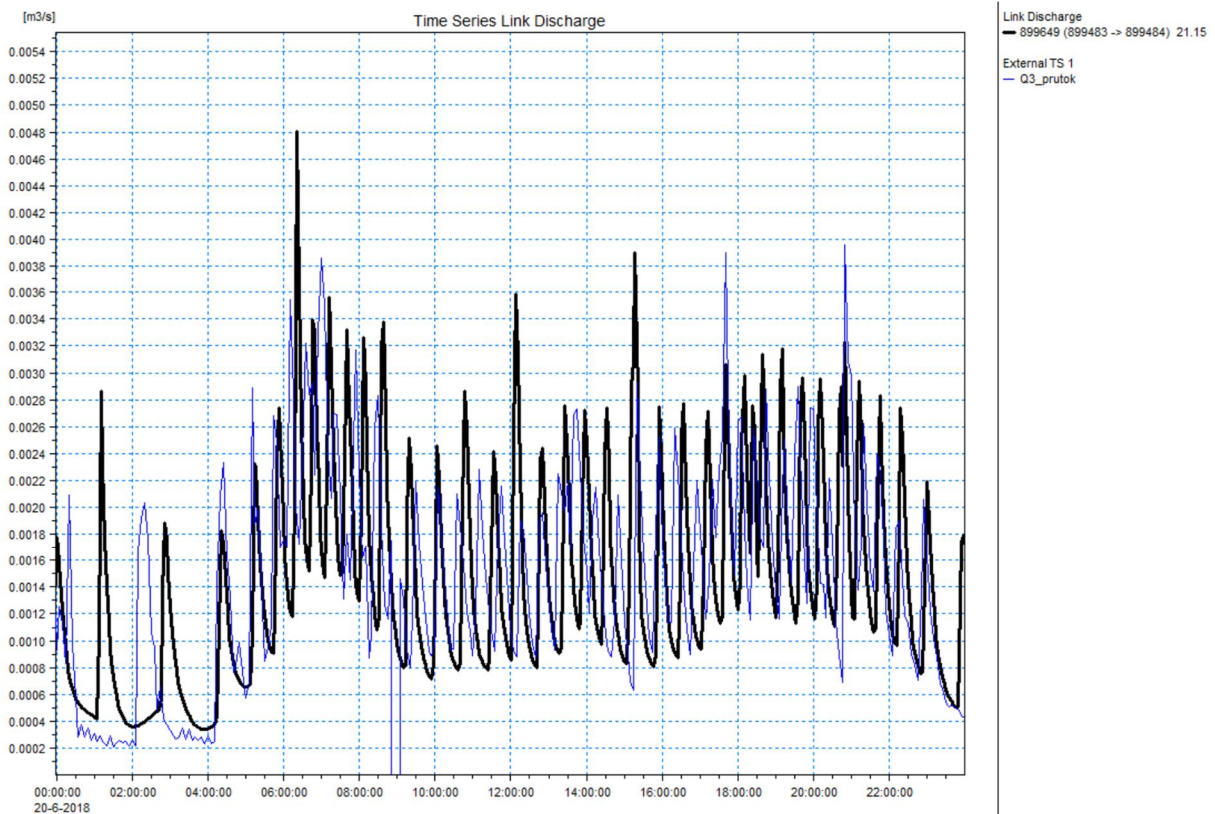


Obrázek 3.2: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu

3.3 Q3

Tabulka 3.3: Objemová odchylka v měrném profilu

Úloha	Profil	Časový interval		Objem V [m ³]	
		Od	Do	měřená	odch. r _i [%]
				simul.	
Kalibrace	Q3 - Modřice, ul. Masarykova, přítok do ulice K Náhonu	20.06.2018 0:00		127	+0.1
		21.06.2018 0:00		127	

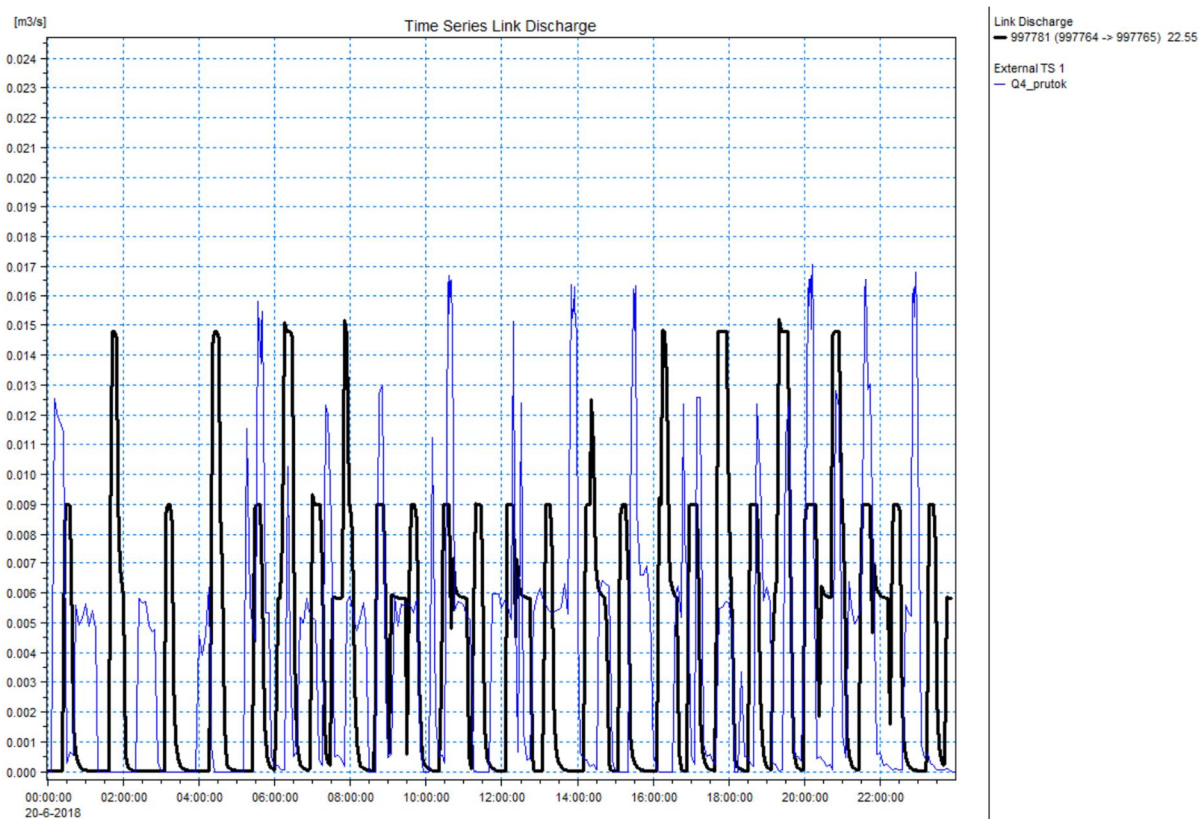


Obrázek 3.3: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu

3.4 Q4

Tabulka 3.4: Objemová odchylka v měrném profilu

Úloha	Profil	Časový interval		Objem V [m ³]	
		Od	Do	měřená	odch. r _i [%]
				simul.	
Kalibrace	Q4 -Modřice, pod CTP + přítok ze Želešic	20.06.2018 0:00		354	+1.3
		21.06.2018 0:00		359	



Obrázek 3.4: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu

4. SROVNÁNÍ MĚŘENÝCH A SIMULOVANÝCH KŘIVEK DEŠŤOVÝCH PRŮTOKŮ V MĚRNÝCH PROFILECH

Legenda:

----- Průtok naměřený při monitorovací kampani

----- Průtok – výsledek simulace na matematickém modelu kanalizační sítě

4.1 Q1

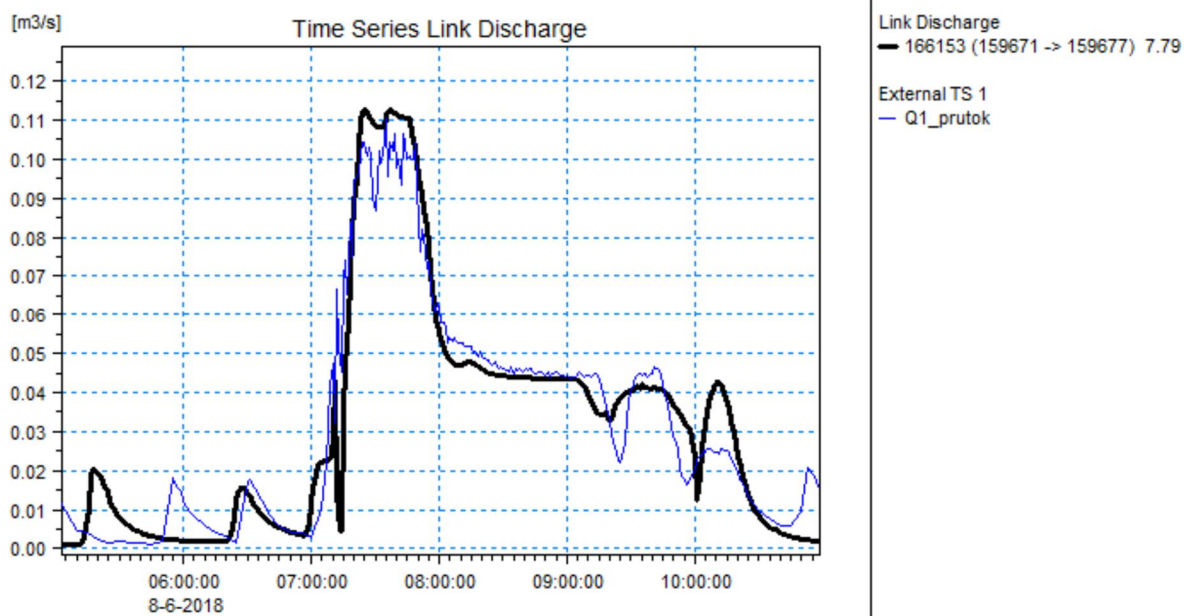
Kalibrace splaškové kanalizace v profilu Q1 na průtoky za dešťových událostí je orientační a slouží pro obecný přehled o fungování sítě.

Celkové proteklé množství v profilu Q1 závisí mimo jiné na intenzitě a plošném rozložení srážek v oblasti Želešic, kde není stoková síť posuzována a nebylo zde ani osazeno měření srážek při monitorovací kampani.

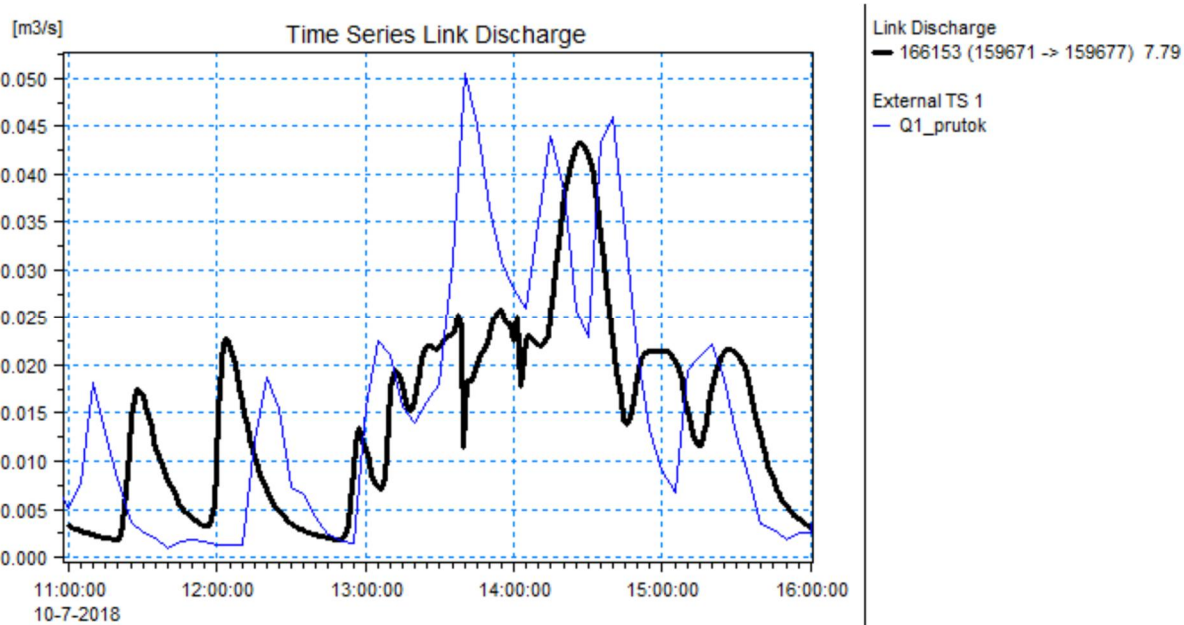
Z porovnání hodnot měřených a simulovaných plyne závěr, že do kanalizační sítě jsou zaústěny v nezanedbatelné míře dešťové vody. V modelu je tento stav zohledněn rozmístěním ‚kalibračních okrsků‘ do míst kde jsou pravděpodobně napojeny dešťové vody do splaškové kanalizace.

Tabulka 4.1: Odchytky v měrném profilu

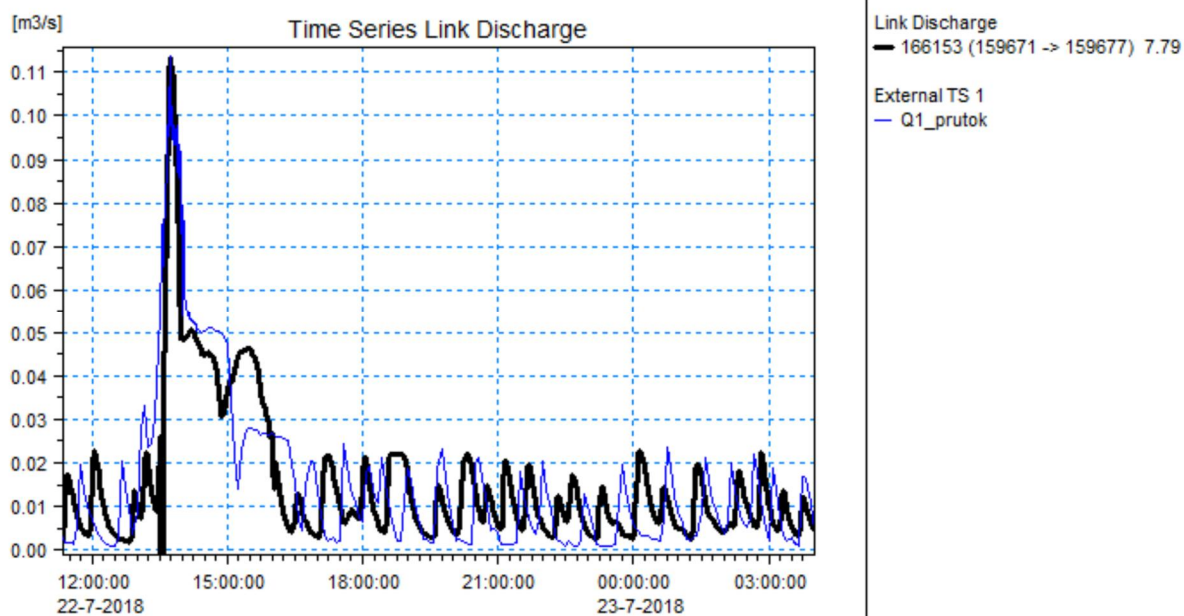
Úloha	Profil	Dešťová událost	Max. průtok Q_{max} [m ³ /s]		Objem V [m ³]		Čas výskytu Q_{max} [hh:mm]	
			měřená	odch. r_i	měřená	odch. r_i	měřená	rozdíl
		Od	simul.	[%]	simul.	[%]	simul.	[hod]
Kalibrace	Q1 - Modřice, ul. Pavlovského přítok k ČS2	08.06.2018 05:00	0.111	+1.9	667	+1.4	07:35	-00:10
		08.06.2017 11:00	0.113		677			
		10.07.2018 11:00	0.051	-14.4	289	-7.2	13:40	+00:46
		10.07.2018 16:00	0.043		268			
		průměr		-6.3		-2.9		+00:18
Verifikace	Q1 - Modřice, ul. Pavlovského přítok k ČS2	22.07.2018 11:00	0.114	-0.7	933	-0.5	13:44	-00:01
		23.07.2018 04:00	0.113		928			
		25.07.2018 12:00	0.039	+33.2	173	+2.6	14:05	-00:07
		25.07.2018 15:30	0.052		178			
		průměr		+16.3		+1.0		-00:04



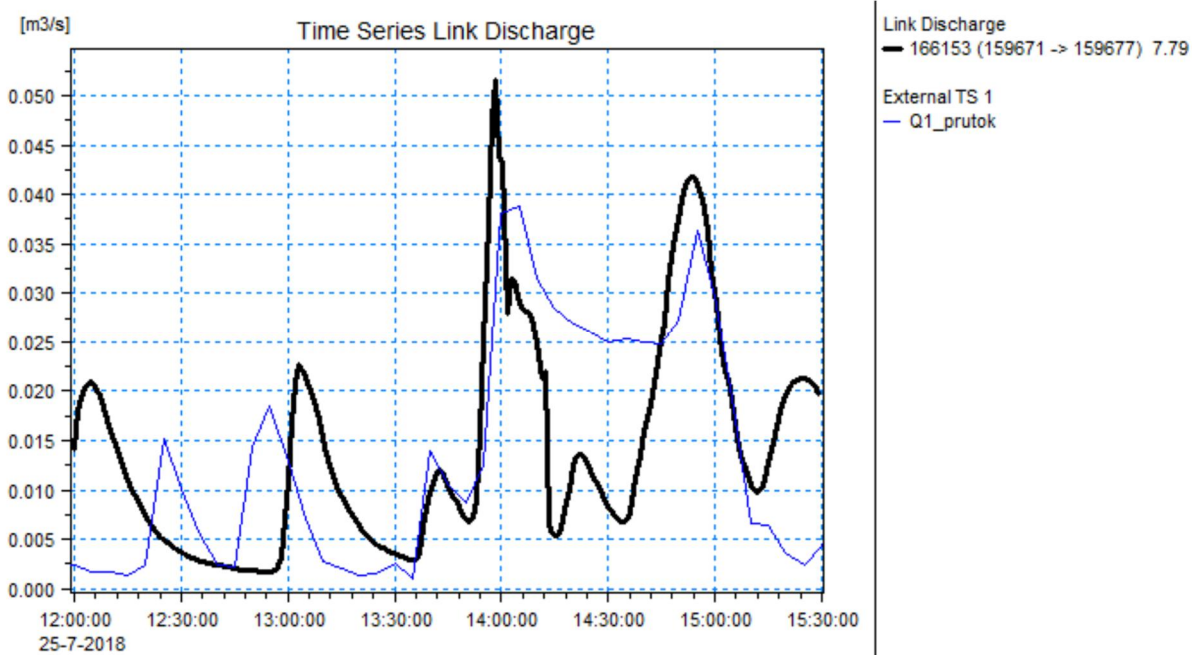
Obrázek 4.1: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 08.06.2018 05:00 do 08.06.2018 11:00



Obrázek 4.2: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 10.07.2018 11:00 do 10.07.2018 16:00



Obrázek 4.3: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 22.07.2018 11:00 do 23.07.2018 04:00



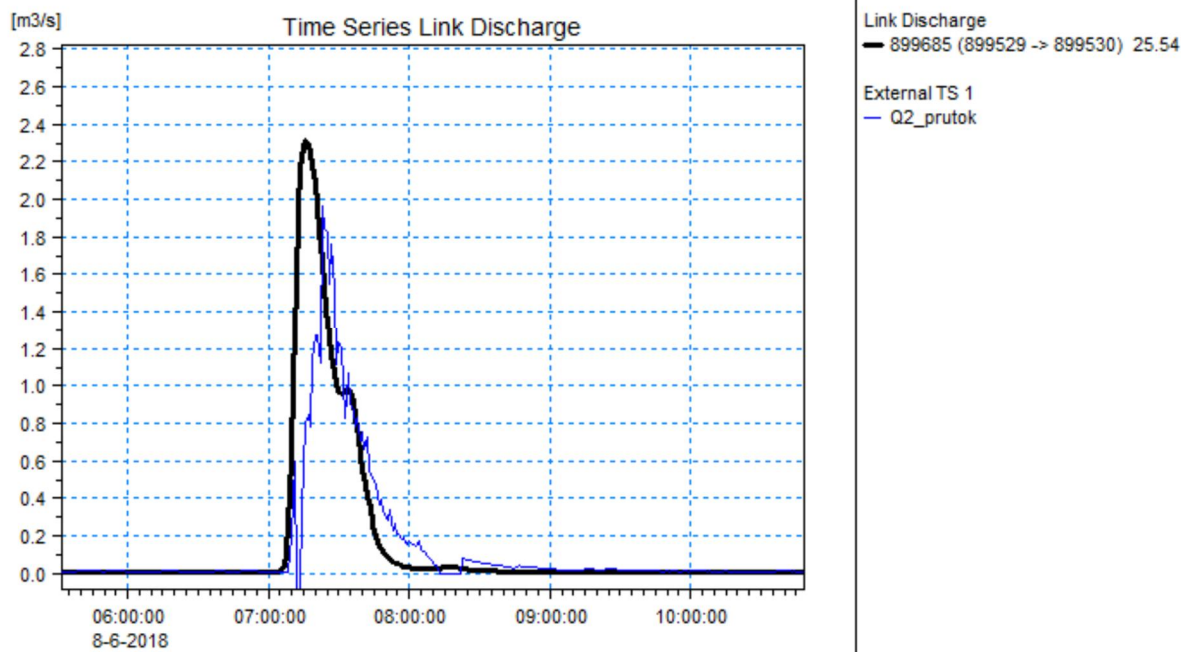
Obrázek 4.4: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 25.07.2018 12:00 do 25.07.2018 15:30

4.2 Q2

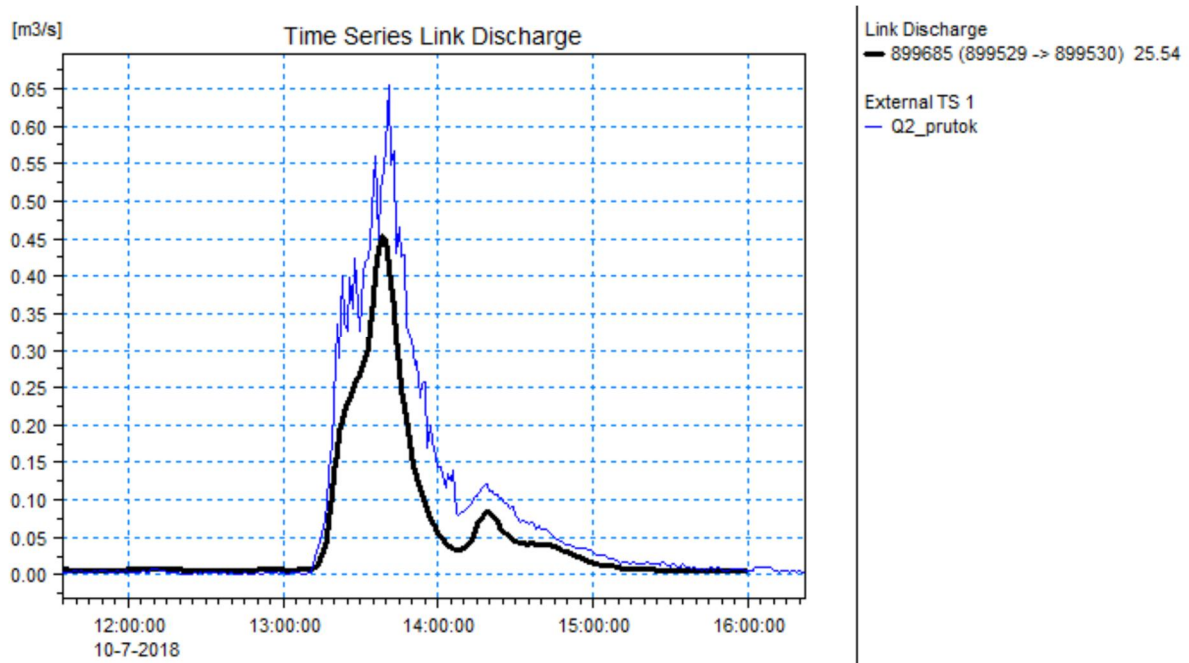
Měrný profil Q2 byl umístěn v ulici K Náhonu na jednotné kanalizaci před OKA12. Za dešťů docházelo ke vzduťi nařeďených odpadních vod směrem od škrťící trati a shybky protiproudňě.

Tabulka 4.2: Odchyľky v měrném profilu

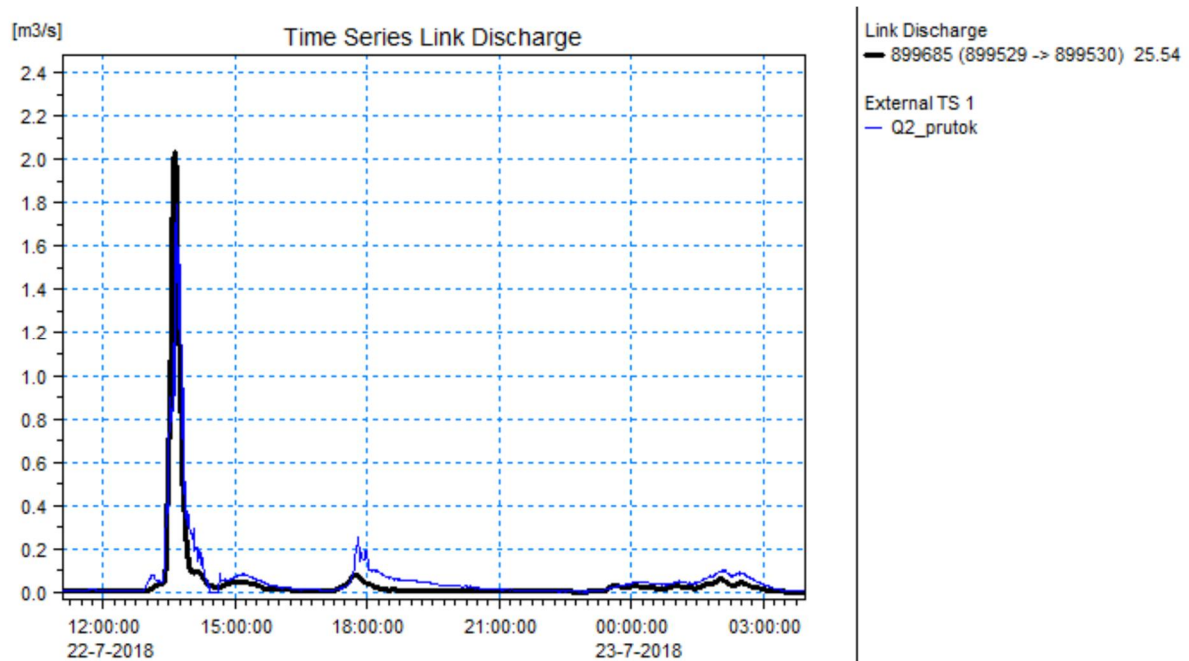
Úloha	Profil	Dešťová událost	Max. průtok Q_{max} [m ³ /s]		Objem V [m ³]		Čas výskytu Q_{max} [hh:mm]	
			měřená	odch. r_1	měřená	odch. r_1	měřená	rozdíl
		Od	simul.	[%]	simul.	[%]	simul.	[hod]
Kalibrace	Q2 - Modřice, ul. K Náhonu	08.06.2018 05:00	1.963	+17.8	2597	+14.9	07:23	-00:08
		08.06.2017 11:00	2.312		2985		07:15	
		10.07.2018 11:00	0.654	-30.8	1312	-35.6	13:41	-00:03
		10.07.2018 16:00	0.453		845		13:38	
		průměr		-6.5		-10.3		-00:05
Verifikace	Q2 - Modřice, ul. K Náhonu	22.07.2018 11:00	1.793	+13.5	3911	-26.7	13:40	-00:03
		23.07.2018 04:00	2.036		2869		13:37	
		25.07.2018 12:00	0.387	+63.8	421	+24.0	14:00	-00:04
		25.07.2018 15:30	0.634		522		13:56	
		průměr		+38.7		-1.3		-00:03



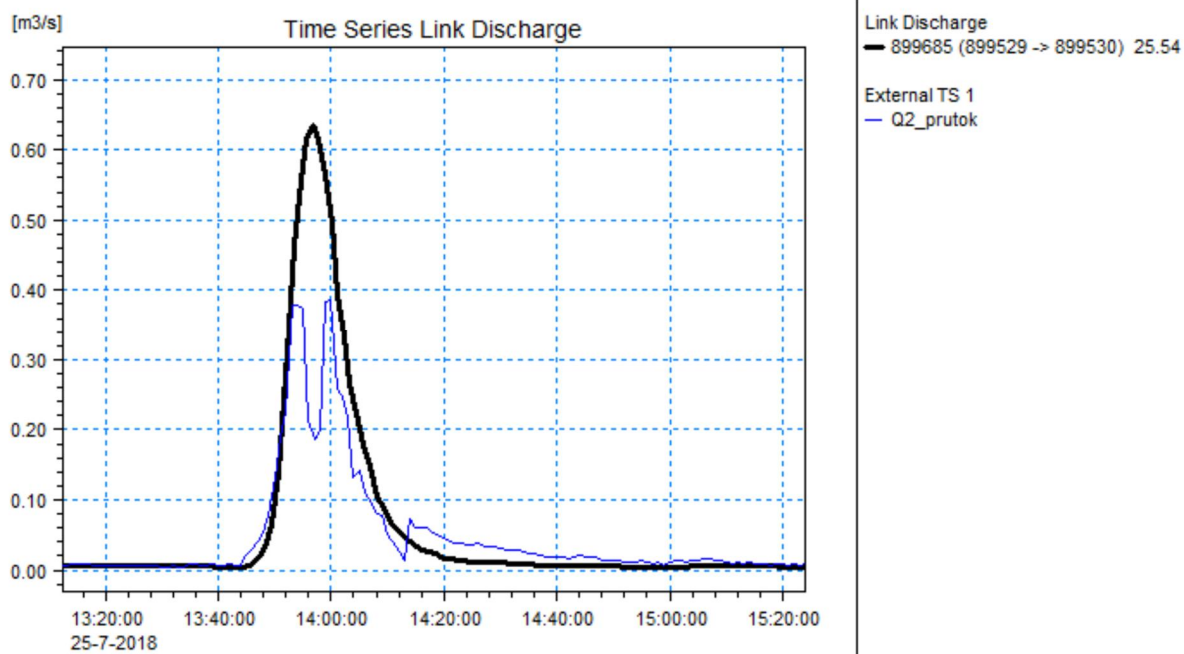
Obrázek 4.5: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 08.06.2018 05:00 do 08.06.2018 11:00



Obrázek 4.6: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 10.07.2018 11:00 do 10.07.2018 16:00



Obrázek 4.7: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 22.07.2018 11:00 do 23.07.2018 04:00



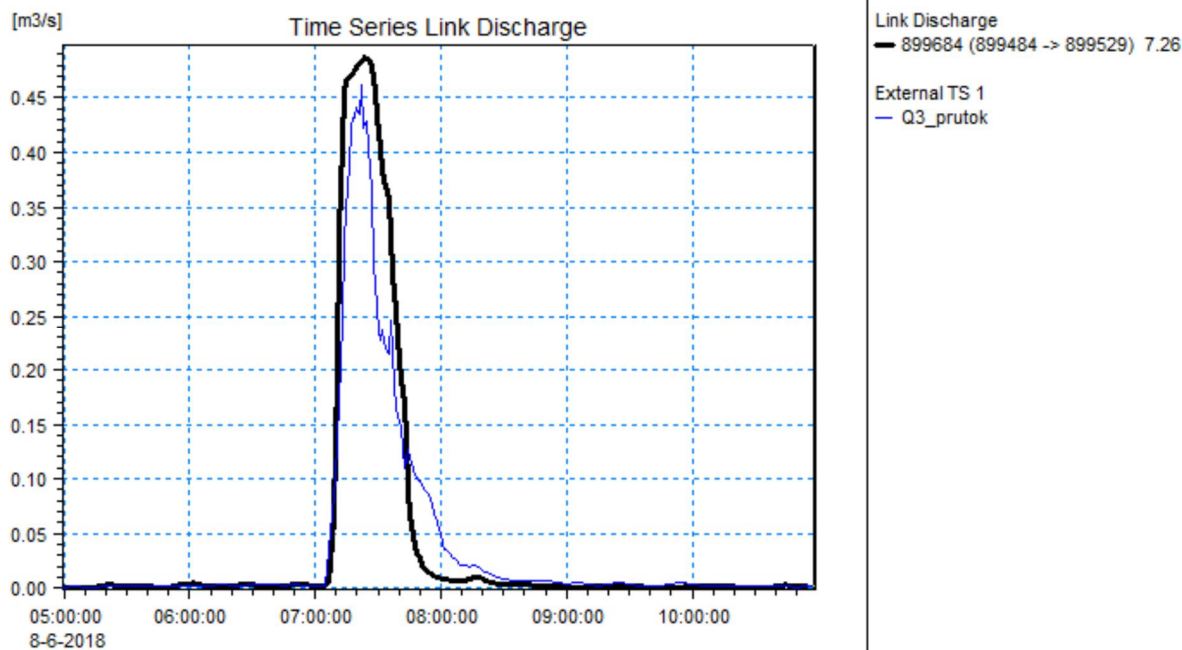
Obrázek 4.8: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 25.07.2018 12:00 do 25.07.2018 15:30

4.3 Q3

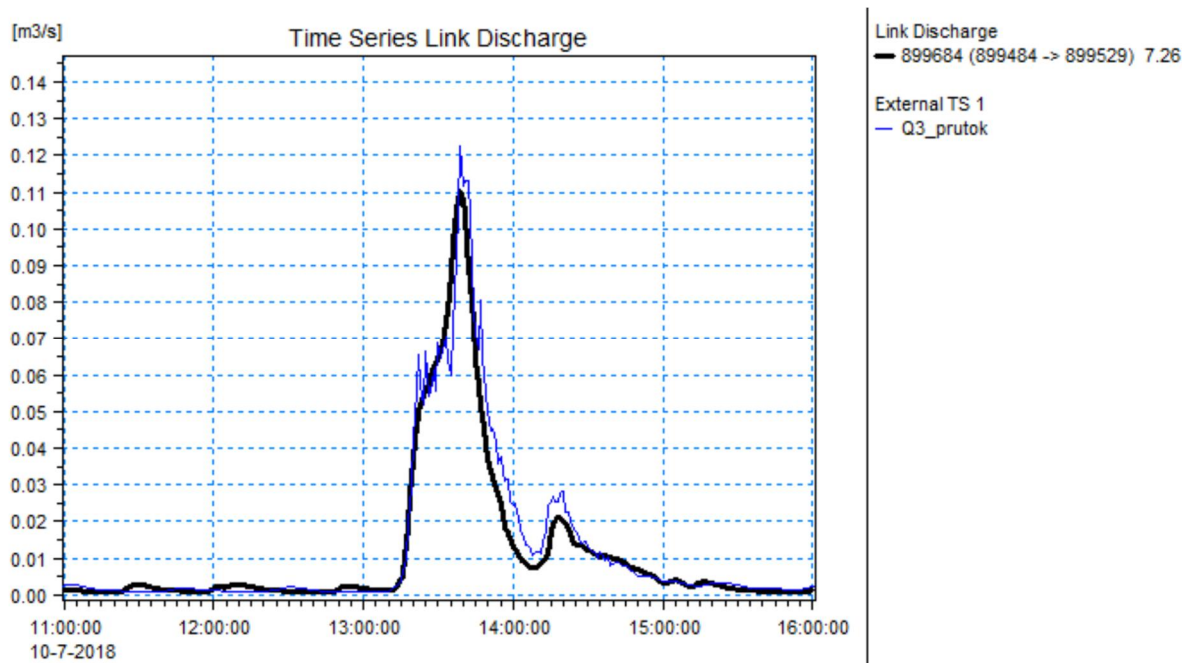
Měrný profil Q3 byl umístěn v ulici Masarykova na jednotné kanalizaci. V průběhu monitorovací kampaně byla měřící technika přesunuta o jednu šachtu po proudu kvůli stavbě.

Tabulka 4.3: Odchyly v měrném profilu

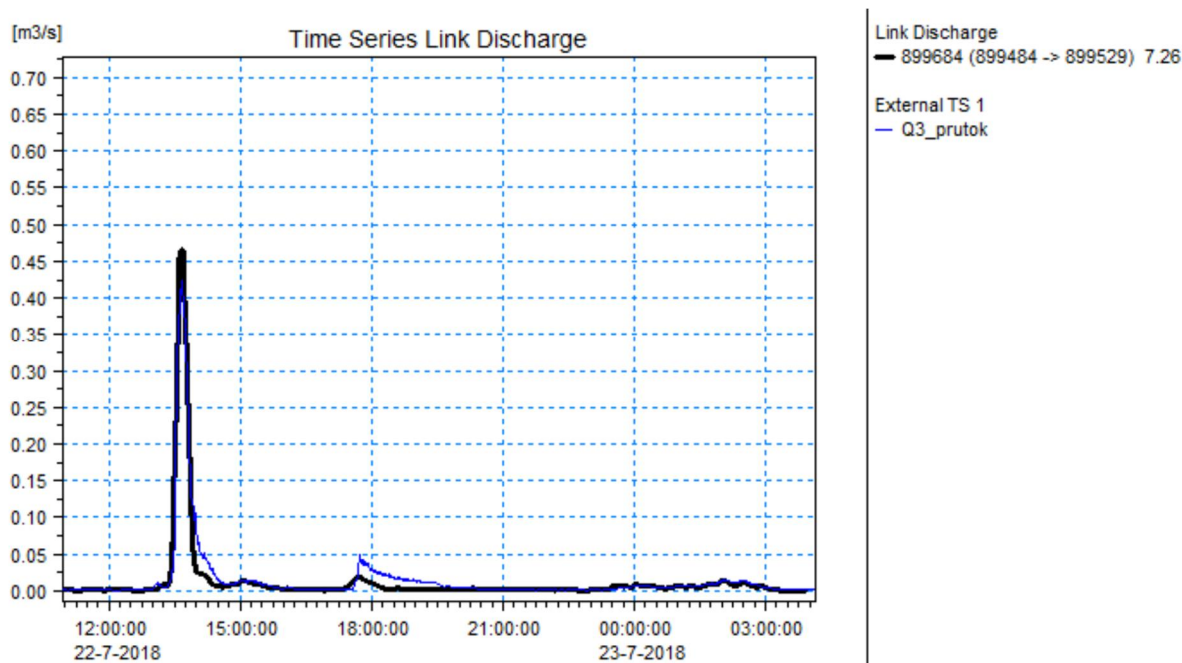
Úloha	Profil	Dešťová událost	Max. průtok Q_{max} [m ³ /s]		Objem V [m ³]		Čas výskytu Q_{max} [hh:mm]	
			měřená	odch. r_1	měřená	odch. r_1	měřená	rozdíl
		Od	simul.	[%]	simul.	[%]	simul.	[hod]
Kalibrace	Q3 - Modřice, ul. Masarykova, přítok do ulice K Náhonu	08.06.2018 05:00	0.461	+5.5	766	+11.6	07:22	+00:01
		08.06.2017 11:00	0.487		855		07:23	
		10.07.2018 11:00	0.122	-10.0	227	-10.3	13:39	-00:01
		10.07.2018 16:00	0.110		203		13:38	
		průměr		-2.2		+0.6		+00:00
Verifikace	Q3 - Modřice, ul. Masarykova, přítok do ulice K Náhonu	22.07.2018 11:00	0.425	+9.9	912	-15.1	13:40	-00:01
		23.07.2018 04:00	0.467		775		13:39	
		25.07.2018 12:00	0.071	+112.5	77	+66.7	13:58	-00:01
		25.07.2018 15:30	0.151		128		13:57	
		průměr		+61.2		+25.8		-00:01



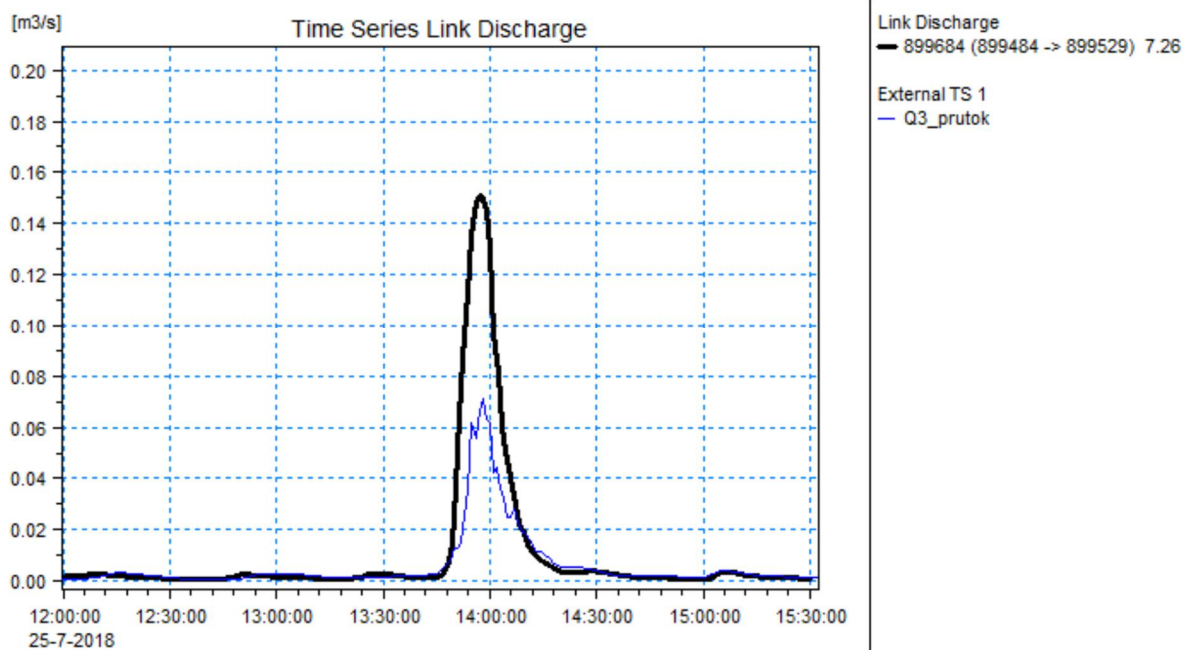
Obrázek 4.9: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 08.06.2018 05:00 do 08.06.2018 11:00



Obrázek 4.10: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 10.07.2018 11:00 do 10.07.2018 16:00



Obrázek 4.11: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 22.07.2018 11:00 do 23.07.2018 04:00



Obrázek 4.12: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 25.07.2018 12:00 do 25.07.2018 15:30

4.4 Q4

Měrný profil Q4 byl umístěn pod soutokem splaškové kanalizace ze Želešic a z CTParku.

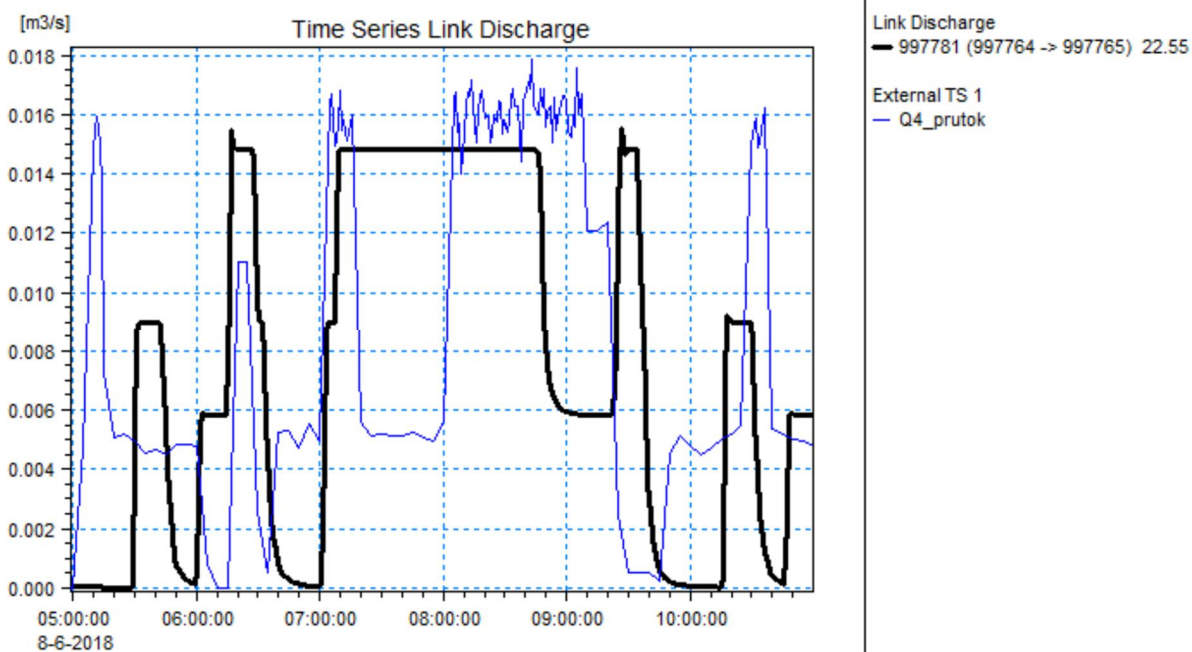
Kalibrace splaškové kanalizace v profilu Q4 na průtoky za dešťových událostí je orientační a slouží pro obecný přehled o fungování sítě.

Celkové proteklé množství v profilu Q4 závisí mimo jiné na intenzitě a plošném rozložení srážek v oblasti Želešic, kde není stoková síť posuzována a nebylo zde ani osazeno měření srážek při monitorovací kampani.

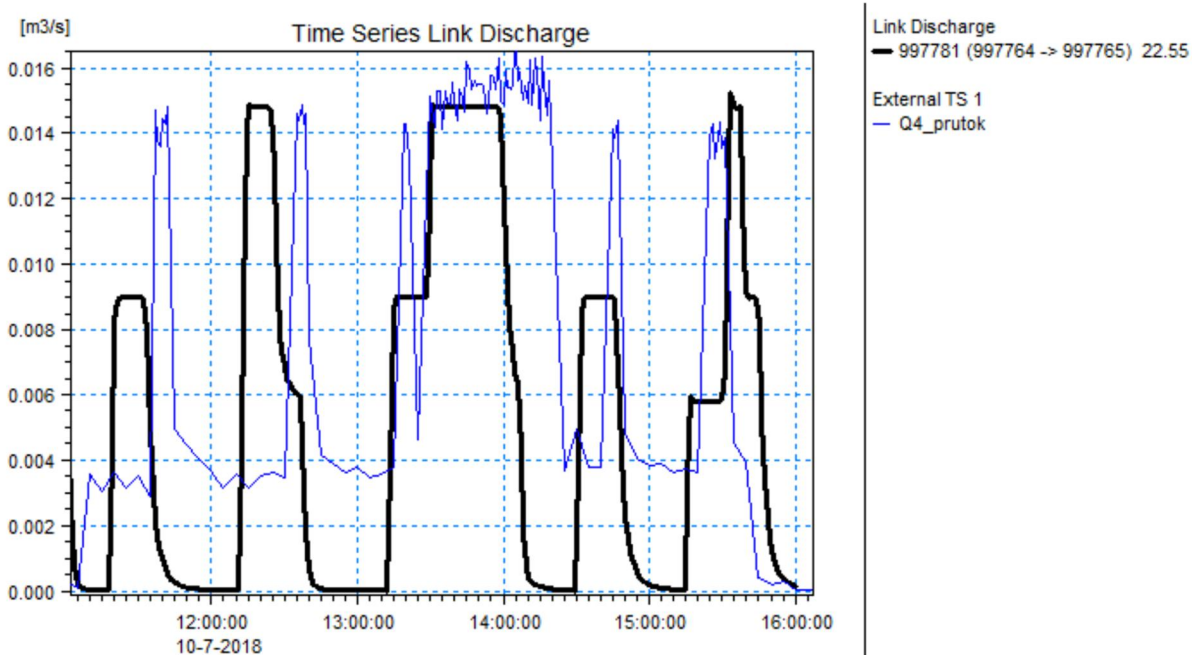
Z porovnání hodnot měřených a simulovaných plyne závěr, že do kanalizační sítě jsou zaústěny v nezanedbatelné míře dešťové vody. V modelu je tento stav zohledněn rozmístěním ‚kalibračních okrsků‘ do míst kde jsou pravděpodobně napojeny dešťové vody do splaškové kanalizace. Pro tento měrný profil byl zadán kalibrační okrskek do Želešic i do CTParku tak, aby simulovaný objem za dešťových událostí odpovídal délce a maximálnímu množství čerpaných vod v modelu v profilu Q4 při kalibraci.

Tabulka 4.4: Odchytky v měrném profilu

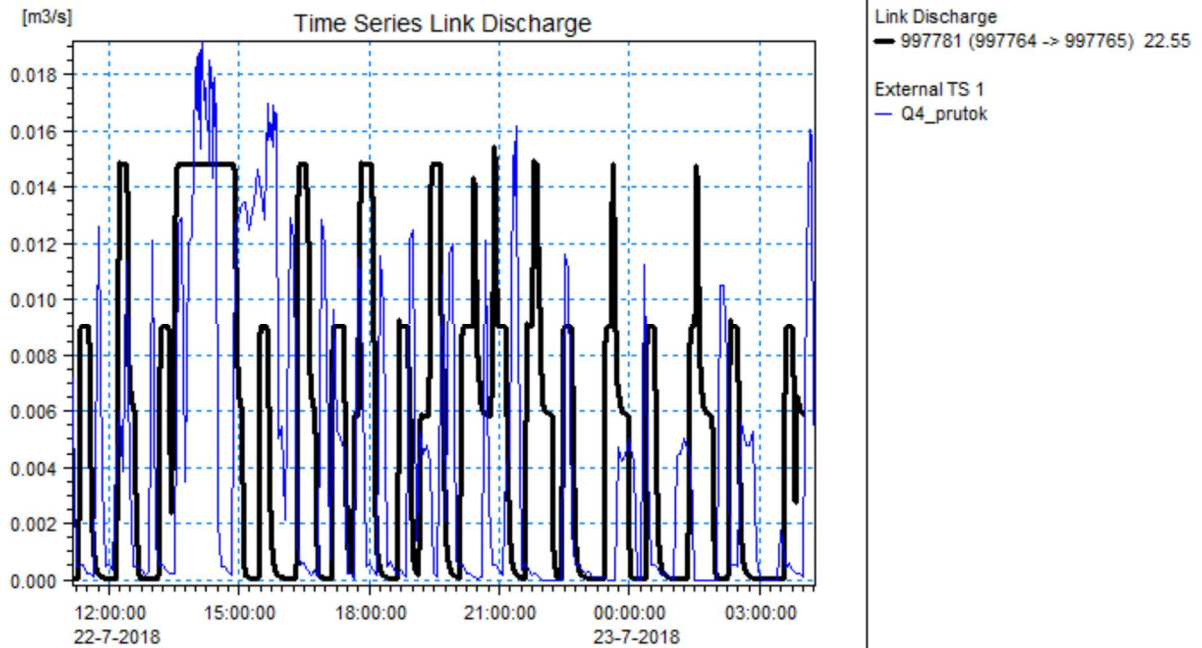
Úloha	Profil	Dešťová událost	Max. průtok Q_{max} [m ³ /s]		Objem V [m ³]		Čas výskytu Q_{max} [hh:mm]	
			měřená	odch. r_i	měřená	odch. r_i	měřená	rozdl
		Do	simul.	[%]	simul.	[%]	simul.	[hod]
Kalibrace	Q4 -Modřice, pod CTP + přítok ze Želešic	08.06.2018 05:00	0.018	-16.0	170	-5.4	08:43	00:00
		08.06.2017 11:00	0.015		161			
		10.07.2018 11:00	0.017	-11.4	124	-25.3	14:05	-00:07
		10.07.2018 16:00	0.015		93			
		průměr		-13.7		-15.3		-00:03
Verifikace	Q4 -Modřice, pod CTP + přítok ze Želešic	22.07.2018 11:00	0.019	-22.3	252	+30.1	14:09	00:00
		23.07.2018 04:00	0.015		327			
		25.07.2018 12:00	0.017	-11.7	85	-35.0	14:06	00:00
		25.07.2018 15:30	0.015		55			
		průměr		-17.0		-2.5		00:00



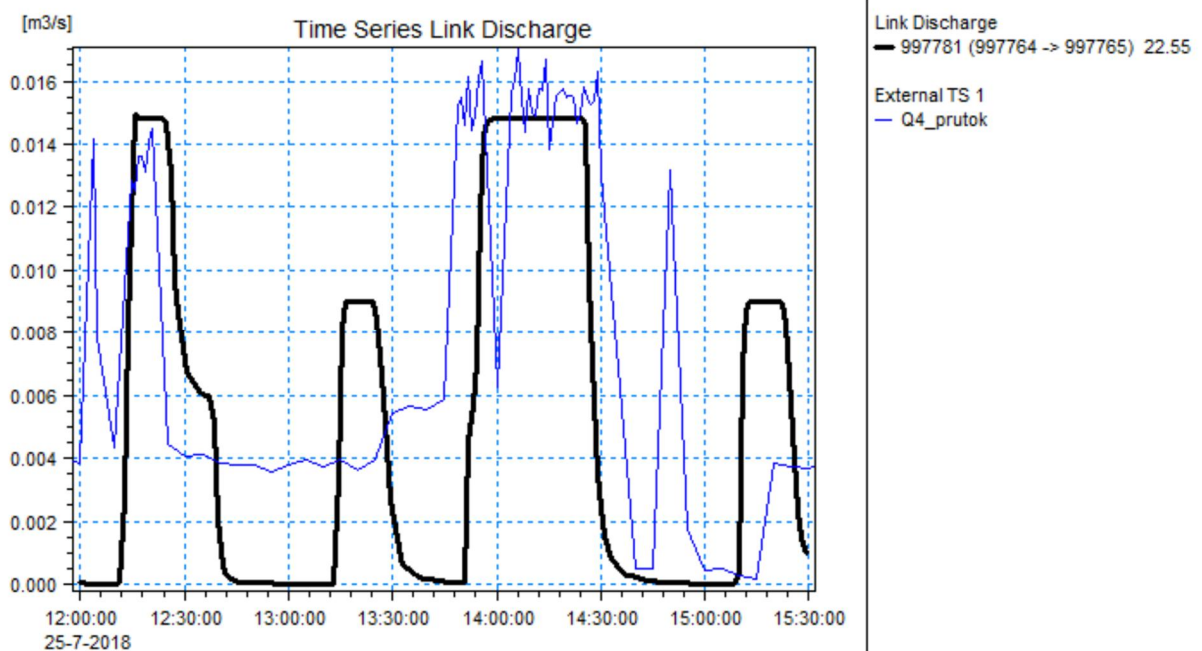
Obrázek 4.13: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 08.06.2018 05:00 do 08.06.2018 11:00



Obrázek 4.14: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 10.07.2018 11:00 do 10.07.2018 16:00



Obrázek 4.15: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 22.07.2018 11:00 do 23.07.2018 04:00



Obrázek 4.16: Porovnání měřeného a simulovaného průtoku v měrném profilu v časovém úseku od 25.07.2018 12:00 do 25.07.2018 15:30

5. VYHODNOCENÍ KALIBRACE A VERIFIKACE MATEMATICKÉHO MODELU

5.1 Vyhodnocení kalibrace bezdeštných průtoků

V tabulce jsou uvedeny koeficienty („SCALING FACTOR“) k jednotlivým měrným profilům. Tímto koeficientem jsou upravena data ze ZIS udávající objem vody, který přitéká k jednotlivým měrným profilům.

Dle ČSN 75 6401 je přítok do ČOV s průtokem balastních vod větším než 15% průměrného bezdeštného denního přítoku $Q_{24\text{mon}}$ nežádoucí. V libovolném profilu stokového systému je však prakticky považováno za vyhovující méně než 25%.

Pro vyhodnocení podílu balastních vod v kanalizační síti v Modřicích byla použita data z monitorovací kampaně a výsledky simulací bezdeštných průtoků na základě hodnot ze ZIS. Data ze ZIS jsou při kalibraci bezdeštných průtoků k jednotlivým měrným profilům upravena koeficienty („SCALING FACTOR“).

Interpretace hodnot koeficientů:

koeficient $r. < 1$	produkce pitné vody je větší než produkce vody odpadní. Může to být zapříčiněno používáním vlastních studní v území, v letních měsících pak záhlvkou nebo napouštěním bazénů, případně dochází v kanalizační síti k úniku odpadní vody ze systému
koeficient $r. = 1$	bezdeštné průtoky v kanalizační síti odpovídají odběrům pitné vody dle ZIS
koeficient $r. > 1$	v kanalizační síti je indikován vyšší objem odpadních vod než je uvažovaná produkce na základě dat ze ZIS – dochází ke vniku balastních vod do systému i v bezdeštném období
koeficient $r. > 2$	indikuje výskyt dvojnásobného denního množství odpadních vod, což lze interpretovat jako velmi nežádoucí vnik balastních vod do kanalizačního systému.

Podrobněji je problematika balastních vod uvedena v části A.1 Souhrnná zpráva.

Tabulka s koeficienty („SCALING FACTOR“) k jednotlivým měrným profilům:

Profil	koef. r
Q1	1.15
Q2	0.83
Q3	1.03
Q4	1.00

5.2 Vyhodnocení kalibrace dešťových průtoků

Při kalibraci dešťových průtoků byly pro povodí k jednotlivým měrným profilům nastaveny následující hydrologické parametry.

Měrný profil	Redukční faktor	Příslušná plocha [ha]	Průměrný odtokový koeficient	Doba koncentrace [min]
Q1*	-	-	-	-
Q2	0.8	44.2	0.24	7
Q3	0.8	12.3	0.29	7
Q4*	-	-	-	-
Dešťová kanalizace	0.6	76.8	0.22	7

pozn.: * jedná se o povodí splaškové kanalizace, v modelu byly pro simulaci přítoku balastních vod za deště zadány ‚kalibrační‘ okrsky v místech pravděpodobného přítoku balastních vod do systému. Plocha, redukční faktor ani průměrný odtokový koeficient nejsou dokladovány.

Celková plocha povodí [ha]	139.3
Průměrný odtokový koef. [-]	0.24

6. ZÁVĚR

Z výsledků kalibrace a verifikace vyplývá, že model byl nastaven tak, aby simulované průtoky reprezentovaly skutečný stav zatížení kanalizační sítě při srážkových epizodách. Profily, kde se nepodařilo dosáhnout požadované shody měřených a simulovaných dat jsou závislé na provozování čerpacích stanic. Nastavení modelu však v těchto profilech dostatečně reprezentuje chování systému bez výrazného vlivu na špičkové průtoky a objemovou bilanci, tedy bez vlivu na případný návrh opatření na kanalizační síti.

V Brně 07/2019

Za zpracovatelský tým
Ing. Karolína Koutníková